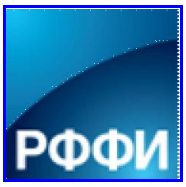


Российский фонд фундаментальных исследований

Воронежский государственный университет
Факультет географии, геоэкологии и туризма

Русское географическое общество
Воронежское областное отделение

Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ

Российское гидрометеорологическое общество

Институт географии Российской академии наук

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Географический факультет

Посвящается 85-летию
факультета географии, геоэкологии и туризма ВГУ

Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы

Материалы
международной научно-практической конференции
(г. Воронеж, 3 - 5 октября 2019 г.)

Том 1

Воронеж
Издательство «Цифровая полиграфия»
2019

УДК 551.583
ББК 26.237
Г54

Г54 **Глобальные климатические изменения : региональные эффекты, модели, прогнозы :** Материалы международной научно-практической конференции (г. Воронеж, 3-5 октября 2019г.) / Под общ. редакцией С.А. Куролапа, Л.М. Акимова, В.А. Дмитриевой. – Воронеж: Издательство «Цифровая полиграфия», 2019. – Том 1. – 532 с.

ISBN 978-5-906384-90-4

В сборнике материалов конференции представлены статьи ведущих отечественных и ряда зарубежных ученых, связанные с обсуждением и анализом причин, региональных особенностей и прогнозных моделей последствий глобальных климатических изменений, происходящих в различных регионах России и мира.

Содержание статей, объединенных в тематические разделы, охватывает широкий круг проблем, а именно:

Том 1: 1) глобальные климатические тенденции, модели, прогнозы; 2) региональные особенности современных климатических изменений; 3) региональные гидрологические проявления современных климатических изменений;

Том 2: 4) закономерности трансформации почвенных ресурсов, биоты и ландшафтов в условиях современных климатических изменений и хозяйственной деятельности; 5) особенности глобальных и региональных климатических изменений в городах; 6) социально-экономические и эколого-медицинские эффекты региональных изменений климата. Образовательные аспекты изучения климата.

География участников конференции обширна и включает значительное число участников из разных регионов России, а также представителей Азербайджана, Беларуси, Казахстана, Сербии, Узбекистана, Украины. Материалы конференции адресованы широкому кругу специалистов в области теоретических и прикладных аспектов гидрометеорологии, экологии и природопользования, физической, социально-экономической и медицинской географии.

Организация, проведение конференции и публикация материалов осуществлены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-05-20079)

УДК 551.583
ББК 26.237

ISBN 978-5-906384-90-4

© Авторский коллектив, 2019
© Воронежский госуниверситет, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ ……. 12

РАЗДЕЛ 1. ГЛОБАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ, МОДЕЛИ, ПРОГНОЗЫ..... 13

Акимов Л.М., Задорожная Т.Н., Закусилов В.П.
АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД..... 13

Аллахвердиев З.С., Зейналов И.М.
XXI ВЕК. НОВЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ КЛИМАТА 19

Аль Дарабсе АМ.Ф., Маркова Е.В.
ИНЖЕНЕРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСАДКОВ 24

Андронников В.В., Костылева Л.Н.
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОСАДКОВ..... 29

Афонин А.Н., Милютина Е.А., Федорова Ю.А.
СОЗДАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ КАРТ СУММ АКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР В СВЯЗИ С СОСТАВЛЕНИЕМ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ 32

Добролюбов С.А.
ОКЕАН И КЛИМАТ..... 34

Дорофеев В.В., Степанов А.В., Подгузов М.Ю., Разинкин В.Б.
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ АВИАЦИОННО-КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ..... 38

Жабин А.В., Жабина А.А.
ВЛИЯНИЕ ИМПАКТНЫХ СОБЫТИЙ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ..... 40

Калинин Н.А., Сивков Б.А., Пищальникова Е.В.
ОЦЕНКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ СИЛЬНЫХ ОСАДКАХ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРОВ НЕУСТОЙЧИВОСТИ..... 43

Карлович И.А.
АНТРОПОГЕННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ..... 46

Катцов В.М., Школьник И.М.
ВЕРОЯТНОСТНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭКОНОМИКУ РОССИИ В 21-М ВЕКЕ..... 50

Клековкина Е.А.
ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ГИС-МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗЛЕСЕНИЯ И ДЕГРАДАЦИИ ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ 51

Клещенко Л.К.
ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ. 53

Кононова Н.К., Морозова С.В., Полянская Е.А.
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ФОРМИРУЮЩИХ КЛИМАТИЧЕСКУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НА ВНУТРИСЕЗОННЫХ МАСШТАБАХ ВРЕМЕНИ..... 59

Кононова Н.К., Морозова С.В., Полянская Е.А.
ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ УЧЕТА ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ..... 64

Малышев Ю.С.
К ПРОГНОЗУ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ..... 68

Plakhina I. N., Repina I.A.
GENERALIZATION OF THE AEROZOL OPTICAL DEPTH DATA ABOVE THE RUSSIA ESTIMATED BY GROUND NETWORK DURING LAST DECADES..... 74

Попов В.В., Дробот А.Г.
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ..... 80

Ретеюм А.Ю.
КЛИМАТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК НА БОЛЬШИЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЦИКЛЫ..... 84

Ретеюм А.Ю., Иванова А.О., Мальгина Л.О.
КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА У ГРАНИЦЫ 1430-ЛЕТНИХ СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ. ПРИМЕР ЦИВИЛИЗАЦИИ НАСКА..... 89

Снакин В.В.
О РЕАЛЬНОСТИ ПРОГНОЗОВ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ..... 92

Степанов А.В., Дорофеев В.В., Насонов А.А.
МОДЕЛЬ ВИЗУАЛИЗАЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ РАБОЧЕГО МЕСТА ВОЕННОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГА..... 98

Стефанович А.А., Воскресенская Е.Н.
ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТУРИСТИЧЕСКОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ИНДЕКСА НА КУРОРТАХ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА..... 101

Тищенко В.А., Хан В.М., Вильфанд Р.М., Круглова Е.Н., Куликова И.А.
ВЛИЯНИЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ РЕЖИМОВ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ АМУР..... 104

Хан В.М., Вильфанд Р.М., Тищенко В.А. Круглова Е.Н., Куликова И.А., Ганиева Е.С.
ОПЕРАТИВНОЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НА МЕСЯЧНЫХ И СЕЗОННЫХ ИНТЕРВАЛАХ ВРЕМЕНИ В РАМКАХ СЕВЕРО-ЕВРАЗИЙСКОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА..... 107

Черенкова Е.А.
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАСУХ НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И ИХ СВЯЗЬ С ИЗМЕНЕНИЯМИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ 110

Шерстюков Б.Г.
ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ И ДАЛЬНИЕ АСИНХРОННЫЕ СВЯЗИ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КАК ОСНОВА ДЛЯ ПРОГНОЗА ПРИРОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТРИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ..... 115

Широков Р.С.
РЕКОНСТРУКЦИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИБРЕЖНО-МОРСКОЙ ОБЛАСТИ ЗАПАДНОГО ЯМАЛА В ЦЕЛЯХ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА..... 120

Щенин М.В, Корнева И.А., Ранькова Э.Я.
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ СУШИ И АКВАТОРИЯХ ОКЕАНОВ ЗА ПЕРИОД СОВРЕМЕННОГО ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ..... 123

РАЗДЕЛ 2. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ 130

Акимов Л.М.
РЕАКЦИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РУССКОЙ РАВНИНЫ НА ФАЗЫ ЛУНЫ.....130

Ананина Т.Л.
ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ НА ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СЕВЕРНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ..... 134

Андреева Е.С., Липовицкая И.Н., Андреев С.С.
ОСОБЕННОСТИ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН ЗА ПЕРИОД 2006-2015 ГГ. 138

Беспалова Л.А., Авакова А.Г., Цыганкова А.Е. Беспалова Е.В.
ПРОЯВЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ПОБЕРЕЖЬЕ АЗОВСКОГО И ЧЕРНОГО МОРЕЙ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД 142

Брылёв В.А.
ЦИКЛИЧНОСТЬ ИЛИ ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА НА ПРИМЕРЕ НИЖНЕ-ВОЛЖСКОГО РЕГИОНА..... 146

Васильев М.С.
ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ ЗА ПЕРИОД 2004-2017 ГГ..... 149

Воропай Н.Н., Василенко О.В., Киселев М.В.
ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ЛАНДШАФТОВ В КОТЛОВИНАХ БАЙКАЛЬСКОГО ТИПА..... 152

Воропай Н.Н., Рязанова А.А., Дюкарев Е.А.
ОЦЕНКА ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ..... 154

Вышкваркова Е.В.
ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГА РОССИИ 156

Гончаров С.П., Максимова Н.Б.
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ 157

Демихов В.Т., Чучин Д.И.
МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ОСАДКОВ И ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ 164

Дудник С.Н., Бессонова И.В., Печагина Д.С.
РЕГИОНАЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ МАКСИМАЛЬНЫХ И МИНИМАЛЬНЫХ СУТОЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА..... 168

Дьяконов К.Н., Ретеюм А.Ю.
ПРОЯВЛЕНИЯ 179-ЛЕТНИХ ЦИКЛОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ..... 173

Задорожная Т.Н.. Закусилов В.П.
АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА 175

Залошкова Е.С.
ИЗМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРИМЕРЕ СЕЛА НОРС ЗА 1065-2015 ГГ..... 180

Звягинцева А.В., Шеина Н.А.
АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОЖАРООПАСНУЮ ОБСТАНОВКУ..... 183

Зеленская Н.Н.
ТРЕНД ПОТЕПЛЕНИЯ В ЮЖНОМ ПОДМОСКОВЬЕ И ДИНАМИКА ПРОДУКТИВНОСТИ ИЗОЛИРОВАННОЙ СТЕПНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ..... 188

Калинин А.В.
НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЛЕСНУЮ ЭКОСИСТЕМУ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ..... 193

Корчагина Е.А.
ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В СТЕПНЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИК ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА 194

Костебелова С.А., Махонченко А.А.
ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ..... 199

Кочугова Е.А.
ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИНИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ 202

Крымская О.В., Крымская А.А., Волошенко И.В.
ИЗМЕНЕНИЯ В РЕЖИМЕ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА 206

Кудерина Т.М., Суслова С.Б., Лунин В.Н., Кудиков А.В.
АТМОГЕОХИМИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ЛЕСОСТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ КУРСКОЙ ОБЛАСТИ..... 208

Кустова О.К., Глухов А.З.
ПОГОДНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ В ДОНБАССЕ В АСПЕКТЕ ИНТРОДУКЦИИ И КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ РАСТЕНИЙ..... 211

Лобанов В.А., Кириллина К.С., Горошкова Н.И., Григорьева А.А.
ПРОЯВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В КЛИМАТИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРАХ НА ТЕРРИТОРИИ ЯКУТИИ..... 215

Лобанов В.А., Маммедов С.А., Наурозбаева Ж.К., Фань Сяо Цинь, Кириллина К.С., Шукри О.А., Тощакова Г.Г.
РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ..... 220

Лукьянова Т.С., Широкова В.А., Хуторова А.О.
КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАПАДНОЙ МЕЩЕРЫ 224

Марчукова О.В., Лубков А.С., Воскресенская Е.Н.
КЛИМАТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК В АТЛАНТИКО-ЕВРОПЕЙСКОМ РЕГИОНЕ НА СОБЫТИЯ ЛА-НИНЬЯ ПО ДАННЫМ E-OBS 229

Махоткина Е.Л., Луцько Л.В., Ерохина А.Е., Махоткин А.Н.
РЕЖИМНО-СПРАВОЧНЫЙ БАНК ДАННЫХ (РСБД) «АКТИНОМЕТРИЯ»: ФОРМИРОВАНИЕ, КОНТРОЛЬ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 231

Назаренко О.В.
ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ СРЕДНИЙ ЕГОРЛЫК 235

Павлейчик В.М., Сивохип Ж.Т.
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В ТРАНСГРАНИЧНОМ БАССЕЙНЕ РЕКИ УРАЛ 239

Панков С.В.
ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ 243

Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Васильев А.А., Гурьянов В.В., Николаев А.А.
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА 247

Петрова Е.Г.
ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ: РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ 252

Пищальникова Е.В., Крючков А.Д.
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВРЕМЕННОГО СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА 255

Русова Н.И.
МОНИТОРИНГ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ПО ВОДОЕМАМ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ (БАССЕЙН ВЕРХНЕГО ХОПРА) 259

Сажин А.Н., Судаков А.В.
РЕГИОНАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ 261

Самбуу А.Д.
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ЭКОСИСТЕМЫ ТУВЫ 268

Скрыльник Г.П.
ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ГЕОСИСТЕМ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА 272

Сорокин П.С.
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ И ЗНАЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТИХООКЕАНСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ РОССИИ 274

Спиридонова А.Б., Анисимова О.В.
ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ДИНАМИКИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СЕВЕР МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ 278

Ставропольский Ю.В.
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЯПОНИИ НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА ХОККАЙДО..... 283

Сухова М.Г., Чернова Е.О., Журавлева О.В., Лукашева М.А.
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ..... 286

Трегубов О.Д., Ушаков М.В.
ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ КЛИМАТА НА ГЛУБИНУ СЕЗОННОГО ПРОТАИВАНИЯ ТУНДРОВЫХ ПОЧВ..... 291

Филандышева Л.Б., Ромашова Т.В.
МОДЕЛИ КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ТИПОВ СТУКТУРЫ ЗИМНЕГО СЕЗОНА ГОДА И ИХ ДИНАМИКА В ПОДТАЙГЕ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ 295

Хаванская Н.М.
ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ..... 302

Харитонов А.М.
О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЯХ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОПТИМУМА СРЕДНИХ ВЕКОВ..... 308

Холопцев А.В.
ВТОРЖЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ВОЗДУХА И ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ В ЛЕТНИЕ МЕСЯЦЫ..... 311

Чередниченко Александр В., Чередниченко Алексей В., Чередниченко В.С., Жексенбаева А.Ж.
ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ..... 317

Чуйкова А.А.
ОЦЕНКА ДИНАМИКИ КОНТИНЕНТАЛЬНОСТИ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ..... 322

Шестакова АА., Чечин Д.Г., Репина И.А.
ОПАСНЫЕ ВЕТРЫ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ: ГЕНЕЗИС, ПОВТОРЯЕМОСТЬ,ТРЕНДЫ 326

РАЗДЕЛ 3. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ..... 333

Абдуев М.А.
СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ АЗЕРБАЙДЖАНА..... 333

Белик А.В., Скородумова М.В.
ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЙМЕННЫХ ОЗЕР СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ДОН В ПРЕДЕЛАХ БЛИЖНЕГО ПОДВОРОНЕЖЬЯ..... 336

Бочаров В.Л., Бабкина О.А., Смольянинов В.М.
ГИДРОХИМИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА БОГУЧАРСКОГО ПОДОНЬЯ (ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ) В СВЯЗИ С ИСКУССТВЕННЫМ ПОПОЛНЕНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД..... 339

Бочаров В.Л., Бочаров С.В., Дешевых Г.Ю.
К ПРОБЛЕМЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД..... 346

Буковский М.Е., Семенова А.В., Чернова М.А.
АНАЛИЗ ДИНАМИКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ФОРМИРОВАНИЕ ВОЛНЫ ПОЛОВОДЬЯ НА РЕКАХ ОКСКО-ДОНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ 348

Бучик С.В., Дмитриева В.А., Сушков А.И., Шестопалова Т.А.
НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК ВЕРХОДОНЬЯ..... 355

Василенко А.Н.
СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТЕРМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ РЕК И ЕГО ТРАНСФОРМАЦИЯХ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА..... 359

Волковская Н.П., Мезенцева О.В.
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСАДКОВ ЮГА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА СТОК РЕК ШИШ, УЙ, ТУЙ, ИШИМ 363

Гаврилова А.А., Ильичева Е.А., Павлов М.В.
МОРФОДИНАМИКА ВЕРШИНЫ ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕЛЕНГИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ..... 368

Гагарина О.В., Гагарин С.А., Едиярова Н.Р.
ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РОДНИКОВ Г. ИЖЕВСКА..... 373

Газаев Х.-М.М., Агоева Э.А., Бозиева Ж.Ч., Иттиев А.Б.
ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА. 378

Газаев Х.-М.М., Иттиев А.Б., Агоева Э.А.
ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОСТИ И ИНДЕКСА ЗАГРЯЗНЁННОСТИ ВОД ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА КАВКАЗЕ..... 381

Гареев А.М., Аминева Г.Г.
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ В МНОГОЛЕТНЕМ РАЗРЕЗЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ИСПАРЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ РЕЧНЫХ ВОДОСБОРОВ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН) 384

Георгиади А.Г.
ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ПЕРИОДЫ ПОНИЖЕННОЙ/ПОВЫШЕННОЙ ВОДНОСТИ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ И ДОНА В XIX-XXI ВЕКАХ..... 391

Григорьев В.Ю., Магрицкий Д.В., Фролова Н.Л.
ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОГО СТОКА РЕК БАССЕЙНА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА ЗА 1967-1975 ГГ. И 2008-2016 ГГ. В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА..... 395

Григорьев В.Ю., Сазонов С.А., Миллионщикова Т.Д.
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА МНОГОЛЕТНИЙ ВОДНЫЙ БАЛАНС БАССЕЙНА БАЙКАЛА ЗА 1936-2016 ГГ..... 399

Дмитриева В.А., Сушков А.И.
КОНТРАСТЫ ПОЛОВОДЬЯ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕГО ДОНА..... 403

Калугин А.С.
ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА ЛЕНЫ И СЕЛЕНГИ В XXI ВЕКЕ..... 408

Киреева М.Б., Харламов М.А., Фролова Н.Л., Рец Е.П., Самсонов Т.Е.
ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК БАССЕЙНА ДОНА И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ В XXI ВЕКЕ 413

Клюев П.В., Лебедев С.А., Богоутдинов Ш.Р.
ИЗУЧЕНИЕ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ДАННЫМ ДЗЗ..... 418

Колупаева А.Д., Макарьева О.М., Нестерова Н.В.
РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ПАВОДКА НА Р. АДАГУМ (Г. КРЫМСК) 6-7 ИЮЛЯ 2012 ГОДА В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ 422

Коронкевич Н.И., Долгов С.В., Кашутина Е.А.
СОВРЕМЕННЫЙ ВЫНОС БИОГЕНОВ В РЕКИ И ВОДОЕМЫ С ВОДОСБОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В БАССЕЙНЕ ДОНА..... 425

Кузьмина Ж.В., Черноруцкий С.В.
ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ..... 428

Кульнев В.В.
СТРУКТУРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЛЕНТИЧЕСКИХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ..... 431

Кульнева В.В., Звягинцева А.В., Лутовац М.
МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГИДРОПОСТОВ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ..... 436

Литвиненко Л.Н., Литвиненко В.В.
О ПРИРОДЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ПОЛОВОДИЙ НА ДНЕПРЕ..... 441

Литвинов П.В., Дмитриева В.А.
ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕК ВЕРХНЕГО ДОНА В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ 448

Магрицкий Д.В.
ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА АРКТИЧЕСКИХ РЕК РОССИИ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ..... 452

Магрицкий Д.В., Агафонова С.А., Чалов С.Р., Кузнецов М.А., Банщикова Л.С.
СОВРЕМЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НИЗОВЬЕВ Р.ОБИ 460

Наурозбаева Ж.К.
СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА КАСПИЙСКОГО МОРЯ..... 464

Нефедова Е.Г.
ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В РАЗЛИЧНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОНАХ Г. ВОРОНЕЖА..... 466

Овчарова А.Ю.
АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА НИЖНЕЙ ВОЛГЕ..... 469

Пантелеева Т.С.
РЕГИОНАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР КОМПЛЕКСА ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ..... 472

Поваляев Н.Р. , Дмитриева В.А.
ХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МОРФОМЕТРИИ ПРИТОКОВ РЕКИ СОСНА (БЫСТРАЯ СОСНА) 475

Прядуненко Т.И.
ДИНАМИКА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА И РЕЖИМА
ПОДЗЕМНЫХ ВОД В БАССЕЙНЕ Р.СОХ..... 479

Пуклаков В.В., Ерина О.Н., Соколов Д.И., Эдельштейн К.К.
ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА 484

Репина И.А., Гречушникова М.Г., Степаненко В.М.,
Варенцов М.И., Артамонов А.Ю.
ВЛИЯНИЕ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ НА КЛИМАТ
ОКРУЖАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ..... 491

Садуокасова М.Т.
ИЗМЕНЕНИЕ ИСПАРЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ ОЗЕР ЩУЧИНСКО-БОРОВСКОЙ
КУРОРТНОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА..... 494

Сазонов А.А., Крыленко И.Н., Варенцова Н.А., Михайлюкова П.Г.
ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕК БАССЕЙНА ДОНА
НА ОСНОВЕ ИМК ECOMAG 497

Сафаров С.Г., Сафаров Э.С.
МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ ЛИВНЕВОГО
ГЕНЕЗИСА НА ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА 501

Семикозов М.А., Дмитриева В.А.
УСЛОВИЯ И ФАКТОРЫ ЗАТОПЛЕНИЯ И ПОДТОПЛЕНИЯ ПРИРЕЧНЫХ
ПРОСТРАНСТВ ВО ВРЕМЯ ПОЛОВОДИЙ ТЕКУЩИХ ЛЕТ..... 505

Соловьева В.В.
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФЛОРЫ ЭКОТОНОВ МАЛЫХ
ВОДОХРАНИЛИЩ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ
НЕУСТОЙЧИВОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА..... 507

Тебиева Д.И., Туаев Г.А.
КАМЕННЕЫЕ ГЛЕТЧЕРЫ И ПРИЛЕДНИКОВЫЕ ОЗЕРА КАК СЛЕДСТВИЕ
ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА 514

Ушаков М.В.
УЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ НА РЕКАХ ПРИМАГАДАНЬЯ..... 516

Фролова Н.Л., Григорьев В.Ю., Киреева М.Б., Харламов М.А.
АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РЕК ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ
РОССИИ ПО ДИСТАНЦИОННЫМ И НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ 520

Чембарисов Э.И., Рахимова М.Н., Шодиев С.Р., Ахмеджанова Г.Т., Тиллаева З.У.
ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННЫХ МЕЛИОРАТИВНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЯХ БАССЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ..... 525

Чередниченко Александр В., Чередниченко Алексей В., Чередниченко В.С.
ДИНАМИКА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА..... 527

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема современных глобальных климатических изменений и их последствий - одна из важных и наиболее обсуждаемых в науке и средствах массовой информации проблем современной цивилизации. Её актуальность определяется масштабностью современных процессов климатических изменений, наблюдающихся в различных регионах мира, и серьезностью ожидаемых последствий, которые уже проявляются как на планетарном, так и на региональном уровнях. Важность аспектов анализа причин, последствий и прогнозных сценариев глобальных изменений климата сформулирована в Климатической доктрине Российской Федерации (2009) и подчеркнута в «Стратегии экологической безопасности России до 2025 г.» (Утверждена указом Президента РФ 19.04.2017), в которой отмечается, что «к глобальным вызовам экологической безопасности относятся последствия изменения климата на планете, которые неизбежно отражаются на жизни и здоровье людей, состоянии животного и растительного мира, а в некоторых регионах становятся ощутимой угрозой для благополучия населения и устойчивого развития». Обсуждение проблемы важно в различных аспектах, поскольку проблема носит междисциплинарный характер.

Анализ климатических процессов позволит оценить происходящие изменения и наметить пути взаимодействия представителей науки, управления, бизнеса, общественности для предотвращения кризисных явлений, связанных с последствиями климатических изменений. Особенно актуально обсуждение общих тенденций, анализ региональных проявлений в различных регионах мира и России, современные модели и прогнозные сценарии, аспекты климатических изменений в крупных городах, эколого-медицинские последствия волн жары/холода, вопросы совершенствования региональных систем экологического мониторинга и загрязнения атмосферы урбанизированных территорий.

В Воронежском государственном университете (ВГУ) в 2012 году успешно прошла международная конференция «Региональные эффекты глобальных изменений климата», являющаяся одним их этапов для обсуждения данных проблем на крупных научных форумах в различных регионах России. Обсуждение представленных материалов подтвердило неоднозначный характер современных «откликов» на изменение климата, в частности, рост температуры воздуха в приповерхностном слое планеты в последние десятилетия. Глобальное потепление, с одной стороны, характеризует естественные планетарные циклы вариаций температуры воздуха, а, с другой, - отражает антропогенный прессинг на атмосферу вследствие увеличения объемов парниковых газов техногенного генезиса. Ясно одно - климатические изменения носят очевидный характер, а их последствия проявляются в самых разных аспектах жизнедеятельности населения и хозяйственной деятельности, требующие организации мониторинга и предотвращения кризисных проявлений.

Цель конференции: обсуждение и анализ причин, региональных особенностей и прогнозных моделей последствий глобальных климатических изменений, происходящих в различных регионах России и мира (региональные аспекты климатических, гидрологических, почвенных, биотических, ландшафтных, экологических, медицинских, социально-экономических эффектов).

В ходе конференции рассмотрены основные междисциплинарные проблемы в области современной теории климата, тенденций климатических изменений и их влияния на окружающую среду и здоровье населения в планетарном масштабе и на территории отдельных крупных регионов. Особое внимание уделено рассмотрению новых методов и технологий в области научно-прикладных климатических исследований.

Первый том материалов конференции посвящен анализу глобальных климатических тенденций с элементами моделирования и прогноза; обсуждению региональных особенностей изменения климата и гидрологических проявлений современных климатических изменений.

Ректор ВГУ, докт. эконом. наук, профессор ***Д.А. Ендовицкий***
Декан ф-та географии, геоэкологии и туризма ВГУ, докт. геогр. наук, профессор ***С.А. Куролап***

РАЗДЕЛ 1. ГЛОБАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ, МОДЕЛИ, ПРОГНОЗЫ

АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

Л.М. Акимов, Т.Н. Задорожная, В.П. Закусилов
akl63@bk.ru

Воронежский государственный университет,
Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г.Воронеж, Россия

Важной научной проблемой, которая в настоящее время привлекает внимание ученых всего мира, является изменение климата и его возможные негативные последствия. Стихийные бедствия и природные катастрофы, возникающие в различных концах земного шара, связанные с глобальным изменением климата, ставят под угрозу государственную и общественную безопасность страны. Поэтому исследования в области климата и его изменений становятся одной из приоритетных задач государственной политики РФ [8].

Важной составляющей современного климата является исследование региональных изменений приземной температуры воздуха, которая существенно отражается на всех аспектах человеческой деятельности. Особенно заметно это происходит в теплый период года. Высокие летние температурные режимы, отмечающиеся в последние годы, их значительная продолжительность, при отсутствии систем охлаждения, как в жилых помещениях, так и на рабочих местах, влекут за собой тяжелые заболевания, иногда с летальным исходом. Одним из способов уменьшить зависимость от климатических факторов, и связанных с ними рисков, можно путем улучшения системы мониторинга и прогнозирования климата, становится выявление характерных особенностей пространственно-временных изменений в динамике климата и наблюдаемых тенденций.

Исследованию климатических изменений в различные сезоны года, в том числе и в летний период, посвящено значительное количество работ [2, 4, 5, 10]. Однако, ввиду неоднозначности проблемы, получаемые результаты часто различаются между собой. Они зависят от исследуемой территории, длины выборки, формы представления исходных данных и других факторов. Кроме того, согласно многочисленным исследованиям [2, 3, 9], скорость климатических изменений постоянно увеличивается, поэтому для каждого региона необходимо проведение постоянного мониторинга локальных исследований на основе новой поступающей информации.

Целью данной статьи является детальное исследование климатических изменений средней месячной температуры воздуха с различным масштабом осреднения исходных данных, в летний период года на территории Европейской части Российской Федерации, в широтной зоне 40–60^{o} северной широты (с.ш.), ограниченной сектором 30–60^{o} восточной долготы (в.д.).

Информационной базой служили данные средней месячной температуры воздуха на поверхности 1000 гПа, взятой из международного архива реанализа NCEP/NCAR [1], в узлах регулярной сетки 2,5 х 2,5^{o}, за период с1958 по 2017 годы в июле месяце.

Следует заметить, что в данной работе, в отличие от исследований, проведенных другими авторами, в качестве показателя климата использовалась не аномалия температуры, а сглаженные за месяц фактические значения. На наш взгляд, такие показатели могут являться более понятными для потребителя, тем более, что использовавшиеся раннее климатические нормы в настоящее время претерпели изменения, вместо базового периода (1961-1990 гг.), Всемирной метеорологической организацией предложено использовать период, начиная с 1980 г. Поэтому при расчетах отклонений от нормы, могут быть значительные разногласия.

В Оценочных докладах Росгидромета РФ [3, 9] утверждается, что, начиная с 1977 года, увеличилось количество парниковых газов, способных повлиять на температуру воздуха в различных регионах земного шара. В связи с этим представляет интерес выявить, в каких районах исследуемой территории Европы этот фактор может быть наиболее заметным и на сколько?

С этой целью, вся исходная выборка (1958–2017 гг.) была разделена на три равных временных периода f_k: 1958–1977 (f_1); 1978–1997 (f_2) и 1998–2017 (f_3). Для выявления особенностей во временных рядах исследуемых периодов $f_к$, предварительно, в каждом узле (i, j) широтно-долготной сетки с шагом 2,5°, в фиксированной выборке $f_к$ рассчитывались средние многолетние значения температуры воздуха $\overline{T}^{f_{кк}}(i,j)$, условно названных «нормами», по формуле:

$$\overline{\mathrm{T}}^{f_k}(i,j)=\frac{1}{N}\sum_{t=1}^{N}T^{f_k}(i,j),$$

где (i, j) –координаты узла сетки;t– порядковый номер года в выборке; N– количество лет в исследуемом периоде $f_{к,}$

Для выявления главных особенностей наблюдающейся тенденции в многолетнем ходе средней месячной температуры, для каждого временного периода f_k проведено осреднение по всей рассматриваемой площади (30–60° в.д., 40–60° с.ш.). Распределение средних площадных значений температуры воздуха $\overline{\overline{\mathrm{T}}}^{f_k}$, рассчитанных по отдельным периодам f_k, представлено на рисунке 1.

Из рисунка следует, что при значительном осреднении по площади, от периода к периоду происходит повышение температуры воздуха, что согласуется с выводами, полученными в Оценочных докладах [3, 9]. Минимальная, осредненная по площади температура, наблюдалась в самом раннем периоде. Ко второму исследуемому периоду, она незначительно повысилась. Значительное повышение, почти на 2,0°С произошло в третьем, современном периоде. Это может быть объяснено повышенным фоном углекислого газа, который наиболее проявил себя в текущем периоде f_3.

Рис. 1. Распределение по периодам f_k, осредненной по площади (30–60°в.д., 40–60°с.ш.), среднемесячной температуры воздуха $\overline{\overline{\mathrm{T}}}^{f_k}$. Июль

В целях детализации климатических изменений, происходящих на исследуемой территории, рассматривалось изменение среднеширотных значений температуры $\overline{\overline{\mathrm{T}}}_{\lambda}^{f_{k,}}(i,j)\in\varphi$ по долготам λ в различных временных периодах. Сравнительная их оценка представлена на рисунке 2. Характер представленных кривых, дает более детальную картину в многолетнем ходе средних широтных температур на отдельных долготах в различные промежутки времени.

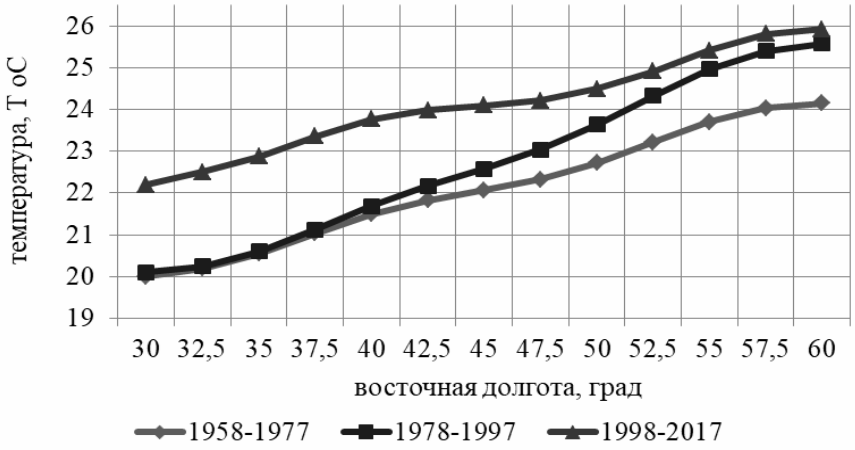


Рис. 2. Распределение температуры воздуха по долготам, среднеширотных значений температуры воздуха $\widetilde{\overline{\mathrm{T}}}_{\lambda}^{f_k}(i,j) \in \varphi$ *в различных временных периодах* f_k. *Июль*

Прежде всего, следует отметить, что во всех рассматриваемых периодах температура воздуха с запада на восток увеличивалась. Вместе с тем, анализ распределения температуры в более ранних периодах, показал, что в западных районах, примерно до долготы λ = 40°в.д., температура воздуха между периодами f_1 и f_2 находилась на одном уровне. Далее к востоку, температура в 1978–1997 годах, по отношению к периоду 1958–1977г.г. быстро повышалась, достигая максимума на долготе λ = 60°в.д. Межпериодная разность температур $\delta\widetilde{\overline{\mathrm{T}}}^{f_2-f_1}$ за 20 лет составила +1,5°С.

В текущем периоде f_3(1998–2017 гг.), по отношению к предыдущим периодам, температура воздуха на всех долготах повышалась. Наибольшее повышение происходило в западных районах рассматриваемой территории. На долготе 30°в.д. разность $\delta\widetilde{\overline{\mathrm{T}}}^{f_3-f_2}$ составила +2,0 °С, но при перемещении к востоку величина разности между ними уменьшилась, и на крайнем востоке составила лишь 0,5°С.

Характер межпериодных изменений температуры воздуха $\widetilde{\overline{\mathrm{T}}}_{\varphi}^{f_k}(i,j) \in \lambda$, осредненных по долготам, представлен на рисунке 3.

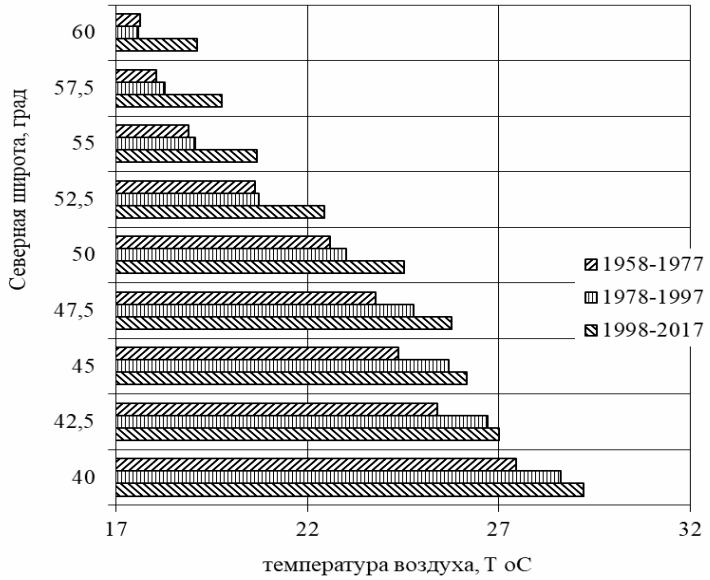


Рис. 3. Распределение средних долготных температур $\widetilde{\overline{\mathrm{T}}}_{\varphi}^{f_k}(i,j) \in \lambda$ *в различных временных периодах* f_k. *Июль*

Из рисунка следует, что изменение средних долготных температур по широтам, по сравнению с распределением по долготе, имеет монотонный характер. На всех широтах температура воздуха в современном периоде f_3, намного выше, чем в более ранних периодах f_2 и f_1. Особенно наглядно это видно в северной половине рассматриваемой территории, до долготы 50°С. Здесь разность температур между современным f_3 и предшествующими периодами, достигает 2,0°С. К югу разность температур уменьшается, опускаясь на широте φ = 40 с.ш. до 0,6°С.

Температура воздуха в периоде f_2 также на всех широтах была выше, чем в периоде f_1. Вместе с тем величина разности $\delta\overline{T}_{\varphi}^{f_2-f_1}$ с севера на юг монотонно увеличивалась от 0,21°С на широте $\varphi = 60^{o}$ с.ш. до 1,22°С на широте $\varphi = 40^{o}$ с.ш.

Проведенное исследование по изменению климатических показателей температуры по средним месячным значениям температуры воздуха, с различным масштабом осреднения исходных данных, показало, что в их многолетнем ходе, в летнем периоде, на территории европейской части России наблюдается повышение температуры воздуха, что подтверждает выводы о продолжающемся глобальном потеплении. Однако величина этого потепления на различных долготах и широтах оказывается различной.

Дополнительной оценкой изменения климата является коэффициент линейного тренда *b*. Он характеризует направление и скорость изменения температуры воздуха. На рисунке 4 представлены коэффициенты линейного тренда, полученные по выборке за весь исследуемый период (1958–2017 гг.), и осредненные вдоль фиксированных долгот λ.

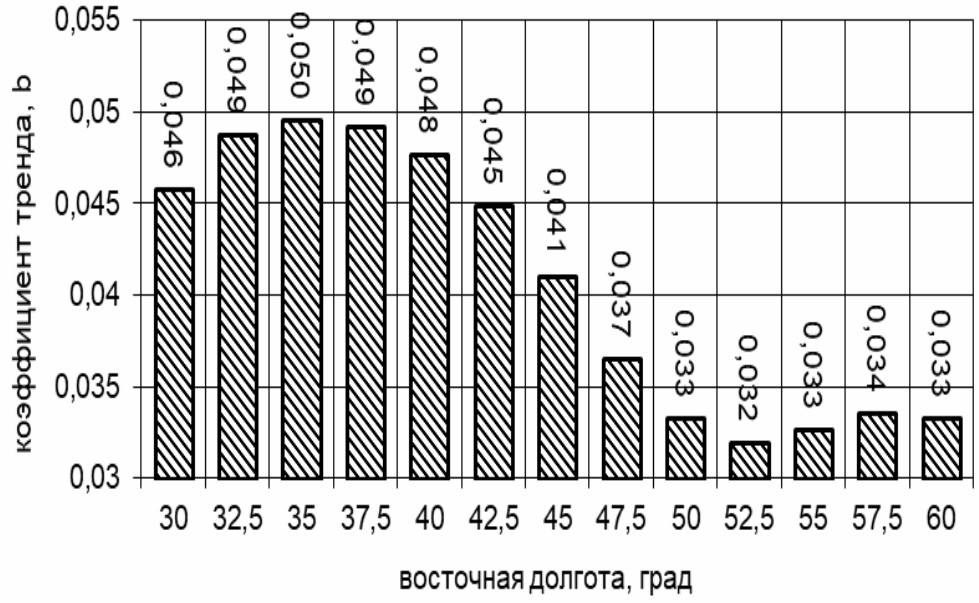


Рис. 4. Распределение величин коэффициентов линейных трендов, осредненных вдоль фиксированных долгот. (1958–2017 гг.). Июль

Из анализа рисунка видно, что на всех долготах имеют место положительные коэффициенты линейного тренда, указывающие на рост температуры воздуха в многолетнем ходе. Наибольшее повышение температуры воздуха обнаруживается на долготах 35–37,5°в.д., где величина тренда достигает 0,5°С/10 лет. Наименьшие значения тренда отмечаются на востоке территории, с минимальными значениями b = 0,032 на долготе $\lambda = 52{,}5^{o}$ С. Иной вид имеет распределение линейных трендов на фиксированных широтах φ. Его характерные особенности представлены на рисунке 5.

Рис. 5. Распределение величин линейного тренда, осредненных вдоль фиксированных широт, июль (1958–2017 гг.)

Согласно данным, представленным на рисунке 5, величина скорости роста температуры по широтам слишком неоднородна. Самые значительные изменения происходят вдоль широт 45–50°с.ш. с экстремальным значением 0,498°С/10 лет на широте 47,5°с.ш. При перемещении от максимальных значений к северу, средние широтные величины тренда уменьшаются до уровня 0,032°С/10.

Таким образом, анализ линейных трендов, рассчитанных по всей выборке, указывает на то, что в многолетнем ходе средней месячной температуры в летний период имеет место положительный тренд, указывающий на рост температуры. Однако это происходит слишком неоднородно, что зачастую может искажать истинную картину. Поэтому на рисунке 6 представлены локальные распределения угловых коэффициентов линейного тренда для всех исследуемых узлов стандартной широтно-долготной сетки с шагом 2,5°.

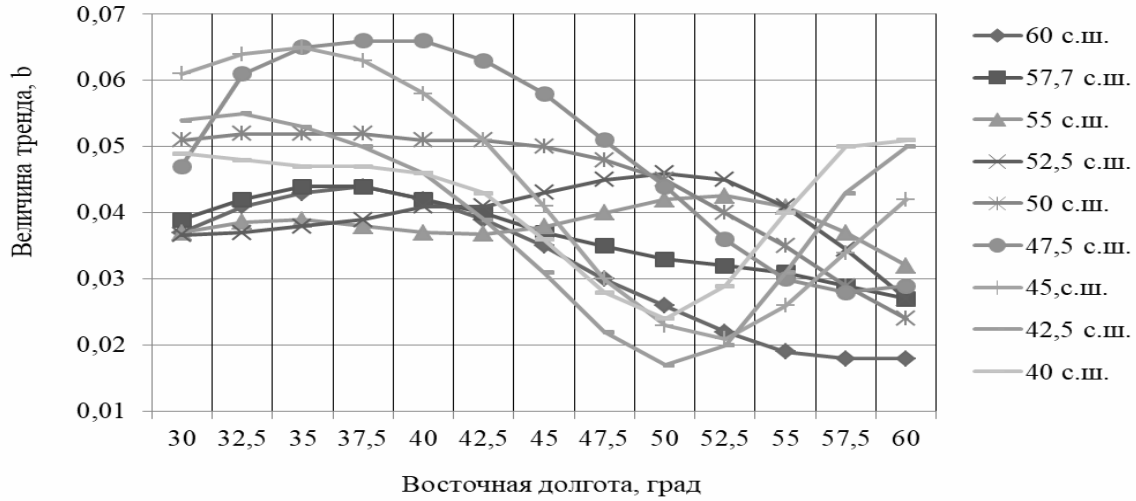


Рис. 6. Величина линейного тренда b в узлах регулярной сетки с шагом 2,5° (30–60°в.д., 40 – 60°с.ш.), июль (1958–2017гг.)

На рисунке 6, показаны индивидуальные значения коэффициентов линейного тренда b, рассчитанные на каждой широтной зоне φ_i ($i=1,2,....9$) при фиксированной долготе λ_j (1,2,…,13), где i и j – координаты 2,5°-ти градусного узла рассматриваемой территории (всего 117 узлов).

Из вида рисунка 6 следует, что на всей исследуемой территории знак тренда, полученный по всей выборке, положительный. Однако величина его колеблется от 0,017 ^{o}C/10 в точке с координатами 42,5^{o}с.ш., 50^{o} в.д. до 0,066^{o}C/10 в точке с координатами 47,5^{o}с.ш., 37,5^{o}в.д.

По характеру долготного распределения всю совокупность кривых можно разделить примерно на северную и южную половины территории. В северной группе кривых (52,5–60^{o}с.ш.) величина тренда колеблется незначительно: от 0,04 – в западных районах территории до 0,03 в восточных. В южной половине территории колебания более значительны: максимальные значения достигают величины до 0,066 на широте 47,5^{o}с.ш., и долготе 47,5^{o}с.ш.

Дополнительно проведены расчеты линейных трендов по отдельным временным периодам f_k, представленным на рисунке 7.

Рис. 7. Долготное распределение величины и знака коэффициента линейного тренда b, рассчитанного по различным выборкам f_k, июль

Из рисунка следует, что при расчете коэффициентов линейного тренда по отдельным периодам, на исследуемой территории в величине b и его знаке наблюдается пестрая картина. Наибольшие величины тренда, не зависимо от знака, наблюдаются в восточной половине территории, наименьшие во всех периодах – на долготах 40–50^{o}в.д. Кроме того, во всех периодах на отдельных долготах, наблюдаются отрицательный тренд, что указывает на многолетнее понижение температуры. Это особенно характерно для периода f_2 (1978–1997 гг.), в котором отрицательные тренды, достигают на долготах 55–60^{o} величины -0,061, что соответствует понижению температуры в этих секторах, до 0,6^{o}C/10 лет. В то же время в западной части территории температура воздуха повышалась, а на долготе 30^{o}в.д., согласно величине угла наклона линейного тренда, ее скорость составила 0,87^{o}C/10 лет. Что касается величины тренда, рассчитанного для современного периода (1998-2017гг.), то, по сравнению с предыдущими периодами, она значительно уменьшилась и не на всех долготах достигает величины 0,02, более того, на долготах 45–52^{o}в.д. наблюдаются отрицательные величины, хотя их значения не велики.

Проведенное исследование по анализу изменения климатических параметров на территории европейской части России показало, что в летний период года наличие глобального повышения температуры воздуха подтверждается лишь при значительном осреднении исходных данных и на большой длине выборки. Поэтому, при перспективном планировании мероприятий, необходимо основываться на выводах локальных исследований, которые показали, что даже рядом расположенные районы, могут иметь различные климатические тенденции в ходе температуры, отличные от общепризнанного мнения о глобальном потеплении. Кроме того, следует признать, что скорости изменения температуры воздуха в текущем временном периоде, по сравнению с предыдущим, значительно замедлены.

ЛИТЕРАТУРА

1. NCEP Model Analyses & Forecasts / National Oceanic and Atmospheric Administration [Электронный ресурс]. – URL: http://products.weather.gov/pdd/ncepmaf.pdf (дата обращения: 12.04.2016).

2. Акимов Л. М.Климатическая неоднородность температуры воздуха на территории восточной Европы в весенний период /Л. М. Акимов, Т.Н. Задорожная, В.П. Закусилов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2019. – №1. – С. 27–38.

3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской федерации. Общее резюме. – М.– 2014. – 58 с.

4. Груза Г.В. Географические и сезонные особенности современного глобального потепления. / Г.В.Груза, Э.Я. Ранькова, Э.В. Рочева, В.Д. Смирнов // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2015. –Т. 2, – С. 41—62.

5. Груза Г.В. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата Российской Федерации: температура воздуха./ Г.В.Груза, Э.Я. Ранькова // Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» – 2012. – 194 с.

6. Доклад Росгидромета об особенностях климата на территории Российской Федерациизa 2013 год. – М., Росгидромет – 2014. – 246 с.

7. Задорожная Т.Н. Климатическая изменчивость температуры воздуха летнего периода в приполярных районах Европейской территории / Т.Н. Задорожная, В.П. Закусилов // Материалы международной научно-практической конференции. Журнал Science Time. Общество науки и техники. – Казань. – 2018. – № 9(57). – С. 36-42.

8. Климатическая доктрина РФ. Постановление правительства РФ от 17 декабря 2009 № 851-рп. интернет: http://www.gistatgroup.com/ (дата обращения 15.12.2011).

9. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – 2008. – Т. 1. – Изменения климата. М., Росгидромет. – 227 с.

10. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменения современного климата. / Б.Г.Шерстюков // Изд. ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», Обнинск. – 2008. – 246 с.

XXI ВЕК. НОВЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯХ КЛИМАТА

З.С. Аллахвердиев, И.М. Зейналов
zabit.allahverdiyev@mail.ru, ismayil_zeynalov@outlook.com

Институт Географии им. Г.А. Алиева Национальной Академии Наук Азербайджана, г.Баку, Азербайджан

В работе рассмотрены основные принципы исследования климата с учетом использования современных методов и средств дистанционного зондирования. В основу базовых методов и средств метеорологических исследований с помощью актинометрической аппаратуры входят измерения уходящего собственного излучения Земли и атмосферы, уходящей коротковолновой радиации, отраженной Землей и ее атмосферой, и эффективной радиационной температуры земной поверхности или облаков [1].

Метеорологию интересуют характеристики состояния нижних слоев атмосферы (температура, давление, влажность скорость ветра) до высот от 30-50 км. Спутники же летают на высотах не менее 200 км. Как же с помощью спутников измерить метеорологические характеристики нижних слоев атмосферы? Оказывается, все сведения о характеристиках состояния нижних слоев атмосферы могут быть получены измерениями излучения Земли в различных участках спектра. Спутники используются для измерения потоков

лучистой энергии, которую Земля теряет в результате отражения солнечной радиации и собственного излучения в мировое пространство. Так как поток солнечной энергии на верхнюю границу атмосферы известен довольно хорошо (ее величина практически постоянна и равна 2 кал/см^{2}мин), то по этим измерениям можно определить энергию, оставшуюся на Земле, как разность падающего и уходящего излучения. Эта разность, в конечном счете, единственный источник энергии, обеспечивающий все процессы не только в атмосфере, но также в гидросфере и биосфере [2].

Между излучательной F_λ и поглощательной a_λ способностями тела имеется вполне определенная связь. Отношение излучательной способности к поглощательной в условиях термодинамического равновесия не зависит от природы тела: оно является для всех тел одной и той же функцией $B(\lambda,T)$ длины волны λ и температуры Т (закон Кирхгофа):

$$\frac{F_\lambda}{a_\lambda} = B(\lambda,T) \qquad (1)$$

Для черного тела $a_\lambda = 1$. Излучательная способность такого тела, согласно (1), равна $B(\lambda,T)$, т.е.

$$(F_\lambda)_{Ч.Т.} = B(\lambda,T) \qquad (2)$$

Таким образом, функция $B(\lambda,T)$ в законе Кирхгофа представляет собой излучательную способность абсолютно черного тела. В природе абсолютно черных тел не существует. Для всех реальных тел $a_\lambda < 1$. Согласно закону Кирхгофа, это означает, что все реальные тела излучают энергии меньше, чем абсолютно черное тело (при той же температуре). Многие тела особенно газы обладают селективным поглощением. Поэтому в соответствии с законом Кирхгофа они и излучают энергию лишь определенных длин волн, а энергия тех длин волн, которая не поглощается, телами и не излучается.

Аналитический вид функции $B(\lambda,T)$ был установлен в 1900 г. немецким физиком М. Планком. Исходя из представлений о квантовом характере процесса излучения, он для излучательной способности абсолютно черного тела (в полусферу) нашел функцию следующего вида:

$$B(\lambda,T) = \frac{c_1\lambda^{-3}}{\exp(\frac{c_2}{\lambda T}) - 1} \qquad (3)$$

где $c_1 = 3{,}7418\cdot10^{-16}$ Вт·м^2 и $c_2 = 1{,}438786\cdot10^{-2}$ м·К – первая и вторая постоянная излучения, Т-абсолютная температура тела (в кельвинах).

Графически распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела по длинам волн при разных температурах представлено на рисунке 1.

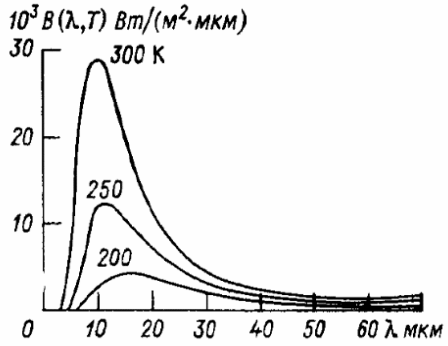


Рис. 1. Распределение энергии в спектре излучения абсолютно черного тела (кривая Планка)

Каждая кривая, соответствующая определенной температуре, имеет максимум, который при возрастании температуры смещается в сторону более коротких волн и становится более острым.

Длина волны λ_m, на которую приходятся максимум излучательной способности абсолютно черного тела, обратно пропорциональна температуре Т (закон смещения длины волны, или закон Вина):

$$\lambda_m = c'/T \qquad (4)$$

с` = 0,28976·10^{-2}м·*K* постоянная [3].

Пусть через площадку *dS* поверхности тела в единицу времени излучается во все стороны количество лучистой энергии *d*Ф. Количество энергии, излучаемой телом через единичную поверхность в единицу времени во всех направлениях (в пределах полусферы, носит название поверхностной плотности лучистого потока или энергетической светимости при поступлении энергии от других тел – энергетической освещенности). В дальнейшем эту величину будем кратко называть кратко-лучистым потоком или потоком радиации. Обозначив этот поток через *F*, запишем:

$$F = d\Phi / dS \qquad (5)$$

Под потоком радиации будем понимать также количество энергии, которое проходит через единичную поверхность в единицу времени, хотя эта энергия поступила от других тел (не связанных с рассматриваемой поверхностью). Единицей потока радиации в системе СИ служит Дж/($м^2$·с) или Вт/$м^2$.Это позволит ставить новые цели для развития прибора строения в исследованиях климата.

Перспективы развития космических систем наблюдения Земли вместе с совершенствованием аппаратурных комплексов, устанавливаемых на спутниках разных модификаций является основой современного развития науки и техники. Актинометрическая аппаратура метеорологических спутников Земли служит для измерения уходящего собственного излучения Земли и атмосферы, уходящей коротковолновой радиации, отраженной Землей и ее атмосферой, и эффективной радиационной температуры земной поверхности или облаков [1].

Составные элементы космической наблюдательной системы (группировки среднеорбитальных и высокоорбитальных космических аппаратов) создаются странами – спутниковыми операторами (Россия, США, Европейское сообщество, Япония, Китай, Индия) для решение задач, стоящих перед современной мировой наукой о климате.

1. Исследования климата Земли в прошлом и настоящем, включая его естественную изменчивость; исследования причин наблюдаемых колебаний и изменений, в т.ч. естественные долгопериодные моды изменчивости (Северо-Атлантическое колебание, Арктическое колебание, и др.); предсказуемость климатической системы на масштабах от сезона экстремальные климатические явления (в частности, находятся ли наблюдаемые и ожидаемые характеристики изменчивости (повторяемость, амплитуда) за пределами естественной изменчивости климатической системы; как и насколько изменился климат.

2**.** Уточнение количественных оценок факторов, определяющих изменения климата и связанных с ними других изменений, в т.ч. уменьшение неопределенности, связанной с источниками и стоками парниковых газов, выбросов аэрозолей, и их влияния на климат; мониторинг озонового слоя и исследования взаимодействий между изменением климата, истощением озонового слоя и другими атмосферными процессами; исследование взаимодействий между выбросами загрязняющих веществ, атмосферным переносом, изменением климата и управлением качеством воздуха; получение информации об углеродном цикле, покрове суши и землепользовании, биологических и экологических процессах - с целью получения количественных оценок поступления в атмосферу парниковых газов и т.о. совершенствования стратегий сокращения их выбросов; совершенствование разработки и применения сценариев выбросов (и связанных с ними прочих сценариев) для оценки будущих изменений климата.

3. Уменьшение неопределенностей оценок будущих изменений климата и связанных с ними других изменений, в т.ч. улучшение модельных описаний общей циркуляции

атмосферы и океана и их взаимодействия посредством потоков энергии и веществ; исследования ключевых обратных связей в климатической системе, в т.ч. включающие изменения количества и пространственного распределения водяного пара в атмосфере, площади морского льда и альбедо Земли, свойств облаков, а также биологических и экологических систем; исследование причин резких изменений климатической системы, например, термогалинной циркуляции Мирового океана; использование новых результатов исследований климатических процессов и обратных связей в климатических моделях с целью уменьшения неопределенностей, связанных с чувствительностью климатической системы к внешним воздействиям (например, радиационному); развитие национальных климатических моделей и более широкое их использование в фундаментальных и прикладных исследованиях.

4. Исследование чувствительности и способности к адаптации различных естественных и управляемых экосистем и населения к изменениям климата и других изменений, в т.ч. исследование чувствительности экосистем и экономического сектора к изменениям климата; определение и оценка возможностей адаптации - в сотрудничестве с представителями соответствующих ведомств и других органов управления природными ресурсами; исследование взаимного влияния изменений экосистем и экономической инфраструктуры в долгосрочной перспективе.

5. Изучение возможностей управления рисками и использования возможностей, связанных с изменением климата и его колебаниями, в т.ч. содействие общественному обсуждению проблем, представляющих особую важность для отдельных регионов и стран, и подготовка на регулярной основе официальных научных обобщений и оценочных докладов; научное обеспечение управления действиями по адаптации и планирования, связанных с влиянием изменения климата на экономику и население отдельных регионов и стран; обеспечение лиц, принимающих решения, аналитическими материалами и оценками социально- экономических и экологических последствий принятия тех или иных мер по адаптации и смягчению воздействий климатических изменений.

В современном мире перечисленные задачи решаются на международном и в той или иной мере на национальном уровне.

Крупнейшими международными программами, организующими исследования в области климата и смежных областях на сегодняшний день являются:

Всемирная программа исследования климата (ВПИК или WCRP, http://www.wmo.ch/web/wcrp-home.html),

Международная программа исследований геосферы и биосферы IGBP (http://igbp.kva.se),

Международная программа исследования роли человека в глобальном изменении окружающей среды IHDP (http://www.ihdp.org),

Международная программа исследований биоразнообразия DIVERSITAS (http://www.diversitas-international.org), Партнерство в области наук о Земле ESSP (например, Инициатива партнерства в области наук о Земле в Северной Евразии NEESPI (http://neespi.org)).

Для достижения этих целей созданы крупномасштабные международные проекты междисциплинарного характера, направленные на организацию систем наблюдений за климатом и на развитие методов моделирования его изменений.

В основе моделирования климата лежат сложные физико-математические модели. ВПИК включает четыре проекта, основными компонентами каждого из которых являются наблюдения за отдельными характеристиками климата и моделирование соответствующих физических процессов и климатической системы в целом:

- Климатическая изменчивость и предсказуемость (CLIVAR).
- Эксперимент по изучению глобальной энергии и гидрологического цикла (GEWEX).
- Стратосферные процессы и их роль в климате (SPARC).

- Климат и криосфера (CliC).

В каждом из указанных проектов существует большое число подпроектов с соответствующими координирующими органами, в рамках которых осуществляется обмен научно-технической информацией по исследованиям, проводимым в научных организациях разных стран. В рамках ВПИК предложен новый стратегический подход, названный “Координированные наблюдения и прогнозирование природной системы” (COPES) на период 2005-2015 гг. COPES объединяет существующие проекты ВПИК в единое целое в рамках основополагающих целей, направленных на повышения предсказуемости климатической системы. Цель COPES – усилить внимание к проблеме совершенствования прогнозов изменений и изменчивости природной среды и создать предпосылки для широкого применения достижений в этой области в различных практических приложениях.

ВПИК непосредственно содействует подготовке научных оценок изменения климата, которые готовятся МГЭИК. В свою очередь, доклады МГЭИК представляют собой авторитетные и наиболее полные научные выводы и рекомендации по проблеме изменения климата, которые служат основой в деятельности РКИК Организации объединенных наций и играют важную роль в принятии политических решений, среди которых широкую известность получил Киотский протокол.

Изучение влияния климата на водные ресурсы, водообеспеченность и социально-экономические условия при возникновении чрезвычайных гидрологических явлений в той или иной степени включены в международные программы и проекты, которые осуществляются под эгидой двух международных организаций - ЮНЕСКО и ВМО. Активное содействие в решении водных проблем оказывает международная неправительственная организация - Международная Ассоциация гидрологических наук (МАГН). Гидрологические программы ЮНЕСКО имеют научную направленность и нацелены на изучение и оценку водных ресурсов, водного баланса, различных видов гидрологических явлений и процессов, механизма их возникновения и развития под влиянием деятельности человека и климатических изменений. В настоящее время в ЮНЕСКО реализуются две основные программы - Международная Гидрологическая Программа и Всемирная Программа Оценки Воды. Программы ВМО имеют преимущественно оперативный характер и осуществляются в области развития гидрологических сетей и службы гидрологических прогнозов. Главной гидрологической программой ВМО является Программа по Гидрологии и Водным Ресурсам. В составе ВМО имеются и другие программы, в которых большое внимание уделяется научным гидрологическим аспектам изменения климата. В рамках МАГН осуществляется несколько проектов, среди которых заслуживают упоминания такие, как «Поверхностные воды» и «Гидрология снега и льда». Физическая климатическая система неразрывно связана с биогеохимической системой и с деятельностью человека. Для понимания и предсказания климатических изменений и их влияния на хозяйственную деятельность человека необходимо в более широком аспекте изучать интегрированную земную систему, которая осуществляется в рамках вышеупомянутых международных программ IGBP, IHDP, DIVERSITAS, ESSP [4].

Заключение

Проведенный анализ показал, что для развития современных методов и средств исследований климата в различных спектрах излучения важную роль играют исследования свойств поглощения и излучения энергии по законам Кирхгофа и Планка.

Согласно закону Вина были рассмотрены распределения энергии в спектре излучения абсолютного черного тела по длинам волн при разных температурах, для современного развития науки и техники в области развития космических систем наблюдения аппаратурных комплексов, устанавливаемых на спутниках с целью измерения уходящего собственного излучения Земли и атмосферы.

Также детально рассмотрены реализуемые международные программы IGBP, IHDP, DIVERSITAS, ESSP исследований климата в рамках деятельности таких организаций как ЮНЕСКО и ВМО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Актинометрическая аппаратура советских метеорологических спутников Земли / Бескин В. В., Гаевский В. Л., Зенков В. В., Красильщиков Л. Б., Хлопов Б. В., Хрусталев В.А., Шустер Г. И. // Труды ГГО. – 1968.– Вып. 221.– Стр. 3-7.

2. Малкевич М.С. Спутниковая метеорология // Курс общей метеорологии. Физика атмосферы: под ред. Л.Т. Матвеева. Издание 2-е переработанное. – Ленинград, 1984. – 751 с.

3. http://epizodsspace.airbase.ru/bibl/ziv/1965/6/31-35a.pdf.

4. http://www.meteorf.ru/upload/iblock/e5b/3380-Verstka-19-may-2006-A4-compr.pdf.

ИНЖЕНЕРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОСАДКОВ

АМ.Ф. Аль Дарабсе, Е.В. Маркова
amersamarah4@mail.com

Институт авиационных технологий и управления,
Ульяновский государственный технический университет, г.Ульяновск, Россия

В настоящее время ученые и руководители по водным ресурсам сталкиваются с вопросом о том, можно ли предвидеть тенденции изменения климатических переменных, которые влияют на водоснабжение и опасности. Мы исследуем, в какой степени моделирование климатической модели может дать точные прогнозы будущей гидрологической нестационарности в виде изменений количества осадков. Мы сравниваем данные наблюдений с привязкой к сетке (продукт полных данных GPCC, 1901–2010 гг.) и выходные данные климатической модели (моделирование CMIP5 Historical и RCP8.5, 1901–2100 гг.) в экспериментах с реальными и синтетическими задними данными. Эксперименты с задним ходом показывают, что применение трендов осадков на основе среднего значения модели климата уменьшило среднеквадратичную ошибку оценок трендов осадков за 1961–2010 гг. на 9% по сравнению с предположением (подразумеваемым гидрологической стационарностью) отсутствия тренда осадков. С учетом ускорения темпов изменения климата, выгоды от включения оценок климатических моделей тенденций осадков в планирование водных ресурсов, по прогнозам, возрастут в течение следующих десятилетий. Распределение смоделированных трендов осадков в климатических моделях демонстрирует существенные пространственно-согласованные отклонения, позволяющие предположить, что могут быть возможности для дальнейшего улучшения параметризации климатических моделей и их использования для оценки осадков. Линейная экстраполяция наблюдаемых тенденций в записях о длительных осадках также может быть полезной, особенно для сроков, составляющих менее 25 лет. В целом, наши результаты показывают, что моделирование с помощью современных глобальных моделей климата в сочетании с постоянным ведением гидрологических наблюдений на месте может предоставить полезную информацию о будущих изменениях в гидрологическом цикле.

В существующем нестационарном режиме, связанном с изменением климата, прогнозирование тенденций в гидрологических переменных, таких как осадки, будет иметь большое значение для планирования водных ресурсов, с приложениями, начиная от принятия муниципальных решений и заканчивая энергетическим моделированием, экологическим управлением и подготовкой к стихийным бедствиям. Моделирование климатической модели широко используется для генерации сценариев будущих изменений осадков для таких применений. Тем не менее, способность глобальных климатических моделей (ГКМ) точно представлять воздействия климатического воздействия на осадки неясна: ГКМ имеют большие известные отклонения в представлении современного распределе-

ния осадков, а разные ГКМ отличаются даже по признаку ожидаемого изменение количества осадков во многих регионах при определенных сценариях климатического воздействия. Учитывая сохраняющуюся неопределенность в отношении способности ГКМ моделировать изменение осадков, некоторые гидрологи и управляющие водными ресурсами рекомендовали поддерживать допущение стационарности для планирования водных ресурсов, в то же время повышая надежность и отказоустойчивость, когда это возможно, в качестве мер предосторожности, в ожидании более четких сигналов от наблюдений и улучшения в научном понимании.

Здесь мы используем два способа эмпирической оценки качества моделирования трендов осадков в GCM:

(1) эксперименты с синтетическими данными и (2) обратные передачи с данными наблюдений за осадками. Эксперименты с синтетическими данными оценивают способность GCM прогнозировать тренды осадков, моделируемые, например, другим GCM при заданном воздействии. Обратные прогнозы наблюдений оценивают точность GCM при моделировании прошлых трендов осадков. Синтетические данные обладают преимуществом полноты и способности к полной характеристике (являющейся результатом численной модели), и эксперименты с синтетическими данными можно проводить для любых желаемых граничных условий и воздействия на климат. Наблюдения ограничены в доступности и имеют не полностью охарактеризованные ошибки, но имеют важное преимущество, исходя из реальной системы Земли, с которой сталкиваются планировщики. Объединение этих двух подходов позволяет более амбициозным сравнениям, которые могут быть выполнены с синтетическими данными, быть привязанными к результатам о том, насколько хорошо синтетические данные сравниваются в предсказуемости с фактическими наблюдениями.

Мы представляем оценку методов прогнозирования трендов осадков для:

а) задних прогнозов 1960–2010 гг. с использованием данных наблюдений или синтетических данных (модель климата);

б) 2011 г. позволяют лучше прогнозировать изменения осадков по сравнению с экстраполяцией на основе исторических данных.

В отличие от многих предыдущих сравнений смоделированных и наблюдаемых трендов осадков, мы рассматриваем тренды, близкие к масштабу модельной сетки, а не агрегируем в более крупные регионы (полосы широт и континенты), тренды которых имеют тенденцию быть менее полезными для лиц, принимающих гидрологические решения.

Данные наблюдений. В качестве оценки осадков, основанной на наблюдениях, мы использовали продукт с полными данными Глобального центра климатологии осадков (GPCC), версия 6, с пространственным разрешением 2,5◦. Этот ежемесячный продукт GPCC доступен для 1901–2010 годов и охватывает глобальные земельные площади, исключая Антарктику. Оценки осадков с привязкой к сетке основаны на большем количестве датчиков, чем на любом другом доступном продукте, который охватывает сравнительно большой промежуток времени, что уменьшает смещение по сравнению с климатическими моделями. Этот продукт был ранее по сравнению с тенденциями осадков GCM.

Мы получили месячные поля осадков из GCM-моделирования, проведенного для Фазы 5 проекта взаимного сравнения связанных моделей (CMIP5), заархивированной Федерацией грид-систем Земли. Мы отобрали все доступные имитации GCM с полными месячными полями осадков для прогонов Межправительственной группы по историческим изменениям климата (1901–2005) и RCP8.5 (2006–2100). Сценарий воздействия RCP8.5 был выбран, поскольку он экстраполирует последние тенденции выбросов. В результате было получено 25 ГКМ с полными модельными глобальными полями осадков за 1901–2100 гг. В общей сложности 56 участников ансамбля были доступны для этих пробегов, хотя большинство GCM (16/25) имели только один доступный член ансамбля. Если для одного и того же GCM было предоставлено несколько членов ансамбля, мы выбрали только одного (первый по буквенно-цифровому порядку имени). Поля осадков GCM бы-

ли преобразованы в ту же сетку 2.5◦, что и в продукте GPCC, с помощью билинейной интерполяции с сохранением количества.

Задние эксперименты: данные наблюдений. Мы предположили, что годовой временной ряд осадков P (t) можно представить в виде:

$$P(t) = \bar{P}(t) + z(t), \qquad (1)$$

где $\bar{P}(t)$ - компонент плавного тренда, в то время как z(t) - высокочастотный компонент с нулевым средним с небольшой годовой устойчивостью.

Основываясь на имеющихся данных вплоть до моделирования времени t1 и GCM, наша цель состояла в том, чтобы дать обратную передачу изменения осадков $\bar{P}(t_2) - \bar{P}(t_1)$ для различных моментов времени $t_2 > t_1$. Наблюдаемая величина изменения была определена с использованием сплайн-сглаживания всего временного ряда осадков для оценки $\bar{P}(t)$.

Мы сравнили три метода экстраполяции и один метод на основе GCM для этой ретроспективной передачи:

(1) Задний ноль изменения осадков, так что $\bar{P}(t_2) = \bar{P}(t_1)$ (прогноз стационарности или устойчивости, чел.)

(2) Используйте линейную регрессию за период с 1901 по t_1, чтобы оценить скорость изменения количества осадков, и предположите, что тот же линейный тренд продолжается до t2 (прогноз линейной экстраполяции).

(3) Установите сглаживающий кубический сплайн (используя метод Вапника для выбора параметра сглаживания) для периода с 1901 по t_1, чтобы оценить скорость изменения осадков в момент времени t_1, и линейно экстраполируйте кривую сплайна на t_2 (прогноз экстраполяции сплайна). Этот метод приближается к результату линейной регрессии, если период данных короткий или тренд существенно не нелинейный. Подобная форма сплайн-экстраполяции ранее использовалась для оценки изменений в экстремальных условиях холода.

(4) Подгонка сглаживающего кубического сплайна к осадкам от каждого прогона ГКМ с использованием всего прогона с 1901 по 2010 г. и использование многомодельного среднего $\bar{P}(t_2) - \bar{P}(t_1)$ в качестве прогноза (прогноз многомодельного среднего, ммм). Использование многомодельного среднего согласуется с предыдущими данными о том, что мультимодельные средние значения обычно лучше, чем отдельные GCM, при сравнении наблюдений с ансамблями климатической модели.

Задний ход начинался каждый год с 1960 по 2009 год в последующие годы в диапазоне 1961–2010 (на 1–50 лет вперед). Основным показателем качества обратной передачи была среднеквадратичная ошибка (RMSE) в тенденции обратной передачи, усредненная по ячейкам наземной сетки и по времени выполнения задних передач. Средние значения по ячейкам сетки были взвешены по площади ячейки.

Эксперименты с задним прогнозом и прогнозом: синтетические данные. Задний прогноз, который начинался каждый год с 1960 по 2009 год, также проводился с использованием одного из полей осадков ГКМ в качестве синтетических данных вместо наблюдений. Задние трансляции выполнялись точно так же, как и с данными наблюдений, и повторялись, когда каждый из 25 ГКМ по очереди служил синтетическими данными, а остальные 24 использовались для построения многомодового среднего прогноза. Результаты синтетических данных представлены как средние значения по этим 25 реализациям.

Прогнозы также начинались каждый год с 2010 по 2099 год на последующие годы в диапазоне 2011–2100 (на 1–90 лет вперед). Для них с 1901 года использовались модельные поля осадков для оценки тенденций.

Что глобальные климатические модели, представленные в материалах CMIP5, обладают определенными навыками для представления трендов осадков за последние десятилетия, даже если они оцениваются в пространственном масштабе, близком к исходному масштабу сетки моделей (2,5◦). Использование отдельных выходов климатической модели в качестве синтетических данных, по сравнению с использованием наблюдений, при-

водит к оценкам этого навыка, которые являются завышенными, но правильного порядка (например, снижение СКО на 16% против 9%).Это придает уверенность прогнозным оценкам 21-го века с использованием синтетических данных, которые показывают существенные навыки для среднего значения модели по сравнению с предположением о стационарности. Таким образом, представляется вероятным, что применение коэффициентов изменения осадков на основе ансамбля CMIP5 к планированию водных ресурсов приведет к принятию более эффективных решений, чем отсутствие использования оценок осадков в этих моделях.

Снижение RMSE на 9%, наблюдаемое для тенденций выпадения осадков на Земле, аналогично величине корреляции, обнаруженной между наблюдаемыми и смоделированными тенденциями стока в 20 веке. Интерпретация трендов стока, однако, сложнее, чем трендов осадков, поскольку на поток влияет не только количество осадков, но и температура, атмосферный CO_2 (регулирование проводимости устьиц растений и, следовательно, скорости дыхания), а также антропогенное изменение землепользования и регулирование воды и отвлечение. Таким образом, способность смоделированных климатических трендов напрямую информировать о прогнозах стока, резервуара, влажности почвы и других гидрологических переменных на поверхности земли остается важным практическим вопросом. Другие климатические переменные, такие как интенсивность осадков, также важны для планирования водных ресурсов и готовности к опасным природным явлениям, и способность ГКМ вносить вклад в оценки будущих тенденций в этих количествах может быть изучена с использованием методов, используемых здесь для определения среднего количества осадков.

Здесь мы изучали только способности GCM прогнозировать тренды осадков $\bar{P}(t_2) - \bar{P}(t_1)$ в обозначениях, использованных выше). Абсолютные количества осадков $\bar{P}(t_1)$,конечно, также важны для управления водными ресурсами, и здесь явно необходимы длинные, точные временные ряды наблюдений. Таким образом, поддержание и расширение сетей для осадков и других гидрологических наблюдений имеет решающее значение для принятия обоснованных гидрологических решений, а также для оценки результатов климатической модели в предстоящие десятилетия. В случае длинных высококачественных временных рядов наблюдений экстраполяция наблюдаемой тенденции может фактически превзойти прогнозы GCM для более коротких сроков выполнения заказов (например, менее чем около 25 лет), как это видно из экспериментальных прогнозов по синтетическим данным 21-го века. Также рекомендуется сверяться с местными наблюдениями и гидрологическим опытом, чтобы подтвердить, что исторические тренды осадков, оцененные с использованием глобальных наборов данных с привязкой к сетке, таких как GPCC, действительны для конкретной области интереса.

Одно предостережение заключается в том, что в наших анализах рассматривалась только одна траектория радиационного воздействия в течение 21-го века (RCP8.5). Неопределенность в отношении путей выбросов будет иметь тенденцию к увеличению среднеквадратичного значения многомодельного среднего значения в качестве оценки трендов осадков, особенно при длительных сроках (более нескольких десятилетий), когда выбор будущего пути выбросов оказывает заметное влияние на прогнозируемое радиационное воздействие.

Навык климатических моделей в ретроспективном прогнозировании изменений осадков обусловлен их способностью моделировать наблюдаемые изменения, что явно несовершенно. Даже когда смоделированные изменения имеют правильный знак, они редко имеют правильную величину - например, увеличение количества осадков в большей части Арктики существенно недооценено. Причины этих расхождений изучаются. Например, расхождения между смоделированными и наблюдаемыми тенденциями выпадения осадков в Европе, по-видимому, связаны с модельной недооценкой потепления температуры поверхности моря в Северной Атлантике и тенденций в разнице давления Средиземноморье-Скандинавия. На самом деле, плохое моделирование потепления в тропическом океане может быть важной причиной расхождений между моделируемыми и

наблюдаемыми тенденциями выпадения осадков над Северной Америкой и Северной Африкой, а также Европой. На тропических земельных участках изменчивость в южном колебании может быть важной причиной расхождений моделей наблюдений в тенденциях осадков. Реакция осадков Северного полушария в течение 20-го века на антропогенные аэрозоли, по-видимому, недооценена в большинстве ГКМ, что дает дополнительное возможное объяснение расхождений в моделях наблюдений.

Осадки будут улучшаться за счет улучшения представления соответствующих микрофизических и динамических процессов в атмосфере, океане и на поверхности суши. В ожидании таких улучшений модели, возможно, также стоит выяснить, можно ли использовать эмпирические поправки среднего значения многомоделей для смещений, использующих историческую запись, для создания улучшенных прогнозных продуктов, особенно для ближайшего срока (время выполнения заказа до нескольких десятилетий). Такое адаптивное к данным использование климатических моделей может быть изучено, например, с использованием методов машинного обучения.

Наши эксперименты с задним прогнозом и прогнозом показывают, что климатические модели обладают определенными навыками для моделирования изменения осадков в течение следующих нескольких десятилетий. Учитывая значительные региональные изменения (во многих местах значительно превышающие 1 стандартное отклонение) осадков, наблюдаемые за последнее столетие, предположение о гидрологической стационарности является субоптимальным для планирования даже с учетом ограничений современных климатических моделей. Прогнозы осадков могут быть дополнительно улучшены путем устранения недостатков моделей или путем эмпирической коррекции смоделированных пространственных моделей изменения осадков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Al-Darabseh A.M.F. Teachingandassessmentstrategies // В сборнике: Студент и наука (гуманитарный цикл) – 2017 / Материалы международной студенческой научно-практической конференции. Главные редакторы Н.Н. Макарова, Е.В. Олейник. Ответственный редактор А.С. Гаан. – 2017. – С. 535-538.

2. Аль-Дарабсе А.М.Ф. Исследование экономических систем в авиастроении на основе методологии функционально-стоимостной инженерии // В сборнике: Молодежь и наука XXI века Материалы Международной научной конференции. – 2018. – С. 470–472.

3. Маркова Е.В., Соколова О.Ф. Проблемы сертификации персонала предприятий авиационно-космического комплекса и организаций самарской области в условиях рынка // Известия Самарского научного центра Российской академии наук – 2018. – Т. 20. – № 4-3. – С. 504-508.

4. Аль-Дарабсе А.М.Ф. Последствия инфляции и способы их устранения // В сборнике: Экономическая наука и хозяйственная практика: современные вызовы и возможности кооперации теоретико-методологических и прикладных исследований / Материалы международной научно-практической конференции ИСЭИ УФИЦ РАН, НИЦ ПНК – 2018. – С. 13-16.

5. Маркова Е.В. Политика управления оборотным на предприятии с целью повышения финансовой устойчивости.//В сборнике: Актуальные проблемы финансов глазами молодежи сборник научных трудов. – 2018. – С. 27-31.

6. Вольсков Д.Г. Оптимизация численным методом основных параметров самолёта // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. – № 6-2. – С. 399-405.

7. Вольсков Д.Г., Маркова Е.В. Изменение поисковых алгоритмов поисковыми системами на примере google // Международная научно-практическая конференция. Интеграция науки, общества, производства и промышленности. – 2018. – С. 6-8.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОСАДКОВ

В.В. Андронников, Л.Н. Костылева
kostyleva12@yandex.ru

Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г.Воронеж, Россия

Атмосферные осадки, как и погода в целом, играют важную роль в жизнедеятельности человека. Например, выпадение осадков играет большую роль в изменении видимости в атмосфере. Уменьшение видимости в осадках зависит как от их вида (ливневые, обложные, моросящие), так и от формы осадков (капли, снежинки). При обеспечении безопасности полетов необходимо знать, насколько уменьшается метеорологическая дальность видимости в осадках того или иного вида. Поэтому изучение условий, влияющих на распределение, а также их интенсивность вызывает интерес многих ученых.

В первую очередь, следует представлять, при каких синоптических, климатических и физико-географических условиях происходит выпадение осадков. В метеорологическом отношении факторы, обусловливающие видимость в различных воздушных массах, можно разделить на две основные группы: макромасштабные и мезомасштабные.

К макромасштабным относятся факторы, связанные с формированием и перемещением воздушных масс и проявляющиеся над обширными территориями. В основном это относится к циклоническим и антициклоническим образованиям.

К мезомасштабным относятся факторы, связанные с местной циркуляцией воздуха, с топографией местности, наличием таких водных объектов, как большие реки и озера. С этой точки зрения представляют интерес некоторые климатические и физико-географические особенности выбранного района прогнозирования.

В 90% случаев осадки над территорией Центрального Черноземного Района (ЦЧР) выпадают при прохождении через данный район циклонов и связанных с ними атмосферных фронтов, поэтому нам исследовалась повторяемость их прохождения в зависимости от преобладающего направления перемещения воздушных масс. Полученные данные представлены в таблице 1 и рисунке 1.

Рис. 1. Повторяемость осадков в циклонах по сезонам года

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что наибольшее количество циклонов приходит на территорию ЦЧР при западном переносе воздушных масс,

как в зимнее, так и в летнее время года. С этого направления на Европейскую территорию Российской Федерации в основном наблюдается адвекция теплого воздуха. Очень маленький процент приходится на циклоны, которые образуются непосредственно над территорией ЦЧР.

Таблица 1. Повторяемость циклонов над территорией ЦЧР в зависимости от направления переноса воздушных масс (%)

Сезон	Мало градиентное поле	Стационарный	Западный	Северо-западный	Южный, юго-западный, юго-восточный	Возникающий на ЕТР
Летний	2,7	0,0	27,8	16,9	6,7	1,3
Зимний	14,4	3,1	21,0	5,8	3,4	5,4

Предварительно, в интересах обеспечения безопасности полетов авиации, целесообразно разделить имеющиеся архивные данные по интенсивности и дальности видимости в осадках. При этом осадки, ухудшающие видимость до 2000 м и менее, определим как сильные, до 2000-4000 м – как умеренные, и не менее 4000 м – как слабые. Результаты анализа представлены в таблице 2 и рисунке 2.

Таблица 2. Повторяемость направлений перемещения воздушных масс (%)

Интенсивность осадков	Южное	Юго-западное	Западное	Северо-западное
Слабые	9	9	73	9
Умеренные	28	32	32	8
Сильные	62	21	14	3

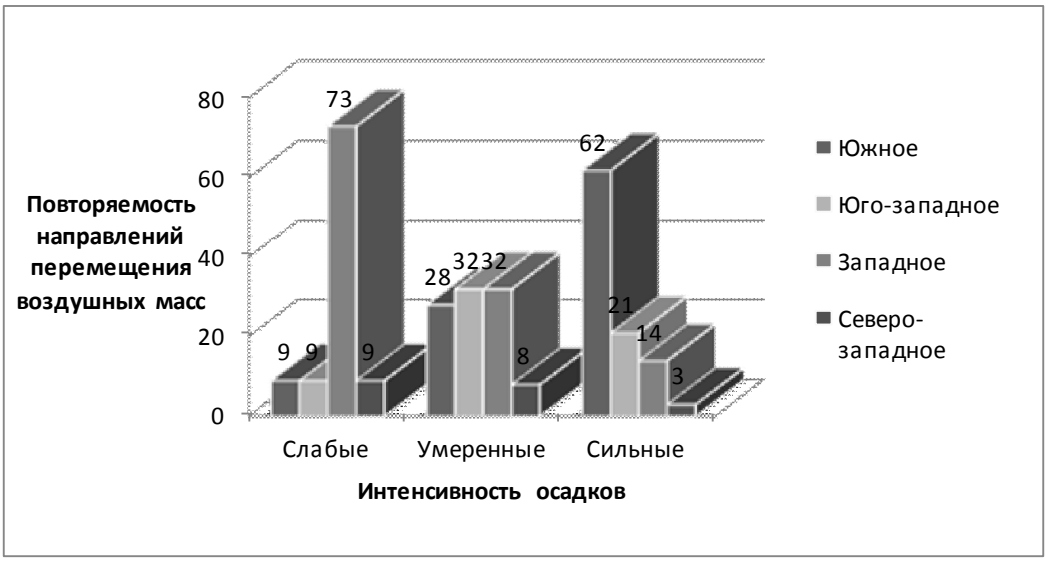


Рис. 2. Зависимость интенсивности осадков от направления перемещения воздушных масс

Из анализа таблицы 22 и рисунка 2 можно заключить, что наиболее значительные осадки, ухудшающие дальность видимости до 2000 м и менее, наблюдались при южном и юго-западном переносе воздушных масс. При западном и северо-западном направлении перемещения наиболее часто отмечались умеренные и слабые осадки.

В данном исследовании для разработки прогноза интенсивности осадков по пункту Воронеж за период времени 10 лет использовались следующие предикторы: сумма дефицитов на изобарических поверхностях 500, 700 и 850 гПа; лапласиан приземного давления; температура у земной поверхности. Количество осадков измерялось за срок 07 часов. Данные радиозондирования брались за срок 03 часа.

В результате обработки архивной выборки было получено уравнение регрессии для величины интенсивности осадков (1):

$$Q = 4{,}42947 - 0{,}30464(\sum_{850}^{500} D) - 0{,}12094(\Delta P_0) - 0{,}05820(T_0)\,, \qquad (1)$$

где $\sum_{850}^{500} D$ - сумма дефицитов на изобарических поверхностях 500, 700 и 850 гПа;

ΔP_0 - лапласиан приземного давления;

T_0 - температура у земной поверхности.

Оправдываемость прогноза интенсивности осадков по полученной формуле составила 80%.

Была предпринята попытка рассчитать максимальную интенсивность осадков для различных интервалов времени на различных метеостанциях Воронежской области. Результаты расчета представлены в таблице 3.

Таблица 3. Максимальная интенсивность осадков для различных интервалов времени (мм/мин) год

Интервалы времени	минуты				часы			
	5	10	20	30	1	12	24	48
Воронеж	2.0	1.5	0.8	0.6	0.4	0.10	0.05	0.03
Каменная Степь	2.3	1.5	1.0	0.7	0.4	0.07	0.04	0.02
Лиски	1.1	1.0	0.7	0.6	0.4	0.07	0.04	0.03
Митрофановка	2.6	2.2	0.6	1.3	0.8	0.06	0.04	0.02

Рассмотрена повторяемость различных значений температурных и влажностных параметров атмосферы при умеренных и сильных осадках. Наиболее информативными параметрами атмосферы для прогноза осадков является температура воздуха и дефицит точки росы у поверхности земли.

Из анализа данных в таблице 4 видно, что при сильных осадках наибольшая повторяемость температуры воздуха у земли приходится на интервал от -6 до -10°С, при этом наибольшая повторяемость дефицита влажности приходится на интервал 1-2 °С.

Таблица 4. Зависимость интенсивности осадков от температуры и влажности воздуха

Интенсив-ность осадков	Температура воздуха,°С			Дефицит влажности, °С				
	>0	0-5	-6 - -10	<-10	0	1-2	3-5	>6
Умеренные	9	50	23	18	14	9	27	-
Сильные	7	17	48	28	34	55	11	-

Случаи выпадения умеренных осадков приходятся соответственно на интервалы от 0 до -5°С и так же 1-2°С. В целом при сильных и умеренных осадках температура воздуха у земной поверхности в 70% случаев лежит в пределах от 0 до -10°С.

Таким образом, выявлены климатические факторы, влияющие на интенсивность выпадения осадков. Приведен метод прогнозирования интенсивности осадков на территории ЦЧР. Рассчитана максимальная интенсивность осадков для различных интервалов времени на различных метеостанциях Воронежской области. Рассмотрена повторяемость различных значений температурных и влажностных параметров атмосферы при умеренных и сильных осадках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Практикум по дисциплине «Синоптическая метеорология». – Воронеж: Издательство ВВВАИУ,1995. – 122 с.

2. Руководство по практическим работам метеорологических подразделений авиации Вооруженных Сил. – М: Воениздат, 1992. – 486 с.

3. Семенченко Б. А. Физическая метеорология. – М: Аспект Пресс, 2002. – 415 с.
4. Снитковский А. И. Краткосрочный прогноз осадков. – М: Метеорология и гидрология, 1981. – № 7 – С. 6-17.
5. Дмитриева-Арраго Л.Р. Методы краткосрочного прогноза неконвективной облачности и осадков на основе модели преобразования влаги с учетом параметризации микрофизических процессов. // Метеорология и гидрология, 2004. – № 2. – С. 5-26.

СОЗДАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ КАРТ СУММ АКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР В СВЯЗИ С СОСТАВЛЕНИЕМ ДОЛГОСРОЧНЫХ ПРОГНОЗОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А.Н. Афонин, Е.А. Милютина, Ю.А. Федорова
a.afonin@spbu.ru

Санкт-Петербургский государственный университет, г.Санкт-Петербург, Россия

С 80-х годов двадцатого столетия стремительно развивается направление моделирования экологических ниш (species distribution modelling (SDM) или environ mentalniche modelling) [6]. Технологии моделирования ниш позволяют с высокой степенью точности прогнозировать и картировать территории распространения биологических объектов, основываясь на знании экологических амплитуд видов и сообществ сопоставленных с известным пространственным распределением экологических факторов среды. Стандартом де-факто при составлении экологических моделей служат карты WorldClim [5]. Они включают слои компьютерных карт среднемесячных температур воздуха, осадков и производных биоклиматических параметров. Слои растровые, их пространственное разрешение от 30" (~1 км) до 10' (~20 км). Карты представлены в открытом геоинформационном формате и могут быть использованы в различных геоинформационных системах (ГИС) для расчета экологических моделей. Актуальность направления и востребованность карт может быть охарактеризована количеством публикаций, которое ссылается на World-Clim– с момента опубликования набора до настоящего времени их количество составляет более 10 тысяч. Включая большое количество производных биоклиматических слоев, набор WorldClim, тем не менее, не содержит некоторые из них, наиболее существенные в экологическом моделировании. Наиболее существенно отсутствие карт сумм активных температур воздуха (САТ).

Для того чтобы восполнить этот пробел, нами на основе существующей базовой методики пересчета среднемесячных температур в суммы активных температур [2], была отработана модифицированная методика создания карт сумм температур за периоды, учитывающие пороговые для биологических объектов длины дня. Примером может служить карта сумм температур воздуха выше 0^{o}C за период от перехода длины дня через 14 часов в конце вегетации, до наступления первых осенних заморозков (рис. 1).

Необходимость создания такой карты диктовалась потребностью оценки перспектив распространения вредоносного растения амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia* L.) в высокие широты. Основным, лимитирующим распространение амброзии в высокие широты, фактором среды служит недостаточное количество тепла в период созревания семян. Поскольку зацветание этого короткодневного вида возможно при длине дня порядка 14 часов и меньше, суммы активных температур рассчитывались именно за указанный период. Карта была составлена с использованием среднемесячных глобальных температурных слоев взятых из набора WorldClim1 [7].

Наложение на составленную карту известных точек произрастания амброзии с северной границы современного ее ареала позволило количественно оценить экологический

лимит распространения вида – он составил 670°С – и создать карту потенциала распространения амброзии на север.

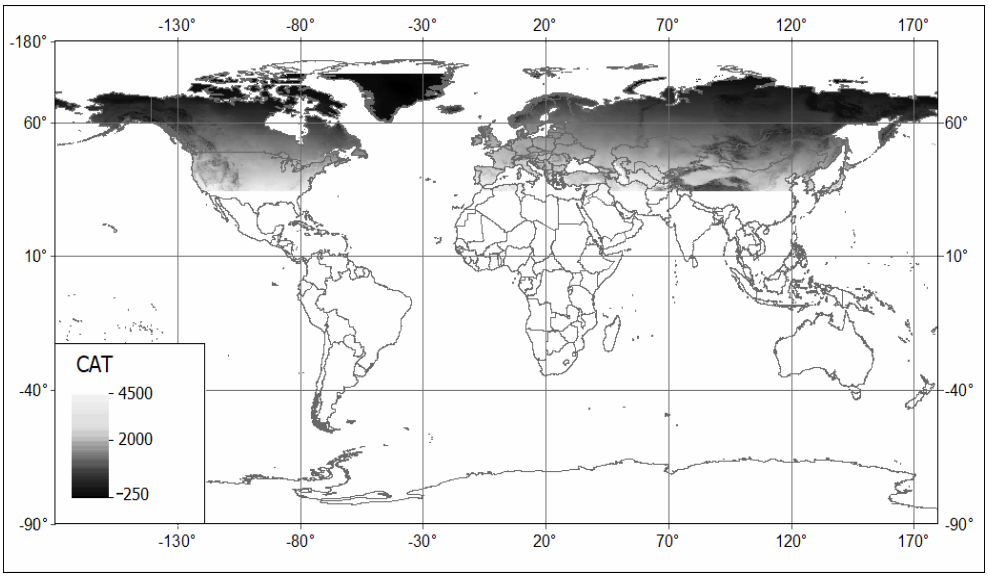


Рис. 1. Карта сумм температур воздуха выше 0°С за период от перехода длины дня через 14 часов в конце вегетации, до наступления первых осенних заморозков

В настоящее время северная экологическая граница распространения амброзии проходит по линии Курск – северные границы Воронежской и Волгоградской областей. Остро стоит вопрос о возможности продвижения амброзии дальше на север, в том числе до Москвы. С тем, чтобы оценить перспективы дальнейшего продвижения амброзии на север мы составили карты САТ по среднемесячным температурным слоям глобальных климатических моделей. В качестве базовой была взята глобальная модель HadGEM2-ES (EarthSystemModel) [4], одна из лучших при моделирования многолетних температурных трендов именно на интересующий нас регион - Европейскую территорию России (ЕТР) [3]. Климатическая модель HadGEM2-ES используется как для оперативного прогнозирования погоды, так и для исследований климата, это первая модель Met Hadley Centre, в которую в качестве стандарта были включены такие компоненты как наземный и океанический углеродный цикл и химия тропосферы. Результат полученного моделирования показал высокую вероятность продвижения экологических границ амброзии 2050 году в центральных областях ЕТР до 56°с.ш., а на западе ЕТР и в более высокие широты, даже для наименее агрессивного сценария эмиссии парниковых газов Representative Concentration Pathways (RCP-2.6) (рис. 2).

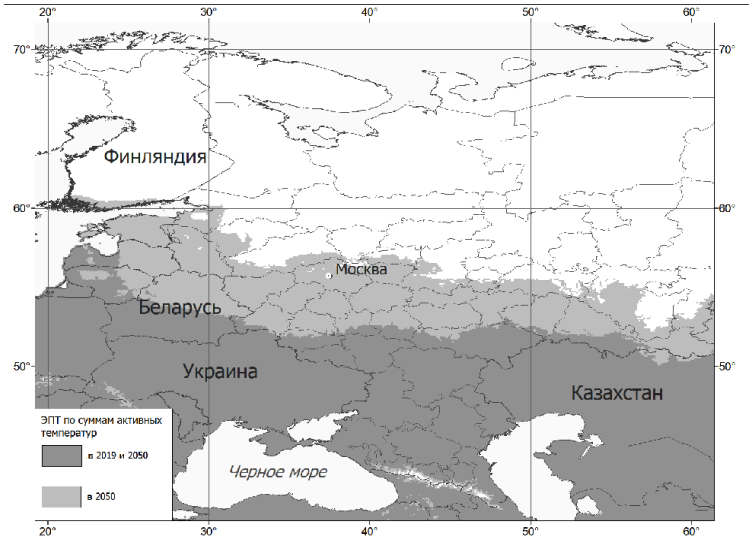


Рис. 2. Изменение экологически пригодной для амброзии территории (ЭПТ) по показателю САТ>670°С в 2050 по сравнению с 2019 годом

Полученные карты сумм температур выставлены на интернет-платформе и могут быть использованы для решения задач экологического анализа и моделировании распространения биологических объектов, составления агроклиматических прогнозов и для климатического районирования (http://app.o-gis.org) [1].

Работа проведена при поддержке гранта РФФИ, проект 19-05-00610

ЛИТЕРАТУРА

1. Афонин, А.Н., Севрюков, С.Ю., Соловьев, П.А., Лунева, Н.Н. Веб-ГИС для решения задач эколого-географического анализа и моделирования: новые возможности// Вестник СПбГУ, серия 7, География и геология. 2016. – Вып. 4. – С. 97-111.

2. Кельчевская Л.С. Методы обработки наблюдений в агроклиматологии. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 216 с.

3. Кокорев В.А., Шерстюков А.Б. О Метеорологических данных для изучения современных и будущих изменений климата на территории России / Арктика. XXI век. Естественные науки. – 2015. – № 2 (3). – С. 5-23.

4. European network for Earth system modelling [Электронныйресурс]. Режим доступа: https://portal.enes.org/models/earthsystem-models/metoffice-hadley-centre/hadgem2-es.

5. Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones and A. Jarvis, 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25: – 1965-1978.

6. Nix H. A. A biogeographic analysis of Australian Elapid Snakes // Atlas of Elapid Snakes of Australia. Ed. by R. Longmore. Australian Flora and Fauna Series Number 7. Australian Government Publishing Service: Canberra, 1986. – P. 415.

7. WorldClim – GlobalClimateData (free climatedataforecologicalmodelingandGIS) [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.worldclim.org/.

ОКЕАН И КЛИМАТ

С.А. Добролюбов
science@geogr.msu.ru

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия

Мировой океан играет ведущую роль в накоплении и перераспределении тепловой энергии и формировании долгопериодных колебаний климата, поскольку его масса в 262 раза больше массы атмосферы, а отношение теплоемкостей этих основных компонентов климатической системы составляет 1100:1. Неравномерность поступления коротковолновой солнечной радиации и уходящего длинноволнового излучения по широте вызывает температурный контраст между высокими и низкими широтами. Если рассматривать среднегодовые характеристики климатической системы Земли, то для поддержания квазистационарного состояния необходимо межширотное перераспределение получаемой энергии в атмосфере и в океане – от экватора к полюсам. Но помимо меридионального переноса тепла за счет контраста экватор-полюс, существует поток и большего пространственного масштаба – между океанами.

Важным этапом в понимании роли океана в климатической системе стала разработка концепции межокеанской циркуляции, получившей название "океанской тепловой машины нулевого рода" [2] или "глобального конвейера" [4]. В соответствии с этой концепцией, образующиеся в Субполярной Северной Атлантике глубинные воды распространяются затем по всему Мировому океану, заполняя абиссальные глубины и постепенно смешиваясь за счет вертикального перемешивания с вышележащими слоями. Для поддержания квазистационарного состояния, очевидно, должен существовать и компен-

сационный поток вод верхнего слоя в противоположном направлении, замыкающий глобальную циркуляцию, переносящий дополнительное количество тепла в Атлантику и смягчающий климат Европы. Ключевой район в этой схеме – области в Гренландском море и море Лабрадор, где поверхностный слой с высокой плотностью за счет конвекции формируют глубинные воды, именно здесь находится «приводной ремень» всего «глобального конвейера» [3].

Возникновение межокеанской циркуляции определяется, прежде всего, различиями в географическом положении Атлантического и Тихого океанов. Меридиональное простирание Атлантики и относительная узость по широте, свободный водообмен с Арктическим бассейном, гидрологические особенности окраинных морей, отсутствие значительных орографических барьеров для воздушных масс у западного берега в умеренных широтах, - все это формирует своеобразную картину тепло- и влагообмена на его поверхности. Поток тепла с поверхности Северной Атлантики в атмосферу составляет более 1 ПВт (10^{15}Вт), северная часть Тихого океана, напротив, имеет положительный баланс тепла на верхней границе порядка 0,5 ПВт. Водный баланс поверхности северных частей этих океанов также различен: в северной части Тихого океана наблюдается превышение осадков и речного стока над испарением на $0{,}5 \cdot 10^6$ м^3/с (0,5 Свердрупов), а в Северной Атлантике даже с учетом Арктического бассейна и стока крупнейших рек мира испарение превышает поступление пресной воды на 0,1 Св [1].

Если сравнить средние по объему характеристики основных океанов, то можно отметить, что в Тихом океане значительно выше концентрация растворенных биогенных веществ (силикатов и фосфатов), а в Атлантике выше концентрация растворенного кислорода, причем тенденция увеличения и убывания сохраняется с севера Атлантического океана к северу Тихого через южные части этих океанов и Индийский океан. Воды Северной Атлантики (даже если их объединить с Северным Ледовитым океаном) значительно теплее вод Тихого океана (более чем на 1°). Атлантический океан на всех глубинах имеет бóльшую соленость, а в слое 50-500 м разница соленостей превышает 1 ‰ [1]. Поэтому даже при температуре замерзания плотность вод на севере Тихого океана недостаточна для конвекции, проникающей в абиссальные глубины: приходящие из Северной Атлантики глубинные воды, несмотря на длительную трансформацию, имеют здесь большую плотность по сравнению с поверхностной водной массой локального происхождения.

Поскольку плотность воды зависит от температуры, солености и давления, то отмеченные выше различия свойств океанов, очевидно, скажутся в средней по объему плотности. Если не учитывать пространственную неоднородность атмосферного давления на уровне моря и сгонно-нагонные явления, различия в уровне океанов определяются разницей в их плотности. Плотностные изменения уровня такого рода принято называть стерическими. Стерическая разность уровня между двумя точками в открытом океане будет определяться средними плотностями столбов воды, проинтегрированными от дна до поверхности воды, где давление равно атмосферному. Расчеты показали, что уровень Тихого океана за счет различий в плотности воды на всех широтах оказывается выше, чем в Атлантическом, примерно на 60 см. Интересно, что на всех широтах к северу от 40° ю.ш. превышение уровня Тихого океана над Атлантикой определяется соленостным компонентом, т.е. более низкой соленостью Тихого океана. При этом в Северном полушарии температурный компонент имеет обратный знак (столб атлантической воды от поверхности до дна более теплый), но эффект более высокой солености Атлантики настолько велик, что перекрывает влияние температуры. Существующая разность уровня поверхности и определяет поток теплых вод по его наклону из Тихого океана в Атлантику через моря Зондского архипелага, Индийский океан и вокруг Южной Африки, составляя верхнюю ветвь «глобального океанского конвейера». [3].

В работе [1] приведены распределения меридиональных переносов тепла в отдельных океанах с учетом водообмена в Беринговом проливе и в морях Зондского архипелага. Интересно, что в Атлантическом океане поток тепла в Южном полушарии направлен к

северу, т.е. от высоких широт к экватору. Этот парадокс объясняется тем, что потери тепла в Северной Атлантике требуют дополнительного притока энергии не только из Южного полушария, но и из других океанов. В Тихом океане, несмотря на его обширные размеры, меридиональный поток менее интенсивен, чем в двух других бассейнах и обладает симметрией относительно экватора: тепло на всех широтах, как и в Мировом океане в целом направлено от экватора к полюсам. Наличие интенсивного (порядка 10-15 Свердрупов) водообмена в проливах Зондского архипелага приводит к тому, что значительная часть тепловой энергии из экваториальной области Тихого океана проникает в Индийский океан и обеспечивает уже там дополнительный перенос тепла на юг: из 1,2 ПВт тепла, проходящего через 30°ю.ш. в Индийском океане, 2/3 обеспечивает поток из Тихого океана. Аномальное направление переноса тепла в Атлантике у 35° ю.ш. обеспечивается как раз этим дополнительным теплом из Индийского океана.

Поскольку именно соленость определяет межокеанскую циркуляцию вод, рассмотрение переносов массы и тепла в океане должно быть дополнено оценкой солеобмена или, что более правильно, переносом пресной составляющей (суммарный поток солей в Мировом океане на любой широте равен нулю). Для атмосферы обоих полушарий характерен поток влаги из более сухих тропических районов (около 20-30° с. и ю.ш.) как к полюсам, так и к экватору. Очевидно, для поддержания квазистационарного состояния в океане должен существовать перенос пресных вод в противоположную сторону (т.е. от высоких широт и от экватора к тропикам). В действительности пресную воду в чистом виде океан, конечно, не переносит, но эта характеристика представляется наиболее удобной при оценке распресняющего эффекта водных масс пониженной солености [5].

Изучение структуры меридионального переноса вод по отдельным слоям с помощью простой модели позволило ранее показать, что в южном полушарии основной механизм переноса пресной составляющей на север – поток распресненных антарктических промежуточных вод на глубине 500-1500 м, погружающихся на северной периферии Антарктического циркумполярного течения у 45-60° ю.ш. [1]. Возврат в Атлантику тепловой энергии и пресной воды из Тихого океана, видимо, происходит совершенно разными путями: в первом случае транзитным бассейном служит Индийский океан, во втором случае поток определяется распреснением из Арктического бассейна (в том числе за счет дрейфа морского льда из Арктики) и из южной части Тихого через пролив Дрейка.

Таким образом, возникающая за счет градиентов солености и перепада уровня межокеанская циркуляция определяет тепловое взаимодействие между океаном и атмосферой. Ведущая роль Атлантики и, особенно, северо-атлантических глубинных вод в формировании водообмена океанов заставляет уделять особое внимание возможным причинам изменений в функционировании такого "глобального конвейера" и образовании глубинных водных масс. Действительно, если условия для глубокой конвекции неблагоприятны (теплая зима, распреснение верхнего слоя за счет таяния ледникового щита Гренландии, выноса дополнительного количества морского льда из Арктики или повышения количества осадков), то объем сформировавшихся глубинных вод уменьшается. В этом случае им на смену с юга поступает меньше теплых вод верхнего слоя, происходит пространственное перераспределение источников и потоков тепла в океане, что, в свою очередь, отражается на циркуляции атмосферы и, следовательно, на состоянии всей климатической системы.

Пятый оценочный Доклад [6] Международной группы экспертов по изменениям климата (МГЭИК) указывает на значимые изменения характеристик океана в последние десятилетия. Так, повышение температуры океана является главным фактором, способствующим увеличению энергии, содержащейся в климатической системе; на его долю приходится более 90 % энергии, аккумулированной с 1971 по 2010 гг. В глобальном масштабе повышение температуры океана было самым значительным вблизи поверхности, и температура в верхних 75 м повышалась на 0,11°С за десятилетие в период 1971-2010 гг. С начала индустриальной эры, поглощение CO_2 океаном привело к его подкислению; величина pH в поверхностном слое океана снизилась на 0,1, что соответствует

повышению кислотности, измеренной в концентрации ионов водорода, на 26 %. За период 1901–2010 гг. средний глобальный уровень океана повысился на 19 см, а темпы его повышения уровня моря с середины XIX века превысили средние темпы за предыдущие два тысячелетия.

Будущий климат будет определяться неизбежным потеплением, вызванным антропогенными выбросами и естественной изменчивостью климата. Согласно проекциям ансамбля моделей климатической системы, описанным в [6], в соответствии с жестким сценарием выбросов RCP8.5 средний глобальный уровень океана к концу 21 века повысится на 60-90 см, самое значительное повышение температуры океана (3-4°C) прогнозируется в его поверхностном слое в тропических и субтропических регионах Северного полушария, а еще до середины 21 века Северный Ледовитый океан будет, вероятно, в сентябре почти свободен от льда в период летнего минимума морских льдов. Что касается солености, то она увеличится в субтропических и тропических районах и уменьшится в высоких широтах и на экваторе, что неизбежно усилит меридиональный перенос пресной воды, компенсирующий возрастающие контрасты в солености. Последующие работы показали [7], что темпы нагрева Мирового океана в 1971—2010 годах были даже выше, чем утверждалось в Пятом оценочном докладе МГЭИК. При сценарии RCP8.5 температура верхних двух километров поднимется на 0,78° к концу столетия.

Так как океан наиболее инерционное звено в климатической системе Земли, то мониторинг потоков тепла и пресной воды, как во времени, так и по пространству, включая весь диапазон глубин, служит необходимым условием успешного прогноза будущих изменений климата. Все это требует более тщательных оценок интенсивности меридиональной и межокеанской циркуляции океанов в ключевых районах «глобального конвейера» на основе повторяемых океанографических разрезов и с помощью усвоения данных наблюдений в численных моделях климатической системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добролюбов С.А. Глобальная циркуляция вод океанов // Известия РАН, сер. географическая, 2005. – N 1. – С. 33-41.

2. Лаппо С.С. К вопросу о причинах адвекции тепла на север через экватор в Атлантическом океане // Исследование процессов взаимодействия океана и атмосферы. М., 1984. – С. 125-129.

3. Лаппо С.С., Гулев С.К., Добролюбов С.А, Морозов Е.Г., Соков А.В., Терещенков В.П., Шаповалов С.М. Северная Атлантика и ее влияние на климат Европы // Актуальные проблемы океанологии. М.: Наука, 2003. – С. 8–59.

4. Broecker W.S. The great ocean conveyor // Oceanography, 1991.– V. 4. – N2. – P.79-89.

5. Dobroliubov S.A. Freshwater transport in the North Atlantic ocean: intercomparison of balance and direct estimates// Physics and chemistry of the Earth, 1998. – Vol.22. – N 5-6. – P. 555-560.

6. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 1535 pp.

7. Rahmstorf S., , J. E. Box, G. Feulner, M. E. Mann, A. Robinson, S. Rutherford, E. J. Schaffernicht Exceptional twentieth-century slowdown in Atlantic Ocean overturning circulation // Nature Climate Change, 2015. – Vol. 5. – P. 475–480.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ АВИАЦИОННО-КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУШНОГО ДВИЖЕНИЯ

В.В. Дорофеев, А.В. Степанов, М.Ю. Подгузов, В.Б. Разинкин
step_al@mail.ru

Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г.Воронеж, Россия

Глобальный аэронавигационный план до 2028 года предусматривает климатическую информацию о погоде, необходимой для автоматического расчета оптимальной траектории полета и посадки при планировании воздушного движения [2]. Климатическая информация является обязательным документом для организаций, ответственных за планирование полетов и обеспечивающих их безопасность [3]. Это обусловлено современным развитием авиационной техники, которое предъявляет новые требования к обеспечению аэронавигационных служб климатической информацией при планировании организации воздушного движения (ОрВД) [3].

По данным Международной организации гражданской авиации (ИКАО) наибольшее количество авиационных происшествий и инцидентов, обусловленных метеорологическими параметрами, происходит на этапе посадки воздушного судна в условиях ограниченной видимости (более 70%) [1]. Это обусловлено не только сложностью метеорологических условий, а прежде всего противоречием, возникающим при планировании расписания прибытия воздушных судов в результате недооценки соответствия минимумов для посадки по значениям климатических метеорологических параметров о погоде на аэродроме посадки

Это противоречие обусловлено тем, что возможность выполнения посадки воздушного судна (ВС) определяется по значениям высоты принятия решения (ВПР) и (или) видимостью на ВПП (вид. ВПП), а не по значениям высоты нижней границы облаков (ВНГО) и метеорологической дальности видимости (МДВ) [4].

Для разрешения противоречия необходимо решить научную задачу по разработке методики оценки специализированной авиационно-климатической информации при планировании ОрВД с учетом возможности посадки воздушного судна на аэродроме.

Поэтому целью работы является повышение безопасности и рациональности планирования полетов авиации путем разработки методики оценки специализированной авиационно-климатической информации при ОрВД.

Научная новизна работы состоит в том, что предложена методика, отличающаяся тем, что оценка возможности выполнения посадки по ВПР, проводится не по ВНГО, а по высоте визуального контакта (ВВК), которая является аналогом посадочной видимости и видимости ВПП, а не МДВ [1, 4].

Значения (ВВК и видимости ВПП), при которых возможно выполнение посадки в сложных метеорологических условиях зависит от типа и силы света светосигнального оборудования аэродрома [1].

При планировании ОрВД необходимо рассчитывать комплексные авиационно-климатические показатели для оценки условий посадки по значениям (ВВК и видимости ВПП) для четырех степеней сложности метеорологических условий (оптических моделей (ОМ) по методике, изложенной в [1].

Модель расчета ВВК основана на расчётах диаграмм видимости огней ненаправленного действия (огней высокой интенсивности (ОВИ), при различных типах вертикального распределения МДВ с высотой (ОМ) на аэродроме с учётом силы света и времени суток для угла наклона глиссады 3° [1].

В качестве примера на рисунке 1 приведена диаграмма видимости огня ненаправленного действия для первой ОМ при решения задачи определения ВВК для угла наклона глиссады 3° [1].

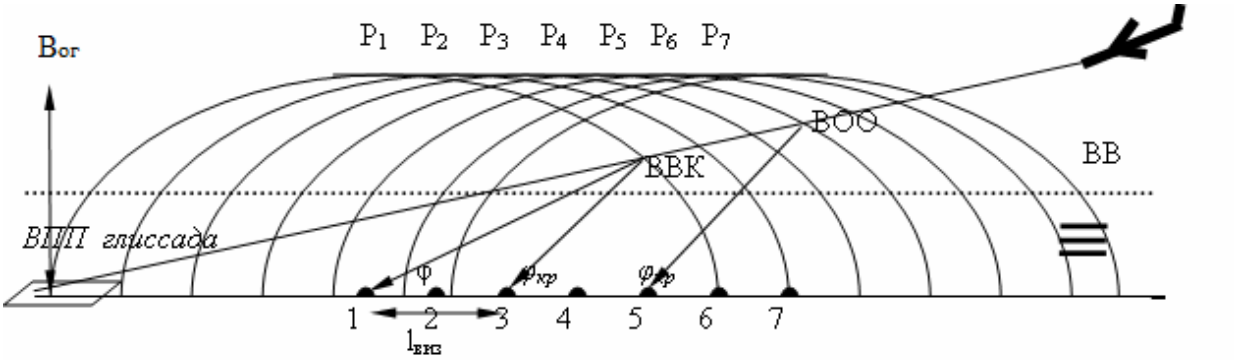


Рис. 1 – Диаграммы видимости огней (Р) ненаправленного действия при I ОМ (P_1-P_7 - диаграмма видимости огней с номером 1…7, φ- угол визирования наиболее удаленного от пилота огня, $\varphi_{кр}$- предельный угол визирования, $l_{виз}$ длина визируемой цепочки огней, ограниченной $\varphi_{кр}$ и φ ВОО- высота обнаружения огня, ВВК- высота визуального контакта, ВВ- вертикальная видимость или ВНГО (по прибору)

Модель диаграмм видимости огня ненаправленного действия описывается уравнением вида:

$$\frac{X^2}{S_{ог}^2} + \frac{Y^2}{B_{ог}^2} = 1, \qquad (1)$$

где: $S_{ог}$ – (вид. ВПП) огня; $B_{ог}$ – вертикальная видимость огня, X и Y- координаты описывающие диаграмму видимости огня.

Диаграммы видимости на рисунке 1 будут характеризовать границу зон видимости огней для данного типа распределении горизонтальной видимости с высотой по рассчитанным значениям вид. ВПП и вертикальной видимости огней.

Значение сочетаний (ВВК х вид. ВПП) для сочетаний (ВНГО х МДВ) представлены виде примера в таблице 1.

Таблица 1. Значения (ВВК х вид. ВПП) в ОМ, при сравнении с (ВНГО х МДВ) при посадочной скорости 240 км/ч в дымке (светосигнальная система «Свеча -2» IV группа огней высокой интенсивности, темное время суток)

ОМ	(ВВК х вид. ВПП)	(ВНГО х МДВ)
I	(90х1,4)	(60х0,8)
II	(180х1,8)	(150х1)
III	(250х3,2)	(200х2)
IV	(400х4)	(400х3)

Анализ таблицы 1 показывает, что значения сочетаний (ВВК х вид. ВПП) всегда больше значений сочетаний (ВНГО х МДВ)

При планировании ОрВД необходимо учитывать, что безопасная посадка возможна только при условии, если ВВК больше или равна ВПР, а (вид. ВПП) соответствует минимуму экипажа воздушного судна [1].

Достоверность методики оценки ВВК по данным экипажей подтверждена критериями верификации, что подтверждает возможность использования (ВВК х вид. ВПП), как специализированную авиационно-климатическую информацию, которая обеспечивает планирование ОрВД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорофеев В.В., Бакланов И.О., Степанов А.В., Жильчук И.А., Ковалёв В.И. Полетная видимость. Монография. Воронеж, Воронежский ЦНТИ, 2013. – 250с.

2. Метеорологическое обслуживание международной аэронавигации // Технический регламент ВМО № 49. – Т.2. – 2013. – 207 с.

3. Требования к составлению климатического описания аэродрома. РД 52.21.692 – 2007.– М.: Метеоагентство Росгидромета, 2007. – 37с.

4. Федеральные авиационные правила по производству полетов государственной в воздушном пространстве Российской Федерации (ФАПП-2002). М: Воениздат, 2002. – 46 с.

ВЛИЯНИЕ ИМПАКТНЫХ СОБЫТИЙ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ

А.В. Жабин, А.А. Жабина
zhabin01@gmail.com

Воронежский государственный университет,
ООО «ЭКО центр», г.Воронеж, Россия

В геологических литературных источниках достаточно часто приводятся сведения о падении крупных космических объектов, в разные временные интервалы истории Земли, на её поверхность. Результатами этих столкновений объясняются массовые вымирания, бывшие в пермское время и в конце мелового периода, образование крупных котловин, размером в десятки и сотни километров, например Попигайской и Аризонской. Их исследованиям посвящены сотни, если не тысячи работ. Считается, что только падения крупных тел на поверхность Земли из космоса приводят к катастрофическим последствиям. При этом, практически совсем не рассматриваются возможные влияния на изменения климата и, как следствие, вымирание отдельных групп биологических объектов, при роевой бомбардировке значительных территорий достаточно мелкими (размером до нескольких десятков метров) метеоритами.

Мы полагаем, что территория Центрально-Черноземного региона, в конце плейстоцена – начале голоцена, была покрыта лесными массивами, и падение метеоритных потоков приводило к массовым пожарам. Следствием этих событий было, во-первых, поступление в атмосферу значительных количеств сажи, что наверняка приводило к снижению температуры во всём северном полушарии. Во-вторых, выгорала не только растительность, но и органический материал почв, поэтому на восстановление территории уходил не один год. Кроме этого, в атмосферу поступало и значительное количество газообразного и тонкого минерального материала, образовавшихся при взрывах метеоритов и испарения как их вещества, так, и, в основном, земных пород. Таким образом, значительные территории на долгие годы превращались в пустыню, совершенно не пригодную для жизни.

Падение на Землю космических объектов во многих случаях приводит к катастрофическим последствиям. Их масштабы зависят от скорости и массы падающего тела. Скорость может быть от 11,2 до 72,8 километров в секунду. Значение 11,2 км/сек – это минимальная скорость, которую, под действием гравитации Земли приобретает даже «медленно» подлетающий к ней метеороид. В случае движения планеты и космического тела на встречных курсах, скорость падения, достигает 72,8 км/сек. При этом скорость при контакте с поверхностью Земли может быть значительно меньше при относительно небольшой массе метеорита, за счёт торможения его атмосферой и малым углом падения.

Двигаясь в атмосфере, метеорит перемещает объем газа, равный поперечному сечению метеорита, помноженному на длину траектории. Если масса газа больше 10 масс

метеорита, то скорость последнего в конце пути не превышает 10% первоначальной, т.е. он тормозится в атмосфере, настолько, что достигает Земли, имея незначительную, по отношению к первоначальной скорости входа в атмосферу Земли, скорость. При малых скоростях (до 3 км/с) удара о поверхность Земли за счет дробления пород (мишени) и выброса обломков образуется лунка или воронка, так называемый ударный метеоритный кратер. При больших скоростях соударение сопровождается взрывом, при этом формируется воронка, диаметром многократно превышающая диаметр ударника. Такая структура называется взрывным метеоритным кратером. Кинетическая энергия влетающего в породу мишени тела превышает его внутреннюю энергию, определяемую энергией химических связей. Падающее тело можно уподобить в такой момент струе газа, впрыснутой в породу мишени.

На спутниковых картах территории областей Центрального Черноземья выделяются кольцевые образования, по своей форме приближающиеся к идеальному кругу. Иногда это отдельные объекты, чаще скопления в несколько десятков штук, распределённые на площади до 300,0 км^2. На картах хорошо выделяется светлое кольцо, обрамляющее с внешней стороны это образование, обозначающее вал, сформированный материалом, выброшенным из взрывной воронки при столкновении метеорита с земной поверхностью [1]. Диаметры этих колец колеблются от 20,0 метров до 2,0 километров. Но большая их часть имеет размеры 100,0 – 500,0 метров.

При исследовании этих кольцевых образований на местности, внешний вал, в подавляющем большинстве случаев, хорошо выделяется, что указывает на достаточно молодой их возраст. По нашим представлениям, эти события, связанные с падением космических объектов, случились в последние тридцать тысяч лет. Внутренние части воронок заметно ниже территории с внешней стороны вала. Они часто заболочены, иногда там формируются водоёмы озерного типа. Встречаются и настоящие астроблемы, с поднятиями в центре воронок. Породы, слагающие вал, практически идентичны таковым, залегающим с внешней его стороны, под почвенным слоем, что лишний раз подтверждает образование воронок в результате взрывных воздействий. То есть, валы сформированы из породного материала, выброшенного из внутренних частей воронок.

На территории, прилегающей к этим образованиям, встречаются своеобразные породы, внешне неотличимые от вулканических туфов. Они, так же, как и последние имеют ячеистую текстуру, формирование которой обязано пузырькам газов в расплавленной породе, на которую упал метеорит, а составы этих новообразований зависят от её литологического типа. Если это песок, то состав представляет смесь кварца и высокотемпературного кристобаллита, примерно в равных количествах. Если карбонатная порода, то ячеистое новообразование сложено геленитом (силикатом кальция). В тяжёлой фракции, как в первом, так и во втором случаях содержатся высоко термобарические минералы – муллит, стишовит. Да и тот же геленит образуется при температуре, приближающейся к двум тысячам градусов. Кроме них, в породе присутствует самородное железо, лантаноиды, золото (в промышленном количестве), иридий. Такой состав прямо указывает на происхождение этих новообразований, связанное с космическим фактором.

Исходя из размеров воронок, диаметры которых колеблются от нескольких десятков до тысяч метров, можно смело утверждать, что рассматриваемая территория подверглась интенсивной бомбардировке космическими объектами, размером от первых до десятков метров. На спутниковых картах всей поверхности Земли, подобные округлые образования выявляются на всех материках, особенно в северном полушарии. Поэтому есть все основания предполагать, что данные события привели к экологической катастрофе на большей территории Земли, в некотором смысле, сравнимой с таковыми, случавшими в её истории. Разумеется, катастрофы на рубеже мела и палеогена или в конце пермского времени, по своим масштабам, значительно превосходили случившуюся в конце четвертичного периода, но, как мы считаем, она оказала большое влияние на развитие животного и, возможно, растительного мира в последующие эпохи, вплоть до настоящего времени.

Рассмотрим подробнее последствия, произошедшие в результате данного импактного события. Известно, что в это время на Земле существовали, как минимум, два ра-

зумных вида людей. Во всяком случае, речь идёт о кроманьонцах и неандертальцах. Существует много гипотез о причинах вымирания последних. Среди них и связывающая исчезновение неандертальцев, с их гибелью от рук кроманьонцев. Но, как те, так и другие овладели ручным трудом. Хоронили своих родичей и украшали могилы надгробными плитами, ухаживали за больными, умели добывать и хранить огонь, владели приемами коллективной охоты, воспитывали детей. Гипотеза о том, что неандертальцы были уничтожены предками современных людей, не выдерживает критики. Во-первых, они были значительно крепче физически. Вес взрослого неандертальца достигал 150 кг, при росте до 170 см. Во-вторых, как у тех, так и других было одинаковое оружие: примитивные каменные топоры и копья. Здесь уместно напомнить, что кровожадные конкистадоры, обладая куда более современными орудиями уничтожения, не смогли свести с лица земли ни одну расу, ни один народ. Другое предположение, заключающееся в том, что неандертальцы не смогли приспособиться к резкому похолоданию, вызванному оледенением, также выглядит нелепо. Судя по всему, интеллектуально они ни в чем не уступали, а возможно, и превосходили наших предков. Во всяком случае, их мозг был в полтора раза больше нашего. И очень странно, что психически развитые люди, не могли догадаться сшить теплую одежду из шкур убитых ими животных. Они могли бы просто позаимствовать это умение у наших предков, с которыми постоянно общались.

Сугубо четвертичные отложения - суглинки и супеси (генезис которых не ясен и вызывает много споров) – охватывают большую часть суши, отсутствуя в южной Африке, Эфиопии и высокогорных районах Азии, обеих Америк, Европы. А ареал развития неандертальцев как раз и охватывает равнинные области Европы и Северной Америки. Считается, что наши предки расселялись по всему миру из Африки. Вероятней всего миграция началась достаточно давно. Но переселенцы, не выдерживая конкуренции со стороны неандертальцев, вынуждены были занимать «неудобья», которыми были, в том числе и гористые районы.

На рубеже 8 – 15 тыс. лет случился катаклизм, вызванный импактным событием, в результате столкновения земли с кометой [3]. Метеоритный материал, слагающий её ядро, выпадал, в том числе, и в Северный Ледовитый океан, вызывая гигантские цунами высотой от 200 и более метров, которые смыли с равнин все живое (и неживое тоже). В то же время они приносили с Балтийского щита обломки кристаллических пород, принимаемых сейчас за морену. Не исключена возможность повторения подобного и впредь. Отсюда, скорее всего, и пошла память о Всемирном Потопе, впоследствии отразившись в Библии и других письменных источниках. Живущие в горах люди остаются в живых, не потеряв своего уклада, и воспринимаются, чудом уцелевшими на равнинах, лишившихся всего самого необходимого, как небожители. Не поэтому ли во всех религиях, так или иначе, присутствует горный мотив.

В это же время, наряду с неандертальцами, исчезли все животные гигантских размеров, населявших территории северного полушария [2]. Среди них можно отметить мамонтов, шерстистых носорогов, саблезубых кошек, пещерных и гигантских белых медведей и других видов. Вымирание травоядных связано с гибелью всего растительного покрова в результате пожаров и цунами. В след за ними исчезли гигантские хищники, лишившиеся пищевой базы в виде таких же крупных травоядных. Повторное заселение этих территорий произошло через десятки лет, при восстановлении растительного покрова и миграции животных с юга. Наши предки, оставшись без конкурентов в лице неандертальцев, постепенно заняли эти области.

Резюмируя вышеизложенное, подведём некоторые итоги. Нахождение на обширных территориях северного полушария большого количества кольцевых воронок и своеобразных пород и минералов, генезис которых связан с высокими температурами и давлениями, указывает на их образование в результате взрывных процессов, при воздействии на земную поверхность космических тел.

Другие варианты образования высоко термобарических пород и минералов в столь молодых отложениях рассмотренных территориях просто не возможны. Вулканов здесь не было, во всяком случае, в последние триста миллионов лет. Техногенный генезис так

же несостоятелен. Трудно представить, при современном состоянии исторической науки, что в то время, когда весь мир пользовался каменными инструментами, на нашей территории плавили железо, да ещё с включениями иридия, платины и золота. При этом крайне сомнительным является достижение давлений в тысячи атмосфер, при существовавших в то время технологиях.

Импактное событие, случившееся на рубеже конца плейстоцена – начала голоцена, привело к вымиранию последних неандертальцев, возможно, других гоминид и гигантских представителей животного мира. Ныне живущие хищники и травоядные выглядят карликами, по сравнению с их вымершими антиподами.

Это уже был другой мир.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цельмович В.А., Сунгатуллин Р.Х., Вафин Р.А. Импактное происхождение озера Рабига Куль: PROETCONTRA / В.А. Цельмович, Р.Х. Сунгатуллин, Р.А. Вафин // Всероссийский ежегодный семинар по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии ВЭСЭМПГ. Тез. Докладов. М., 2015. – С. 132.

2. Damuth J. 1981. Popylation density and body size in mammals / J. Damuth // Nature. V. 290. – P. 699-700.

3. Firestone R.B., West A., Kennett J.R., et al. 2007. Evidence for an extraterrestrial impact 12900 years ago that contributed to the megafaunal extinctions and the Younger Dryas cooling / R.B. Firestone, A. West, J.R. Kennett // PNAS. October 9. 2007. V. 104. – P. 16016-16021.

ОЦЕНКА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ СИЛЬНЫХ ОСАДКАХ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРОВ НЕУСТОЙЧИВОСТИ

Н.А. Калинин, Б.А. Сивков, Е.В. Пищальникова
kalinin@psu.ru

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г.Пермь, Россия

Сильные осадки относят к опасным явлениям (ОЯ), вследствие их разрушительной силы. В зависимости от интенсивности и продолжительности они могут привести к разнообразным неблагоприятным последствиям. Сильные осадки являются одной из причин возникновения наводнений, оползней, селей, размывания берегов и т.д. В сельском хозяйстве очень сильные и продолжительные осадки приводят к смыву почвы, разрушению сельскохозяйственных угодий, вымоканию урожая, полеганию зерновых в период уборки, поэтому точный и заблаговременный прогноз возникновения сильных осадков и их количества является актуальной задачей[4, 7].

Согласно [2] критерием сильного ливня является количество выпавших осадков не менее 30 мм за период не более 1 ч; очень сильного дождя – количество выпавших осадков не менее 50 мм (а в ливнеопасных районах не менее 30 мм) за период не более 12 ч. В Пермском крае в ливнеопасных районах располагаются 5 метеостанций: Вая, Губаха, Бисер, Кунгур и Кын.

Как известно, в образовании осадков принимают участи два основных процесса: конденсация водяного пара на начальном этапе и дальнейшее укрупнение облачных элементов за счет коагуляции[6]. Особо важную роль в образовании осадков играют вертикальные движения. В первую очередь восходящие движения обеспечивают понижение температуры воздуха, благодаря которому в атмосфере наблюдается перенасыщение во-

дяного пара и рост капель за счет конденсации. Во-вторых, капли, поднимаемые восходящими потоками в более высокие слои атмосферы, при падении должны пройти значительную толщу облака, благодаря чему они увеличиваются в размерах за счет коагуляции. Чем интенсивнее восходящие потоки, тем на большую высоту смогут подняться облачные элементы[3].

Другим важным фактором образования осадков является влагосодержание. При его низких значениях образуются осадки слабой интенсивности и/или имеют кратковременный характер [5]. Таким образом, для образования сильных осадков необходимы два условия: высокое влагосодержание и интенсивные восходящие вертикальные движения.

Для оценки возможности развития опасных явлений, в том числе сильных осадков, метеорологами были разработаны параметры неустойчивости атмосферы. Для характеристики вертикальных движений используются параметры, основанные на методе частицы: доступная потенциальная энергия неустойчивости CAPE, параметр плавучести LI и энергия конвективного торможения CIN. Для определения условий увлажнения применяются параметры в основе которых лежат температурно-влажностные характеристики: индекс Вайтинга (K), индекс Фатеева Н.П. (А), TQ Index и др. Кроме того применяются параметры для комплексного учета обоих факторов: индекс глубокой конвекции (DCI), индекс Томпсона (TI) и др.

Целью данного исследования является выявление особенностей термодинамического состояния атмосферы в период выпадения сильных осадков на территории Пермского края с помощью параметров неустойчивости атмосферы.

Материалами для исследования послужила информация о датах, когда наблюдалось опасное явление в период с 1979 по 2015 гг.[1]. Значения параметров (CAPE, CIN, LI, K, индекс Фатеева Н.П., TQIndex, DCI, TI) рассчитывались по данным реанализа модели CFS с помощью программных пакетов OpenGrads и QGIS для станций, где было зарегистрировано ОЯ. Кроме того, для каждого случая, определялся тип фронтальной системы, с которой были связаны сильные осадки.

Всего за указанный период было зафиксировано 108 случаев с сильными осадками. Из них 8 случаев приходится на сильный ливень, а остальная часть – очень сильный дождь.

В таблице 1 представлены статистические характеристики параметров неустойчивости атмосферы.

Таблица 1. Статистические характеристики индексов неустойчивости атмосферы

Индекс	Макс.	Мин.	Среднее
CAPE	2928	0	583
CIN	0	–150	–4
DCI	35	–18	18
Индекс Фатеева	27	–47	17
K Index	40	14	32
LI	18,0	–7,9	0,4
TI	44	4	33
TQ Index	32	4,3	18

Анализ зарубежной и отечественной литературы показал, что при выпадении сильных осадков большая часть параметров имеет более низкие значения по сравнению с теми, что представлены в других исследованиях. Такими параметрами являются CAPE, LI, DCI, K,TI, TQ Index.

Наибольшее количество случаев сильных осадков было зафиксировано при прохождении фронтов окклюзии (34%) и холодных фронтов (22%). На внутримассовые осад-

ки приходится 18% случаев. Меньше всего случаев ОЯ наблюдается при волновых возмущениях на малоподвижных фронтах (14%) и при прохождении теплых фронтов (12%).

В таблице 2 представлены значения параметров неустойчивости в зависимости от наблюдаемой фронтальной системы.

Таблица 2. Значения параметров неустойчивости в зависимости от фронтальной системы

Индекс	Интенсивность	Фронтальная система				
		Внутримассовые	Волновое возмущение на малоподвижном фронте	Теплый фронт	Фронт окклюзии	Холодный фронт
CAPE	Макс	2250	1500	1189	2271	2928
	Мин	0	0	0	0	0
	Среднее	1090	388	290	401	767
CIN	Макс	0	0	0	0	0
	Мин	–103	–135	–35	–100	–150
	Среднее	–5	–4	0	–3	–7
DCI	Макс	33	28	28	31	35
	Мин	13	–10	–2	–18	–10
	Среднее	25	19	14	14	20
Индекс Фатеева	Макс	22	24	25	27	25
	Мин	–30	0	–47	–32	–15
	Среднее	11	18	15	18	19
K Index	Макс	39	37	36	37	40
	Мин	20	19	14	16	20
	Среднее	33,9	33,0	30,9	30,8	33,4
LI	Макс	4,1	18,0	13,0	13,4	15,0
	Мин	–6,4	–3,5	–4,3	–6,6	–7,9
	Среднее	–3,2	1,4	2,9	1,5	–0,6
TI	Макс	43	40	39	40	44
	Мин	23	18	14	4	10
	Среднее	36	34	31	30	34
TQ Index	Макс	32	22	20	31	23
	Мин	14	5	8	4	6
	Среднее	20	18	17	17	18

ЛИТЕРАТУРА

1. База данных опасных явлений Пермского края. URL: http://map.psu.ru/search.aspx (дата обращения 15.11.2018).

2. Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями.РД 52.04.563-2013.СПб. –2013. – 53 с.

3. Калинин Н.А. Динамическая метеорология. Учебник. Перм. гос. ун–т. Пермь. РГГМУ. СПб. Изд. второе, испр. Перм. кн. изд-во, 2009. – 256 с.

4. Калинин Н.А. Мониторинг, моделирование и прогноз состояния атмосферы в умеренных широтах. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2015. – 308 с.

5. Марченко О.Ю., Мордвинов В.И., Антохин П.Н. Исследование долговременной изменчивости и условий формирования атмосферных осадков в бассейне реки Селенга // Оптика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 25, – № 12. – С. 1084–1090.

6. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л. Гидрометеоиздат. 1984. – 751 с.

7. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеоиздат. 1986. – Ч. 1. – 702 с.

АНТРОПОГЕННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ

И.А. Карлович
ia-karlovich@yandex.ru

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г.Владимир, Россия

Заявленная тема весьма злободневна, носит дискуссионный характер и предполагает влияние парниковых газов на климат в перспективе. Сказать, что многие авторы работали над проблемой парниковых газов и их вклада на современный климат, значит не сказать ничего. Целое поколение исследователей занималось решением проблемы влияния парниковых газов на климат. Обществу было предложено два положения, ставших аксиомой. Первое положение утверждает, что история появления парниковых газов искусственного происхождения началась с момента эксплуатации паровых машин (это где-то в районе второй половины XVIII века – паровые машины Уайта в Англии на ткацких фабриках), а затем с внедрением двигателей внутреннего сгорания на транспорте (конец XIX – начало XX века), а также от промышленности. В целом это направление получило название антропогенных источников парниковых газов [3]. Второе положение основано на учете природных источников парниковых газов, в частности – CO_2: извержение вулканов, дегазация мантии, разложение органики, лесные пожары и др. (рис. 1).

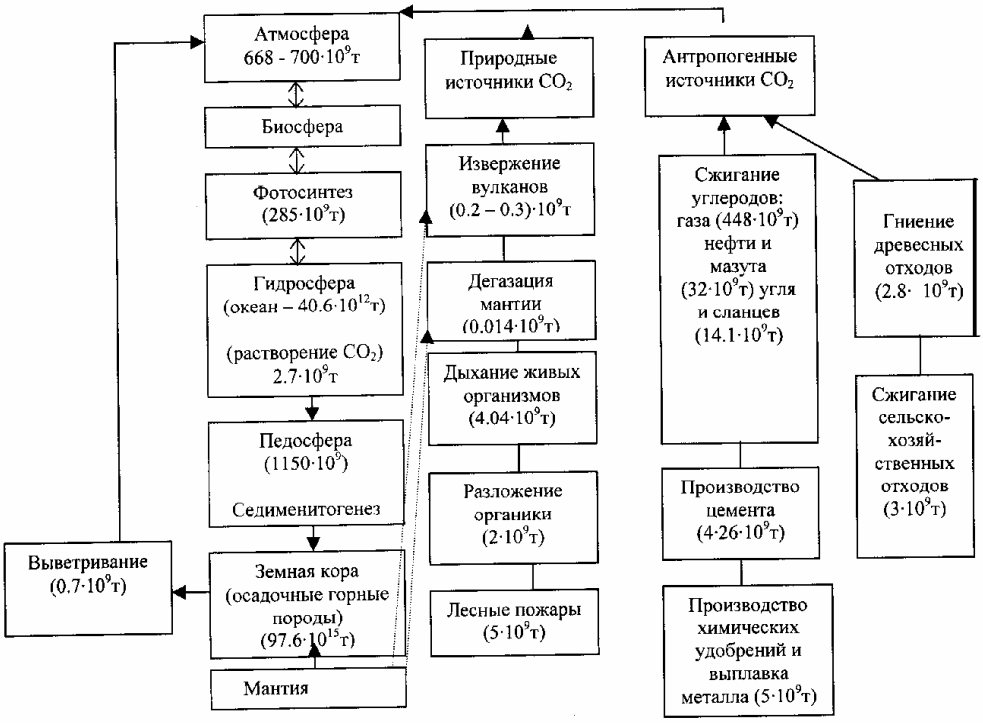


Рис. 1. Схема цикла углерода и поступление в атмосферу CO_2 от природных и антропогенных источников (по данным Н.А. Ясоманова, А.Б. Ронова, В.В. Добровольского с добавлениями и изменениями автора)

Наиболее характерные парниковые газы – это двуокись углерода, окись углерода, метан, азот, озон и др. Представляет практический интерес учет доли антропогенных источников парниковых газов и возможное влияние антропогенных и природных парниковых газов на климат. Известно, что природные источники парниковых газов мощнее техногенных, но функционируют они не регулярно, а эпизодически, в соответствии с геологической закономерностью [3], а техногенные источники по своим размерам небольшие, но их много, и сконцентрированы они, как правило, в одном месте в городах (например,

население, промышленность, транспорт и пр.) [4]. Учет влияния парниковых газов целесообразно производить раздельно природного и техногенного генезиса от локальных и региональных до глобальных источников техногенеза. В качестве примера формирования парникового газа CO_2 в городах сошлюсь на тот факт, что в настоящее время в городах проживает 80% всего населения, а если к этому добавить промышленность и транспорт, то и получится, что ведущим источником техногенного CO_2 в настоящее время выступают города и агломерации. Тенденция увеличения CO_2 у жилищно-коммунальных хозяйств сохранилась, начиная с 2001 года, и составила 13-14,5 тыс. тонн в год [4]. Правда, исследователи пришли к выводу о том, что избыток CO_2 в атмосфере (за последние 100 лет) вступает в естественный круговорот и совместно с другими газами атмосферы, что определяет стабильный режим газовой оболочки со стороны парникового эффекта (Н.А. Ясоманов, А.Б. Ронов, В.В. Добровольский и другие).

Наиболее распространенные загрязнители атмосферы – это различные твердые частицы (пыль, сажа, дым), окись углерода (CO), диоксид серы (SO_2), окислы азота (NO и NO_2), различные летучие углеводороды (CH_X), соединения фосфора, сероводород (H_2S), аммиак (NH_3), хлор(Cl), фтористый водород (HF) и др. Количество ведущих загрязнителей атмосферы, поступивших за один год (2001 г.) в воздух по миру и России приведены в табл.1. Данные таблицы свидетельствуют о значительном техногенном загрязнении атмосферы промышленностью и транспортом.

Таблица 1. Среднегодовые выбросы в атмосферу пяти главных загрязнителей в мире и в России, млн. тонн

Загрязнитель	Весь мир		Россия	
	Промышленные источники	Транспорт	Промышленные источники	Транспорт
Окись углерода	177	200	3,6	9,3
Диоксид серы	99	0,7	5,4	0,04
Оксиды азота	68	20	1,5	2,4
Углеводороды	4	50	1,0	1,04

Аналогичное загрязнение атмосферного воздуха подтверждается по России и даже на уровне среднего города Владимир (табл. 2).

Таблица 2. Максимальная концентрация, ПДК вредных веществ в воздухе за год [4]

Вещества	По России	По г. Владимир
Оксид углерода	12	2,0
Диоксид азота	29	7,4
Оксид азота	9	0,2

Весомый вклад в загрязнение атмосферы над Владимирской областью вносят предприятия сельского хозяйства (345 млн. тонн в год), транспорта и связи (164 млн. тонн в год), жилищно-коммунального хозяйства (164 млн. тонн в год), непроизводственной отрасли (126 млн. тонн в год) [4].

Среди стран мира ведущими поставщиками загрязнителей в воздушную среду выступают европейские государства (Великобритания, Германия, Франция), США, Канада, Япония и Китай. На долю этих стран приходится около 80% годового валового выброса загрязнителей в воздух от промышленных источников [4].

Известно, что молекулы воды в атмосфере препятствуют тепловому излучению поверхности Земли в Космос, формируя, тем самым, вместе с молекулами CO_2, парниковый эффект. Чем больше содержание водяного пара в атмосфере, тем выше парниковый эффект. CO_2 совместно с другими «парниковыми» газами могут в определенной мере влиять на климатические установки.

Установлено влияние избытка углекислоты, совместно с другими газами атмосферы, на механизм формирования стабильного режима газовой оболочки со стороны парникового эффекта [1].

В современный индустриальный период в глобальном круговороте CO_2 от природных источников добавился углекислый газ от антропогенных источников: сжигание нефти, газа, угля и т. д. [4]. Общее количество CO_2, поступившее в атмосферу от антропогенных источников ($108{,}16 \cdot 10^9$ т/год), более чем в 10 раз превосходит количество его от природных источников ($9{,}14 \cdot 10^9$ т/год). Такое десятикратное превышение CO_2 от антропогенных источников над природными и устойчивые положительные температурные аномалии воздуха в последние десятилетия позволяют допустить влияние техногенного CO_2 на атмосферу и температуру.

Метан в атмосфере. За счет антропогенных и природных источников содержание метана в атмосфере начиная с 1970 по 2000 гг. включительно, увеличилось почти на $1 \cdot 10^9$т, а выбросы его превысили более, чем в 2 раза (табл. 3)

Современные источники поступления метана в атмосферу многочисленны и подразделяются на природные и антропогенные.

Считается, что антропогенные источники эмиссии метана составляют 2/3 от глобальных выбросов в атмосферу. По прогнозам, к 2025 г. в атмосферу будет выброшено от всех антропогенных источников метана до $(450\text{-}500) \cdot 10^6$ т/год [2].

Таблица 3. Метан в атмосфере Земли [2]

Год	Средняя фоновая концентрация, млн-1	Масса, ×106т	Выброс, ×106т
1970	1,40	4000	320
1980	1,56	4400	350
1990	1,70	4800	550
2000	1,87	5600	900

Азот в атмосфере. Среди загрязнителей из оксидов азота наиболее распространены оксид (II) NO и оксид азота (IV) NO_2. Приоритет в эмиссии в атмосферу оксидов азота за последние 20 лет прочно закрепился за автотранспортом [4].

До появления человека этот процесс носил естественный, природный характер, и разные авторы приводят цифры азота, фиксируемого из воздуха почвенными бактериями, в интервале от 30-40 до $200 \cdot 10^6$ т/год. В настоящее время к этой величине следует прибавить азот, поставляемый антропогенной деятельностью человека, а именно промышленная фиксация азота из воздуха, которая по разным оценкам измеряется в интервале $(40\text{-}90) \cdot 10^9$ т/год [2].

Динамика каждого из парниковых газов в укрупненных величинах за тридцать лет показана в таблице 4.

И.М. Будыко, по данным метеорологических наблюдений за последние 100 лет, считает увеличение температуры окружающей среды на 0,97ºС (Будыко, 1985).

Происходит «натуральный» рост температуры в пределах 0,3-0,7ºС (за весь период исследования). Повышениям температуры соответствуют возросшие концентрации CO_2 (максимальные в 1998 г.). Тенденция повышения температуры сохранилась в 1999-2001 гг. (в 2001 г. – t = 14.61ºС), которой отвечало увеличение концентрации CO_2 млн.$^{-1}$ до 368 (данные Гидрометеоцентра).

Теоретически, антропогенные источники могут обеспечить прирост температуры в глобальном плане от следующих парниковых газов [1]: за счет эмиссии диоксида углерода – на 0,5-0,8º за 56 лет; за счет эмиссии метана – на 0,2-0,3º за 44 года; за счет эмиссии оксидов азота – на 0,4-0,6º за 347 лет.

Допускается, что увеличение в атмосфере концентрации парниковых газов (диоксиды углерода, метана, озона и др.) привело к глобальному потеплению климата. По прогнозу, при сравнении климата доиндустриального периода (конец XIX в) и первой части XXI в (около 2030 г) повышение составит 1,5ºС (Арский, 1997).

Таблица 4 . Динамика «парниковых газов» в составе атмосферы [4]

Газ	Участие газа, %			
	1970	1980	1990	2000
Диоксид углерода (CO2)	60	55	50	47
Метан (CH4)	13	15	20	25
Хлорфторуглероды (Cl F CS)	26	24	15	10
Диоксид азота (NO2)	4	6	10	12
Озон (O3)	-	-	5	8

Исследования воздуха вдоль Транссибирской железной дороги показали, что в распределении летучих органических соединений важную роль играют местные и региональные источники (Голицын и др., 2000). Здесь выявлены предельные, непредельные, циклические и др. углеводороды, а также альдегиды. Самое высокое загрязнение ЛОС характерно для крупных городов – Хабаровск, Чита, Иркутск, Новосибирск, Киров.

К наиболее сильным химическим окислителям относятся озон, окислы азота и окись углерода (табл.5).

Таблица 5. Значения ПДК для различных химических соединений (Голицын и др., 2000)

Химическое содержание	Разовые ПДК		Среднесуточные ПДК	
	мкг/м3	ppbv	мкг/м3	ppbv
O3	160	75	30	14
NO	400	301	60	45
NO2	85	41	40	19
CO	5000	3940	3000	2360

Концентрация озона менялась вдоль трассы от 0 до 76 ppbv. Среднесуточный показатель весной и летом почти повсеместно превышал среднесуточную ПДК, что свидетельствует о промышленном источнике озона. Окислительная способность химических соединений в приземной атмосфере оказалась настолько мала, что поступившие в нее многочисленные газы (в том числе и органические соединения) от промышленных источников и транспорта практически не разрушались.

Озон в атмосфере. Анализ опубликованных материалов показывает, что в арктических областях выбрасываемый в атмосферу ряд химически активных газов (трихлорэтилен, тетрохлорэтилен, хлороформ, дихлортан, дихлорметан, бромхлорметан) имеет морское происхождение. Но эти газы (а также ряд галогенизированных этанов) лишь небольшая их часть (до 20%), поступающая в атмосферу от природных источников, а значительная доля (80 – 85%) хлора в антарктической атмосфере имеет антропогенное происхождение. Большая часть эмиссии озона в приземные слои атмосферного воздуха прочно закрепилась за выбросами транспортом, а также за приборами. К приборам, образующим озон, относятся все (многочисленные) искрящие и генерирующие жесткое излучение установки: электросварочные машины, системы зажигания ДВС, рентгеновские аппараты, а также искрение на трамвайных, троллейбусных линиях, линиях электропоездов и т. п. Большинство исследователей считает, что образование озона связано с фотохимическими реакциями. Его масса в течение года почти одинакова, а наблюдаемая относительная неравномерность распределения происходит как в широтном, так и в меридиональном направлениях. Анализ среднеглобальных температур приземного воздуха и соответствующих им концентраций углекислого газа за 40 лет прошлого столетия показал рост. В таблице приведены данные начала и окончания замеров (табл. 6).

Следует отметить, что проведенные разными коллективами наблюдения отмечают устойчивое потепление климата в интервале 0,7-0,9°С. Например, на Украине получены обобщающие сведения о состоянии климата как в городах, так и на селе повсеместно до

0,8°С. Более того, авторы публикации (О. Шевченко и другие, 2014) утверждают, что потепление климата на Украине охватило всю страну и приводят оценку уязвимости к изменению климата Украины [5]. Не менее интересны сообщения по интернету и по телевидению (программы 1 и 2-Россия, НТВ, ТВЦ и др.) о таянии шельфового льда в акватории Северного Ледовитого океана и о продлении сроков навигации в северных морях, что свидетельствует о потеплении климата.

Таблица 6. Среднегодовая приземная температура воздуха (1960-1998 гг.) и концентрация углекислого газа, по Григорьеву, Кондратьеву, (с сокращением автора)

Год	Температура, °С	Концентрация CO2, млн-1	Год	Температура, °С	Концентрация CO2, млн-1
1980	13,84	314,5	1998	14,57	366,7

Результаты. В итоге проведенных исследований и обобщений опубликованных сведений об участии парниковых газов в формировании современного климата, подтверждено влияние их на потепление климата. Особенно это изменение затронуло крупные населенные пункты: города и агломерации. За последние 100 лет наблюдается устойчивое потепление климата на 0,8°С с прогнозом роста температуры воздуха и климата в ближайшие годы до 1°С. Антропогенная составляющая парниковых газов представляет мощную и самостоятельную ветвь, влияющую на современный климат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будыко М.И., Ронов А.Б., Янин Ф.Л. История атмосферы. М., 1985.

2. Григорьев А.А., Кондратьев К.Я. Геодинамика и геополитика Т.Г. Экологические катастрофы. Спб., 2001.

3. Карлович И.А. Геоэкология: учебник для высшей школы. М.: Академический проект: Альма-Матер, 2013. – 512 с.

4. Карлович И.А. Современный техногенез: учебн. пособие. Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир: Изд-во ВлГУ, 2015. – 165 с.

5. WWW. Шевченко О., Власюк О. и другие. Оценка уязвимости и изменения климата Украины. – Киев. – 2014.

ВЕРОЯТНОСТНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЭКОНОМИКУ РОССИИ В 21-М ВЕКЕ

В.М. Катцов, И.М. Школьник
kattsov@mail.ru, i.m.shkolnik@mail.ru

Главная геофизическая обсерватория имени А.И. Воейкова, г.Санкт-Петербург, Россия

В условиях изменения климата учет климатического фактора при формировании и последующей корректировке отраслевых и региональных стратегий развития (например, в рамках соответствующих планов адаптации к изменениям климата) требует количественной информации о климатических воздействиях и рисках для занимающих сравнительно небольшие территории объектов. В этой связи моделирование климата с высоким разрешением в физическом и вероятностном пространствах с помощью региональных климатических моделей требует постоянного совершенствования суб-модельного и постпроцессингового аналитического инструментария, включенного в единые с региональными моделями технологические цепочки пространственной детализации (даунскейлинга) прогнозных оценок на основе глобальных моделей. Реализация таких технологий весьма ресурсоемкая, в первую очередь, в силу необходимости проведения массовых ан-

самблевых расчетов, лежащих в основе сценарного вероятностного прогнозирования региональных воздействий и оценки изменений событий редкой повторяемости. Ожидающие своего решения фундаментальные проблемы использования результатов регионального моделирования в исследованиях климатических воздействий и оценке рисков включают: надлежащее (в т.ч. с точки зрения оптимальности размеров) использование модельных ансамблей и интерпретацию соответствующих вероятностей и неопределенностей; «добавленное качество» и «добавленные неопределенности», связанные с использованием различных способов пространственной детализации результатов моделирования климатической системы; различную степень доверия к оценкам будущих изменений различных климатических характеристик (например, температуры и осадков); др. В представленной работе затрагиваются некоторые из перечисленных вопросов, и излагается опыт ГГО им.А.И. Воейкова (Росгидромет) создания, развития и использования высокоразрешающих систем в прикладных исследованиях, направленных на адаптацию секторов экономики России к ожидаемым изменениям климата.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-00063)

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ГИС-МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРОЦЕССОВ ОБЕЗЛЕСЕНИЯ И ДЕГРАДАЦИИ ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Е.А. Клековкина
jelena_klekovkina@mail.ru

Вятский государственный университет, г.Киров, Россия

Известно [7], что леса, а именно бореальные леса, являются одним из основных факторов формирования климата планеты. При этом более 60% бореальных лесов сосредоточено в России [1]. Гибель бореальных лесов является одним из факторов превращения глобального потепления в устойчивый процесс [5].

В бореальных лесах (в почве и растительности) сосредоточено около 30% всего углерода наземных экосистем, что больше, чем в любых других наземных экосистемах, и почти в 2 раза больше, чем в тропических лесах [7]. Катастрофические нарушения природной среды, включая заготовку древесины, увеличивают гетеротрофную респирацию. Это, как правило, усиливает потепление климата [5], поэтому огромное количество депонированного в почве и растительности углерода обусловливает значительную роль бореальных лесов при формировании климата будущего. Известно [6], что депонирование углерода лесами за последнее десятилетие снизилось почти на 50%. Причина состоит в том, что рубка лесов превышает их естественный прирост. Считается [5], что запрет сплошных рубок позитивно скажется на климате в краткосрочной перспективе, так как при сплошных рубках происходит интенсивная эмиссия углерода. Также изменения в хозяйственных мероприятиях могут повлиять как на подверженность лесов климатическим изменениям, так и на сам климат, поскольку сами климатические тренды существенно зависят от состояния глобального растительного покрова.

На состояние лесов огромное влияние оказывает загрязненный воздух. Вредное влияние загрязненного воздуха на растения происходит как путем прямого действия газов на ассимиляционный аппарат, так и путем косвенного воздействия через почву. В настоящее время установлено [3], что на атмосферное загрязнение воздуха более остро реагируют хвойные, по сравнению с лиственными породами. Одной из причин повышенной чувствительности хвойных является длительный срок жизни хвои, а также снижение массы хвои при повреж-

дении (дефолиация, ожог, уменьшение ее длины). Наблюдения показывают, что при частых или постоянных воздействиях загрязняющих веществ, в тканях растений постепенно накапливаются токсичные соединения. Вещества, накапливающиеся в течение первых двух лет, приводят к отмиранию хвои. Остающаяся на дереве одно- и двухлетняя хвоя не способна обеспечить нормальный рост и развитие дерева, т.к. первая начинает нормально функционировать лишь в середине лета, а вторая уже значительно ослаблена накопленными токсическими веществами. Отмечается [3], что под влиянием промышленного загрязнения происходит повреждение хвои всех возрастов. Лиственные породы деревьев в этих условиях более устойчивы, поскольку ежегодно сбрасывают листву и освобождаются от вредных соединений. В свою очередь антропогенно нарушенные леса хуже выполняют свои средоформирующие и средозащитные функции, в том числе свою климатическую роль при поддержании теплового и водного балансов территории.

В последние годы леса в России испытывают значительное неблагоприятное воздействие со стороны антропогенных факторов [2], включая влияние промышленных предприятий и вырубки, которое нарастает в определенных регионах. К примеру, если рассмотреть Кировскую область [1], лесистость ее территории составляет 63%. Эксплуатационных фонд лесных земель в Кировской области включает 6,3 млн. га или 78% от общей площади лесов. В период с 1956 по 2002 гг. площади приспевающих хвойных лесов в Кировской области сократились в 2 раза и наметилась устойчивая тенденция смены хвойных пород березой и осиной. На 2005 г. эксплуатационный фонд был вырублен на площади 22 тыс. га. При этом лесовосстановление проведено на площади 17,3 тыс. га, что составило 79 % от площади вырубок [1]. Помимо этого наблюдается негативная динамика изменения состояния лесного покрова вблизи крупных промышленных объектов по анализу спутниковых данных. Например, исследования лесов вблизи объекта уничтожения химического оружия «Марадыковский» в Кировской области с помощью аэрокосмических методов и спектральных индексов NDVI и NDWI в 2005-2009 гг. показали, что в указанный период не проявлялось усыхание хвойных деревьев, однако происходило снижение уровня хлорофилла в отдельных лесных массивах в результате промышленных выбросов [4].

В связи с этим представляется актуальным разработать динамическую ГИС-модель изменения регионального климата в результате процессов обезлесения и деградации лесов на основе спутниковых данных дистанционного зондирования на примере Кировской области. В дальнейшем данная модель может быть адаптирована для других лесных регионов России и стран мира, где наблюдаются подобные негативные тренды.

Гипотезой для создания динамической ГИС модели изменения регионального климата является то, что масштабные вырубки влияют на углеродный цикл территории, что в долгосрочной перспективе оказывает влияние на региональный климат. Предполагается, что на территориях, подвергшихся вырубкам, изменяются климатические параметры в результате обезлесения и смены видового состава деревьев. Помимо этого, угнетенные в результате атмосферного загрязнения леса не могут в полной мере выполнять свои функции по поддержанию водного и теплового балансов территории, что в конечном итоге негативно сказывается на климатических параметрах. Нахождение корреляции между изменением регионального климата и антропогенной динамикой площадей и состояния лесной территории и создание динамической ГИС-модели, отражающей данные взаимосвязи за период свыше 30 лет, помогут оценить масштабы происходящих изменений и, при необходимости, принять соответствующие управленческие меры.

В настоящее время нами проводится подготовительный этап исследований по определению влияния промышленного загрязнения атмосферного воздуха и вырубки лесов на климатические изменения на региональном и локальном уровнях. Осуществлен сбор статистических данных о лесистости территории и крупных промышленных предприятий Кировской области, производящих выбросы загрязняющих веществ в атмосферу и находящихся вблизи лесов (всего подобрано 11 промышленных объектов, удовлетворяющих данным требованиям). Составлена база климатических параметров на основе данных от 15 метеорологических станций на территории Кировской области с 1988 по 2018 гг.: г. Вятские Поляны, пгт. Кильмезь, г. Кирс, г. Котельнич, пгт. Кумены, д. Коммуна Мурашинского

района, г. Нолинск, пгт. Опарино, пгт. Санчурск, пгт. Уни, г. Уржум, пгт. Фаленки, пгт. Ленинское Шабалинского района, г. Яранск, г. Киров. Начата работа по установлению корреляции между рядом отдельных климатических параметров и вырубкой лесов на территории Кировской области. К примеру, выявлены флуктуации климатических параметров (среднегодовая и среднемесячные температуры и суммы осадков, минимальные и максимальные среднемесячные температуры и др.) в ряде районов, подверженных вырубкам лесов: Уржумский, Нолинский, Яранский. Планируется продолжать исследования.

Таким образом, перспективы создания динамической ГИС модели изменения регионального климата в результате процессов обезлесения и деградации лесов с использованием спутниковых данных дистанционного зондирования являются многообещающими. Совершенно очевидна актуальность нахождения корреляций между динамикой регионального климата и изменениями площадей лесных территорий и деградацией лесов в результате вырубок и промышленного загрязнения воздуха с использованием спутниковых данных дистанционного зондирования и наблюдений гидрометеорологических станций на примере Кировской области. Полученные результаты в дальнейшем могут быть использованы для создания новых и усовершенствования существующих климатических моделей, а также картографирования изменения климата от локального до международного уровней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Видякин А. И., Ашихмина Т. Я. Проблемы восстановления лесов Кировской области // Современные проблемы лесопользования, охотоведения и звероводства. – 2007. – №1. – С. 67–68.

2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации», 2009 - 2016 гг.

3. Николаевский В. С. Биологические основы газоустойчивости растений. – Новосибирск: Наука, 1979. – 278 с.

4. Новикова (Клековкина) Е. А. Геоэкологическая оценка динамики природно-техногенной системы района строительства и функционирования объекта уничтожения химического оружия: Дис. ... канд. географ. наук. – Киров, 2011. – 173 с.

5. Олссон Р. Использовать или охранять? Бореальные леса и изменение климата // Устойчивое лесопользование. – 2012. – №3 (32). – С. 40–45.

6. Bergkvist, B & Olsson, M. Kolet, klimatet och skogen – Sa kan skogsbruket paverka. Information fran LUSTRA (2008).

7. Kasischke, E.S. Boreal ecosystems in the global carbon cycle. In Kasischke, E S m. fl. (eds): Fire, Climate Change and Carbon Cycling in the Boreal Forest. Ecological Studies (Analysis and Synthesis), Vol. 138, 19–30, Springer, New York, NY (2000).

ТЕНДЕНЦИИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Л.К. Клещенко
LKK.Obninsk@yandex.ru

Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных», г.Обнинск, Россия

Солнечная радиация, поступающая на землю, является одним из главных факторов формирования климата нашей планеты, а продолжительность солнечного сияния (ПСС) – важной характеристикой климата. Создание в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» базы данных «Суммарная за месяц продолжительность солнечного сияния на станциях России» [1] и доступность оперативных сводок «КЛИМАТ», содержащих информацию о ПСС за про-

шедший месяц, позволили приступить к мониторингу этого параметра на территории Российской Федерации (РФ) по аналогии с температурой воздуха и атмосферными осадками [5]. Результаты анализа данных о ПСС помещаются на сайте ВНИИГМИ-МЦД [4].

В настоящей работе представлены оценки многолетних изменений ПСС, полученные в рамках системы мониторинга [3] с использованием данных наблюдений по 2018 год включительно. (Ранее в [2] использовались данные по 2015 г.) К расчетам привлекались данные с 1961 г., когда с увеличением числа станций, представленных в информационной базе, существенно улучшилась территориальная освещенность данными. Сезонные суммы ПСС рассчитывались для каждой станции по месячным значениям при наличии данных за все три месяца календарного сезона (сезон «зима» включает декабрь предыдущего года), а годовые – при наличии всех 12 месяцев года (январь-декабрь). Для проведения расчетов использовались относительные аномалии ПСС, представляющие собой отношение суммарной продолжительности за сезон/год к соответствующей норме (среднее многолетнее значение ПСС за период 1981-2010 гг.), выраженное в процентах.

В качестве характеристик многолетних изменений ПСС рассматриваются параметры линейного тренда: угловой коэффициент *b*, характеризующий тенденцию (среднюю скорость) изменений анализируемой величины (относительной аномалии) на заданном отрезке времени и вклад тренда в общую дисперсию ряда *D*. Тренд рассчитывался методом наименьших квадратов, он выражен в процентах за десятилетие (%/10лет). Уровень статистической значимости тренда определялся с помощью критерия Стъюдента.

Оценки тренда получены по временным рядам сезонных и годовых относительных аномалий ПСС на станциях, а затем их географическое распределение показано на картах в виде полей изолиний. Аналогичные оценки рассчитаны для крупных регионов: для территории РФ в целом, ее европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей, девяти физико-географических регионов и восьми Федеральных округов (ФО). Методика получения временных рядов пространственно осредненных относительных аномалий ПСС описана в [3].

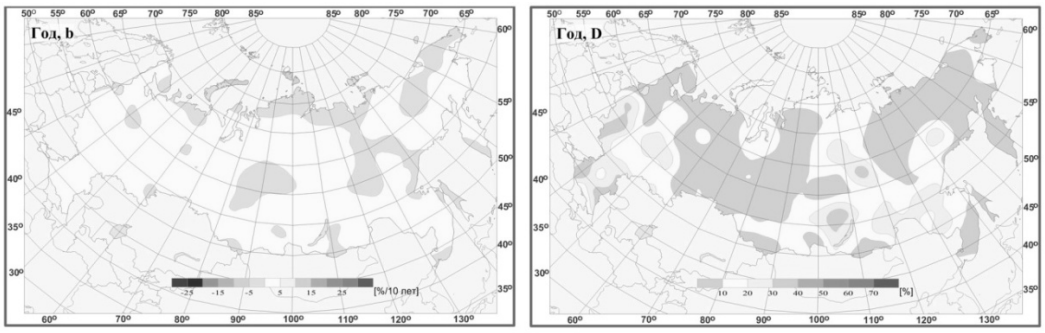


Рис. 1. Оценки параметров линейного тренда относительных аномалий суммарной за год продолжительности солнечного сияния на территории РФ за период 1976-2018 гг.: угловой коэффициент b (слева) и вклад тренда в полную дисперсию ряда D (справа)

На рисунке 1 представлено географическое распределение параметров тренда годовых аномалий продолжительности солнечного сияния, рассчитанных для периода 1976-2018 гг. (1976 год условно принят за начало глобального потепления). Как видно, преобладающей тенденцией на территории РФ является рост ПСС. При этом на значительной территории тренд является статистически значимым – здесь и далее рассматривается 5%-й уровень значимости, которому при длине ряда 43 года соответствует вклад тренда в дисперсию более 9% (на рисунках вклад тренда менее 10% показан сиреневым цветом). Тренд годовых сумм ПСС в среднем для территории России составляет 1.2%/10лет, а его вклад в суммарную дисперсию ряда – 31% (табл. 1), причем в ЕЧР тренд выражен в большей степени (*b*=2.0%/10лет), чем в АЧР, где *b*=0.8%/10лет. В отдельных районах вклад положительного тренда в дисперсию ряда достигает более 40 % (юг ЕЧР, Восточная Сибирь). Как видно из таблицы 1, наибольший вклад в тренд годовых сумм ПСС в ЕЧР вносят весенний и летний сезоны, а в АЧР – зимний.

Таблица 1. Оценки линейного тренда относительных аномалий продолжительности солнечного сияния, осредненной по регионам России, 1976-2018 гг.

b *– коэффициент линейного тренда (%/10 лет),* ***D*** *– вклад тренда в общую дисперсию ряда (%)*

Регион	**Год**		**Зима**		**Весна**		**Лето**		**Осень**	
	b	***D***	***b***	***D***	***b***	***D***	***b***	***D***	***b***	***D***
Российская Федерация	**1.2**	**32**	**2.7**	**22**	**1.0**	**16**	**0.9**	**27**	0.2	0
ЕЧР	**2.0**	**35**	-0.1	0	**2.1**	**19**	**2.7**	**44**	0.6	1
АЧР	**0.8**	**18**	**3.5**	**34**	0.6	7	0.2	1	0.0	0
Физико-географические регионы РФ										
Север ЕЧР и Зап. Сибири	0.7	2	0.6	0	0.3	0	0.8	1	-1.4	2
Север Вост. Сибири и Якутии	**0.9**	**12**	**10.2**	**42**	0.9	6	-0.2	0	-0.3	0
Чукотка и север Камчатки	0.8	2	5.5	8	-1.6	4	1.7	4	0.8	0
Центр ЕЧР	**2.1**	**19**	-0.2	0	**2.2**	**13**	**3.0**	**29**	0.8	1
Центр и юг Зап. Сибири	0.7	3	**5.4**	**14**	0.4	0	0.2	0	-0.6	0
Центр и юг Вост. Сибири	**1.2**	**23**	**3.7**	**35**	**1.6**	**22**	0.4	1	-0.2	0
Дальний Восток	0.3	3	**1.6**	**11**	0.3	0	-0.7	2	0.5	1
Алтай и Саяны	**0.9**	**9**	1.2	4	0.8	3	1.0	8	0.1	0
Юг ЕЧР	**2.5**	**40**	1.0	1	**3.0**	**17**	**3.3**	**47**	1.0	3
Федеральные округа РФ										
Центральный	**2.5**	**17**	-4.4	4	**3.9**	**21**	**3.3**	**24**	1.1	1
Южный	**3.1**	**49**	1.5	2	**3.3**	**18**	**3.8**	**51**	2.0	8
Северо-западный	0.6	2	-4.9	7	1.2	4	1.0	3	-2.6	6
Дальневосточный	**0.6**	**15**	**3.4**	**29**	0.5	4	-0.3	1	0.2	0
Сибирский	**0.9**	**14**	**3.2**	**21**	0.9	6	0.4	3	-0.1	0
Уральский	1.0	5	**5.6**	**13**	-0.0	0	1.4	4	-0.6	0
Приволжский	**2.4**	**17**	3.2	3	1.4	4	**3.5**	**28**	1.3	1
Северо-Кавказский	**1.9**	**25**	0.1	0	**2.3**	**11**	**3.1**	**35**	0.7	1

Примечание. Тренд статистически значимый на 5%-м уровне показан жирным шрифтом.

Географическое распределение параметров трендов сезонных аномалий ПСС, рассчитанных для периода 1976-2018 гг., представлено на рисунке 2. Согласно полученным оценкам, на территории РФ во все сезоны, за исключением осени, преобладает положительный тренд ПСС. Наиболее ярко выраженным является тренд ПСС в **зимний** сезон (*b*=2.7%/10лет). При этом наиболее существенное увеличение ПСС наблюдается в АЧР (в среднем для всей территории *b*=3.5%/10лет). В регионе «Север Восточной Сибири и Якутия» тренд составляет 10.2%/10лет, а вклад тренда в дисперсию ряда достигает 42% . В то же время в западной половине ЕЧР в зимний сезон отмечается отрицательный тренд ПСС. В Центральном и Северо-западном ФО он составляет более -4%/10лет, а на отдельных станциях до -20%/10лет. В результате в среднем для ЕЧР зимний тренд имеет отрицательный знак, но является статистически не значимым.

Многолетние изменения ПСС в **весенний** сезон на территории РФ характеризуются преобладанием слабого положительного тренда, существенно меньшим по сравнению с зимним сезоном. В среднем для РФ весенний рост ПСС составляет 1%/10лет. Вклад тренда в суммарную дисперсию на большей части страны составляет менее 10%. Статистически значимым весенний рост ПСС является только в центре и на юге ЕЧР, а также в Восточной Сибири. В регионе «Чукотка и север Камчатки» в весенний сезон наблюдается слабый, статистически не значимый отрицательный тренд ПСС (*b*=-1.6%/10лет, D=4%).

Основной особенностью географического распределения характеристик тренда для **летнего** сезона является существенное возрастание вклада положительного тренда в дисперсию на европейской территории РФ (на отдельных станциях D достигает более

50%, а для региона в целом составляет 44%) при отсутствии значимых трендов на остальной территории. Дополнительно обращает внимание некоторое увеличение территории с отрицательным трендом в АЧР, однако только в Дальневосточном регионе и на севере Восточной Сибири отрицательный тренд является преобладающим (коэффициент линейного тренда для регионально осредненных аномалий имеет отрицательный знак).

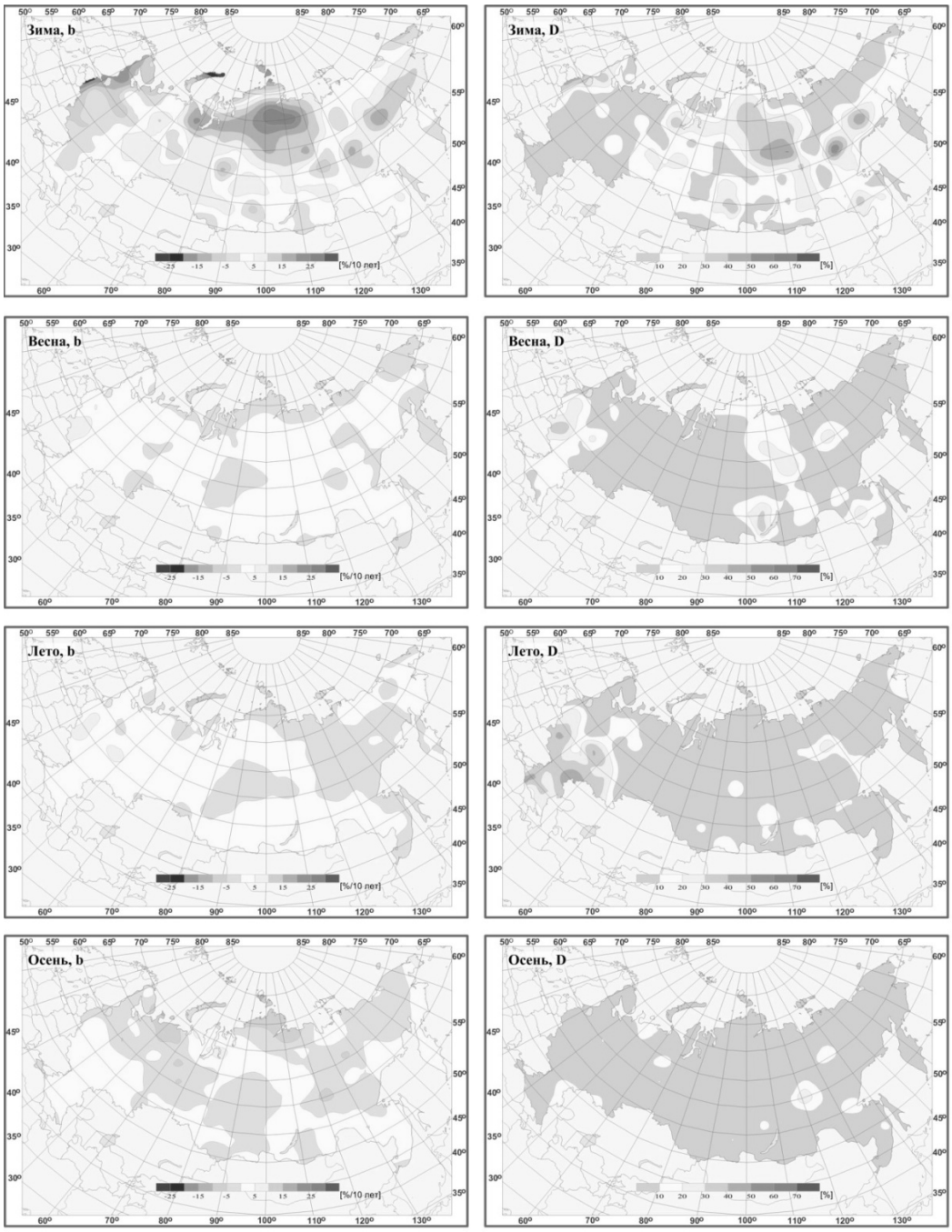


*Рис. 2. Оценки параметров линейного тренда относительных аномалий суммарной за сезон продолжительности солнечного сияния на территории РФ за период 1976-2018 гг.: угловой коэффициент **b** (слева) и вклад линейного тренда в полную дисперсию ряда **D** (справа)*

В **осенний** сезон территория страны, занятая отрицательным трендом, еще больше увеличивается. Отрицательный тренд становится преобладающим в целом ряде крупных регионов не только в АЧР, но и в ЕЧР. Однако ни в одном из регионов этот тренд не является статистически значимым.

Насколько основные тенденции современных изменений ПСС являются устойчивыми? Чтобы ответить на этот вопрос, для годовых и сезонных аномалий ПСС (осредненных по территории РФ в целом и отдельно по ЕЧР и АЧР) были получены оценки параметров линейного тренда для нескольких скользящих 30-летних периодов (табл. 2). Сами многолетние ряды средних региональных относительных аномалий ПСС представлены на рисунке 3, где они дополнены скользящими 11-летними средними и линией тренда для периода, начинающегося 1976 годом (оценки этого тренда приведены в табл. 1).

Таблица 2. Оценки линейного тренда аномалий годовой и сезонной продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории РФ, ее европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей

b – коэффициент линейного тренда, D – вклад тренда в общую дисперсию ряда (%)

Сезон	1971-2000		1976-2005		1981-2010		1986-2015		1989-2018	
	b	***D***	***b***	***D***	***b***	***D***	***b***	***D***	***b***	***D***
РФ										
Год	0.4	2	**1.3**	**20**	**1.4**	**21**	**1.1**	**18**	**1.2**	**20**
Зима	-0.9	2	1.1	2	**4.3**	**26**	**5.7**	**40**	**5.4**	**37**
Весна	1.0	6	1.3	11	1.4	12	1.2	10	1.1	10
Лето	0.6	5	**1.6**	**31**	0.9	12	0.3	2	0.5	4
Осень	-0.7	2	-0.2	0	0.4	1	0.2	0	0.3	0
ЕЧР										
Год	-0.1	0	**2.0**	**20**	**2.3**	**24**	**2.8**	**33**	**2.7**	**28**
Зима	**-6.6**	**18**	-4.3	9	2.8	4	**6.9**	**24**	**5.1**	**13**
Весна	0.3	0	1.8	7	1.9	8	**2.9**	**17**	**3.4**	**21**
Лето	0.0	0	**3.2**	**37**	**2.6**	**26**	**2.7**	**26**	**2.7**	**26**
Осень	0.1	0	1.1	2	1.6	4	0.7	1	0.5	0
АЧР										
Год	0.6	4	**1.1**	**13**	1.0	12	0.5	4	0.6	7
Зима	0.6	1	2.7	12	**4.7**	**30**	**5.3**	**36**	**5.5**	**39**
Весна	1.2	9	1.2	10	1.2	10	0.6	3	0.3	1
Лето	0.8	7	0.8	7	0.2	0	-0.8	6	-0.5	3
Осень	-1.0	3	-0.8	2	-0.0	0	-0.0	0	0.3	0

Примечание. Линейный тренд статистически значимый на 5%-м уровне показан жирным шрифтом.

Полученные оценки хорошо отражают характер тенденций многолетних изменений ПСС. В ЕЧР наибольшей устойчивостью характеризуется наблюдающийся рост ПСС в летний сезон, когда положительный тренд является статистически значимым во все 30-летия, начиная с 1976 г. Также устойчивым является в ЕЧР и положительный тренд ПСС в весенний сезон. Что касается зимнего сезона, то на рисунке 3 видно, что средняя по ЕЧР аномалия зимних сумм ПСС уменьшалась до начала 1990-х годов, а затем начался ее активный рост с последующим замедлением. Оценки тренда для скользящих 30-летних рядов при этом претерпевают следующие изменения: тренд в период 1971-2000 гг. имеет отрицательный знак и является статистически значимым (b=-6.6%/10лет, D=18%), в последующее тридцатилетие тренд уменьшился, а затем поменял знак и стал положительным. Далее положительный тренд приобрел статистическую значимость, но в последнее тридцатилетие (1989-2018 гг.) рост ПСС несколько замедлился. Таким образом, в ЕЧР на рубеже 1990-х годов сформировалась тенденция к увеличению зимних сумм ПСС, которая не нашла отражения в слабом отрицательном тренде, полученном для периода 1976-2018 гг. в целом. Изменения ПСС в осенний сезон во все 30-летия характеризуются в ЕЧР не значительным положительным трендом.

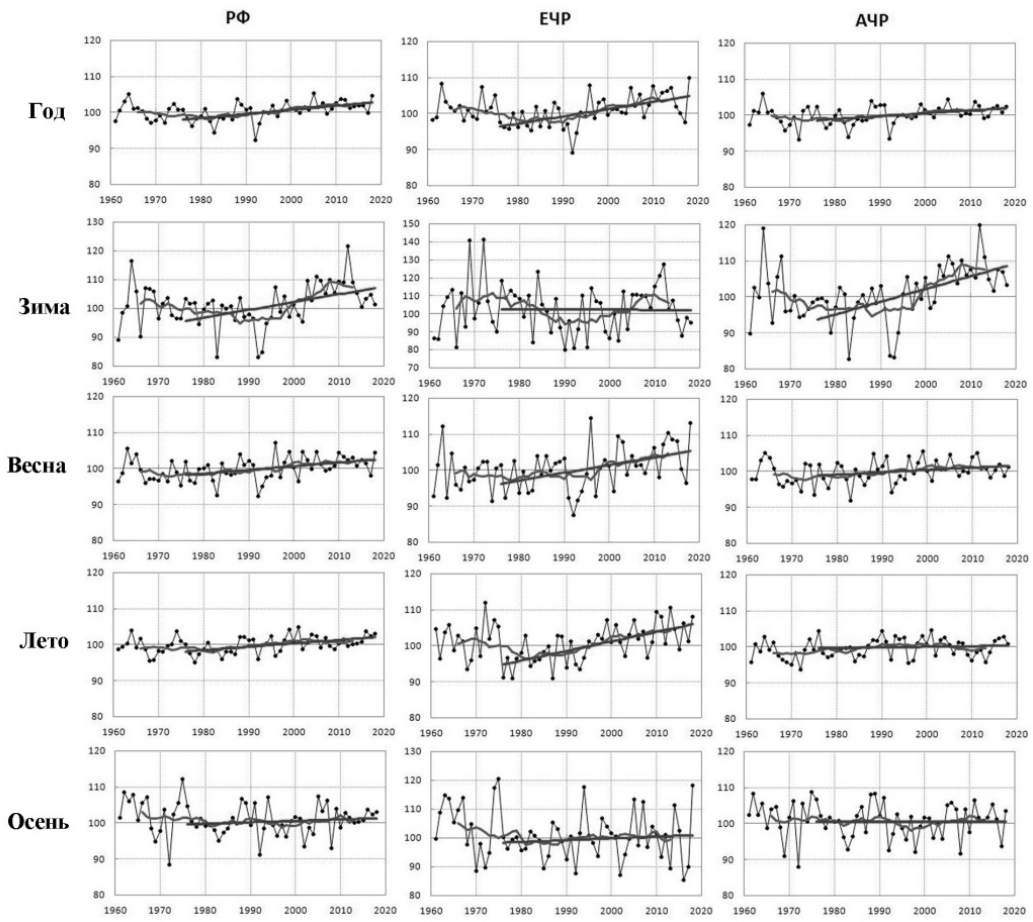


Рис. 3. Относительные аномалии (%) годовой и сезонной продолжительности солнечного сияния, осредненной по территории РФ, ее европейской (ЕЧР) и азиатской (АЧР) частей. Дополнительно показаны: 11-летние скользящие средние (синие кривые) и линейный тренд за 1976-2017 гг. (красные линии)

В АЧР обнаруживается только устойчивая тенденция к росту ПСС в зимний сезон, причем в последнее 30-летие положительный тренд усилился и составил 5.5%/10лет. В остальные сезоны, ярко выраженные однонаправленные тенденции отсутствуют. Так, в весенний сезон, наблюдавшийся в течение рассматриваемого периода положительный тренд ПСС постепенно ослабевал (от 0.6 до 0.3%/10лет), а в летний сезон в середине периода поменял знак на отрицательный. В изменениях осенних сумм ПСС в последнее 30-летие наблюдается переход от слабого отрицательного к положительному тренду.

В результате наличия региональных особенностей в многолетних изменениях сезонных сумм ПСС оценки тренда годовых сумм в ЕЧР и АЧР несколько различаются. В ЕЧР в 30-летние периоды, начиная с 1976 г., отмечался статистически значимый положительный тренд годовых сумм ПСС (скорость роста *b* при этом увеличивалась от 2.0 до 2.7%/10лет). В АЧР положительный тренд статистически значимым был только в период 1976-2005 гг. В последующие периоды скорость роста ПСС уменьшилась почти вдвое (от 1.1 до 0.6%/10лет). Тем не менее, благодаря одинаковой направленности трендов в рядах средних годовых аномалий для обеих частей РФ, общей тенденцией для территории России в целом является увеличение суммарной за год ПСС. Статистически значимый тренд годовых сумм ПСС наблюдается во все периоды, начиная с 1976 г., что позволяет считать эту тенденцию устойчивой. (Напомним, что оценки трендов нельзя экстраполировать за пределы анализируемых рядов.)

Таким образом, проведенные расчеты позволяют сделать вывод, что выявленная ранее [2] тенденция к росту продолжительности солнечного сияния на территории России сохраняется. Следует отметить, что во всех пяти странах (Великобритания, Германия, Швеция, Дания, Эстония), для которых в Региональном Бюллетене ВМО за 2016 год при-

водятся временные ряды годовых сумм ПСС или ее аномалий, также, начиная со средины 1970-х годов, обнаруживается положительный тренд [6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Апасова Е.Г., Клещенко Л.К. Описание массива данных суммарной за месяц продолжительности солнечного сияния на станциях России. http://meteo.ru/data/160-sunshine-duration#описание-массива-данных.

2. Клещенко Л.К. Некоторые результаты статистического анализа данных о продолжительности солнечного сияния на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. – Вып. 181. – С. 69-85.

3. Клещенко Л.К. Мониторинг продолжительности солнечного сияния на территории России // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2018. – Вып. 182. – С. 29-46.

4. Климатические условия на территории России. http://meteo.ru/pogoda-i-klimat/93-klimaticheskie-usloviya/179-klimaticheskie-usloviya-na-territorii-rossii

5. Мониторинг климата России. http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman &task=cat_view&gid=32&Itemid=75&lang=ru.

6. Annual Bulletin on the Climate in WMO Region VI – Europe and Middle East – 2016. https://www.dwd.de/EN/ourservices/ravibulletinjahr/ravibulletinjahr.html.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ФОРМИРУЮЩИХ КЛИМАТИЧЕСКУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ НА ВНУТРИСЕЗОННЫХ МАСШТАБАХ ВРЕМЕНИ

Н.К. Кононова, С.В. Морозова, Е.А. Полянская
swetwl@yandex.ru

Институт географии РАН, г.Москва, Россия
Саратовский государственный университет, г.Саратов, Россия

Известно, что наиболее ярким индикатором климатических изменений является температура воздуха. Авторами по ходу средней полушарной приповерхностной температуры воздуха выделены временные интервалы с однонаправленными тенденциями изменения, названные естественными климатическими периодами состояния земной климатической системы [7].

Однако среднегодовые температуры складываются из ежедневных, средних суточных, средних месячных, средних сезонных температур. Для климатических масштабов наибольший интерес представляют, помимо средних годовых, средние сезонные и средние месячные температуры. Средние суточные температуры определяются, в первую очередь, характером синоптического процесса, развивающегося над территорией. По мнению В.Н. Крыжова [4] связь средних годовых, тем более средних сезонных и средних месячных температур с типами атмосферной циркуляции исследуется довольно редко, хотя оказывается интересным посмотреть вклад определенного типа циркуляции в среднегодовые, средние сезонные, средние месячные температуры в глобальном и региональном аспектах.

Многими исследователями, например, А.И. Угрюмовым [6], установлены статистически значимые связи индексов атмосферной циркуляции с зимними условиями Северо-Западного региона России.

В ряде работ, выполненных для Нижнего Поволжья, представлены статистические характеристики не только синхронных, но и асинхронных связей состояния Исландского циклона (положение и глубина которого на 95% определяет величину индекса NAO) с погодными условиями Нижнего Поволжья. Асинхронные связи используются как предикторы для прогноза температурно-влажностных аномалий погодного режима и типов сезонных гидрометеорологических явлений для Саратовской области [1, 5].

Однако задачей исследования является выявление типов процессов, формирующих изменчивость температур на внутрисезонных масштабах времени. Для такого исследования выбран юго-восток Русской равнины. Временными промежутками исследования повторяемости типов атмосферной циркуляции выбраны 1949-1969 гг., соответствующий периоду стабилизации, и 1998-2007 гг., соответствующий второй волне глобального потепления.

В качестве индикаторов атмосферной циркуляции привлечена региональная типизация атмосферных процессов, разработанная для Нижнего Поволжья В.Л. Архангельским [2], впоследствии уточненная Е.А. Полянской. Этими авторами все многообразие синоптических процессов сведено к семи основным типам.

I. Циклоническая деятельность на арктическом фронте.

II. Воздействие арктического антициклона.

III. Воздействие зимнего азиатского антициклона.

IV. Воздействие субтропического антициклона.

V. Малоградиентные поля повышенного и пониженного давления.

VI. Циклоническая деятельность на полярном фронте.

VII. Деформационное поле.

В таблице 1 приведено число дней с процессами каждого типа по трем пунктам Нижнего Поволжья – Самара, Волгоград, Астрахань для каждого месяца зимнего сезона.

Таблица 1. Среднее число дней с синоптическими процессами зимой (нечетные строки таблицы – период стабилизации, четные – вторая волна глобального потепления)

Тип	Самара			Волгоград			Астрахань		
	XII	I	II	XII	I	II	XII	I	II
I	10,1	7,8	7.2	5,1	8,2	6,0	4,1	6,8	4,6
	9,9	11,4	9,2	7,7	6,4	5,9	4,3	5,5	4,0
II	4,5	5,3	6,1	4,0	4,7	5,7	3,9	4,4	5,2
	4,8	3,4	3,8	5,2	3,7	3,9	4,9	2,9	4,8
III	8,9	7,1	6,6	6,6	5,4	5,5	7,2	5,7	5,9
	6,7	8,6	6,9	6,0	7,4	5,3	6,6	7,6	5,5
IV	0,9	0,7	1,1	1,6	1,5	1,9	2,0	2,0	1,9
	0,2	0,1	0,4	1,5	0,5	1,1	1,2	0,2	1,4
VI	1,4	1,6	1,4	1,8	1,7	1,3	2,0	1,5	1,5
	2,8	4,1	3,7	3,4	5,6	4,9	6,8	7,7	6,5
VI	6,5	4,6	3,7	10,1	8,3	6,4	8,8	7,4	5,6
	3,5	2,1	3,0	4,8	2,2	5,4	4,2	2,4	4,9
VII	1,3	0,5	0,1	1,5	1,2	1,8	0,8	2,2	0,5
	1,8	1,5	2,0	1,2	1,9	1,6	1,3	2,0	1,6

Из анализа синоптических процессов в зимние месяцы (табл. 1) можно отметить, что общий температурный фон в зимние месяцы во всех трех пунктах формируется преимущественно под влиянием трех типов процессов – циклонической деятельности на арктическом фронте, воздействием арктических антициклонов и влиянием западной периферии зимнего азиатского антициклона. Однако во всех трех пунктах проявляются свои особенности. Так в Самаре преобладающими являются I (циклоническая деятельность на арктическом фронте) и III (западная периферия зимнего азиатского антициклона) типы синоптических процессов – 30% и 25% соответственно.

В Волгограде оказываются равновероятными три типа процессов – I, III и IV (воздействие субтропического антициклона) – по 20%.

В Астрахани, как это не покажется странным, общий температурный фон зимних месяцев формируется по большей части под воздействием западной периферии зимнего азиатского антициклона. Вероятность этого процесса составляет примерно 20%.

Оказывается интересным рассмотреть повторяемость синоптической процессов на фоне глобальных климатических тенденций. Рассмотрим синоптические процессы в период стабилизации и во вторую волну глобального потепления.

Согласно данным таблицы 1 во все зимние месяцы, во всех трех пунктах, при переходе от периода стабилизации ко второй волне глобального потепления произошло уменьшение повторяемости циклонической деятельности на полярном фронте и воздействия субтропических антициклонов. Во вторую волну глобального потепления в Нижнем Поволжье стали чаще отмечаться малоградиентные и деформационные поля по сравнению с периодом стабилизации.

Частота воздействия на регион зимнего азиатского антициклона в целом за зимний сезон не изменилась в два исследуемых климатических периода в Самаре. В Волгограде и Астрахани отмечается некоторое увеличение повторяемости воздействия данного типа процесса (III) во вторую волну глобального потепления, чем в период стабилизации. Однако не во все зимние месяцы обозначенная тенденция имеет место (табл. 1).

Также в целом за зимний сезон в Нижнем Поволжье от первого исследуемого климатического периода ко второму уменьшается число случаев воздействия арктических антициклонов, однако, такая тенденция не проявилась в декабре во всех трех пунктах Нижнего Поволжья. Такое развитие синоптических процессов в регионе определяет проявляющуюся в последнее время региональную климатическую тенденцию – более теплые условия начала зимы, более поздние сроки установления снежного покрова на юго-востоке Русской равнины.

Самая интересная особенность формирования региональных климатических тенденций проявляется в том, что повторяемость процесса I типа (циклоническая деятельность на арктическом фронте) от периода стабилизации ко второй волне глобального потепления растет в Самаре, не изменяется в Волгограде и уменьшается в Астрахани, опять же за исключением декабря. В декабре тенденция противоположная. Отмеченное развитие синоптических процессов может подтвердить зональность потепления – в более северных широтах рост температуры оказывается сильнее. Повторяемость процессов I типа в выбранных пунктах Нижнего Поволжья два исследуемых климатических периода подтверждает именно этот факт.

Число случаев воздействия синоптических процессов каждого типа по трем пунктам Нижнего Поволжья в летние месяцы представлено в таблице 2.

Таблица 2. Среднее число дней с синоптическими процессами летом (нечетные строки таблицы – период стабилизации, четные – вторая волна глобального потепления)

Тип	Самара			Волгоград			Астрахань		
	VI	VII	VIII	VI	VII	VIII	VI	VII	VIII
I	6,1	4,1	4,2	3,3	2,1	2,2	2,0	1,5	1,5
	8,7	5,0	4,9	6,5	3,8	3,9	3,8	2,9	2,5
II	4,3	4,1	6,9	3,1	3,1	5,0	2,9	2,8	4,6
	8,5	11,2	10,3	7,3	10,1	9,9	7,3	9,0	9,9
IV	6,3	6,4	4,2	8,3	8,6	6,6	8,9	9,7	7,6
	3,6	№.3	3,8	4,2	4,6	5,3	6,5	5,6	5,7
VI	3,5	4,4	3,5	3,7	4,3	3,4	4,1	4,9	4,1
	7,8	7,8	5,0	7,7	8,1	7,1	10,0	9,6	9,1
VI	8,4	10,5	10,	10,4	11,4	12,4	9,4	10,0	10,6
	3,0	3,0	3,0	3,0	4,1	4,4	2,6	2,8	2,1
VII	0,1	0,2	1,0	3,7	3,9	3,7	0,2	0,5	0,8
	1,4	1,6	1,8	3,7	3,9	3,7	1,6	1,7	1,6

Согласно данным таблицы 2, некоторые тенденции развития синоптических процессов от одного исследуемого климатического периода к другому сохраняются и в летние ме-

сяцы. Так, над регионом в период стабилизации чаще проходили полярно-фронтовые циклоны, чаще воздействовал отрог субтропического максимума давления и реже наблюдались мало-градиентные и деформационные поля, чем во вторую волну глобального потепления. Причем эта тенденция прослеживается во все летние месяцы по всем трем пунктам, за исключением Волгограда. В Волгограде и в каждом летнем месяце, и в целом за летний сезон в два климатических периода повторяемость деформационных полей не изменилось.

Отметим еще одну интересную особенность течения синоптических процессов над регионом летом. От периода стабилизации о второй волне глобального потепления отмечаем увеличение повторяемости воздействия на регион арктических антициклонов и процессов циклонической деятельности на арктическом фронте. Причем число случаев арктических воздействий почти в два раза превышает повторяемость циклонов, развитых на арктическом фронте.

Если в период стабилизации основным погодоопределяющим процессом летом в Нижнем Поволжье была циклоническая деятельность на полярном фронте, то во вторую волну глобального потепления общий температурный фон региона формировался под преимущественным воздействием арктических антициклонов. Летняя трансформация воздуха в них способствует более частому возникновению в регионе интенсивных засух. Такое развитие синоптических процессов в различные климатические периоды может послужить объяснением подмеченной закономерности [3], что в последние десятилетия растет не столько частота засух, сколько их интенсивность.

Безусловно, циркуляция у земной поверхности не может не проявиться и в нижней и средней тропосфере. По данным реанализа о значениях геопотенциала на уровне АТ-500 гПа построены поля аномалий геопотенциала в два климатических периода – стабилизацию и вторую волну глобального потепления - для центральных месяцев зимнего (рис. 1) и летнего (рис. 2) сезонов. Временными интервалами осреднения барических полей взяты 1950 – 1974 гг. (период стабилизации), и 1996 – 2010 гг. (вторая волна глобального потепления).

а) б)

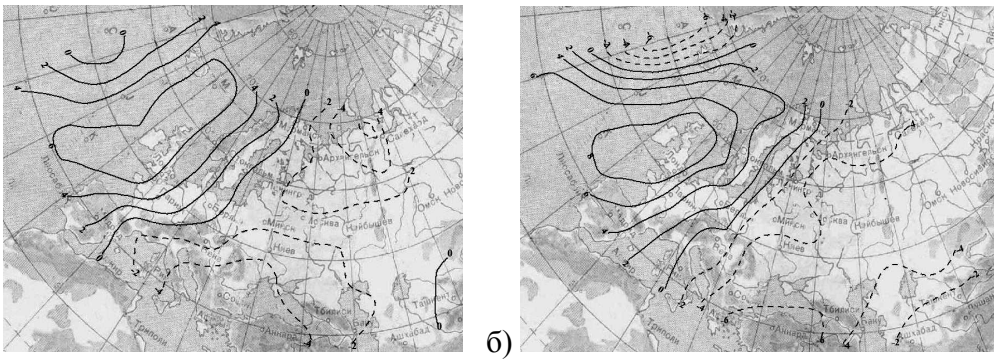


Рис.1. Среднее многолетнее поле изаномал геопотенциала поверхности 500 гПа, январь а) период стабилизации; б) вторая волна глобального потепления

а) б)

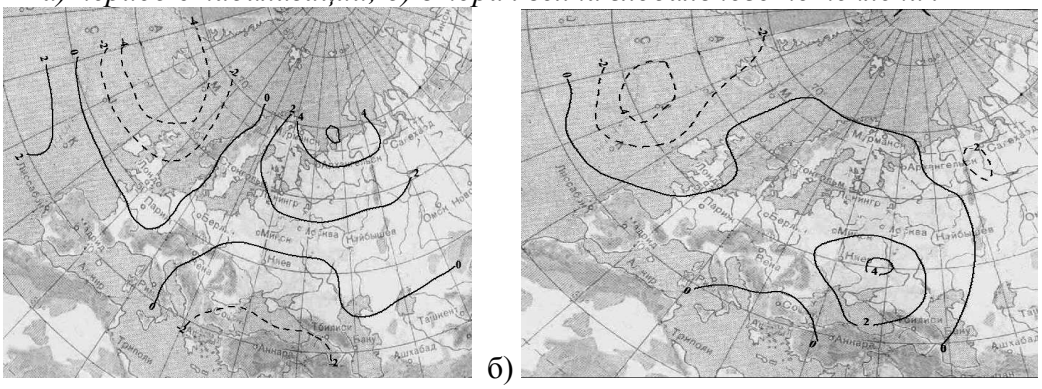


Рис. 2. Среднее многолетнее поле изаномал геопотенциала поверхности 500 гПа, июль а) период стабилизации; б) вторая волна глобального потепления

Как видно из рисунков 1 и 2, на всех картах выделяются климатически устойчивые области отрицательных и положительных аномалий геопотенциала, что указывает на преобладание определенных типов процессов. Так в январе (рис. 1а) в период стабилизации два замкнутых очага отрицательных аномалий геопотенциала указывают на активную циклоническую деятельность над восточной и южной Европой на арктическом и полярном фронтах. Во вторую волну глобального потепления (рис. 1б) исчезновение этих очагов и формирование единой полосы отрицательных аномалий геопотенциала является индикатором изменения повторяемости форм циркуляции, о чем говорилось выше.

В июле (рис. 2 а) в период стабилизации область отрицательных аномалий геопотенциала над югом Европы указывает на преобладание циклоничности в этом регионе. В следующий климатический период (рис. 2б) практически всю Европу занимает очаг положительных отклонений геопотенциала, что указывает на преобладание в этом районе антициклонов.

Таким образом, характер циркуляции на среднем уровне тропосферы может послужить основой выделения региональных климатических кластеров с преобладанием тех или иных форм атмосферной циркуляции, и соответственно температурно-влажностных режимов.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Института географии РАН, проект № 0148-2019-0009

ЛИТЕРАТУРА

1. Адрианова Л.В., Голдыбина С.В. (Морозова С.В.), Скоробогатова Э.Ф. О возможности прогноза сухих и нормально увлажненных сезонов вегетации яровой пшеницы для левобережья Саратовской области // Вопросы климата и погоды Нижнего Поволжья. – Саратов. Изд-во СГУ, 1989. – С. 11-15.

2. Архангельский В.Л. Региональная синоптика Нижнего Поволжья. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1968. – 208 с.

3. Второй Оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – М.: Изд-во ЗАО «Группа море», 2014. – 60 с.

4. Крыжов В.Н. Вероятностный сезонный прогноз температуры воздуха на основе статистических связей метеорологических величин. – Автореф дисс. на соискание ученой степени доктора геогр. наук. Москва, 2012. – С.47.

5. Морозова С.В., Алимпиева М.А. Физико-статистическая модель долгосрочного прогноза весенних дат перехода средней суточной температуры воздуха через 10˚С // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2018. № 3 (369). – Стр. 46-61.

6. Угрюмов А.И., Харькова Н.В. Современные изменения климата Санкт-Петербурга и колебания циркуляции атмосферы // Метеорология и гидрология, –2008. – № 1. –С. 24 – 30.

7. Morozova SV, Polyanskaya EA, Ivanova GF, Levitskaya NG, Denisov KE, Molchanova NP Variability of the circulation processes in the Lower Volga Region on the global climate trends // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES). Volume 107. – 2018.

ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ УЧЕТА ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ

Н.К. Кононова, С.В. Морозова, Е.А. Полянская
swetwl@yandex.ru

Институт географии РАН, г.Москва, Россия
Саратовский государственный университет, г.Саратов, Россия

Современное состояние земной климатической системы определяется как глобальное потепление. Оценен рост приповерхностной температуры для земного шара как 0,075ºС/100 лет. Модельные эксперименты показывают неуклонный рост температуры воздуха [6]. Однако с середины нулевых годов XXI века заметно существенное замедление темпов глобального потепления. Вполне резонными в данном случае становятся вопросы: как в дальнейшем будут развиваться процессы в земной климатической системе? Какими – обратимыми или необратимыми – будут эти изменения? Согласно модельным прогнозам в [6] опубликованы сценарии предстоящих климатических изменений – от мягких до крайне радикальных.

Однако, следует отметить, что прогрессивные изменения в земной климатической системе (ЗКС) происходят крайне неоднородно вследствие сложных нелинейных взаимодействий между ее компонентами. Авторами настоящей публикации на основе статистического анализа выделены периоды естественной климатической изменчивости, хотя, безусловно, в последнее время добавилась антропогенная составляющая [7].

Учет нелинейных взаимодействий в гидродинамических моделях атмосферы представляет собой наисложнейшую задачу. В какой-то мере учесть динамику нелинейных взаимодействий и использовать полученные результаты для разработки будущего сценарного прогноза климата позволит применение физико-статистического моделирования процессов в земной климатической системе. По мнению авторов, наиболее удобным и простым способом применения физико-статистического моделирования к исследованию процессов в ЗКС является использование обратных связей.

Как известно, климатическая изменчивость на интервалах времени порядка нескольких десятилетий (столетий) создается режимом общей циркуляции атмосферы и динамикой ее структурных элементов. Для исследования процессов в ЗКС целесообразно изучать объекты циркуляции глобальных масштабов. Одним из таких элементов является планетарная высотная фронтальная зона (ПВФЗ) – трехмерный объект циркуляции глобального масштаба. Ее динамика определяет, в первую очередь, погодно-климатическую изменчивость в умеренных широтах.

Объектом исследования стала динамика планетарной высотной фронтальной зоны на фоне наблюдающихся климатических тенденций. Данные о характеристиках планетарной высотной фронтальной зоны взяты из Справочной монографии [4].

Периоды однородной климатической изменчивости определялись согласно [7]. Для анализа выбраны период стабилизации (1949-1974 гг.) и период второй волны глобального потепления (1975 – 2010 гг.). Рассматривалось сечение ПВФЗ на изобарической поверхности АТ-500 гПа, которая является не только средним топографическим, но и средним энергетическим уровнем тропосферы [5]. В данном исследовании в качестве характеристик планетарной фронтальной зоны выбраны ее площадь и интенсивность. Под площадью ПВФЗ понималось околополюсное пространство, ограниченное с юга осевой линией [1].

За интенсивность ПВФЗ принята величина геострофического ветра, рассчитанная по формуле:

$$Vg = \frac{9,8}{l}\frac{\partial H}{\partial n},$$

где *l*– параметр Кориолиса *(l=2ωsinφ), ω* - угловая скорость вращения Земли, *φ*- широта расположения осевой изогипсы, *H* высота геопотенциала изобарической поверхности 500 *гПа, ∂H/∂n* - производная геопотенциальной высоты по направлению, перпендикулярному касательной к изогипсе.

Исследуем, реагирует такой структурный элемент глобального масштаба как планетарная высотная фронтальная зона на изменения в земной климатической системе. Наблюдаемые изменения в ЗКС наилучшим образом представляются изменениями температуры воздуха. В первом приближении оценим степень линейной связи между площадью ПВФЗ и изменениями приповерхностной температуры Северного полушария (табл.1).

Таблица 1. Значения коэффициентов корреляции между аномалиями глобальной температуры и площадью планетарной высотной фронтальной зоны (жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции)

Месяц	Периоды (г.г.)		
	1949 - 2010	1949 - 1974	1975 –2010
Январь	-0,32	-0,37	**-0,51**
Февраль	-0,20	-0,34	**-0,64**
Март	**0,38**	0,19	0,20
Апрель	**-0,63**	-0,35	**-0,62**
Май	0,14	-0,38	0,28
Июнь	**-0,63**	**-0,41**	**-0,62**
Июль	0,03	**-0,49**	-0,17
Август	**0,65**	**-0,88**	**0,63**
Сентябрь	0,12	-0,04	0,04
Октябрь	**0,50**	-0,27	**0,50**
Ноябрь	0,03	-0,33	-0,10
Декабрь	**0,50**	0,06	-0,17
Год	-0,18	-0,08	**-0,40**
Значимость коэф. корр.	**>0,25**	**>0,38**	**>0,32**

Из анализа таблицы 1 можно заключить, что около половины всех коэффициентов корреляции оказались статистически значимы, помимо этого положительные и отрицательные корреляционные зависимости указывают на нестационарность, нестабильность связей. Такая нестационарность подтверждает сложность и нелинейность взаимодействий внутри земной климатической системы.

Рассмотрим изменение площади и интенсивности ПВФЗ в период стабилизации и во вторую волну глобального потепления. В таблице 2 представлено изменение площади ПВФЗ от одного климатического периода к другому в среднем за год и в центральные месяцы зимнего и летнего сезонов.

Таблица 2. Изменение площадей планетарной высотной фронтальной зоны в различные естественные периоды состояния ЗКС.

Период (гг.)	Значение площади ПВФЗ (*млн км*^{2})		
	среднегодовые	январь	июль
1) 1949-1974 (стабилизация)	56,97	62,44	56,15
2) 1975-2010 (вторая волна глобального потепления)	57,77 увеличение на 1,5 %	64,19 увеличение на 3 %	59,58 увеличение на 6 %

Из анализа таблицы 2 можно заключить, что от более холодного периода к более теплому произошло увеличение площади ПВФЗ, то есть, смещение осевой лини в более южные широты. Напомним, что при сезонной динамике от холодного периода к теплому происходит обратное движение - сокращение площади ПВФЗ и смещение самой ПВФЗ к северу. Таким образом получен интересный вывод: климатическая динамика площади ПВФЗ противоположна сезонной.

Рассмотрим как ведет себя на фоне естественных климатических периодов другая характеристика ПВФЗ – ее интенсивность. На рисунке 1 представлено изменение скорости геострофического ветра в два естественных климатических периода состояния ЗКС – стабилизацию и вторую волну глобального потепления.

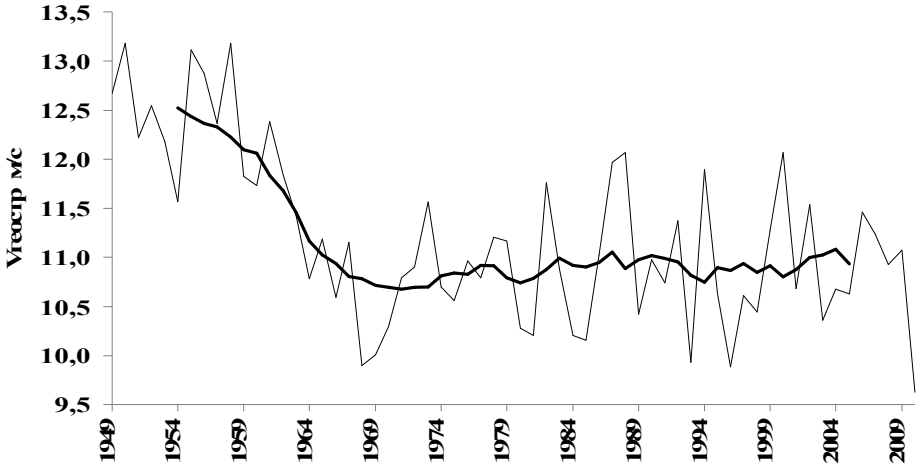


Рис. 1. Изменение средней годовой скорости геострофического ветра

Как видно из рисунка, при переходе от холодного периода к теплому скорость геострофического ветра уменьшается. Аналогичная тенденция прослеживается практически во все месяцы (рисунки не приводятся). Заметим, что климатическое изменение интенсивности ПВФЗ согласуется с сезонной динамикой – в более теплые периоды (вторая волна глобального потепления, сезоны) циркуляция становится менее интенсивной.

Таким образом, можно сформулировать тезис, который, на наш взгляд, имеет климатическую значимость: при климатическом переходе от холодного периода к теплому снижается интенсивность атмосферной циркуляции при одновременном продвижении самой ПВФЗ к югу.

Продвижение ПВФЗ к югу предполагает увеличение площади околополюсного пространства, или зоны отрицательных аномалий температур. Тем самым затормаживая рост среднеполушарных температур. Такое заключение не противоречит роли планетарной высотной фронтальной зоны в климатических процессах – разделение областей отрицательных и положительных аномалий температуры, и сглаживание температурных контраст между полюсом и экватором. Однако, при ежедневных процессах выравнивание контрастов между полюсом и экватором происходит путем междуширотного воздухообмена посредством увеличения степени меридиональности потоков, при климатической стабилизирующей роли – расширением площади ПВФЗ.

В соответствии с вышесказанным, справедливо и обратное – при снижении средних полушарных температур уменьшается площадь планетарной фронтальной зоны с возрастанием ее активности.

Проверим последнее предположение на материалах 1975 – 2010 годов, соответствующих второй волне глобального потепления, в развитии которой зафиксировано существенное снижение ее темпа.

Для этого разобьем временной промежуток второй волны глобального потепления на два более мелких – первую, активную фазу второй волны глобального потепления и вторую фазу, которую назовем развитие потепления. Границей между этими интервалами выберем 1996 год. Выбор в качестве границы между фазами 1996 года основан на материалах, помещённых в Оценочном докладе [2], согласно которым, при анализе динамики форм атмосферной циркуляции по Вангенгейму в середине 90-х годов прошлого века замечено увеличение повторяемости процессов формы *E* и *C*, и уменьшение повторяемости процессов формы *W*. Такое резкое изменение преобладающих форм циркуляции указывает на активные перестроечные процессы в атмосфере. Кроме того, Н.К. Кононовой [3] по-

казано, что с 1995 года наблюдается наибольшая суммарная продолжительность элементарных циркуляционных механизмов. Таким образом, границы выделенных нами фаз внутри второй волны глобального потепления заметны также в особенностях проявления атмосферной циркуляции.

Анализируя динамику площадей внутри второй волны глобального потепления, укажем, что в большинстве месяцев при переходе от первой фазы потепления ко второй фазе происходит уменьшение средних площадей ПВФЗ в восьми месяцах. При этом в конце исследуемого промежутка второй волны глобального потепления в некоторые месяцы замечено усиление скорости геострофического ветра.

Вышеописанные зависимости глобального объекта циркуляции - ПВФЗ - можно оформить в виде отрицательной обратной связи (рис. 2), где символами Δt, ΔS и ΔV обозначены изменения средней температуры полушария, площади ПВФЗ и средней скорости зонального ветра соответственно.

$$\Delta t>0 \rightarrow \Delta S>0 \rightarrow \Delta V<0 \rightarrow \Delta t<0$$

$$\Delta t<0 \rightarrow \Delta S<0 \rightarrow \Delta V>0 \rightarrow \Delta t>0$$

Рис. 2. Схема отрицательной обратной связи средней полушарной температуры воздуха с характеристиками планетарной высотной фронтальной зоны

Попробуем на основе учета выявленной обратной связи сформулировать прогноз будущих климатических тенденций на ближайшие 10-30 лет. Если принять во внимание механизм действия отрицательной обратной связи, то можно ожидать наступление очередного непродолжительного периода стабилизации, аналогичному наблюдаемому в пятидесятые – шестидесятые годы XX века, только на более высоком температурном фоне.

Как подтверждение прогностического предположения приведем график изменения средней полушарной температуры (рис.3).

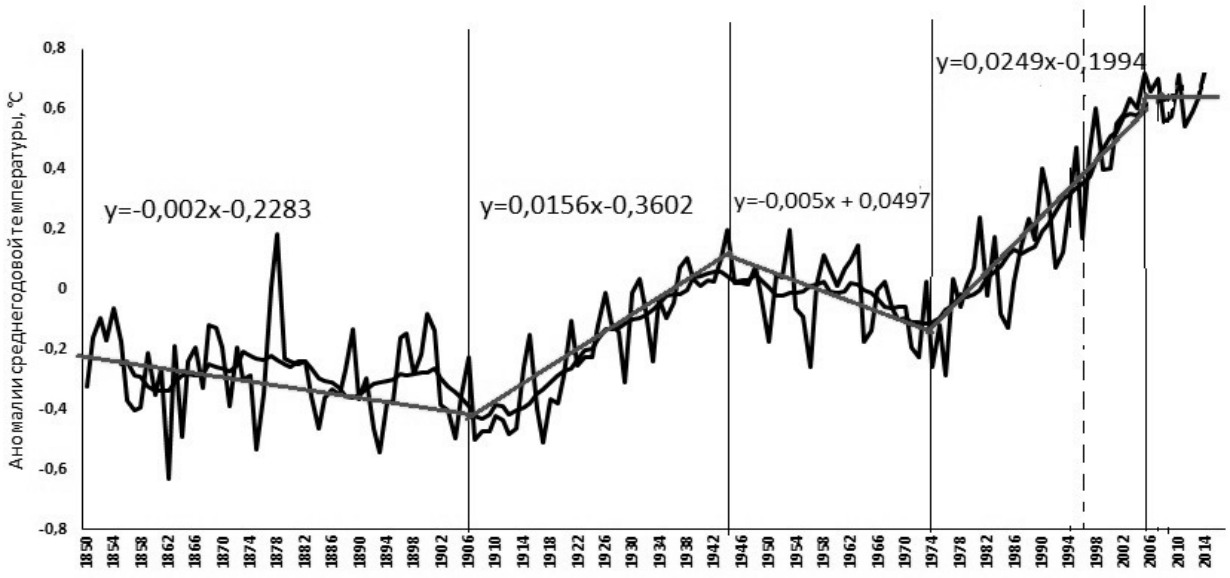


Рис. 3. Изменения средней температуры Северного полушария и естественные климатические периоды состояния земной климатической

На этом рисунке помимо ранее обозначенных климатических периодов можно увидеть временной период стабилизации температуры, начавшийся примерно с нулевых годов XXI века.

Считаем, что результаты физико-статистического моделирования могут оказаться полезными при разработке глобальных и региональных климатических сценариев.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований Института географии РАН, проект № 0148-2019-0009

ЛИТЕРАТУРА

1. Байдал М.Х., Ханжина Д.Г. Многолетняя изменчивость макроциркуляционных факторов климата. – М.: Московское отделение гидрометиздата, 1986. – С. 40-52.

2. Второй Оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Изд-во ЗАО «Группа море», 2014. – 60 с.

3. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. М. Воентехиниздат, 2009. – 372 с.

4. Неушкин А.И., Сидоренков Н.С., Санина А.Т., Иванова Т.Б., Бережная Т.В., Панкратенко Н.В., Макарова М.Е. Мониторинг общей циркуляции атмосферы. Северное полушарие. Изд-во ВНИГМИМЦД. Обнинск. 2013. – 200 с.

5. Погосян Х.П. Общая циркуляция атмосферы. Л.:Гидрометеоиздат. – 1959. – 259 с.

6. Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate change 2013: The physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. – 1535 p.

7. Morozova SV, Polyanskaya EA, Ivanova GF, Levitskaya NG, Denisov KE, Molchanova NP Variability of the circulation processes in the Lower Volga Region on the global climate trends // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (EES). Volume 107. – 2018.

К ПРОГНОЗУ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

Ю.С. Малышев
biomgeo@irigs.irk.ru

Институт географии имени В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН, г.Иркутск, Россия

В условиях явного вхождения современной цивилизации в нелинейную стадию развития особую важность приобретают прогнозы появления и развития новых базовых системных рисков для её дальнейшего существования с проекцией их на государственный и региональный уровень. При этом главным условием выступает полнота отражения набора таких системообразующих рисков. Можно предполагать, что часть этих рисков будет длительное время маскироваться несколькими наиболее очевидными. Поэтому проблема выявления скрытых процессов, способных стать угрожающими тенденциями на пути к устойчивому развитию регионов, государств и цивилизации в целом выглядит суперактуальной. Её решение делает необходимым применение феноменологического анализа [4], позволяющего выделять «знаковые» явления, способные служить индикаторами некоторых судьбоносных тенденций в развитии изучаемого объекта и прогнозировать, пользуясь выражением С. Бира [1], системные «исходы».

Человечество на себе, благодаря неосознанной реализации метода системных провокаций, выявило скрытые эмерджентности в функционировании и развитии системы «человек – среда», которые дают основания для переоценки перспектив и внесения коррективов в свое жизнеустройство. Ситуация на рубеже веков необратимо переходит грань возможностей технологического решения всех проблем такого рода. Чем быстрее произойдет осознание этого факта, тем больше шансов снизить экологические, экономические, да и социальные риски в развитии земной цивилизации. Чем дольше человечество будет тешить себя иллюзиями технологического толка, тем тяжелее будут последствия.

Когда речь идет о глобальных прогнозах круг вовлеченных в эту проблематику гораздо шире, чем непосредственно специалистов, работающих в этой сфере. Это целая «армия» отраслевых специалистов, у которых заключения о глобальных климатических трендах ложатся в основу их оценок, прогнозов и рекомендаций, идет ли речь о биоразнообразии или сфере экономики и социологии. При этом ответственные отраслевые специалисты не принимают выводы климатологов просто на веру, а стремятся как-то проверить обоснованность их глобальных прогнозов. Это весьма взыскательная аудитория, владеющая разнообразным «арсеналом» отраслевых и общенаучных методов.

Приступая к анализу столь сложной проблемы необходимо сформулировать исходные постулаты, имеющие общенаучный, исторический и даже, отчасти, вненаучный контекст, помогающие сориентироваться во всем информационном конгломерате фактов, идей и эмоций, сложившемся вокруг проблематики глобальных климатических изменений. К ним можно отнести следующие положения:

- в любой объектно-проблемной сфере существует история изучения, накопленные сведения, обобщения, а также стереотипные представления, особенно в модных темах, которые у всех на слуху, что создает определенное «проклятие очевидности», в «капкан» которого легко угодить;

- даже признание современных данных репрезентативными, дающими возможность оценивать состояние объектов разного рода, а в определенной мере и тенденции их развития, не дает оснований для автоматического средне- и долгосрочного прогноза;

- для решения последней задачи необходим более широкий исторический контекст в виде реконструированной 800-тысячелетней антарктической температурной кривой, более широкий объектно-процессуальный контекст, как земного, так и космического происхождения, на фоне которых современные климатические изменения выглядят сущей «суетой сует» («конвульсиями» по [6]);

- необходимо учитывать опыт крупных прогнозов, в том числе негативных (прогноз колебаний уровня Каспийского моря), а также существования пока неясных причинно-следственных связей и «механизмов» в анализируемом объектно-процессуальном комплексе (примером может быть сбой прогноза в ожидаемой картине выпадения солей при высыхании Аральского моря [2]);

- прогноз глобальных изменений не получается автоматически из результатов обработки данных за период инструментальных измерений, это отдельная более объемная, более теоретическая неспешная работа;

- иерархический подход к организации циклических процессов, основой которого служат представления, идущие еще от работ А.Л. Чижевского [8] и к настоящему времени широко вошедшие в научный обиход в самых различных приложениях, в сочетании с концепцией фрактальности позволяет связать воедино разнородную информацию, касающуюся природных ритмов разной частоты и масштабов. Таким образом, есть все основания для постановки вопроса о сопряженном, взаимодополнительном [5] рассмотрении динамики природных явлений с позиций представлений о фрактальности и цикличности на иерархической основе. Только такой подход в сложившихся условиях позволит вскрыть базовые закономерности природной динамики. Здесь просматриваются и некоторые новые прикладные аспекты. Диагностика ранга цикла по территориальным масштабам и специфике его проявления выступает своеобразным мостом между временными и пространственными реализациями природных явлений, между цикличностью их проявлений во времени и фрактальностью в пространстве. При этом исходно постулируется определенная связность и соразмерность (кратность) системных реализаций, их иерархическая организация;

- что касается специфики регионального преломления глобальных изменений, то необходимо гораздо больше внимания уделять изучению феномена континентальности на новой основе, выявлению реальной многоуровневой ячеизации географической оболочки, на матрице которой может накапливаться информация нового качества. Важно, например, продвигаться к пространственному отображению перемещения энергетических волн на фоне дифференцированной географической среды. Взаимодействие дифференцированной

географической оболочки с потоками космической и теллурической энергии и информации полевой и корпускулярной природы становится в перспективе новой основой для выявления закономерностей за пределами того, что было известно до сих пор. В перспективе можно ожидать значительного продвижения в изучении разнообразных проявлений континентальности с получением важных и в прикладном плане выводов. Необходимо продвижение к более дифференцированному и в то же время синтезному знанию реальной ячеистости географической оболочки, чтобы не приходилось удивляться соседству районов с разным выражением, а то и противоположной реакцией на сложившуюся обстановку.

- в современных условиях больше внимания следует уделять природных явлениям, сопутствующим глобальным климатическим изменениям, которые могли бы быть индикаторами усиления или слома тенденций направленных изменений (поведение ледников, снежников и других проявлений такого рода).

К сожалению, в сложившихся условиях приходится уделять повышенное внимание проверке объективности исходных данных. Доверия к большей части из них на фоне происходящих на Западе изменений, когда откровенное вранье, замалчивание и передергивание фактов, постоянные циничные политические провокации в разных сферах становятся обыденностью, заставляют задуматься. Все более очевидно, что наука становится частью огромной «машины», «делающей деньги» на всем, временами откровенно выполняя экономические или политические заказы. К этому добавляются разнообразные материалы в рамках «климатгейта», где приводятся примеры важных в методическом плане нарушений, которые могут привести к некондиционности получаемых данных. Существуют и свидетельства о создании препятствий к опубликованию статей, авторы которых приходят к иным (не «общепринятым») выводам. Одним словом, доверия к информационному фону все меньше и меньше. Вместе с тем злободневность и значимость по последствиям решения задачи достижения большей определенности в понимании направленности перспективных трендов глобальных и региональных климатических изменений не оставляет возможности уклониться или отсрочить анализ до формирования более благоприятной обстановки.

Внешне задача упрощается, если «с порога» принять доминирующую сейчас концепцию глобального потепления и его антропогенной природы. Тогда можно сразу, не мучаясь, перейти к вопросам скорости изменений, их региональной специфики и последствий для природного фона, экономики и общества. Однако перешагнуть решение сложнейшей проблемы оценки уже произошедших изменений и обоснования прогноза с шагом в 50-100 лет было бы в корне неверно. В контексте решения ключевых вопросов: «Что происходит?» и «Что будет происходить?» необходимо выделить показатели направленности изменений и индикаторы зарождающихся тенденций [4].

В настоящее время широко распространены представления о глобальном потеплении климата, и публикуется большое количество работ по индикации начавшихся изменений и прогнозу изменений физико-географической и биоценотической обстановки с шагом в 50-100 лет. Не вдаваясь в обсуждение обоснованности принятия именно такой направленности глобальных изменений окружающей среды, следует допускать и возможность реализации альтернативного сценария – перехода биосферы в стадию очередного похолодания, вероятность чего также имеет серьезные основания [3, 7 и др.]. Несмотря на кажущуюся сейчас маловероятность такого развития событий (потепление фиксируется многими приборными данными), разработка комплекса мер по компенсации негативных явлений в природе, экономике и социуме, которые уже сегодня могли бы быть реализованы, представляется чрезвычайно важной. Достаточно вспомнить историю с Каспием, с падением его уровня и концентрации сил для борьбы с этим явлением, которое неожиданно сменилось трансгрессией, что, по сути, обезоружило хозяйствующие структуры и омертвило большие финансовые вложения. Поэтому рационально не замыкаться только на сценарии глобального потепления климата, но рассматривать также и альтернативный сценарий.

А.А. Свиточ и Т.А. Янина [6] применительно к масштабным и долговременным процессам колебания уровня Каспия для составляющих схемы наложенных разночастот-

ных кривых предложили ряд наименований – этапы, стадии, фазы, осцилляции, и самая низшая иерархическая ступень этой связки циклов названа конвульсией. Возможны и иные способы представления иерархии волновых процессов, в частности, их автономное (разведенное) отображение на одной шкале времени. Каждый тип изображения можно рассматривать как модель организации циклических процессов, которая позволяет ставить вопросы феноменологического плана. Разумеется, такого рода представления являются упрощенными моделями сложных природных процессов. Временные рамки ритмов, как правило, различны, не всегда соблюдается и иерархия масштабов и размаха событий [Свиточ, Янина, 1996]. Тем более картина усложняется при рассмотрении эволюции таких иерархически организованных процессуальных систем, ритмы которых могут меняться по амплитуде, сменяться на другие, исчезать и т.д. Разложение полифазной кривой на автономные квазигармоники ставит, прежде всего, вопросы относительно возможностей и механизмов взаимодействия разночастотных импульсов динамики систем. Многие вопросы здесь еще предстоит выяснить.

В решении проблемы прогноза ожидаемых изменений климата возможна постановка обратной задачи, которая может быть вполне продуктивна – сформировать комплекс признаков-индикаторов, который мог бы свидетельствовать с достаточной вероятностью в пользу грядущего тренда либо к потеплению, либо к похолоданию климата. Скорее всего, сначала задача должна быть решена применительно к глобальному уровню, а уже затем можно будет переходить к тестированию и прогнозу региональной ситуации на предмет проявления однонаправленных и «контрглобальных» реакций и определению того, какую специфику выражения они будут иметь. Обратный подход, ориентирующийся не просто на анализ и интерпретацию имеющихся данных об уже выявленных тенденциях, а на формирование некоторого комплекса явлений, который должен предшествовать грядущим изменениям и сопровождать их (что, где, когда, в каком виде и режиме, с какой частотой и т.п.). Такой комплекс может быть сформулирован, исходя из ранее накопленного опыта, либо из гипотетических картин развития процессов. За основу лучше брать два альтернативных сценария. В данном случае показателями тренда, например, к грядущему похолоданию в числе прочего будут: удлинение периодов холодной погоды зимой, их «посуровение», зоны холода, охватывающие все большие площади, рост площадей и объема снежников и ледников, появления их на новых местах и т. д. Если ограничиться территорией Северной Евразии, то индикаторные зоны это прежде всего Альпы, Скандинавия, Кавказ, Алтай, Саяны, хребты При- и Забайкалья.

На этом пути могут быть получены весьма интересные с точки зрения научной методологии выводы, которые могут быть положены в основу или серьезно модифицировать некоторые установки экологической политики. Вероятно, потребуется переосмысление и возможных сценариев развития природной среды, и ожидаемых экономических и социальных последствий. Это вызывает необходимость более углубленных исследований такого плана для своевременной оценки глубины и направленности изменений при реализации разных сценариев изменений климата на глобальном и региональном уровне. Симптоматический анализ современной экологической ситуации позволяет выявить важнейшие составляющие экологического кризиса, способные сформировать новую основу оценки глобальных экологических рисков, на которые до сих пор не было обращено достаточного внимания, в том числе и глобальное похолодание. Это делает все более злободневным анализ, нацеленный на их своевременное распознавание и введение в научное аналитическое поле с целью определения масштабов и специфики потенциальных экологических последствий.

Основная проблема в сфере латентации рисков сводится к своевременности их распознавания, осознания масштабов распространения и прогноза последствий проявления, разработке системы мер по их предотвращению или сокращению отрицательных последствий и встраивания таких мероприятий в системы управления регионами и государствами. Особенную остроту эта проблема приобретает по отношению именно к криторискам, тем более имеющим тенденцию к глобальности проявления. Здесь сфера дейст-

вия «ловушек очевидности» – когда ряд «всем понятных» процессов перекрывает осознание скрытых угроз, что препятствует своевременному на них реагированию.

Так или иначе, за Природой необходимо «оставить право» на скрытое, в том числе «алогичное» (контринтуитивное) поведение. Это сейчас кажется, например, что никаких механизмов динамики глобальной климатической системы кроме пресловутого «парникового эффекта» нет. Необходимо расширять концептуальную базу и методологию анализа природных и социальных систем для того, чтобы выявлять скрытые процессы, тенденции и угрозы, переводить их в осознанную сферу и вовремя прорабатывать даже пока не доказанные, но вполне вероятные сценарии развития на региональном и глобальном уровнях, тем более, если речь идет об угрозах выживанию человеческой цивилизации. Здесь не обойтись без применения семиотического подхода, который ещё должен пройти существенную адаптацию, особенно к сфере анализа природных явлений. Интересующие нас в оценке ситуации «исходы» зачастую не вытекают прямо из «базы данных». Они в значительной мере скрыты в массе внешне очевидных, но мало значимых, «не знаковых» явлений. Кроме тех процессов, которые уже осознаны и обозначены как «знаковые», существует множество скрытых, не осознанных явлений, которые, однако, также должны быть предметом анализа в рамках семиотического подхода. Акцентация их может быть в итоге слишком запоздалой. Поэтому вполне возможно говорить о необходимости развития методологии и методов своего рода «криптофеноменологии».

Предстоит широкое осознание того факта, что ориентация лишь на так называемые «объективные методы», на статистическую значимость связей, явлений и т.д., в какой бы форме это не было выражено, не обеспечивает достаточной основы ни для оценки современного состояния, ни для понимания прошлого, а самое главное, для прорисовки сценариев вероятного будущего. Необходимость формирования выводов, которые могли бы лечь в основу оценки ситуации и выработки мер по коррекции деятельности, в условиях недостатка (или избытка, зашумления) информации и дефицита времени меняет методологические основы научного анализа. Обычный для рационалистического этапа развития науки путь использования расчетных процедур и численного моделирования уже не может обеспечить высоко достоверных оценок и прогнозов складывающихся ситуаций. Так или иначе, все специалисты в решении сложных проблем работают со знаковыми системами, часто интуитивно. Сознательное применение семиотического подхода с соблюдением некоторых принципов (избыточности информации, контекстного рассмотрения и т. д.) может значительно усилить эвристический потенциал науки. В решении сложных проблем невозможно обойтись без общенаучного контекста. В этом случае трудно рассчитывать на продуктивный анализ проблемы глобальных изменений климата. Тенденция к интеграции наук находит выражение даже в названиях новых обобщающих отраслей – «наука о растительности», «нелинейная наука», не говоря уже о «теории катастроф», «синергетике», «науке о фракталах» и т.д. Все они используют данные многих наук и на них же проецируются, невзирая на часто значительную отраслевую их «разнесённость». Семиотический подход предполагает использование соответствующих способов отбора и представления информации, работу с большими комплексами разнородных сведений, а также и особый стиль восприятия результатов анализа. Это иная культура работы с реальностью и пройдет определенное время, пока она не оформится и не войдет в нормальный методологический стереотип научной деятельности и общественного сознания.

Следует явно обозначить ограничения в трактовке результатов семиотического анализа климатических изменений: возможно проявление в настоящее время более высокорангового цикла, чем отражено в существующих пределах имеющихся длин рядов по ледовым кернам. Но аналогии с мезозоем и еще более далеко отстоящими от нашего времени периодами прошлого вряд ли уместны, поскольку изменялась конфигурация отношений материков и океанов, интенсивность вулканической деятельности и т.п. Пожалуй, главное «но» в уверенной трактовке результатов семиотического анализа – это возможность достижения биосферой геофизического порога устойчивости за счет техногенного выброса энергии. Он может через разные механизмы вбросить географическую оболочку

в критический режим и тогда потребуется выделение знаков прихода именно этого режима. Против такого вывода как будто бы свидетельствует наличие потолка в росте среднеземельной температуры (во всяком случае, по ледовым кернам)!

Сейчас определенно можно сказать лишь о том, что климатическая система втягивается в нелинейную стадию. При этом в глубине материков это гораздо менее заметно. Такие регионы могут быть названы «тугими» тестерами. Зато окраинные зоны получают сполна – мощные снегопады, ливни, похолодания, наводнения, небывалую жару. Все это показывает растущую раскачку климатической системы, рост градиентов «океаны-материки». По-видимому, это еще недостаточная нелинейность, проистекающая из соответствующей энергетической накачки. Прибрежные зоны выступают как грани своеобразных «макроячеек Бенара», через которые срабатывается растущий энергетический поток.

Последствия ожидаемых изменений климата будут иметь различный эффект по направленности и выраженности в макрорегиональном и в внутрирегиональном плане. В этой связи важно выявление существующей и ожидаемой неоднородности реакций природных систем на климатические изменения, а также степень (характер) связанности этих реакций в пространственно-временном плане. Появление элементов согласованности в динамике климатических показателей удаленных метеостанций может свидетельствовать о прохождении цикла (волны) более высокого ранга или порядка, а также может быть симптомом глобального тренда – захвата регион-фракталов в супердинамику. Последствия ожидаемых изменений климата будут иметь различный эффект по направленности и выраженности в макрорегиональном и в внутрирегиональном плане.

Развивая озвученный нами тезис о сокрытии циклов высокого ранга в кривых, отражающих динамику выраженности разных показателей, можно прийти к интересным выводам, рассматривая долговременные тренды глобальной температуры воздуха, полученные при исследовании ледяных кернов из Гренландии и Антарктиды, полученные Байкалбурением и другими методами. Конфигурация кривых позволяет сделать вывод о наличии некоего «окна», в течение которого гидроклиматическая система успевает реализовать лишь часть определенных трендов, как в сторону повышения, так и понижения. Хотя с геофизических позиций, наверно, нет ограничений на возможность доведения системы до «абсурдного» конца – либо до состояния полной фиксации воды в твердой фазе, либо до полного исчезновения ледников. Выраженная цикличность протекания колебательного процесса свидетельствует в пользу астрономических причин. Доминирование эндогенной составляющей без ограничений внешними водителями ритмов «разносили» бы климатическую систему за пределы существующего коридора изменений. Явное сужение этого коридора изменений в пределах полного диапазона ее возможных состояний свидетельствует о наличии «потолка» и «пола» как пределов стационарного состояния земной гидроклиматической системы.

Определенная информация, скорее всего, сокрыта и в асимметрии (дисимметрии) картины прохождения циклов: восходящая часть кривых заметно более крутая, чем нисходящая. Однако налицо эффект, по сути, резкого обрыва восходящего тренда, не давая ему перейти к фазе плато. Это свидетельствует о том, что система достигает некоторого предела нелинейности и бифуркация нереализуема – у системы есть лишь один возможный тренд (креод), направленный на резкий сброс энергетического потенциала системы. Реализация тренда по каналу потенциальной (латентной) восходящей кривой, т.е. в направлении еще большего разогрева атмосферы, как части бифуркационного комплекса, хотя и возможна, но маловероятна. С этих позиций наиболее вероятный (можно даже сказать однозначный) ход глобальных изменений климата все-таки укладывается в сценарий достаточно быстрого втягивания в перспективе в эпоху похолодания.

Интересен вопрос о возможности распространения представлений о существовании некоторых верхних пределов («потолка») в динамике солнечной активности. Природа таких ограничений для нашего светила не вполне понятна и в её выяснении прерогатива принадлежит космофизикам. В принципе такая динамика могла бы иметь гораздо большую амплитуду, если бы не какие-то ограничивающие факторы. Скорее всего, в их основе ле-

жат эндогенные причины. Нельзя также исключить, что такие пределы ставит и наличие некоторого временного «окна», в которое вынужденно вписывается динамика солнечной активности. Провалы на графиках (в виде того же «минимума Маундера») уже выявлены. Вопрос же о верхних пределах и их причинной обусловленности остается открытым.

Вывод о существовании феномена сокрытия циклов [5] имеет далеко идущие последствия для широкой сферы природных явлений. В частности, это заставляет с некоторым сомнением смотреть на известные реконструированные антарктические и гренландские температурные кривые. Как знать, может быть крайние показатели и в этом случае не вполне отражают масштабы происходивших в прошлом процессов в географической оболочке нашей планеты. Здесь потребуются экспериментальные лабораторные работы по оценке корректности отражения температурных изменений в динамике изотопов газов в критических режимах, если таковые ещё не были проведены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бир С. Мы и сложность современного мира // Кибернетика сегодня: проблемы и суждения. – М.: Знание, 1976. (Серия «Математика, кибернетика», № 11). – С. 7-39.

2. Боровский В.М. Усыхание Аральского моря и его последствия // Известия АН. Сер. геогр., 1978. – № 5. – С. 35-44.

3. Дмитриев А.А., Белязо В.А., Гудошников Ю.П. Ритмические колебания земных природных процессов и их гравитационная обусловленность. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. – 2011. – 232 с.

4. Малышев Ю.С. Феноменологический анализ: место и перспективы в комплексе моделей поведения сложных систем // Моделирование географических систем. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН. – 2004. – С. 39-43.

5. Малышев Ю.С. Выявление продукционных циклов биоты геосистем // Географические исследования Сибири: В 5 т. Т. 1. Структура и динамика геосистем. – Новосибирск: Академические изд-во «Гео», 2007. – С. 255-283.

6. Свиточ А.А., Янина Т.А. Будущее Каспия – в его прошлом // Природа, 1996. – №2. – С. 45-57.

7. Сорохтин О.Г. Эволюция климата Земли и происхождение ледниковых эпох // Вестник РАН. – 2006. – Т. 76, № 8. – С. 699-706.

8. Чижевский А.Д. Земное эхо солнечных бурь. – 2-е изд. – М.: Мысль, 1976. – 367 с.

GENERALIZATION OF THE AEROZOL OPTICAL DEPTH DATA ABOVE THE RUSSIA ESTIMATED BY GROUND NETWORK DURING LAST DECADES

I. N. Plakhina, I.A. Repina

inna@ifaran.ru, repina@ifaran.ru

Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The aerosol optical thickness of the atmosphere (AOD) is an important parameter in assessing climatic changes: changes in the temperature of the underlying surface and changes in the incoming total solar radiation [1, 3, 7]. The factors causing the space-time variations of AOD are diverse both in terms of the degree of impact and the sign of the changes they make to the flux of solar radiation coming to the Earth's surface: volcanic stratospheric sulfate aerosol, anthropogenic industrial and heating aerosol, black and red carbon entering atmosphere due to forest, tundra and marsh fires, and finally, a mineral aerosol of desert and steppe regions, carried along with the air mass, depending on the type of atmospheric circulation, characteristic for this region.

Investigation results of the atmospheric aerosol over the Russia territory are of great interest for the ecology and climate developments. The regularities of spatial and temporal variations in the Aerosol Optical Depth (AOD) can be received by the Russian actinometric network data (Russian Hydrometeorological Research Center). Our analysis is based on the "Atmosphere Transparency" special-purpose database created at the Voeikov Main Geophysical Observatory on the basis of observational actinometric data. Authors had many years cooperation with MGO in the region of the processing and analysis of these observation data [2, 4-5].

1.

Network observation stations system and empirical data is described in section 1. A map (figure 1) showing the location of 21 actinometric stations of the Russian network for which the AOD of vertical atmospheric column were estimating for a wavelength of 0.55 μ. These stations cover a part of Russia (ETR) and are located outside the zones of direct local anthropogenic sources of industrial and municipal aerosol emissions (suburbs, rural areas, uplands, etc.). An analysis of the AOD of a vertical atmospheric column can be made on the basis of data on the integral atmosphere transparency (P), because P variations are, to a great extent, determined by the aerosol component of the attenuation of direct solar radiation; other components of the attenuation (water vapor and other gases) have little effect on its time variations [2].

The integral air transparency :

$$P = (S/S_0)^{1/2} \qquad (1)$$

where S is the direct solar radiation to the normal to flux surface, reduced to the average distance between the Earth and the Sun and a solar altitude of 30°; S_0 is the solar constant equal to 1.367 kW/m^2. On the basis of 1) data on the homogeneous (calibrated against a single standard and obtained with a unified method) observational series of direct solar-radiation fluxes at the land surface, 2) some semi-empirical approximations, 3) evaluations of the integral (total) and aerosol transparency, it is possible to analyze variations in the AOD of a vertical atmosphere. The procedure for extracting AOD and subsequent estimates is presented in [4-5]. We shall analyze variations in the AOD of a vertical atmosphere on the basis of the 1976-2016 observational data obtained at 21 stations.

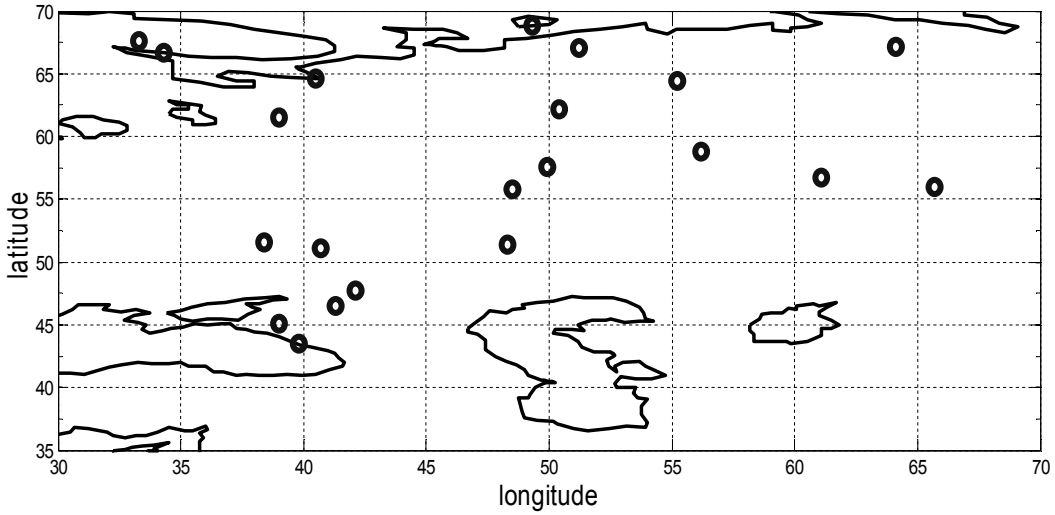


Figure 1. Layout of 21 actinometric stations whose data will be analyzed in the article

The method of estimations of AOD, its limitations and errors was also described in [4-5]. Aerosol optical density of the vertical atmosphere is calculated with a method specially developed , using S – direct solar radiation near earth surface reduced to the average distance between the Earth and the Sun, W/m2 and some meteorological values (surface humidity et. al) above the earth surface.

2.

The character of many year seasonal variations in AOD are presented in section 2. The main statistical parameters (means, extremes, and variation coefficients) of the multiyear variations in annual and seasonal AOD means are also assessed in Table.

Table. Average values of AOD (GMS network) and average tendencies of AOD changes over ETR (1976-2016 yy.)

AOD	Yearly values	April values	July Values
AOD	0.19	0.20	0.21
range of variation, standard deviation	(0.36-0.11); 0.06	(0.44-0.08); 0.09	(0.34-0.11); 0.06
Trend, referred to a 10-year interval	-0.04 $R^2 = 0.68$	-0.06 $R^2 = 0.64$	-0.04 $R^2 = 0.64$
Trend (% per year)	-2.1	-3.0	-1.9

Trends of the average annual values of AOD over ETR during a) 1976 – 2016 yy. b) 1996 – 2016 yy. may be examined below (figure 2).

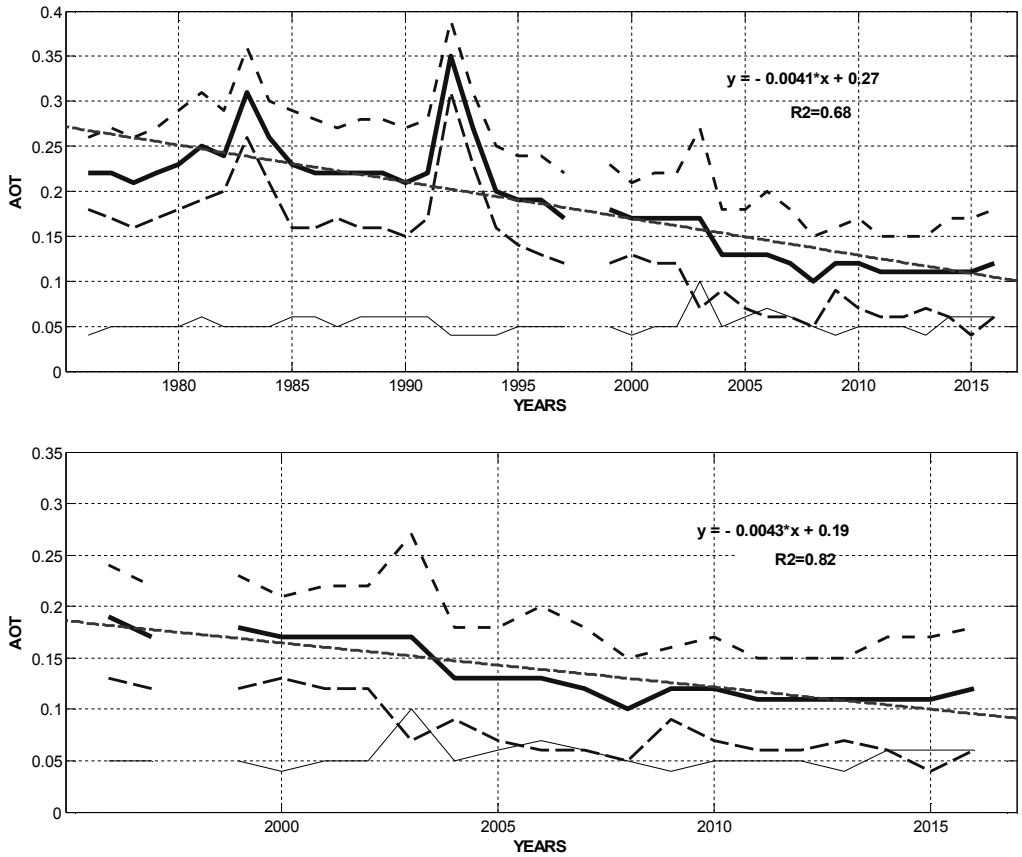


Figure 2. Trends of the annual values of AOD over Russia during a) 1976–2016 y.y. b) 1996 – 2016 y.y. The bold curve is the average annual AOD value for all stations, two dotted line are the range of ± sigma, the dash-dotted line is the line of trend, thin line is standard deviation

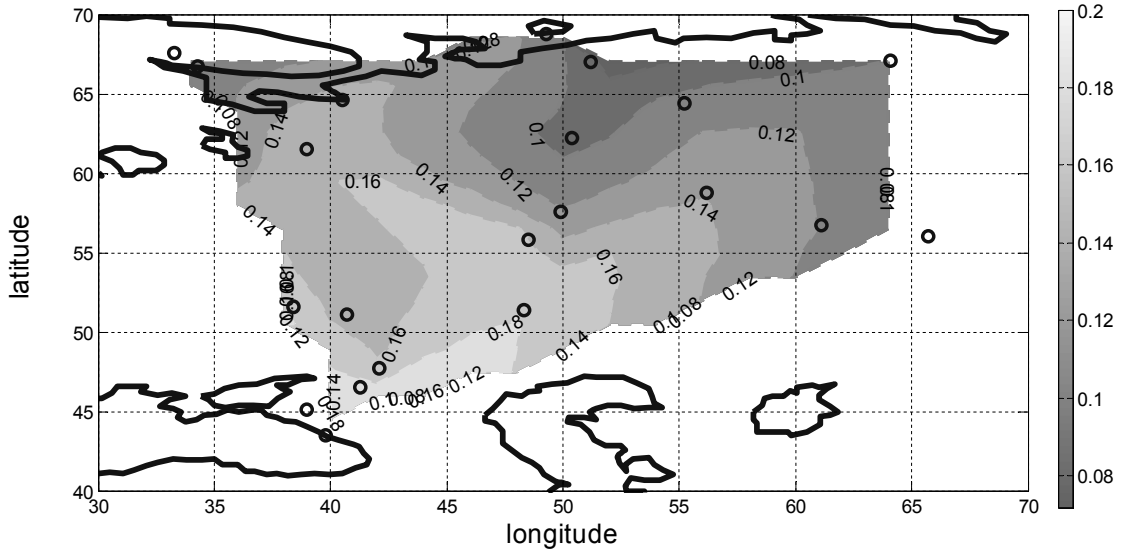
3.

The results of an analysis of variations in the AOD of a vertical atmospheric column on the basis of a 21-year (1996–2016) series of observations are presented in section 3. The general regularities of spatial variations in the aerosol optical depth over Russia are revealed: a mono-

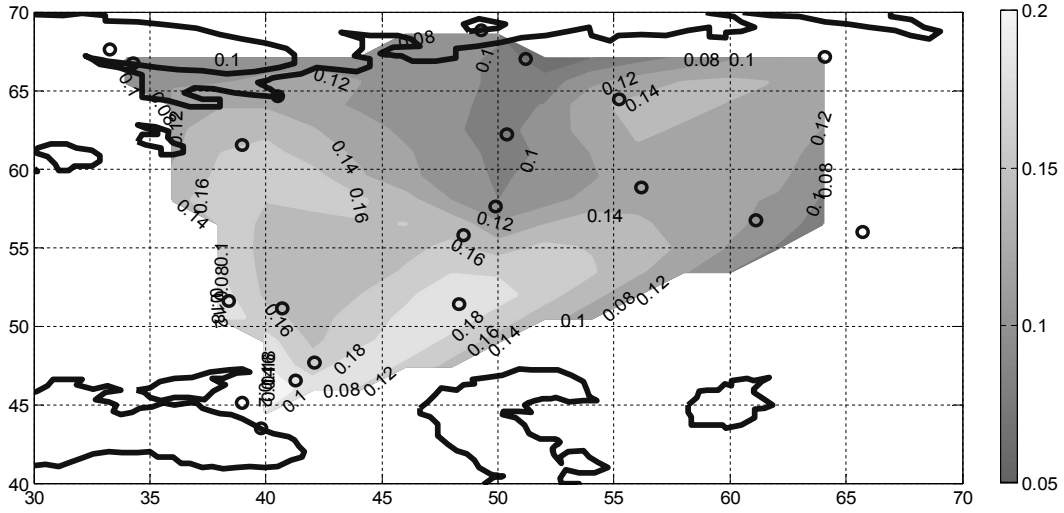
tonic decrease from the southwest to the northeast (see figure 3), with localized areas having different aerosol loads due to the global and regional factors of their formation.

The spatial variations of the AOT are shown in the diagrams in figure 3. To interpolate the data of the stations shown in figure 1. MATLAB package is used for the region under consideration: the option of creating a uniform grid for the ETR region in question, the option of performing bilinear interpolation (horizontally and vertically) of the data of 18 stations on the territory (40° - 70° N, 30°- 70°), the projection of the function T = F (φ, λ) onto the data grid, where φ and λ are the latitude and longitude respectively for each of the observation points. The spatial distribution of the mean values (for annual, April and July AOD) corresponds to the results obtained earlier for the mean long-term values of the aerosol optical thickness of the atmosphere over the time interval 1976-2011 yy. In the post- volcanic period 1996-2016 yy. there is also a decrease in AOD from southwest to northeast, the localization of regional tropospheric sources of aerosol is not visible, except for Arkhangelsk, for which there is a summer increase in AOD. Perhaps there is a systematic local source of aerosol release into the atmosphere. The source may be due to both natural summer fires and anthropogenic industrial emissions in this area.

a) YEAR values (1996-2016)



b) APRIL values (1996-2016)



c) JULE values (1996-2016)

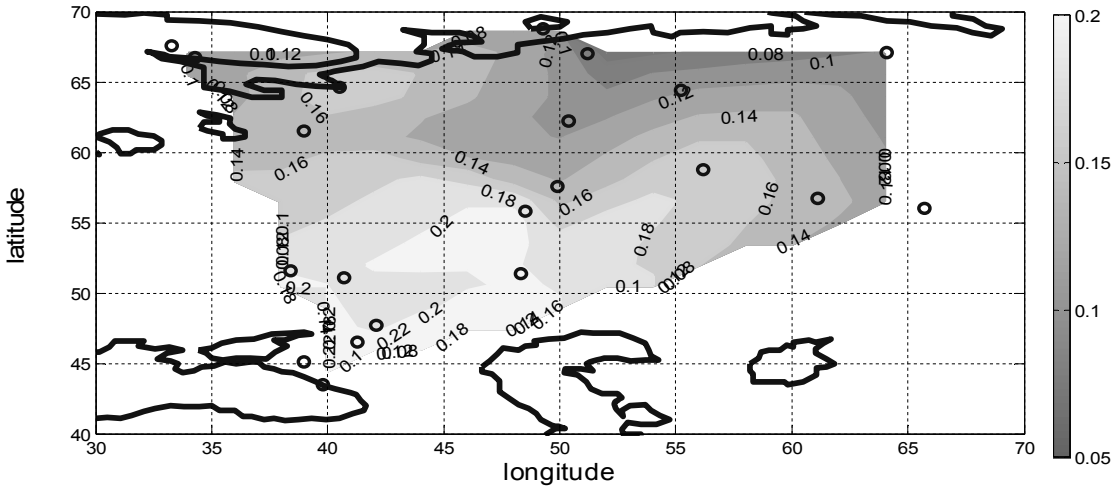


Figure 3. Spatial distributions (east longitude - horizontal axis, north latitude – vertical axis) of the multiyear means of AOD over the observation periods: 1996–2016 for different seasons

4.

A spatiotemporal structure of the anomalies of AOD annual values within the time interval under consideration, including the El Chichon (1982) and Pinatubo (1991) eruptions and events of summer 2010 (abnormal heat and forest and peat bog fires) evidently changed both the average values of air turbidity and the character of its spatial variations will be studied in section 4. Two intensive volcano eruptions: (El Chichon – 1982 year, Pinatubo – 1991 year) affected on the atmosphere transparency regime during the analyzed period. Maximal effect of both volcano eruptions are revealed during the next year (1983 and 1992 years). It is evident that the periods of anomaly high turbidity are connected with the volcano eruptions cases. From the 1994 year the decreasing of aerosol (AOD) turbidity of the atmosphere in the different Russia regions is observed.

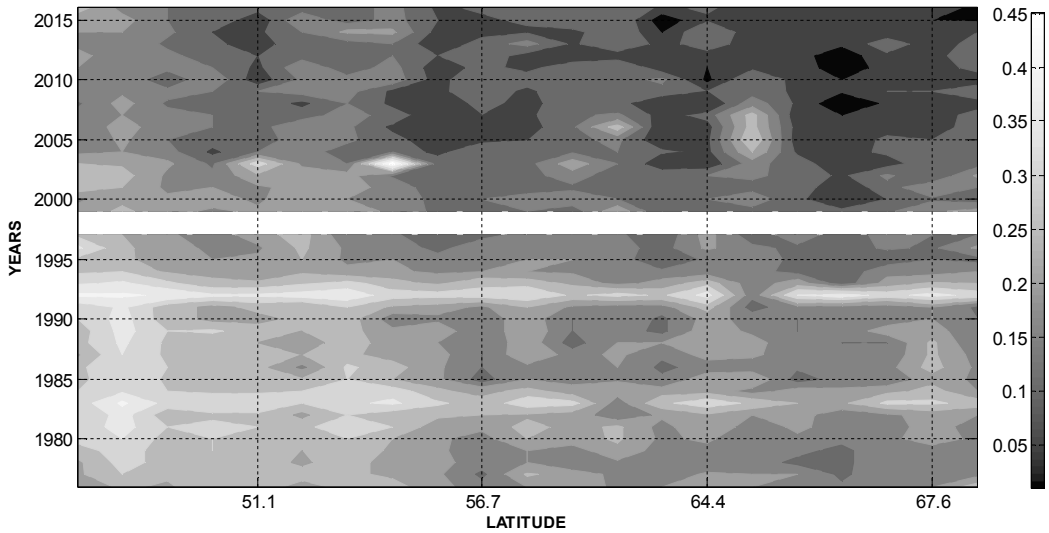


Figure 4. Spatiotemporal distributions of the annual values of AOD over Russia during 1976–2006

(LATITUDE - horizontal axis, YEARS – vertical axis).

CONCLUSIONS

The aerosol optical thickness is an important characteristic of the atmospheric climate. The application of the AOD estimation technique for processing the results of obser-

vations at the actinometric network stations allows obtaining qualitatively new and detailed information on the level of aerosol pollution of the atmosphere in separate regions and in Russia as a whole. The analysis of AOD variations during the last 41 years shows the following results:

1) The character of the long-period annual cycle of AOD did not change as compared with the preceding decades. For most stations, the AOT typically increases in spring and summer by 60–80% with respect to its minimum values in November–December. The AOD increase in spring and summer is associated with a seasonal increase in temperature and humidity and with changes in the underlying surface, as well as with a more intense photochemical and condensational generation of aerosol and with a flux of aerosol from the soil to the atmosphere;

2) The main factors of space changes in the AOT annual cycle are a latitudinal succession of climatic and landscape zones, in combination with higher industrial loading of the southern regions of European Russia, as compared with the northern ones, and with higher industrial and urban development of European Russia as compared with Asian Russia;

3) Total averaged AOD over all stations and the whole period under study (0.19) or for last twenty years (0.13) are close to the annual mean global AOD value (0.14) calculated from the ECHAM-HAM model and to the estimates obtained from satellite data (0.16);

4) Average annual AOD values increase at the stations located from north to south in European Russia and decrease from west to east in the whole of Russia;

5) "Purification" of the atmosphere from aerosol is caused by the absence of large volcanic eruptions and by industrial "calm" conditions during the last decade. The mean AOD for the last two decades is 40 % lower than in the preceding ones, both for maximum and average values. Negative tendencies are almost similar for remote and urban (as well as for rural) stations; they are less pronounced in the fall than in spring and summer;

6) Local effect of the AOT increase due to volcanic eruptions can reach 100%, while the average effects, within our consideration, are minimal.

(The work was carried out according to RFBR projects No. 10-05-01086 and No. 15-05-05803)

LITERATURE

1. IPCC. Climate Change Working Group I // Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change, Fifth Assessment Report of Climate Change: The Physical Science Basis. Ch. 7. – Cambridge University Press, 2013. – 1535 p.

2. Makhotkina E.L., Plakhina I.N. Atmospheric transparency monitoring: measurement results over the past decades // Proceedings of GGO. – 2014. – V. 572. – P. 57-88.

3. OD_RF-2, Evaluation report on climate change and their consequences on the territory of the Russian Federation. – Moscow: Roshydromet, 2014. – 105 p.

4. Plakhina I.N., Pankratova N.V., Makhotkina E.L. Variations of the aerosol in the atmospheric thickness according to the Russian actinometric network (1976–2006) // Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Physics of the atmosphere and ocean. – 2009. – V. 45(4). – P. 456-466.

5. Plakhina I. N., Makhotkina E. L., Pankratova N. V. Spatial variations of the atmospheric turbidity factor over the European territory of Russia in the conditions of the anomalous summer of 2010 // Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Physics of the atmosphere and ocean. – 2011. – V. 47 (6). – P. 1-6.

6. Plakhina Inna. Variations in the Aerosol Optical Depth Above the Russia from the Data Obtained at the Russian Actinometric Network in 1976–2010 Years // Atmospheric Aerosols – Regional Characteristics – Chemistry and Physics. – 2012. Chapter 1. – P. 3-28. *http://dx.doi.org/10.5772/48618*.

7. Volodin E.M., Kostrykin S. V. Aerosol block in the climate model of IVM RAN // Meteorology and hydrology. – 2016. – № 8. – P. 5 -17.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

В.В. Попов, А.Г. Дробот
copybook05@yandex.ru

Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г.Воронеж, Россия

Информационное обеспечение деятельности органов военного управления, организаций Вооруженных Сил Российской Федерации (ВС РФ) играет ведущую роль в современных условиях, характеризующихся высокой динамикой, неопределенностью, важностью последствий принимаемых решений. Основные пути совершенствования гидрометеорологического обеспечения представляется в рамках единого информационного пространства ВС РФ.

Анализ опыта создания и развития, автоматизированных метеорологических информационно-измерительных систем показал, что в соответствии с современными требованиями к повышению эффективности информационной поддержки метеозависимых процессов управления одним из направлений совершенствования гидрометеорологического обеспечения является развитие автоматизированных систем сбора, хранения, обработки, распространения и представления специализированной гидрометеорологической информации.

Опыт установки и отзывы об эксплуатации существующих средств автоматизации применяемых для наблюдений за гидрометеорологическими условиями показали, что эксплуатируемые системы имеют следующие существенные недостатки:

- низкая взаимная интеграция;
- большая зависимость существующих систем от электронных радиокомпонентов (изделий) иностранного производства;
- плохая масштабируемость уже установленного оборудования;
- недостаточная гибкость и модульность существующих систем.

В настоящее время проводится модернизация существующей автоматизированной метеорологической информационно-измерительной системы путем качественного улучшения технических и эксплуатационных характеристик, повышения надежности, улучшения массо-габаритных показателей и уровня автоматизации рабочих процессов. Модернизированная система будет использоваться для организации автоматизированной работы гидрометеорологических подразделений ВС РФ в части производства приземных метеорологических измерений и наблюдений, обработки и отображения полученных результатов в целях обеспечения точного захода на посадку воздушных судов в различных метеорологических условиях, и условиях метеоминимумов аэродромов, формирования и передачи метеорологических телеграмм в системы гидрометеорологического обеспечения.

Модернизация данной системы требует решения ряда задач:

- улучшения технических и эксплуатационных характеристик;
- повышения надежности;
- включения дополнительных измерительных систем;
- повышения технологичности составных частей;
- унификации составных частей;
- снижения стоимости изделия.

Модернизируемая система представляет собой многофункциональный специализированный комплекс, который состоит из комплекта технических средств и вспомогательного оборудования, размещаемых в помещениях и на открытом воздухе, для оперативного выполнения гидрометеорологических измерений в интересах гидрометеорологического обеспечения ВС РФ на аэродромах, вертодромах и метеорологических площадках.

Наличие такой системы на аэродроме в полном объеме обеспечит выполнение требований в части:

- вычисления значений метеопараметров (максимальной и минимальной температуры воздуха, приведенного давления и т.д.);
- возможности ручного ввода (корректировки) измеренных значений метеовеличин и автоматически определяемых явлений, а также возможность ручного ввода параметров состояния атмосферы, определяемых визуально (явления погоды, форма и количество облачности и т.д.);
- защиты от ошибочных действий оператора (контроль достоверности вводимых параметров);
- световую (выделение значения цветом) и звуковую сигнализацию, а также автоматическую регистрацию возникновения (усиления) и прекращения (ослабления) явлений, результатов измерений (вычислений) значений параметров состояния атмосферы (пороговые значения, выполнение штормовых критериев и т.д.);
- автоматическое и автоматизированное (с участием оператора) формирование метеорологических телеграмм для внешних потребителей метеорологической информации;
- автоматизированное заполнение электронного дневника (журнала) погоды;
- автоматическое построение графиков с возможностью настройки диапазона выборки отображаемых величин. При этом предлагается обсудить целесообразность построения линейного графика направления ветра у поверхности земли;
- текущее и резервное хранение результатов измерений с временем хранения резервных копий не менее 60 суток, журнала аудита действий оператора (не менее чем 30 суток) и дневника (журнала) погоды АВ-6 (не менее чем 5 лет) с возможностью копирования (выгрузки) текущих архивных данных на съемный USB-накопитель, а также дублирование архивных данных на резервное устройство хранения данных, доступ к которому ограничен;
- печать сформированной информации.

В первую очередь для удовлетворения требований руководящих документов для всех средств измерений, входящих в состав модернизируемой системы, стоят задачи по улучшению метрологических и эксплуатационных характеристик, увеличению надежности и технологичности производства, а также снижения зависимости от компонентов импортного производства.

Отдельно по средствам измерений можно отметить следующее.

За время эксплуатации лазерных измерителей высоты нижней границы облаков выявлены следующие недостатки:

- ограниченный ресурс лазерного модуля;
- ограниченный ресурс модуля обдува защитного стекла;
- не достаточная надежность встроенных модулей защиты питания и линии связи.

Пути модернизации измерителя:

- модернизировать лазерный модуль;
- внедрить системы термостабилизации;
- переработать усилительный тракт;
- разработать быстросъемную конструкцию модуля вентилятора обдува;
- вынести модули, требующие обслуживания, в отдельный блок;
- улучшить метрологические характеристики согласно требованиям модернизации.

Ни один из отечественных измерителей дальности видимости не имеет преимуществ импортных аналогов, поэтому очень важно внедрить необходимые функции в отечественный прибор. Для модернизации предлагается выбрать измеритель дальности видимости ФИ-3, являющийся самым распространенным отечественным трансмиссометром.

За время эксплуатации выявлены следующие его недостатки:

- ненадежная конструкция стоек;
- недостаточно эффективная система предотвращения загрязнения защитного стекла;
- ненадежные встроенные модули защиты питания и линии связи.

Пути модернизации изделия:

- изменить конструкцию стоек с целью минимизировать отклонение блоков под влиянием температуры и ветра;
- рассмотреть возможность автоматической калибровки измерителя по данным индикатора текущей погоды;
- улучшить метрологические характеристики изделия за счет:
- повышения чувствительности фотоприемных устройств;
- повышения качества светового потока (мощности и равномерности);
- уменьшения влияния факторов, оказывающих негативное влияние на стабильность характеристик измерительных компонентов (в первую очередь термостабилизация термочувствительных компонентов);
- разработать быстросъемную конструкцию модуля вентилятора обдува;
- вынести модули требующие обслуживания в отдельный блок.

Иностранными производителями метеорологического оборудования нефелометры широко применяются не только для определения явлений текущей погоды и оценки метеорологической дальности видимости, но и для автоматической калибровки трансмиссометров при хорошей видимости. При разработке конструкции нефелометра так же, как и при модернизации других изделий, предлагается придерживаться модульного принципа проектирования, в частности выполнить оптические модули, блок питания, и при необходимости другие функционально завершенные модули в виде отдельных составных частей в целях оптимизации диагностики и ремонта изделия.

Несмотря на кажущуюся более сложную техническую составляющую изготовления ультразвуковых датчиков ветра разработка механического датчика ветра будет экономически не целесообразна. Предлагается рассмотреть вопрос модернизации измерителя параметров ветра ультразвукового ИПВ-У.

За время эксплуатации ИПВ-У выявлены следующие недостатки:

- не достаточно технологичная конструкция требующая больших затрат при производстве;
- плохая доступность на рынке используемых ультразвуковых приемопередатчиков.

Пути модернизации изделия:

- переход на современные компактные ультразвуковые приемопередатчики выполненные с обогревом в одном модуле;
- усовершенствование механизма запуска ультразвукового импульса для проведения измерений (сделать его управляемым). Плавный нарастающий сигнал позволяет сократить время необходимое на успокоение ультразвукового приемопередатчика после излучения сигнала, что позволит повысить чувствительность к восприятию ультразвукового сигнала и в перспективе расширить диапазон и повысить точность измерений;
- повысить технологичность конструкции и воспроизводимость характеристик экземпляров датчиков между собой.

Результаты эксплуатации измерителя количества осадков ИКО-1 показали надежность и удобство обслуживания конструкции, однако конструкция датчика имеет ряд несущественных недостатков. Основываясь на этих данных предлагаются следующие пути модернизации:

- ввести дополнительный локальный обогрев области коромысла для предотвращения нарастания льда на коромысле и предотвращения заклинивания коромысла;
- вести обогрев отверстий (трубок) для сброса воды и предотвращения образования сосулек;
- рассмотреть возможность разработки дополнительной сетки (фильтра) для установки внутрь приемной чаши для защиты от листьев деревьев и другого мусора.

В ходе исследования предлагается рассмотреть вопрос модернизации грозопеленгатора ГДА-1, в том числе с целью обеспечения соответствия современным требованиям ВМО [1-3] в части оценки пеленга и удаления разряда.

При модернизации ГДА-1 предлагается обратить внимание на решение следующих вопросов:

- повысить чувствительность антенн в требуемом спектре частот с целью расширения возможностей для дальнейшей программной обработки сигналов;
- усовершенствовать алгоритмы фильтрации паразитных составляющих анализируемых сигналов, в том числе, изучить техническую возможность внедрения функции «обучения» грозопеленгатора, когда оператор отмечает ложные срабатывания с целью предотвращения ложных срабатываний в последующем;
- усовершенствовать функции встроенного контроля функционирования, в частности введение встроенного имитатора разрядов и индикации уровня паразитных шумов, что позволит на месте оперативно оценить качество заземления и/или «удачность» выбранного места установки грозопеленгатора;
- проработать вопросы разработки методики и проведения исследований разрабатываемого грозопеленгатора с целью количественной оценки эффективности обнаружения разрядов.

Предлагается проработать возможность разработки учебного комплекса, который позволит, используя имитаторы измерительных каналов, моделировать различные режимы работы в целях обеспечения возможности обучения персонала в научно-учебных центрах.

В целом при модернизации комплекса следует обеспечить:

- улучшение метрологических характеристик средств измерений метеорологических величин;
- увеличение надежности системы и ее составных частей;
- повышение качества и степени автоматизации наблюдений за счет внедрения дополнительных измерителей и индикаторов;
- унификацию составных частей средств измерений или индикаторов;
- оптимизацию и сокращение номенклатуры применяемых изделий иностранного производства;
- повышение гибкости структуры комплекса для обеспечения потребностей ВС РФ с учетом особенностей имеющейся инфраструктуры;
- организацию взаимной интеграции модернизируемого комплекса, существующих и разрабатываемых систем.

Таким образом, основными направлениями развития и совершенствования автоматизированных метеорологических информационно-измерительных систем являются.

Унификация средств измерений, центральных устройств и протоколов обмена и передачи метеоинформации.

Включение в систему дополнительных средств измерений.

Сопряжение с автоматизированными рабочими местами или комплексами инженера-оператора.

Перевод под управление операционной системы на базе ядра Linux;

Развитие модульной архитектуры системы.

При модернизации необходимо исключить отмеченные выше недостатки и учесть результаты анализа перспективных направлений совершенствования автоматизированных метеорологических информационно-измерительных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комиссия по приборам и методам наблюдений. Шестнадцатая сессия. Санкт-Петербург. 10–16 июля 2014 г. Сокращенный окончательный отчет с резолюциями и рекомендациями, ВМО. – № 1138.

2 Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений ВМО. – № 8. Издание 2008 г. Обновлено в 2014 г.

3. Руководство по системам метеорологических наблюдений и распространения информации для метеорологического обслуживания авиации. ВМО. – № 731, Издание 2014 г.

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК НА БОЛЬШИЕ СОЛНЕЧНЫЕ ЦИКЛЫ

А.Ю. Ретеюм
aretejum@yandex.ru

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия

Одна из сложнейших проблем современной науки заключается в слабом знании энергетики глобальных процессов, что порождает ситуацию неопределенности в отношении перспектив теплового состояния биосферы. Преодолеть некоторые из трудностей помогает установленная автором закономерность восьмиричной временной организации нашей планетной системы. В основе иерархии лежит известный 22-летний цикл, повторяясь восемь раз, он создает 179-летние цикл – восьмую часть цикла, измеряемого 1430 годами, который входит в 11440-летний цикл; последний служит составляющей эксцентриситетного цикла Миланковича длительностью в 91,5 тыс. лет и т.д. Существование многолетних и многовековых циклов обнаруживается при анализе рядов по солнечным пятнам (рис. 1), а также восстановленных величин полного солнечного излучения.

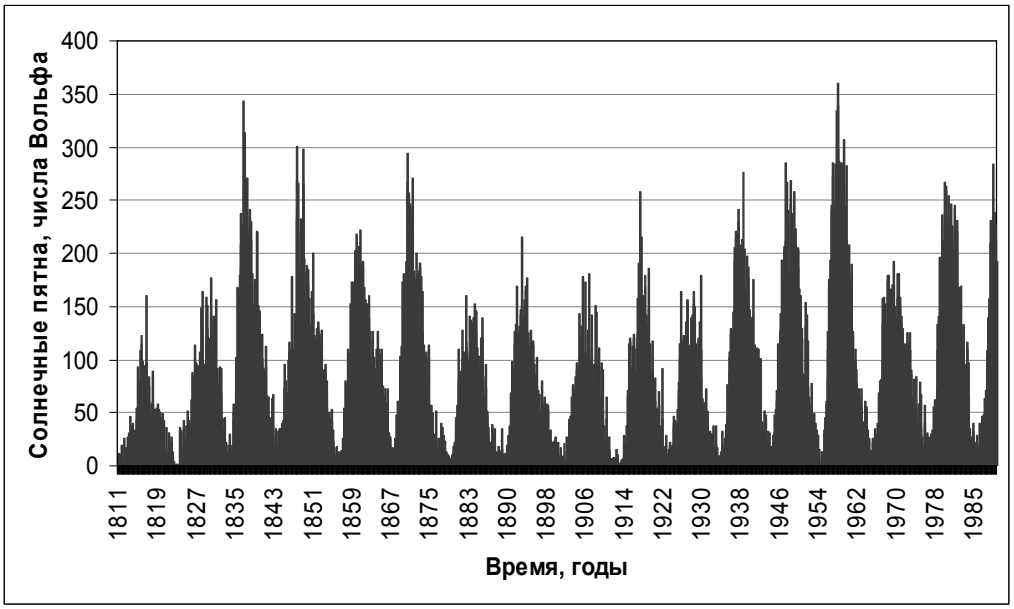


Рис. 1. Последний 179-летний цикл солнечной активности. Четко выражена временная симметрия площади пятен относительно 1900 г. – признак обособления двух подциклов длительностью около 89 лет (циклы Ганского-Глейссберга)
Источник: по данным World Data Center for the production, preservation and dissemination of the international sunspot number

Опыты идентификации солнечной периодичности предпринимались неоднократно. Теория восьмиричных циклов имеет принципиальные отличия: 1) известный общий генезис рассматриваемых процессов – эффекты движения Солнца вокруг общего с планетами барицентра, 2) точность определения дат начала и конца и 3) ясность порядка соподчинения. Характерно и весьма показательно подобие хронологических единиц разных размеров, выражающееся, в частности, в диссимметрии «высокой» и «низкой» половин больших циклов, как у нечетных и четных 11-летних циклов солнечной активности (рис. 2).

Исключительно важное, уникальное событие произошло в апреле 1990 г., когда сменилась серия циклов, включая, очевидно, тысячелетние. Это явление, вызванное ускоренным перемещением Солнца, сопровождалось целым рядом атмосферных и иных аномалий на уровнях земного шара, полушарий и регионов.

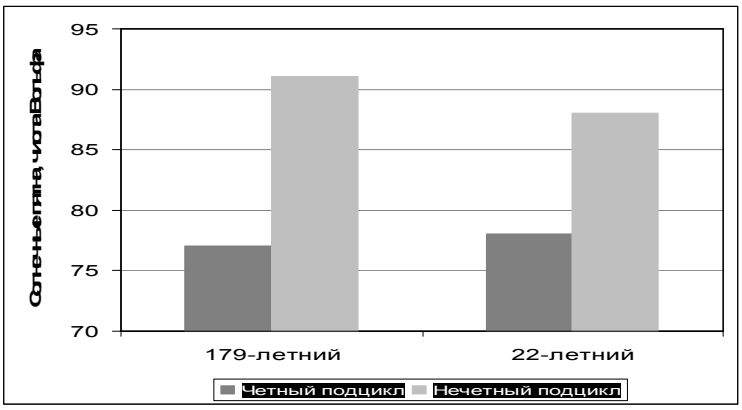


Рис. 2. Солнечная активность в годы четного и нечетного 11-летнего и 89-летнего подциклов (осреднение за 247 и 179 лет соответственно)
Источник: расчет по данным World Data Center for the production, preservation and dissemination of the international sunspot number

Предыдущий 11440-летний цикл начался в 9450 г. до н.э. На 9300-9700 гг. до н.э. приходится момент вступления биосферы в эпоху голоцена. Совпадение астрономических и палеогеографических сроков, конечно, не случайно. Оно определенно говорит о тесной функциональной связи космических и земных ритмов. Справедливость данного заключения подтверждается еще и тем, что строго посередине 11440-летнего цикла проходит временная граница климатической стадии Атлантик; в палеогеографии она датируется 3710 г. до н.э., по астрономическим же данным, ее следовало бы сдвинуть на 10 лет назад (т.е. расхождение не превышает 0,2%). И в полном соответствии с правилом диссимметрии двух подциклов, вслед за этой теплой фазой следовало похолодание на стадиях Суббориал и Субатлантик.

Логично предположить, что одновременно с окончанием 11440-летнего астрономического цикла в 1990 г. завершилась эпоха голоцена. Вместе с тем радикальные изменения природы, наблюдаемые сейчас, в первые десятилетия нового 11440-летнего цикла, вероятно, означают зарождение новой геологической эпохи, которую можно назвать нооценом.

Возникает вопрос, какие именно космические силы контролируют смену климатических циклов? Исчерпывающий ответ на него сейчас получить нельзя, поскольку отсутствуют сведения об изменениях скорости вращения планеты в последние тысячелетия. Вместе с тем можно указать на факты полного соответствия временных пределов климатических стадий этапам резкого снижения солнечной активности. Синхронность солнечных и земных событий хорошо видна, прежде всего, в переходный период между Атлантической стадией и Суббориалом, когда солнечная активность снижалась почти непрерывно в течение 200 лет (рис. 3).

Более близкий к нашим дням рубеж 1430-летнего цикла – 2300 г. до н.э., который находится в середине очередного этапа уменьшения солнечной активности (рис. 4).

Около 4400 лет назад на Земле развивается аномалия, известная как событие Бонд-3 или событие 4.2 ka. Экстремальные концентрации изотопа 18O свидетельствуют о резком изменении в тот момент температуры воздуха (рис. 5).

Вместе с тем на протяжении нескольких столетий сохранялись редкие по величине и дифференцированные по знаку в пространстве, отклонения в условиях атмосферного увлажнения. Это повлекло за собой катастрофические последствия в человеческих обществах, включая распад Древнего царства в Египте, гибель Ассирийской империи, исчезновение Хараппской цивилизации, угасание Триполья, Яншао и других культур. Таким образом, обращение к переходному периоду в режиме звезды между двумя 1430-летними циклами, позволяет понять происхождение цепи глобальных явлений в истории природы и общества, не находившего до сих пор объяснения.

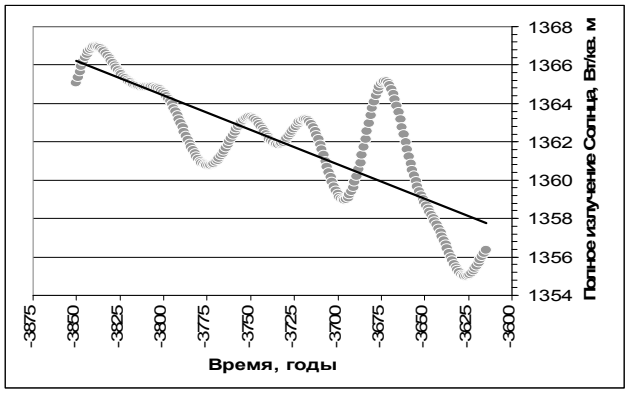


Рис. 3. Полное солнечное излучение, восстановленное по изотопу Be, у временной границы Атлантической стадии и линейный тренд.
Источник: по данным Shapiro A. I., Schmutz W., Rozanov E., Schoell M., Haberreiter1 M., Shapiro A.V., Nyeki S. A new approach to long-term reconstruction of the solar irradiance leads to large historical solar forcing // Astronomy & Astrophysics manuscript no. Shapiro et al final c ESO February 24, 2011, p. 1-6

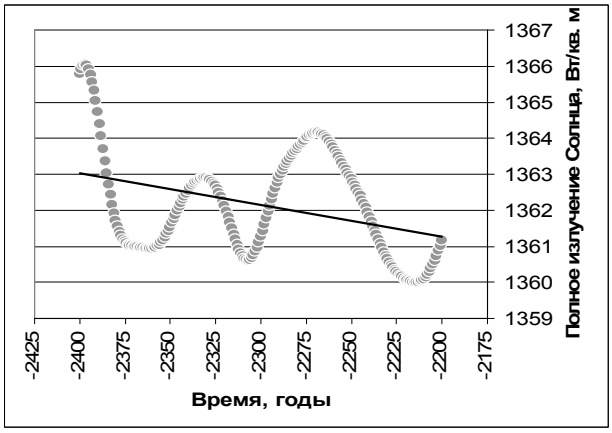


Рис. 4. Полное солнечное излучение в 2400-2200 гг. до н.э., восстановленное по изотопу Be
Источник: Ibid.

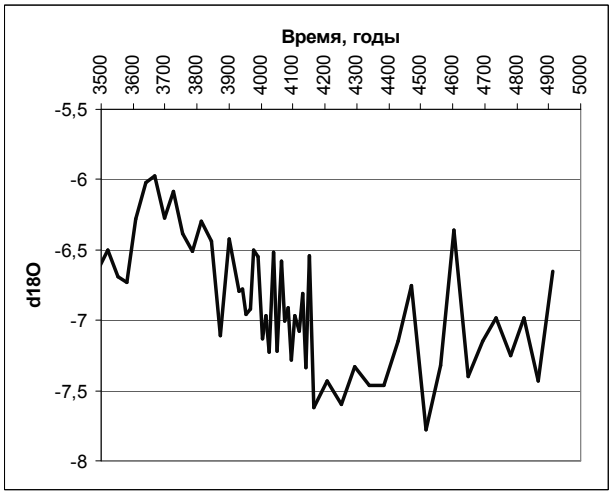


Рис. 5. Ход концентрации изотопа кислорода в отложениях пещеры Xianglong (Китай)
Источник: по данным Tan L., Cai Y., Cheng H., Edwards R.L., Gao Y., Xu H., Zhang H., An Z. Centennial- to decadal-scale monsoon precipitation variations in the upper Hanjiang River region, China over the past 6650 years // Earth and Planetary Science Letters, Vol. 482, 580-590 pp.; https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012821X1730688X

Принято считать, что начало современной климатической стадии Субатлантик относится к 450 г. до н.э. Солнце того времени можно охарактеризовать как спокойное, но снижение его активности было существенно более коротким и менее глубоким, чем тремя веками ранее, при очередной смене 1430-летних циклов (рис. 6).

Закономерно, что реакция биоты в переходный период IX в. до н.э. отличалась значительной силой (рис. 7), что в совокупности с явными признаками наступления синхронного минимума солнечной радиации дает основание для пересмотра времени наступления последней климатической стадии.

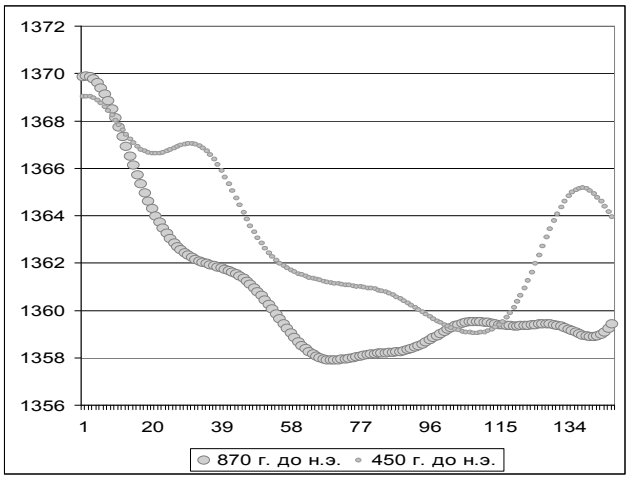


Рис. 6. Полное солнечное излучение, восстановленное по изотопу Be, у временных границ 1430-летних циклов (870 г. до н.э.) и стадий Суббориал // Субатлантик (450 г. до н.э.) Источник: по данным Shapiro A. I., Schmutz W., Rozanov E., Schoell M., Haberreiter1 M., Shapiro A.V., Nyeki S. A new approach to long-term reconstruction of the solar irradiance leads to large historical solar forcing // Astronomy & Astrophysics manuscript no. Shapiro et al final c ESO February 24, 2011, p. 1-6

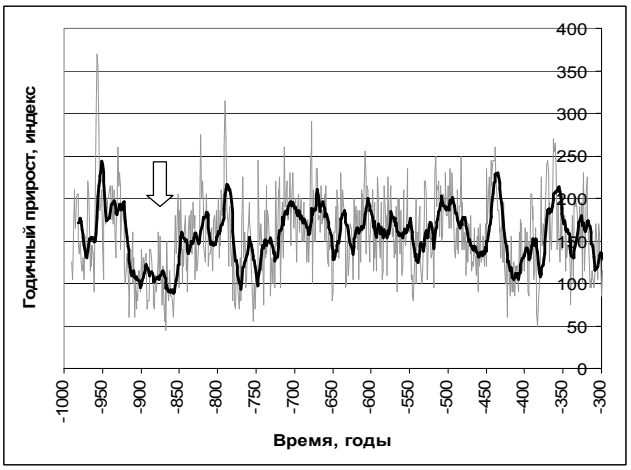


Рис. 7. Прирост можжевельника туркестанского в Китае в первом тысячелетии до н.э. и скользящее 10-летнее среднее (временная граница 1430-летних циклов отмечена стрелкой) Источник: расчет по данным Yang B., Qin C., Wang J.L., He M.H., Melvin T.M., Osborn T.J., Briffa K.R. A 3500-year tree-ring record of annual precipitation on the northeastern Tibetan Plateau. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(8), 2903-2908; https://www.ncdc.noaa.gov/paleo/study/16645

Предпоследняя смена 1430-летних циклов, согласно астрономическим расчетам, состоялась в 559 г., и, как обычно, была сопряжена с долговременным уменьшением полного солнечного излучения (достигшего в данном случае уровня менее 1357 Вт/кв. м). Она породила множество разрушительных природных и социально-экономических явле-

ний. Отклик биоты отражен в снижении прироста долгоживущих деревьев на всех континентах (рис. 8).

Рис. 8. Прирост сосны остистой в Калифорнии в первом тысячелетии н.э. и полиномиальный тренд
Источник: расчет по данным D.A. Graybill; https://www.ncdc.noaa.gov/paleo/study/3376

В течение нескольких десятилетий до и после недавнего (1990 г.) перехода от одного 1430-летнего цикла к другому, солнечная активность снижалась, подчиняясь не знающему исключений общему правилу. При этом в оболочках планеты возникло огромное количество кратковременных и долговременных эффектов. В качестве примера достаточно указать на многолетнюю отрицательную аномалию атмосферного увлажнения, охватившую весь земной шар, но особенно ярко проявившуюся в средиземноморских широтах Евразии (рис. 9).

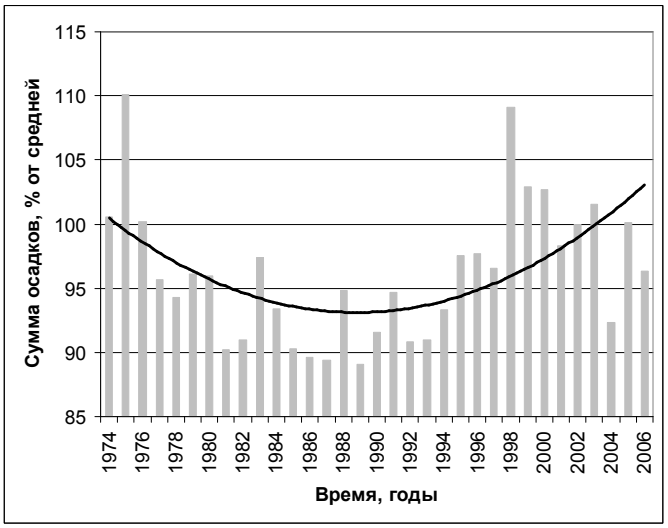


Рис. 9. Отрицательная аномалия годовых сумм атмосферных осадков в Евразии в полосе с координатами 0-180° в.д. и 30-40° с.ш. и полиномиальный тренд
Источник: расчет по данным The NCEP Reanalysis Dataset; https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/timeseries/timeseries

Тот факт, что конец 80-х и начало 90-х гг. прошлого века отмечены также крахом мировой социалистической системы, наводит на мысль, что представления А.Л.Чижевского о влиянии космоса на поведение людских масс сохраняют свою актуальность.

Обнаружение периодичностей в планетной системе создает предпосылки для учета всех климатообразующих факторов при долгосрочном прогнозировании.

КАТАСТРОФИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА У ГРАНИЦЫ 1430-ЛЕТНИХ СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ. ПРИМЕР ЦИВИЛИЗАЦИИ НАСКА

А.Ю. Ретеюм, А.О. Иванова, Л.О. Мальгина
aretejum@yandex.ru

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия

Для предвидения дальнейших изменений климата нужно знать закономерности низкочастотных колебаний прихода энергии к атмосфере Земли при изменениях интенсивности космического излучения и скорости вращения планеты. Установлено [1], что время Солнечной системы строго упорядочено; это восьмеричная иерархия хрон с нижней ступенью в виде 22-летних циклов Хейла, образующих при 8-кратном их повторении 179-летние циклы, которые, в свою очередь, составляют 1430-летние цикл – один из восьми элементов 11440-летнего цикла, входящего в циклы Миланковича длительностью в 91,5 тыс. лет, чья плейстоценовая серия началась 734 тысяч лет назад (с эпохи материкового оледенения) и т.д. Ряд предыдущих многолетних и многовековых циклов (включая голоцен), согласно астрономическим расчетам, закончился в апреле 1990 г.

Очевидно, природные процессы в ближайшей перспективе будут отличаться повышенной нестационарностью, в связи с чем на передний план в науках о Земле выдвигаются исследования пограничных обстановок недавнего (с позиций палеогеографии) прошлого, характерных для десятилетий около 3730 г. до н.э. {1990 г. – (1430 х 4) лет, когда началась климатическая стадия Суббореала}, 2300 г. до н.э. {1990 г. – (1430 х 3) лет}, 870 г. до н.э.{1990 г. – (1430 х 2) лет, вступление в климатическую стадию Субатлантик} и 559 г. н.э. {1990 г. – 1430 лет}. Наибольший интерес представляет последний рубеж, который приходится на относительно хорошо изученную эпоху. Собранные сведения указывают на катастрофические явления того времени (в их числе первая в истории человечества пандемия чумы, унесшая более 100 млн. жизней). Особое внимание обращает на себя факт исчезновения цивилизации Наска. Ценность данного примера определяется тем, что анализ условий существования этой социальной общности, которая сформировалась на побережье Тихого океана около Анд (территория современного Перу), в сфере влияния течений Эль-Ниньо//Ла-Нинья с их крайне неустойчивым режимом, может пролить свет на долговременную периодичность в глобальной геосистеме.

По имеющейся информации, цивилизация Наска, о высочайшем уровне развития которой свидетельствуют не только знаменитые геоглифы, но также подземные гидротехнические сооружения (некоторые из них действуют до сих пор), художественная полихромная керамика и ткани с недостижимой для других культур плотностью нитей, после столетий процветания погибла в VI в. при каких-то стихийных бедствиях. Согласно последней версии (активно распространяемой в печати), их причиной послужила сплошная вырубка лесов на питающих поля водосборах, следы которой обнаруживаются по спектрам пыльцы растений [2].

Приуроченность времени катастрофы к годам перехода 179-летнего и 1430-летнего циклов заставляют сомневаться в полной адекватности трактовки событий древности Южной Америки авторами гипотезы саморазрушения.

Рассмотрим, прежде всего, общий энергетический фон планеты. Как показывают величины полного солнечного излучения, восстановленные по изотопу Be, в VI-VII вв. происходило уникальное падение активности нашей звезды (рис. 1).

Снижение сумм солнечной радиации не могло не отразится – прямо и опосредовано – на биосфере планеты. Индикатором ее отклика может служить сокращение годичного прироста долгоживущих сосен из местообитания в Калифорнии, причем сам момент смены циклов у 559 г. был отмечен сильным возмущением среды (рис. 2).

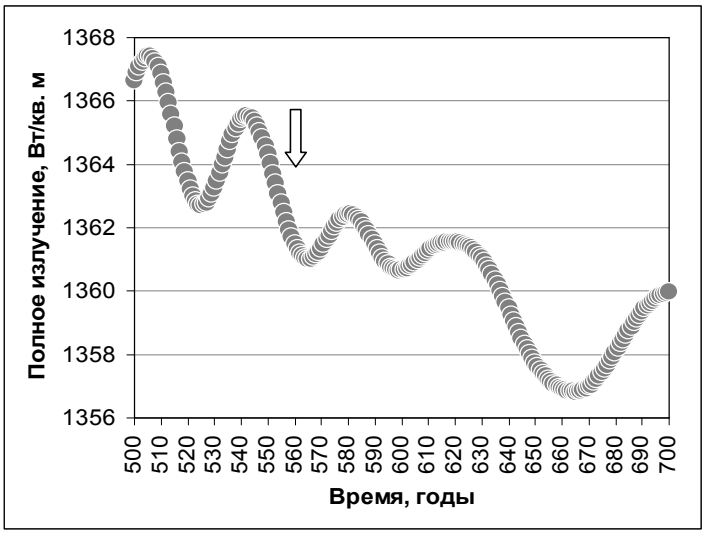


Рис. 1. Уменьшение полного излучения Солнца у временной границы 1430-летних циклов Источник: по данным Shapiro A. I., Schmutz W., Rozanov E., Schoell M., Haberreiter1 M., Shapiro A.V., Nyeki S. A new approach to long-term reconstruction of the solar irradiance leads to large historical solar forcing // Astronomy & Astrophysics manuscript no. Shapiro et al final c ESO February 24, 2011, p. 1-6

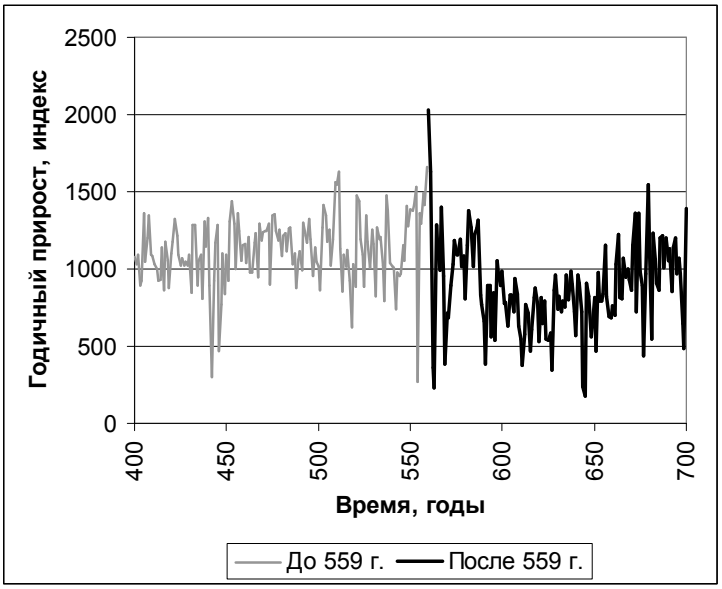


Рис. 2. Прирост остистых сосен в местообитании White Mountains (Калифорния, США) Источник: по данным C.W. Ferguson, E. Schulman, H.C. Fritts (The International Tree-Ring Data Bank) https://www.ncdc.noaa.gov/paleo/study/3254

Синхронные изменения климата в районах предгорий Анд и Североамериканских Кордильер, расположенных на двух континентах, в 5 тыс. км друг от друга, говорят о вероятной роли мощных морских течений. Такое предположение вытекает также и при обращении к дендрохронологии из Аргентины (характеризующей обстановку на расстоянии свыше 3 тыс. км от места интересующих нас событий), которая фиксирует смену условий обитания после 559 г. (рис. 3).

Климатообразующее действие течений Эль-Ниньо и Ла-Нинья на переломном этапе истории подтверждают материалы океанологической реконструкции: во второй половине VI в. индекс Эль-Ниньо//Ла-Нинья приобретает положительные значения, и амплитуда его колебаний резко снижается (рис. 4). Следствиями доминирования Эль-Ниньо, судя по современным сводкам, стали мощные ливни и вызванная ими эрозия почвы.

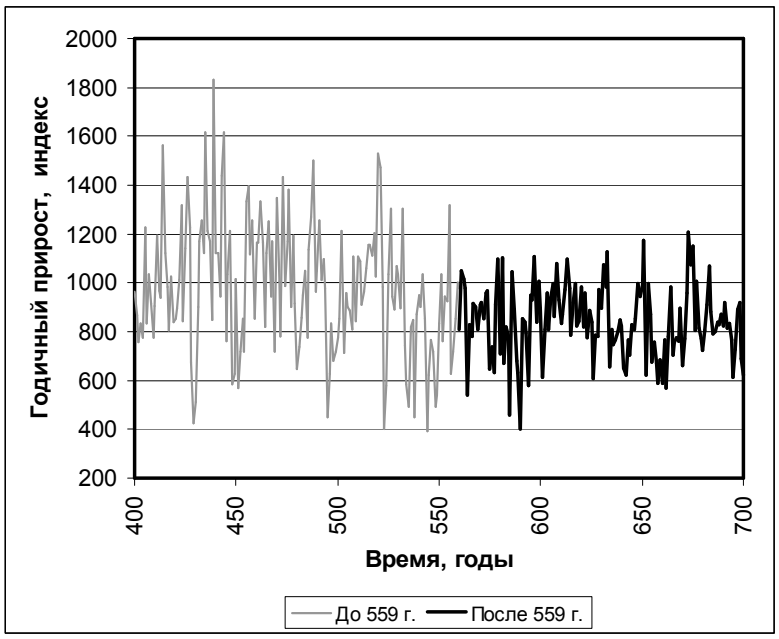


Рис. 3. Прирост патагонского кипариса в местообитании Puero Café (Аргентина)
Источник: по данным R. Villalba (The International Tree-Ring Data Bank)
https://www.ncdc.noaa.gov/paleo/study/5181

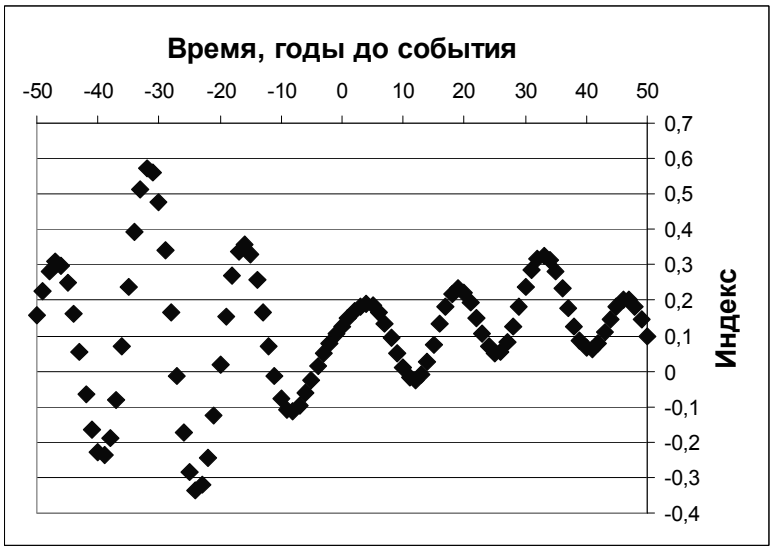


Рис. 4. Изменения реконструированного индекса Nino-3 у временной границы 1430-летних циклов
Источник: расчет по данным Mann M.E. et al. Global Signatures and Dynamical Origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly // Science, 2009, 326, 1256-1260

Вывод о климатической и океанологической значимости границы больших солнечных циклов подтверждают результаты обработки длинного ряда с меньшим осреднением (рис. 5).

Таким образом, есть основания думать, что гибель цивилизации Наска была одним из эффектов перехода от одного многовекового солнечного цикла к другому, который, возможно, достиг катастрофических масштабов из-за обезлесения речных бассейнов.

Рассмотренный пример сигнализирует о том, что наблюдаемые ныне серьезные перемены в биосфере подобны тому, что происходило на Земле около 1400 лет назад, и они в большей или меньшей мере порождены движением Солнечной системы.

Рис. 5. Изменения реконструированного индекса Nino-3 у временной границы 179-летних циклов в VI-XIX вв. Источник: Ibid.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ретеюм А.Ю. Теория, метод, результат. МЕТОД: Московский ежегодник трудов из обществоведческих дисциплин: Сб. науч. тр. / РАН. ИНИОН., Издательство ИНИОН РАН (М.), 2018. – том 8. – С. 312-350.

2. Beresford-Jones D.G. Los Bosques Desaparecidos de la Antigua Nasca. Estudio de un caso de colapso ecológico y cultural. Buenaventura, Antares, Lima, 2014. – 301 p.

О РЕАЛЬНОСТИ ПРОГНОЗОВ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

В.В. Снакин
snakin@mail.ru

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия
Институт фундаментальных проблем биологии РАН, г.Пущино Московской обл., Россия

Введение. Расширение и углубление наших знаний о процессах глобальных изменений в климатической системе сопровождается в обществе острыми дискуссиями о дальнейших направлениях развития и о судьбе человечества. Глобальные изменения природной среды при этом воспринимаются преимущественно в негативном аспекте, поскольку многие прогнозы неутешительны: бурный рост численности народонаселения на планете, глобальное загрязнение природы, сокращение биоразнообразия, исчерпание природных ресурсов, тенденции потепления и неустойчивости климата, таяние ледников могут привести в недалёком будущем к катастрофическим последствиям. Острая дискуссия разгорелась вокруг проблемы глобального потепления. Действительно ли отмечаемый в последние десятилетия рост температуры поверхности планеты представляет собой глобальный необратимый процесс, вызванный деятельностью человека? Или это обусловленный флуктуацией инсоляции всплеск тепла на фоне глобального похолодания?

В докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) говорится о неизбежности климатической катастрофы [12]: проблему глобальных изменений климата, обусловленных активным развитием промышленности во второй половине XIX в., больше нельзя откладывать на потом, иначе непоправимый ущерб для экосистем планеты может быть нанесён уже к 2030-му году. Однако насколько оправданы такие про-

гнозы? Насколько достоверны выводы на основании, как правило, ничтожных по длительности в сравнении с историей Земли и биосферы наблюдений? В какой степени современные изменения климата и чрезвычайные природные катаклизмы обусловлены деятельностью человека, а в какой части вызваны естественными земными и космическими процессами?

Все эти остающиеся пока без удовлетворительного ответа вопросы стали объектом пристального изучения и анализа учёных всего Мира. Ниже рассмотрены имеющиеся прогнозы и взаимосвязи динамики приповерхностной температуры Земли, уровня Мирового океана, таяния ледников, инсоляции, содержания углекислого газа в атмосфере.

Цикличность изменения природной среды. Результаты инструментальных наблюдений, палеогеографические данные показывают, что климат изменялся всегда. Практически все природные процессы подвержены цикличности: суточной, сезонной, многолетней; цикличны колебания уровней Каспийского и Аральского морей, оледенение и таяние ледников Гренландии, цикличны изменение концентрации углекислого газа в атмосфере и температура воздуха (рис. 1). Понять природу процесса – значит открыть возможность управления им или хотя бы повысить эффективность адаптации к негативным последствиям такой цикличности.

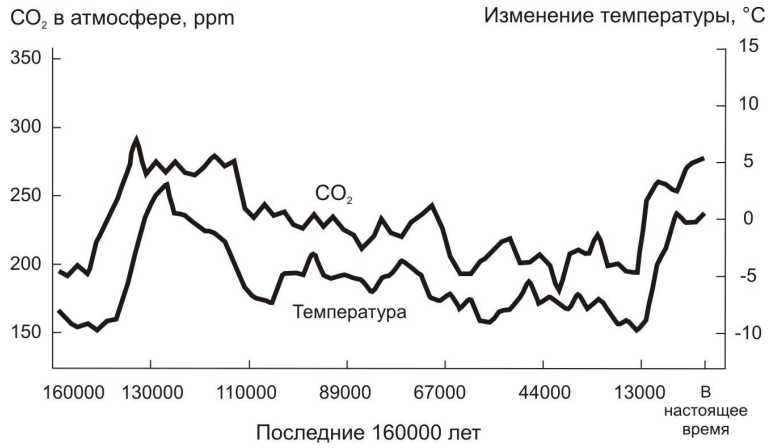


Рис. 1. Динамика за последние 160 тыс. лет концентрации углекислого газа (CO_2) в атмосфере и температуры, обнаруженная при химическом анализе «ископаемого воздуха» [2]

Из циклических колебаний климатической системы наиболее известны периоды Миланковича длительностью 26, 41 и 93 тыс. лет, обусловленные вариациями параметров прецессии орбиты Земли. Конец XX–начало XXI вв. – время, когда совпали максимальные положительные аномалии температуры воздуха и др. элементов климатической системы, связанные с 60- и 200-летним циклами, когда потепление достигло максимальных значений. Палеопочвенные исследования показывают, что природная обстановка, наиболее близкая современной, имела место в конце IV – первой половине III тыс. до н. э. Около 5000 лет назад имела место постепенная аридизация климата, продолжавшаяся на протяжении тысячелетия и достигшая максимума на рубеже III–II тыс. до н. э. (ссылки на литературные источники целого ряда приводимых здесь и далее заимствований можно найти в работе [7]).

Динамика глобальной температуры поверхности Земли. Согласно оценкам МГЭИК, полученным на основе анализа данных наблюдений за 1907–2006 гг., увеличение среднегодовой температуры для земного шара составило 0,75°С [12]. По данным Росгидромета, за последнее столетие потепление для территории России в целом составило ок. 1°С; после 1970 г. тренд потепления составил ~0,4°С за десятилетие.

При этом «глобальным» наблюдаемое потепление можно назвать лишь условно, поскольку в это время на значительных пространствах арктических морей (море Баффина и от Баренцева до Восточносибирского), а также в Северной Атлантике в зимнее полугодие температура воздуха была заметно ниже, чем в середине XX в. Повышенная ледови-

тость антарктических морей в начале XXI в. свидетельствует о преобладании отрицательных аномалий ПТВ и в этом регионе [3].

Более интенсивно потепление происходило к востоку от Урала (рис. 2). Рисунок 2 также иллюстрирует, что прогноз динамики температуры принципиально зависит от длительности периода наблюдений, взятого для прогнозирования. Так, согласно приведённым на рисунке 3 данным, при использовании 80-летнего тренда (1935–2015 гг.) возможное потепление для территории России за 100 лет к 2030 г. составит ~0,5 градуса, а при использовании 30-летнего тренда (1985–2015) к 2030 г. повышение составит более чем на 4 градуса за 30 лет!

Это действительно важная особенность прогнозирования и интерпретации его результатов. Если взять любой из небольших наблюдавшихся в период рассмотрения пиков (либо роста, либо убыли показателя), а затем продолжить эту тенденцию, то катастрофу можно было предсказывать не однажды за историю человечества. Однако всякий раз общеисторическая стабильность климата сохранялась.

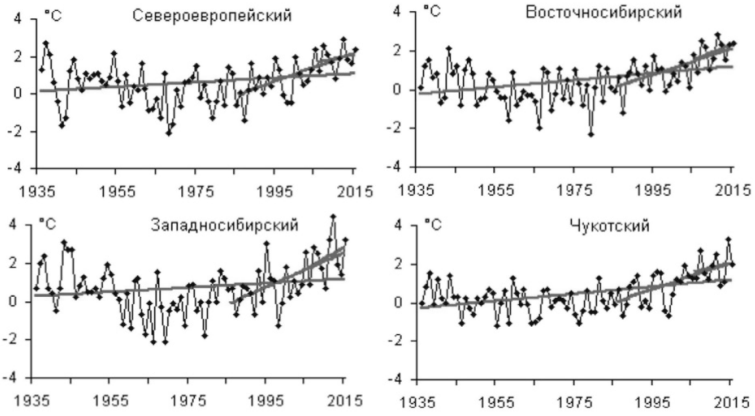


Рис. 2. Временные ряды аномалий среднегодовой температуры воздуха для отдельных районов широтной зоны 60–85° с. ш. и районов арктических морей (70–85° с. ш.) [5], показывающие территориальные различия процесса потепления, его цикличность и зависимость оценок тренда потепления от длительности рядов наблюдения

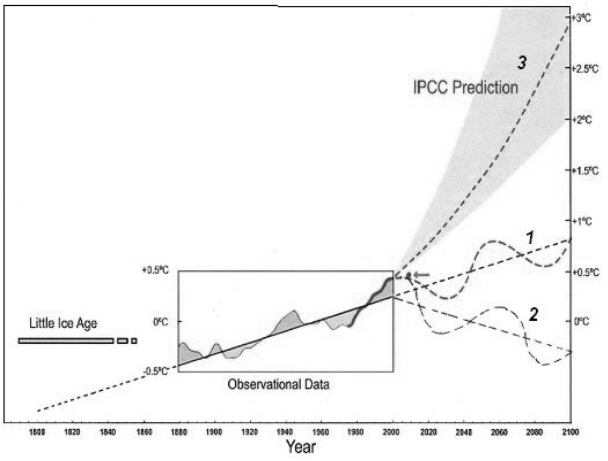


Рис. 3. Наблюдаемые и прогнозируемые изменения глобальной температуры: 1 – по данным Akasofu (2009); 2 – по материалам Института Арктики и Антарктики; 3 – по прогнозу на основании климатической модели (парниковая теория) МГЭИК [3]

Особенно очевидна разница в прогнозах, демонстрируемая на рисунке 3 (кривые 1 и 3). Там же показан прогноз (кривая 2), основанный не на линейном тренде в соответствии с 60-летним циклом, а на основании 200-летнего цикла, составленный сотрудниками НИИ Арктики и Антарктики. Результат оказывается прямо противоположным!

Потепление климата и парниковые газы. Большая часть специалистов в области климатологии нашли причину такого глобального потепления в парниковом свойстве углекислого газа и некоторых других газов, входящих в состав атмосферы. Поскольку одним из источников CO_2 является хозяйственная деятельность людей, включающая сжигание углеводородного топлива, виновником глобального потепления был признан антропогенный фактор благодаря парниковому эффекту. Отмечается, что естественное содержание углекислого газа и других парниковых газов в атмосфере Земли в сумме составляет менее 1 %, но на протяжении новейшей истории отмечается неуклонный рост их концентрации.

При этом особенно впечатляющей является наблюдаемая корреляция между изменениями температуры поверхности Земли и содержанием углекислого газа в атмосфере (см. рис. 1). Однако такая синхронность не отвечает на вопрос, что является первопричиной. Углекислый газ атмосферы способствует повышению температуры или повышение температуры вызывает рост концентрации углекислого газа в атмосфере за счёт эмиссии в атмосферу растворённого в Мировом океане углекислого газа?

Известно, что концентрация CO_2 в атмосфере весьма мала (0,03–0,04 %), а его парниковые свойства сильно уступают, например, такому распространённому газу, как водяной пар. Основное количество углекислого газа, в 60 раз превышающее его содержание в атмосфере, находится в растворённом состоянии в Мировом океане.

Согласно отчёту МГЭИК (2001), за последние 200 лет концентрация углекислого газа в атмосфере повысилась с 280 до 368 частей на млн. [12]. Однако такой рост, возможно, обусловлен как сведением лесов на планете (поглощающих CO_2), так и с выделением из Мирового океана CO_2 , растворимость которого снижается с повышением температуры воды. При нагревании также происходит выделение углекислого газа в атмосферу за счёт сдвига карбонатного равновесия в океане согласно уравнению: $Ca(HCO_3)_2$ $CaCO_3 + H_2O + CO_2$.

Показано, что многолетняя изменчивость содержания углекислого газа в атмосфере – в основном результат многолетней изменчивости температуры поверхности океана, которая, в свою очередь, является следствием увеличения инсоляционной контрастности, предопределённого уменьшением угла наклона оси вращения Земли [8]. При этом гипотеза парникового эффекта некоторыми учёными (напр., Alberto Miatello) опровергается в принципе, как «не соответствующая ни математическим, ни законам теоретической физики» и не имеющая никакого отношения к изменениям климата планеты [7].

Динамика солнечной активности и потепление климата. Солнечная активность оказывает важнейшее влияние на процессы в биосфере, определяя цикличность многих природных процессов и динамику инсоляции (потока солнечной радиации на поверхность Земли). Именно вариации солнечной активности являются причиной изменений климата, как это показано на примере резких климатических изменений ок. 4000 и 2700–2200 лет назад, а также при изучении современного потепления климата и изменения концентрации углекислого газа в атмосфере.

Анализ пространственно-временных связей приповерхностной температуры воздуха и инсоляции Земли показал, что изменчивость годовой приповерхностной температуры Земли в основном определяется многолетней изменчивостью инсоляционной контрастности Земли, связанной с изменением наклона оси её вращения. Поэтому представления о решающей роли антропогенного фактора в глобальных изменениях климата не представляются убедительными [8].

Потепление климата, таяние ледников, изменение уровня Мирового океана и площади суши. Глобальное потепление климата приводит к деградации ледников, причину ускорения таяния которых многие исследователи также видят в увеличении концентрации углекислого газа в атмосфере за счёт деятельности человека. Однако многие факты не согласуются с такой точкой зрения. Основной источник таяния льда, зависящего, прежде всего, от температуры и осадков – солнечное излучение. Сопоставление с динамикой использования углеводородов не показывает взаимосвязь этих процессов: тренд

таяния льда начался задолго до активной эксплуатации углеводородов, перелом в этой эксплуатации в 1950-х не отразился на динамике таяния [11].

Уровень океана постоянно меняется под воздействием ветрового волнения, приливов, нагревания и охлаждения поверхностного слоя моря, колебаний атмосферного давления, осадков и испарения. По имеющимся оценкам, в XX в. таяние континентальных ледниковых масс привело к повышению уровня моря на 10–20 см, при средней скорости роста 1–2 мм в год (рис. 4). Сообщается также, что после 2004 г. рост уровня прекратился, а по более поздним данным учёных США, только за один год (2010/2011) уровень океана понизился на 5 мм.

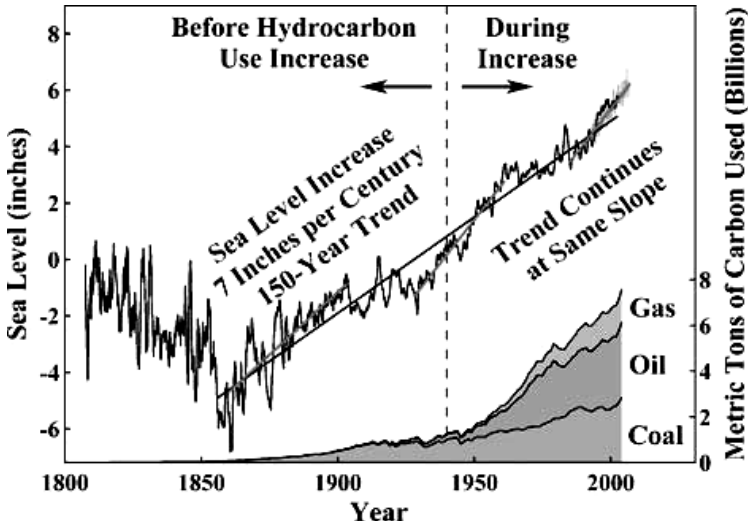


Рис. 4. Согласующаяся динамика глобального уровня моря, измеренная с помощью футштоков (1807–2002) и искусственных спутников (1993–2006), показывающая средний рост уровня моря примерно на 7 дюймов за столетие при наличии трендов в 9, 0, 12, 0 и 12 дюймов за столетие. Тренд отстаёт от роста температуры и значительно больше до активного использования углеводородного сырья, что свидетельствует об отсутствии взаимосвязи между анализируемыми процессами [11]

Прогноз изменения уровня Мирового океана на основе расчётов инсоляции Земли показал, что изменения уровня моря более чем на 95 % определяются динамикой инсоляции [9]. При этом усиление межширотного теплообмена приводит к повышению температуры в областях стока тепла, повышению содержания водяного пара в атмосфере в областях стока тепла и, в связи с этим, возможно к усилению парникового эффекта. В практическом отношении отмечаемое в связи с потеплением климата увеличение уровня моря может представлять определённую угрозу подтопления территорий, расположенных в пределах отмечаемых высотных уровней, размыву их берегов и отступанию береговой линии.

Прогнозируемый рядом исследователей рост уровня Мирового океана с неизбежностью должен вызывать сокращение площади суши. Тем не менее, имеющиеся данные свидетельствуют, что за последние 30 лет в условиях потепления климата площадь суши увеличилась на ~58 тыс. км² [10]. Таким образом, несмотря на постоянно меняющуюся конфигурацию суши вследствие самых различных причин, наблюдаемое потепление климата не привело к сокращению площади суши, и, во всяком случае, речь никак не может идти о новом «всемирном потопе».

Заключение. Хронология палеоклимата показывает большую изменчивость климатической системы вне влияния человека, причём размах естественных колебаний превосходил возможное изменение климата под влиянием парникового эффекта газов, поступивших в атмосферу за последние два столетия в результате деятельности человека [4]. По всей видимости, колебательный характер является естественным свойством развития климата, и он сохранится в будущем, как сохранится и всё разнообразие климатических циклов.

Имеющиеся прогнозы дальнейшего «катастрофического» потепления климата чаще всего основаны на «механическом» продлении наблюдаемых в последние десятилетия тенденций повышения климата с опорой на гипотезу парникового эффекта, в свою очередь, опирающуюся на предположительную взаимосвязь роста температуры с ростом концентрации ряда парниковых газов, особенно углекислого газа.

Следует также отметить, что общая тенденция изменения температуры на Земле направлена в сторону похолодания, и в перспективе человечество может встать перед проблемой глобального снижения температуры [1]. Экстраполируя в будущее климатические циклы последних 10 000 лет можно ожидать похолодание в рамках длиннопериодных циклов, которое через 15–20 тыс. лет приведёт к эпохе оледенения, сравнимой с эпохами ~70 и 18–20 тыс. лет назад.

Дискуссии по прогнозам изменения климата продолжаются. Однако пока учёные продолжают вести споры о его причинах и способах противодействия ему, политики, не дожидаясь завершения научных споров (ссылаясь на принцип презумпции экологической опасности), перевели дело в практическую плоскость: разработаны и заключены международные соглашения о мерах противодействия глобальному потеплению и его негативным последствиям, в том числе Киотский протокол и пришедшее ему на смену Парижское соглашение [6]. При этом сторонники немедленной борьбы против потепления климата вместо научных доводов используют даже протесты и забастовки несведущих школьников, одну из которых (Грету Тумберг) номинировали на Нобелевскую премию.

Действительно, многие негативные явления в окружающей среде реально вызваны деятельностью человека, приобретающей всё более мощные масштабы. Загрязнение атмосферы, замусоривание суши и океана, деградация почв, сведение лесов – опасные, прежде всего для самого человека, процессы, которые необходимо сводить до минимума, развивая новые щадящие природу технологии.

Но в ряду негативных для человека явлений в климатической системе важно выделить независящие от него процессы, чтобы не уподобится борьбе с «ветряными мельницами» и более эффективно управлять тем, что мы можем изменить с пользой для человечества и биосферы в целом!

ЛИТЕРАТУРА

1. Будыко М.И. Изменение климата. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 280 с.

2. Вайцзеккер Э., Ловинс Э., Ловинс Л. Фактор четыре (затрат половина, отдача двойная). – М.: Academia, 2000. – 400 с.

3. Глобальные экологические процессы: Мат. Межд. научн. конф. / Под ред. В.В. Снакина. –М.: Academia, 2012. – 488 с.

4. Заварзин Г.А., Котляков В.М. Стратегия изучения Земли в свете глобальных изменений // Вестник РАН. 1998. Т. 68 (1). – С.23–29.

5. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2015 год / Под ред. Г.М. Черногаевой. – М.: Росгидромет, 2016. – 224 с.

6. Семёнов С.М. Как человек влияет на глобальный климат Земли? // Век географии / Под ред. В.А. Колосова, В.М. Котлякова, О.Н. Соломиной, А.А. Тишкова. – М.: Росучебник, 2018. – С. 53–75.

7. Снакин В.В. Глобальные изменения климата: прогнозы и реальность // Жизнь Земли. 2019.– Т. 41. – № 2. – С. 148–164.

8. Фёдоров В.М., Голубев В.Н., Фролов Д.Н. Многолетняя изменчивость инсоляции Земли и содержания двуокиси углерода в атмосфере // Жизнь Земли. – 2018. – Т. 40 (1). – С. 12–21.

9. Фёдоров В.М. Прогноз изменения уровня Мирового океана на основе расчётов инсоляции Земли // Жизнь Земли. – 2018. – Т. 40. – № 2. – С. 143–151.

10. Donchyts G., Baart F., Winsemius H., Gorelick N., Kwadijk J., Giesen N. Earth's surface water change over the past 30 years // Nature Climate Change. 2016. V. 6. – P. 810–813.

11. Robinson A.B., Robinson N.E., Soon W. Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide // J. of American Physicians and Surgeons. 2007. V. 12 (3). – P. 79–90.
12. The Intergovernmental Panel on Climate Change (http://www.ipcc.ch/).

МОДЕЛЬ ВИЗУАЛИЗАЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ РАБОЧЕГО МЕСТА ВОЕННОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГА

А.В. Степанов, В.В. Дорофеев, А.А. Насонов
step_al@mail.ru

Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г.Воронеж, Россия

Климатические и физико-географические условия определяют рациональность планирования полетов государственной авиации. При долгосрочном, среднесрочном и краткосрочном планировании используются климатические характеристики различных временных и пространственных (пункт, район, территория) масштабов [3]. Степень сложности метеорологических условий (МУ) при планировании оценивается по комплексным авиационным климатическим показателям (КАКП) [4]. КАКП – сочетание высоты нижней границы облаков (ВНГО) и метеорологической дальности видимости (МДВ) – горизонтальной дальности видимости, определяемой метеорологической службой в горизонтальном направлении [1]. При такой оценке возникает противоречие, которое обусловлено тем, что возможность и ограничения по применению государственной авиации определяются курсом боевой подготовки и инструкцией по эксплуатации для конкретного образца (типа) воздушного судна (ВС) и летчика, по значениям сочетания ВНГО и (или) полетной дальностью видимости (ПДВ), а не МДВ [1,5].

Для разрешения противоречия необходимо решить научную задачу по разработки информационно-расчетной модели климатической информации, позволяющей оценивать и визуализировать МУ по расчетным значениям сочетаний ВНГО и ПДВ для четырех типов распределения горизонтальной видимости, которые определяют степень сложности МУ.

Поэтому целью работы является повышения рациональности планировании полетов государственной авиации путем разработки информационно-расчетной модели предоставления и визуализации авиационной климатической информации.

Цель достигается путём разработки модели расчета и визуализации авиационной климатической информации при долгосрочном среднесрочном и краткосрочном планировании полетов государственной авиации.

Научная новизна работы состоит в том, что предложена модель расчета и визуализации КАКП, отличающейся тем, что видимость в нем представлена не МДВ, а ПДВ, которая определяет уровень подготовки летного состава и возможность выполнения полетов (модифицированный КАКП – МКАКП) [1,5]

МКАКП обладает большой пространственно-временной изменчивостью, поэтому планирование требует не только достоверности информации о МУ, но и её визуализированного представления для пунктов управления в новых формах.

Форма визуализированного представления метеорологической информации должна соответствовать требованиям руководящих документов [5] и обеспечивать доступность, наглядность, единое адекватное понимание её влияния на выполнение полетов пунктами управления, руководящим и лётным составом.

В соответствии требованиям к перспективным решениям оценки МУ [2] является ее визуализация в виде зон значений МКАКП, определяющих возможность или ограничения по выполнению полетов.

Эти визуализированные зоны должны наноситься на электронную топографическую карту и обеспечивать совокупность согласованных по целям, задачам, месту и времени мероприятий по снижению влияния МУ на эффективность выполнения полетов. Таким образом, метеорологическую информацию можно представить в виде визуализированного районирования МУ на территории полетов по МКАКП в виде сочетаний значений ПДВ и ВНГО на электронной топографической карте в заданном временном и пространственном масштабе.

Качество оценки МУ для рационального планирования полетов по авиационно-климатическим характеристикам климатических описаний осложняется отсутствием учета типов распределения горизонтальной видимости под облаками, определяющих степень сложности погоды по ПДВ как основного фактора [1].

Максимальные и минимальные значения ВНГО и ПДВ, при которых возможно выполнение полетов в сложных метеорологических условиях в зависимости от скорости полета ВС определены требованиями руководящих документов [5].

Информационно-расчетная модель необходима для подготовки информационно аналитического материала. Она предназначена для программно-технических комплексов [3], реализующих методы расчета и визуализации КАКП путем использования математических моделей ПДВ для четырех степеней сложности метеорологических условий по оптическим моделям (ОМ) [1].

Значения МКАКП в сравнении с КАКП при различных значениях высоты и скорости полета и явлений погоды представленного виде примера в таблице 1.

Таблица 1. Значения МКАКП в сравнении с КАКП при путевой скорости 300 км/ч в дымке (для объектов с контрастом К= 0,6)

ОМ	КАКП: (ВНГО х МДВ)	МКАКП: (ВНГО х ПДВ)
I	(100х1)	(100х0,4)
II	(200х2)	(200х1)
III	(300х3)	(300х2)
IV	(400х4)	(400х3)

Достоверность методики оценки ПДВ по данным экипажей-разведчиков погоды подтверждена критериями успешности, что подтверждает возможность использования МКАКП [1].

Информационно-расчетная модель авиационной климатической информации предусматривает визуализацию МКАКП в программно-технических комплексах в виде зон с однотипными их значениями, нанесёнными на электронную топографическую карту с навигационной обстановкой.

В качестве примера рассмотрим порядок представления метеорологической информации при планировании выполнения задачи армейской авиации поиска наземных объектов при полетах по правилам визуальных полетов (скорость полёта 200 км/ч, минимумы экипажей 200х2) (рисунок 1).

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что в центральной и северной части территории полетов выполнение вышеуказанной задачи возможно в сложных метеорологических условиях, а в южной части – поставленную задачу выполнить невозможно, в связи с тем, что метеорологические условия (ПДВ) ниже минимумов экипажей.

Аналогичным образом можно рассчитать значения ПДВ и ВНГО для каждого рода авиации и определить возможность выполнения конкретных задач в зависимости от метеорологических, физико-географических и навигационных условий.

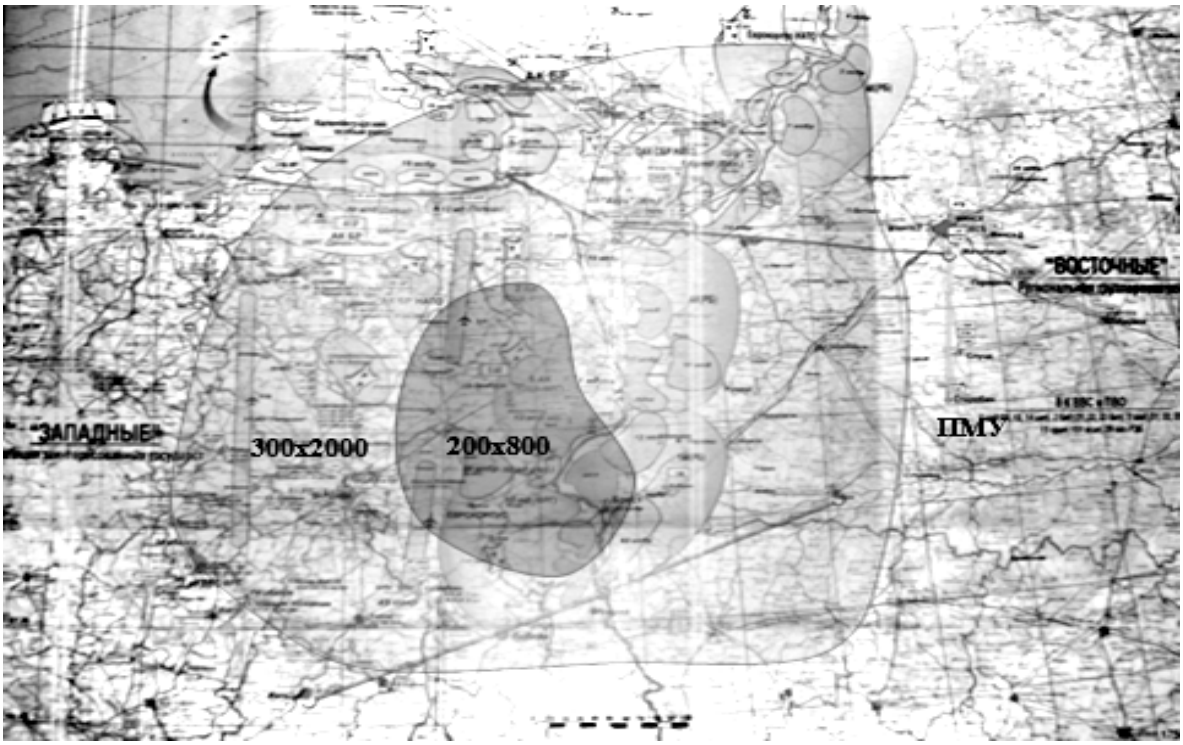


Рис. 1. Рабочая карта с нанесёнными значениями МКАКП для заметных объектов по условиям оптической маскировки (К=0,6; $H_{пол}$=150м; W=200км/ч)

Рис. 2. Пример представления метеорологической информации для решения оперативно-тактических задач с использованием АРМ-ВГМ (для поиска заметных целей (К=0,6)

Процесс автоматизации метеорологического обеспечения (МО) планирования полетов государственной авиации осуществляют в специальной кодовой форме и передаются с помощью системы наземных и спутниковых каналов связи на автоматизированное рабочее место военного - гидрометеоролога (АРМ-ВГМ) [3].

Предложенная модель визуализации МУ при планировании задач оперативно-тактического или тактического уровня позволяет учитывать размер, форму, яркость, цвет объекта (ориентира), степень прозрачности и освещенности атмосферы, высоты и скорости полета воздушного судна.

Визуализированные МУ переводятся на автоматизированное рабочее место военного гидрометеоролога (АРМ-ВГМ) и офицера боевого управления ПУ. При получении задачи офицер боевого управления ПУ получит авиационно-климатические показатели в виде зон с однотипными значениями ВНГО и ПДВ, нанесёнными на карту с навигационной обстановкой (рисунок 2). Если полученные значения превышают минимальные значения, установленные для данного типа ВС (минимума экипажа), то планируется ограничение или прекращение выполнения задачи из курса боевой подготовки.

Предложенная модель позволит органам управления, руководящему, летному составу адекватно, объективно, оперативно оценивать ожидаемые метеорологические условия и учитывать их влияние на выполнение полетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорофеев В.В., Степанов А.В., Булгин Д.В., Щербинин В.А. Модели метеорологической обстановки для поддержки принятия метеозависимых тактических решений армейской авиации. Сборник научных статей по материалам I Всероссийской научно-технической конференции: Методические аспекты развития метеорологии специального назначения. – С. 32-36.

2. Удриш В.В., Воронежцев В.В., Попов Д.А., Тимофеев П.А. Информационно-расчётная задача: оценка климатических характеристик и ожидаемых гидрометеорологических условий для планирования действий войск (сил). Сборник научных статей по материалам I Всероссийской научно-технической конференции: Методические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и систем аэрокосмического мониторинга. 27-28 мая 2014г. Воронеж, ВУНЦ ВВС«ВВА» (г.Воронеж). – С. 185-191.

3. Дьяков С.А., Булгин Д.В., Федоров В.И. Технические средства гидрометеорологический службы. Электронный учебник ВУНЦ ВВС «ВВА» (г. Воронеж) 2018 г. – 215 с.

4. Руководящий документ (РД 52.21.692). Требования к составлению климатического описания аэродрома. М.: Росгидромет, 2007. – 120 с.

5. Федеральные авиационные правила по производству полетов государственной авиации Российской Федерации (ФАППП-2004). М: Воениздат, 2004. – 336 с.

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТУРИСТИЧЕСКОГО КЛИМАТИЧЕСКОГО ИНДЕКСА НА КУРОРТАХ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

А.А. Стефанович, Е.Н. Воскресенская
amazurenko@mail.ru

Институт природно-технических систем, г.Севастополь, Россия

Климат оказывает сильное влияние на туристический сектор. Во многих регионах он представляет собой ключевой фактор для устойчивого развития рекреационно-туристской отрасли. Изменение климата, его межгодовая и сезонная изменчивость могут влиять на продолжительность и качество курортных сезонов, а также на прибыльность туризма.

Туризм является одним из основных секторов экономики Республики Крым и г. Севастополя: в 2018 году налоговые поступления в бюджет от туристской отрасли увеличились и составили 3,2 млрд. рублей. В этом же году полуостров посетили более 6 миллионов туристов из разных регионов страны [1]. Несмотря на относительно небольшие размеры Крымского полуострова, климат на его территории разнообразен. И именно благодаря многообразию природно-климатических факторов определяются наиболее перспективные направления туристических потоков. Для оценки привлекательности существующих сегодня курортов и определения способности этих рекреационных территорий

функционировать не только в курортный сезон, который обычно длиться здесь в среднем от 130 до 160 дней (в зависимости от части полуострова), но и круглогодично, был проведен анализ климатических особенностей региона путем расчета биоклиматических индексов [3], характеризующих условия для климатотерапии. Для решения задач развития сферы туризма следует рассчитывать Туристический климатический индекс (ТКИ, по-английски Tourism Climate Index – TCI).

В данной работе использовалась модифицированная версия ТКИ, разработанного канадским биометеорологом З. Мечковским [4]. Первоначально автор рассматривал индекс как комплексный показатель, оценивающий изменения климатических параметров, наиболее соответствующих туристам со средним уровнем физической подготовки (осмотр достопримечательностей, прогулки, поездки). При расчете ТКИ для всех переменных З. Мечковский использовал среднемесячные значения. При этом сглаживаются реальные амплитуды изменений метеопараметров. Поэтому нами предложен новый подход расчета индекса на основе ежедневных метеорологических наблюдений. Индекс включает в себя пять субиндексов, которые оценивают дневной тепловой комфорт, суточный тепловой комфорт, осадки, длительность солнечного сияния и скорость ветра. При расчетах субиндекса дневного теплового комфорта использовались максимальная температура за день и соответствующие ей показатели относительной влажности и скорости ветра. В случае субиндекса осадков показатели за день умножались на количество дней в месяце. Такие корректировки позволили более детально охарактеризовать временные и региональные различия в туристической привлекательности курортов в определенный период года.

Для расчета ТКИ З. Мечковским предложена следующая формула:

$$TCI = 2 \cdot (4 \cdot CId + CIa + 2 \cdot R + 2 \cdot S + W, \qquad (1)$$

где CId– дневной субиндекс комфорта, CIa–суб-индекс суточной комфортности, S– субиндекс продолжительности светового дня, R–субиндекс осадков, W–субиндекс скорости ветра.

Ключевыми суб-индексами по суммарному вкладу в величину ТКИ считаются CIdи CIa. Для их расчета используют формулу для эквивалентно-эффективной температуры по А. Миссенарду [5]:

$$ЭЭТ = ET = 37 - \frac{37 - t}{0{,}68 - 0{,}0014 \cdot f + \frac{1}{1{,}76 + 1{,}4 \cdot \upsilon^{0{,}75}}} - 0{,}29 \cdot t \cdot (1 - \frac{f}{100}), \qquad (2)$$

где t – температура воздуха, °C; v – скорость ветра, м/с; f – относительная влажность, %.

Для обеспечения общей основы измерения для всех суб-индексов разработана балльная система оценки, варьирующаяся от 5 (оптимально) до -3 (крайне неблагоприятно). Максимальное значение ТКИ равно 100 баллам, что характерно для «идеальной климатической привлекательности». Категории климатической привлекательности в зависимости от значений индекса представлены на рисунке 1.

Исходные данные. Для расчета ТКИ в качестве исходных данных использовались данные ре-анализа NCEP/NCAR (сетка 2.5°×2.5°) и сеточные данные ежедневных наблюдений E-OBS (сетка 0.25°×0.25°) за период 1950 – 2017 гг.для основных курортов Крыма (Севастополь, Феодосия, Ялта, Евпатория и Керчь).Данные ре-анализа были верифицированы на основе открытой базы станционных данных Rp5 [2] за 2005 – 2017 гг. В работе использованы следующие метеорологические параметры: среднесуточная и максимальная температура воздуха, среднесуточные относительная влажность и скорость ветра, количество осадков, солнечное сияние (общее количество солнечных часов). Для всех временных рядов был выполнен контроль качества и проверка на пропуски. Индекс ТКИ рассчитывался для каждого месяца, благодаря чему были получены биоклиматические характеристики курортов Крыма для всех сезонов года.

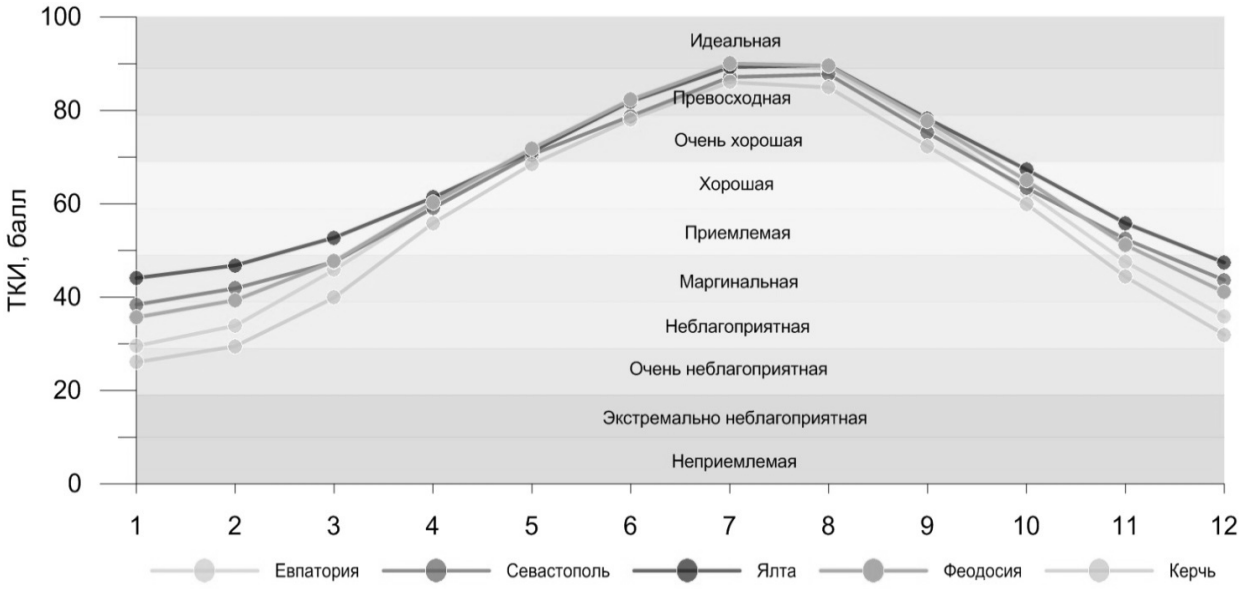


Рис. 1. Внутригодовые изменения Туристического климатического индекса (балл) для курортов Крыма за период 1950 - 2017 гг.

Результаты. Климат мест, предназначенных для организации туризма, в зависимости от годового хода показателя ТКИ, имеет один из шести типов распределения значений индекса: «оптимальный» круглогодичный, «низкий» круглогодичный, «летний» и «зимний пик», «бимодальный», «плечевой пик», «пик сухого сезона». Все курорты Крыма расположены в средних широтах, в связи с чем для них характерно летнее распределение пиков. На рисунке 1 представлены значения ТКИ для анализируемых курортов в 1950-2017 гг. по сезонам года. Видно, что в целом большую часть года на территории полуострова преобладают благоприятные климатические условия для туризма. Каждый из городов имеет два (Севастополь, Керчь), а некоторые и три (Евпатория, Ялта, Феодосия) месяца со значениями ТКИ выше 80 баллов, уровень комфорта которых оценивается как «превосходный». В летний период индекс ТКИ находится в интервале от 80 до 90 баллов. Максимальные значения фиксируются в июле и августе на Южном берегу Крыма (ЮБК) и юго-восточной части полуострова.

По полученным значениям индекса можно сделать вывод, что периоды, благоприятные для развития туризма, для курортов Крыма неодинаковы по продолжительности. Так, курортный сезон в южной (Ялта) и юго-восточной (Феодосия) частях полуострова может начинаться уже в апреле месяце. Индекс ТКИ находятся в пределах отметки в 60 баллов, что соответствует «хорошим» туристическим климатическим условиям. Для западного (Евпатория) и юго-западного (Севастополь), а также северо-восточного (Керчь) Крыма период с благоприятными туристическими условия начинается с мая месяца, где уровень комфорта оценивается как «очень хороший» для Евпатории и Севастополя и «хороший» для Керчи. Однако, несмотря на комфортные значения ТКИ, в начале курортного сезона есть ограничения по рекреационной деятельности. Как в апреле, так и в мае месяце морская вода еще достаточно холодная и не подходит для купания даже для здоровых людей. Но имеющиеся условия благоприятны для активных видов рекреации (терренкуры, походы, спортивные игры и т.п.). Заканчивается период с комфортными для туризма условиями на большинстве курортах примерно одинаково – в октябре месяце.

Наиболее сильно чувствуются различия между курортами в зимние месяцы. Самые дискомфортные климатические условия отмечаются в Керчи и Евпатории, где уровень комфорта по ТКИ оценивается как «очень неблагоприятный» и «неблагоприятный»соответственно. Субкомфортные «маргинальные» и местами «неблагоприятные» климатические условия характерны для Ялты и Севастополя. Только эти курорты остают-

ся наиболее пригодными для туризма зимой, где среди видов рекреации преобладает аэротерапия в виде прогулок и воздушных ванн.

Выводы. Биоклиматический индекс ТКИ является интегральным показателем, объединяющим в себе несколько климатических переменных в единый показатель, и является полезным индикатором оценки пригодности климатических ресурсов для туристической деятельности в городах. В результате выполнения работы выявлено, что влияние изменения климата на туризм в пяти основных курортных городах Крыма – разнообразно. На курортах ЮБК, главным образом в Ялте, а также близкому по климатическим показателям, но не относящемуся к ЮБК, Севастополю можно проводить круглогодично рекреационные мероприятия.

Полученные результаты позволят более эффективно распределить туристический поток в течение курортного сезона с учетом климатических особенностей и предпочтительных видов туристической активности, а также обратить внимание туристов на преимущества курортов Крыма в период межсезонья.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-35-00325 и № 18-45-920063

ЛИТЕРАТУРА

1. Ежемесячная справочная информация о количестве туристов, посетивших Республику Крым в течение 2018 года. [Электронный ресурс]. – URL:http://mtur.rk.gov.ru.

2. Сайт«Расписание погоды»[Электронный ресурс]. – URL: http://rp5.ru.

3. Стефанович А.А., Воскресенская Е.Н. Биоклиматическая оценка комфортности климатических условий Крыма // Системы контроля окружающей среды. –2019. – Вып. 2 (36) (в печати).

4. Mieczkowski, Z.The Tourism Climatic Index: A Method of Evaluating World Climates for Tourism. The Canadian Geographer, 1985, 29 (3): 220-233.

5. Missenard F.A. Température effective d'une atmosphere Généralisationtempératurerésultante d'un milieu. In EncyclopédieIndustrielleet Commerciale, Etude Physiologique et Technique de la Ventilation; Librerie de l'Enseignement Technique: Paris, 1933. – P. 131–185.

ВЛИЯНИЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ РЕЖИМОВ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ В РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ АМУР

В.А. Тищенко, В.М. Хан, Р.М. Вильфанд, Е.Н. Круглова, И.А. Куликова
hydrometcentr@gmail.com

Гидрометеорологический научно-исследовательский центр России, г.Москва, Россия

В последние десятилетия увеличивается повторяемость экстремальных крупномасштабных метеорологических процессов. Одной из причин усиления экстремальности климата можно назвать увеличение средней температуры тропосферы. Фактические данные и результаты моделирования показывают, что в более теплом климате увеличивается общая продолжительность эпизодов блокирования зонального переноса. При этом в районах стационирования антициклонов наблюдаются засушливые условия (например, блокирование на ЕТР летом 2010 года), на периферии таких антициклонов наблюдается перемещение циклонов и формируется режим избыточного увлажнения. Экстремальные осадки на Дальнем Востоке летом 2013 года привели к крупнейшему наводнению на Амуре. Длительное блокирование над Тихим океаном привело к тому, что до сентября западнее блокирующего антициклона по ведущему потоку происходило перемещение на север южных циклонов с экстремальными осадками. В июле–августе почти на всей тер-

ритории бассейна Амура наблюдались интенсивные осадки. В некоторых местах их количество в этот период превысило годовую норму.

Долгосрочное прогнозирование крупномасштабных аномалий циркуляции атмосферы на основе глобальных ансамблевых гидродинамических прогнозов может быть использовано в схемах долгосрочного гидрологического прогноза.

На примере бассейна реки Амур рассмотрена возможность прогнозирования средней месячной и сезонной температуры и сумм осадков для использования в прогнозе расхода воды р. Амур в последующие месяцы. Поскольку в теплое полугодие существует высокая взаимосвязь между суммами осадков за 1-2 месяца и расходом воды р. Амур в последующие месяцы [1, 4], важно иметь качественные долгосрочные прогнозы температуры и осадков на весенние и летние месяцы.

В Гидрометцентре России развивается технология выпуска глобальных ансамблевых прогнозов с заблаговременностью до 4 месяцев. Прогноз базируется на расчетах глобальной модели общей циркуляции атмосферы ПЛАВ, разработанной в Гидрометцентре России совместно с Институтом вычислительной математики РАН [5, 6].

Начальными данными на изобарических поверхностях для модели ПЛАВ являются поля реанализа NCEP/DOE. Верификация прогнозов также выполнялась по отношению к полям реанализа NCEP/DOE за соответствующий период. Для верификации модельных прогнозов и вычисления модельного климата проведены расчеты на историческом материале за период 1981-2010 гг.

На основе выходных данных модели ПЛАВ рассчитываются глобальные сеточные поля среднемесячных аномалий метеорологических величин (приземной температуры воздуха T_{2m}, осадков *Prec*, давления на уровне моря, геопотенциала, температуры на поверхности 850 гПа) – средних по ансамблю и вероятностей градаций аномалий ниже нормы, норма, выше нормы [2].

В ходе верификации прогнозов температуры воздуха и осадков по модели ПЛАВ, осредненных по бассейну р. Амур [4] отмечено, что прогностические значения сумм осадков, осредненные по бассейну р. Амур (а также по бассейнам крупнейших притоков Амура), имеют более высокую оправдываемость по сравнению с исходными прогнозами в узлах сетки.

Коэффициенты корреляции между фактическими и прогностическими рядами месячных сумм осадков приведены в таблице 1. Значимые на 5% уровне корреляции выделены жирным шрифтом. Согласно представленным данным, прогнозы осадков по модели ПЛАВ имеют достаточно высокую оправдываемость для июля и августа – месяцев, критических в смысле формирования паводков.

Для анализа предсказуемости крупных аномалий рассчитаны таблицы сопряженности для прогнозов аномалий температуры и осадков. Таблицы построены для градаций выше, ниже СКО и в пределах СКО ($\Delta X>\sigma$, $\sigma>\Delta X>-\sigma$, $\Delta X<-\sigma$). Для крупных аномалий температуры и осадков, осредненных по бассейну р. Амур, не отмечено ни одного случая, когда прогноз и факт были в противоположных градациях.

Рассмотрены отдельные случаи с существенными аномалиями стока Амура. Были проанализированы процессы, наблюдавшиеся летом 2008, 2009 и 2013 годов.

Для лета 2013 года результаты моделирования позволили предсказать одновременное углубление муссонной депрессии над сушей и усиление субтропического максимума над океаном. При этом морской тропический воздух с Тихого океана попадал в систему циклонической серии полярно-фронтовых циклонов.

В маловодном 2008 г. была спрогнозирована ослабленная циркуляция летнего муссона. Над Приамурьем преобладали процессы блокирования.

В 2009 году пик паводка пришелся на июль. В июне 2009 года количество атмосферных осадков в исследуемом районе значительно превышало норму, а процессы в тропосфере во второй половине июня были подобны тем, что наблюдались в июле-августе 2013 года.

Таблица 1. Коэффициенты корреляции между фактическими и прогностическими рядами месячных сумм осадков за период 1981-2010 гг.

	Амур	Зея	Бурея	Уссури
Прогноз на апрель-июнь				
Apr	0.08	0.03	0.10	-0.03
May	**0.29**	**0.54**	**0.32**	0.04
June	0.06	0.02	-0.05	-0.14
Прогноз на май-июль				
May	**0.29**	**0.45**	**0.30**	0.16
June	0.06	0.02	-0.05	-0.14
July	0.06	0.02	-0.05	-0.14
Прогноз на июнь-август				
June	0.16	0.09	**0.29**	**0.29**
July	**0.34**	**0.32**	**0.30**	0.20
Aug	-0.13	-0.03	-0.04	-0.18
Прогноз на июль-сентябрь				
July	**0.35**	**0.56**	**0.46**	0.16
Aug	**0.40**	**0.38**	**0.36**	0.10
Sept	-0.21	-0.21	-0.24	-0.05
Прогноз на август-октябрь				
Aug	**0.42**	0.13	**0.38**	**0.41**
Sept	-0.25	-0.11	-0.23	-0.21
Oct	-0.13	-0.00	-0.07	-0.22

Ретроспективные прогнозы температуры и осадков по модели ПЛАВ для бассейна р. Амур на летние месяцы 2008, 2009 и 2013 годов совпали по знаку аномалии для большинства прогностических месяцев, при этом не было ни одного случая с противоположными градациями прогноза и факта.

Одним из путей повышения качества долгосрочных прогнозов является процедура статистической коррекции сезонных прогнозов [3]. Предварительные результаты показали, что статистическая коррекция позволила улучшить качество прогнозов на историческом материале. Предложена регрессионная схема, в которой предиктантом является величина месячного стока р. Амур в Хабаровске, предикторами – значения месячных сумм осадков и средней месячной температуры, осредненных по бассейну. При использовании статистической коррекции для исходных прогнозов оценки качества прогнозов стока по регрессии повышаются.

Работа по анализу крупномасштабных режимов циркуляции получила частичную финансовую поддержку Российского научного фонда (грант № 14-37-0053п) в Гидрометцентре России.

Методика оценки ретроспективных прогнозов разработана при частичной поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований (грант №17-05-01227)

ЛИТЕРАТУРА

1. Гарцман Б.И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска. – Владивосток: Дальнаука. – 2008.– 241 с.

2. Киктев Д.Б. Хан В.М., Крыжов В.Н., Зарипов Р.Б., Круглова Е.Н., Куликова И.А., Тищенко В.А. Технология выпуска региональных долгосрочных прогнозов Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКЦ) // Труды Гидрометцентра России. – 2015. – Вып.358. – С. 36-58.

3. Крыжов В.Н. Региональная коррекция глобальных сезонных прогнозов Гидрометцентра России для Северной Евразии // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 5. – С. 5-14.

4. Тищенко В.А., Хан В.М., Круглова Е.Н., Куликова И.А. Прогнозирование осадков и температуры в бассейне реки Амур на месячных и сезонных интервалах времени // Метеорология и гидрология. – 2019. – № 3. – С. 24-39.

5. Толстых М.А. Полулагранжева модель атмосферы с высоким разрешением для численного прогноза погоды // Метеорология и гидрология. –2001. – № 4. – С. 5-16.

6. Толстых М.А., Желен Ж.Ф., Володин Е.М., Богословский Н.Н., Вильфанд Р.М., Киктев Д.Б., Красюк Т.В., Кострыкин С.В., Мизяк В.Г., Фадеев Р.Ю., Шашкин В.В., Шляева А.В., Эзау И.Н., Юрова А.Ю. Разработка многомасштабной версии глобальной модели атмосферы ПЛАВ // Метеорология и гидрология. – 2015.– № 6. – С. 25-35.

ОПЕРАТИВНОЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НА МЕСЯЧНЫХ И СЕЗОННЫХ ИНТЕРВАЛАХ ВРЕМЕНИ В РАМКАХ СЕАКЦ

В.М. Хан, Р.М. Вильфанд, В.А. Тищенко, Е.Н. Круглова, И.А. Куликова, Е.С. Ганиева
valentina_khan2000@yahoo.com, khan@mecom.ru

Гидрометеорологический научно-исследовательский центр России, г.Москва, Россия

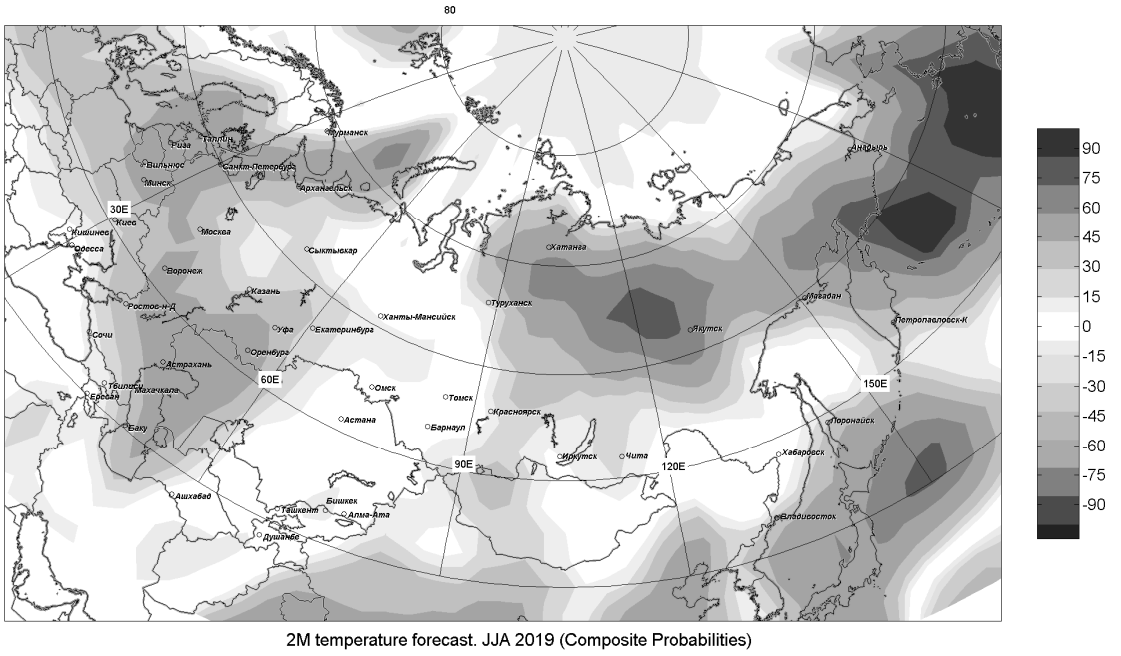
Долгосрочные мультимодельные метеорологические прогнозы занимают особое место в деятельности мировых метеорологических центров. В России впервые мультимодельный подход реализован [4], начиная с 2008 года, в рамках деятельности Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКЦ)[5] с использованием модели общей циркуляции атмосферы ПЛАВ ФГБУ «Гидрометцентр России» и ИВМ РАН и модели общей циркуляции атмосферы ФГБУ «ГГО» [1,3]. После успешного прохождения плотной фазы, СЕАКЦ присвоен официальный статус Регионального климатического центра Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) на Исполсовете ВМО в 2013 г. В настоящее время в Региональной ассоциации РА – VI Всемирной метеорологической организации СЕАКЦ позиционируется как один из узлов региональной климатической сети со специализацией в области долгосрочных прогнозов. В то же время СЕАКЦ выполняет обязательства многфункционального Регионального климатического центра ВМО в Азиатском регионе РА-II. Информация о деятельности СЕАКЦ, результаты оперативной работы по мониторингу и прогнозированию короткопериодных колебаний климата, научные и учебные материалы размещаются на сайте Северо-евроазиатского климатического центра на русском и английском языках (http://neacc.meteoinfo.ru/).

Ежемесячная процедура составления прогнозов, рассылки результатов и расчетов оценок качества осуществляются в рамках специализированной технологической линии, развернутой на сервере СЕАКЦ. Результаты вероятностных прогнозов сопровождаются синоптической интерпретаций, или обзорной информацией, которая выводится в определенном таблично-текстовом формате, дублируется на английском языке и размещается на сайте СЕАКЦ с использованием локальных и глобальных сетей INTERNET. Анализ успешности оперативных прогнозов выполняется по рекомендациям стандартизированной системы ВМО [2]. В рамках международного сотрудничества и участия Гидрометцентра России в проекте APCN (Asian Pacific Climate Network) и ВМО ежемесячно составляются и передаются координаторам проекта в Азиатско-тихоокеанский климатический центр (г. Пусан, Республика Корея) и в Ведущий центр по мультимодельным прогнозам ВМО глобальные ансамблевые прогнозы на 3 месяца с месячной заблаговременностью. Ведется постоянная работа по усовершенствованию технологии выпуска долгосрочных прогнозов. Главные модификации системы связаны с усовершенствованием гидродинамической модели ПЛАВ и переводом технологической линии нановый вычислительный суперкомпьютерный комплекс CRAY, установленный в конце 2018 г.

В список основной прогностической продукции входят глобальные поля (на сетке с пространственным разрешением 2.5x2.5 градуса широты и долготы) аномалий:

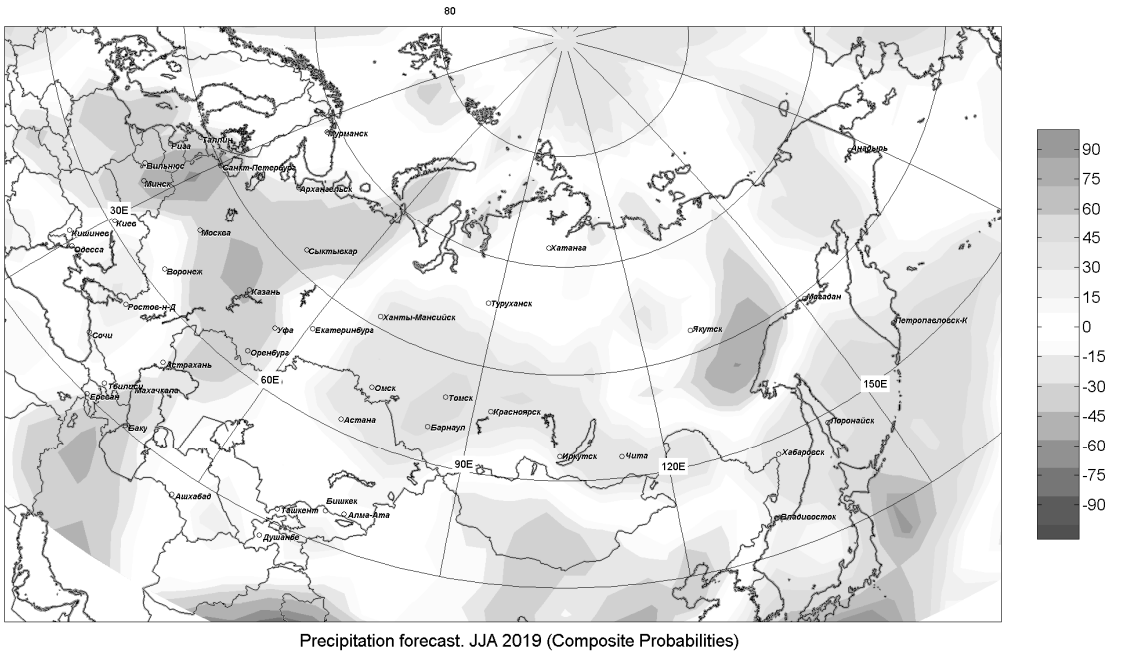
- геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа;
- температуры воздуха на уровне поверхности 850 гПа;
- атмосферного давления на уровне моря;
- приземной температуры воздуха;
- суммарных осадков.

а)



2M temperature forecast. JJA 2019 (Composite Probabilities)

б)



Precipitation forecast. JJA 2019 (Composite Probabilities)

Рис. 1. Консенсусный прогноз для температуры воздуха и осадков по территории Северной Евразии на лето 2019 года.

На прогностической странице сайта представлены карты пространственного распределения средних по ансамблю аномалий (детерминированные прогнозы), а также вероятностей указанных выше метеорологических величин, стратифицированных по трем

основным градациям (ниже нормы, норма и выше нормы) с месячным и сезонным разрешением. В целях кластеризации используются терцили, полученные на материалах ретроспективного интегрирования (1981-2010гг). Карты строятся для пяти основных регионов: Арктика, Европа, Северная Азия, Северная Евразия и Глобус.

Выполняя рекомендации ВМО и Целевой группы высокого назначения Глобальной рамочной основы для климатического обслуживания (ГРОКО), Северо-Евразийский климатический центр организует региональные климатические форумы для региона бывшего СССР на регулярной основе с мая 2011 г. В номенклатуре ВМО эти форумы получили сокращенное название NEACOF (в русской транскрипции – СЕАКОФ).

Основной задачей сессий СЕАКОФ является разработка консенсусного прогноза температуры воздуха и осадков на предстоящий сезон. Процесс подготовки этого прогноза включает в себя следующие этапы. Прежде всего, специалисты обсуждают состояние текущих крупномасштабных (глобальных и региональных) климатических аномалий. Учитывается информация о состоянии приземного климата (температура приземного воздуха и атмосферные осадки) за сезон и наиболее значительные климатические аномалии этого периода на территории ответственности Северо-Евразийского климатического центра.

Консенсусный прогноз составляется на основе экспертной оценки большого объема диагностической и прогностической продукции из разных источников. В процессе работы последней сессии СЕАКОФ-16 с участием представителей Гидрометцентра России и стран СНГ был разработан новый объективный подход составления консенсусного прогноза. На основе результатов гидродинамического моделирования по начальным данным за последний день месяца предшествующего прогностическому на базе 5 моделей (канадская модель, модели Токийского климатического центра, Климатического прогностического центра NOAA, Гидрометцентра России/ИВМ — ПЛАВ и Главной геофизической обсерватории) с весовыми коэффициентами были составлены карты согласованности прогнозов аномалий приземной температуры воздуха и осадков на территории Северной Евразии.

В качестве наглядного примера на рисунке 1 приводится консенсусный прогноз для температуры воздуха а) и осадков б) на лето 2019 года в вероятностной интерпретации.

Работа по анализу крупномасштабных мод атмосферной изменчивости получила частичную финансовую поддержку Российского научного фонда (грант № 14-37-0053п) в Гидрометцентре России.

Методика оценки консенсусных прогнозов разработана при частичной поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований (грант №17-05-01227)

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирвис В. М., Мелешко В. П. Современное состояние и перспективы развития метеорологических прогнозов на месяц и сезон. Труды ГГО им. А.И. Воейкова. – 2008 – Вып. 558.– С. 3-40.

2. Муравьев А.В. Стандартизированная система верификации долгосрочных метеорологических прогнозов. (SVS LRF) // 80 лет Гидрометцентру России. − М.: Триада, лтд, 2010. − С. 264-288. – http://method.hydromet.ru/publ/books/80_years/murav.pdf

3. Толстых М.А., Киктев Д.Б., Зарипов Р.Б., Зайченко М.Ю., Шашкин В.В. Воспроизведение атмосферной циркуляции на сезонных масштабах новой версией полулагранжевой модели атмосферы // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 46. – № 2. – С. 149-160.

4. Хан В.М., Р.М. Вильфанд, Бундель А.Ю., Крыжов В.Н., Мин Е.-М., Тищенко В.А. Мультимодельный подход при составлении прогнозов погоды на сезон // Метеорология и гидрология. – 2011. – №1. – С. 19-29.

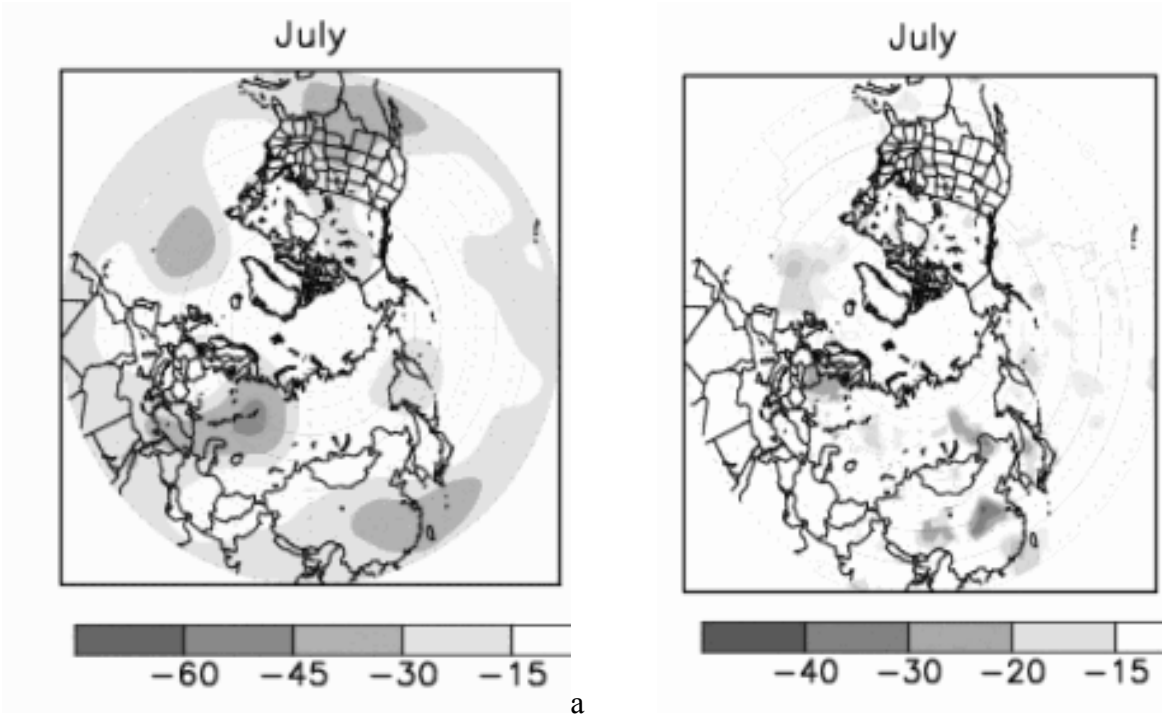
5. Хан В.М. Деятельность Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКЦ) и Северо-Евразийского климатического форума (СЕАКОФ) в международной структуре ВМО по улучшению климатического обслуживания // Труды Гидрометцентра России. – 2015.– Вып. 358. – С.5-12.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАСУХ НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И ИХ СВЯЗЬ С ИЗМЕНЕНИЯМИ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ

Е.А. Черенкова
cherenkova@igras.ru

Институт географии РАН, г.Москва, Россия

Засухи на юге Европейской территории России (ЕТР) ассоциируются с устойчивой антициклонической деятельностью. Недостаток осадков летом и засухи в регионах неустойчивого и недостаточного увлажнения часто связаны с характерными аномалиями повышенного давления над ЕТР и одновременно наблюдающимися аналогичными аномалиями над восточной частью Северной Атлантики. Такие циркуляционные условия присущи отрицательной фазе колебания ВА/ЗР (Восточная Атлантика/Западная Россия). Данное колебание впервые было выделено в качестве одной из ведущих мод изменчивости аномалий барического поля в Европейском секторе при разложении поля аномалий высоты геопотенциала на уровне 700гПа Северного полушария на естественные ортогональные составляющие (EOF-анализ) [6]. Ведущий режим ВА/ЗР, объясняющий до 10% изменчивости барического поля Северного полушария, начиная с 1950г., ежемесячно анализируется по данным высоты геопотенциала на уровне 500гПа в Центре прогнозирования погоды и климата NOAA (https://www.cpc.ncep.noaa. gov/data/teledoc /telecontents.shtml). Положительная фаза колебания «Восточная Атлантика/Западная Россия» ассоциируется с повышенной повторяемостью положительных аномалий давления в основных центрах действия колебания, расположенных над Западной Европой, Монголией и севером Китая, и отрицательных аномалий давления над центральной частью Северной Атлантики и ЕТР.



а б

Рис. 1. Связь индекса EAWRcостандартизированными аномалиями высоты геопотенциала на уровне 500гПа (а) и осадками (б) в июлев годы положительной фазы индекса в 1950-2000 гг. (источник: https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/eawruss.shtml)

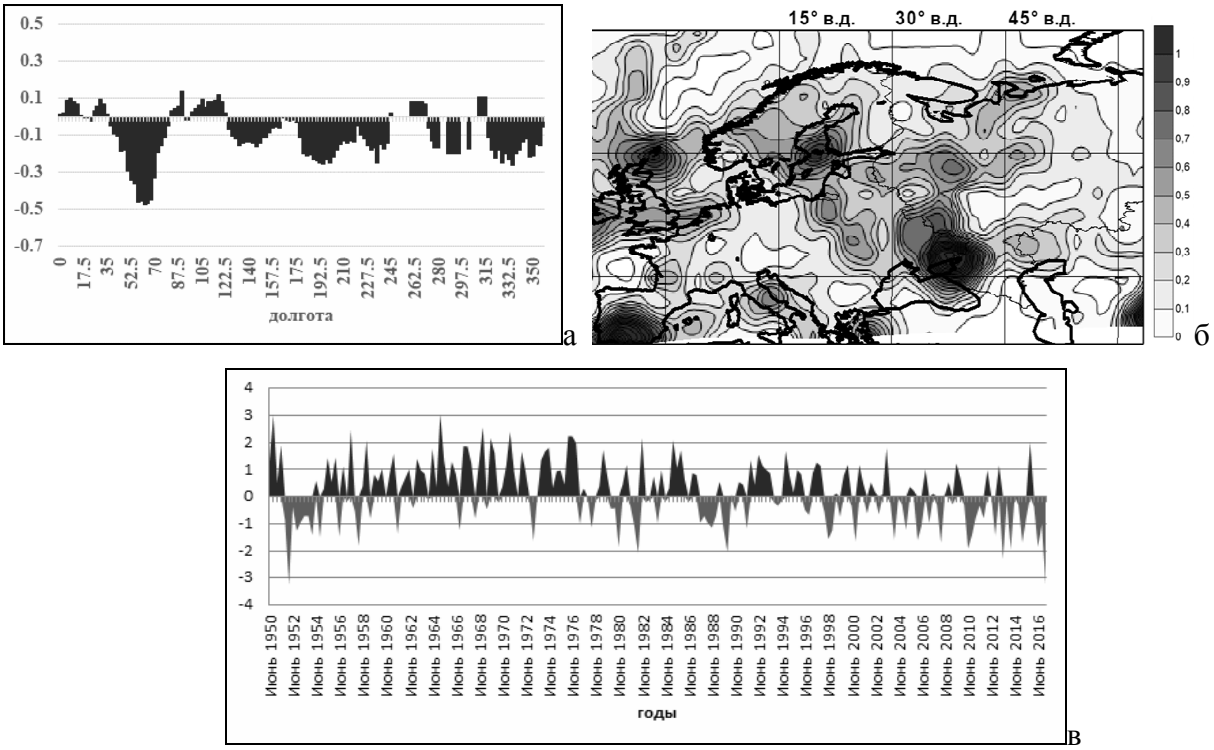


Рис. 2. Корреляция индекса блокирования Tibaldi-Molteni[8] в Северном полушарии по данным реанализа NCEP/NCAR и индекса EAWR (https://www.cpc.ncep.noaa.gov) в августе (а), повторяемость циклонов в Европейском секторе в июне-августе в годы экстремальных отрицательных значений EAWR и междугодовая изменчивость индекса EAWR (б) в июне-августе в период 1950-2015 гг. (в)

Зональность «волновой» структуры ВА/ЗР (рис. 1а) обуславливает положительную корреляционную связь индекса EAWR (East Atlantic/Western Russia), количественно характеризующего колебание ВА/ЗР, с осадками летом в юго-восточной половине ЕТР и отрицательные коэффициенты корреляции между теми же временными рядами в северо-восточной половине ЕТР (рис. 1б). Это в частности означает, что летом уменьшение значений индекса EAWR ассоциируется с ростом давления над ЕТР и уменьшением осадков в юго-восточной половине ЕТР. Ранее было установлено, что летом в устойчивые периоды более холодной ТПО Северной Атлантики преобладали положительные аномалии и положительные экстремальные значения ВА/ЗР, а в периоды более теплого океана - отрицательная фаза колебания и его отрицательные экстремумы [1].В связи с чем, летом в 1950-2015 гг. в более теплые периоды Северной Атлантики по сравнению с ее более холодным периодом на юго-востоке ЕТР наблюдался существенный дефицит осадков[4], а на северо-востоке, наоборот, преобладало их избыточное количество по сравнению с климатической нормой [5].

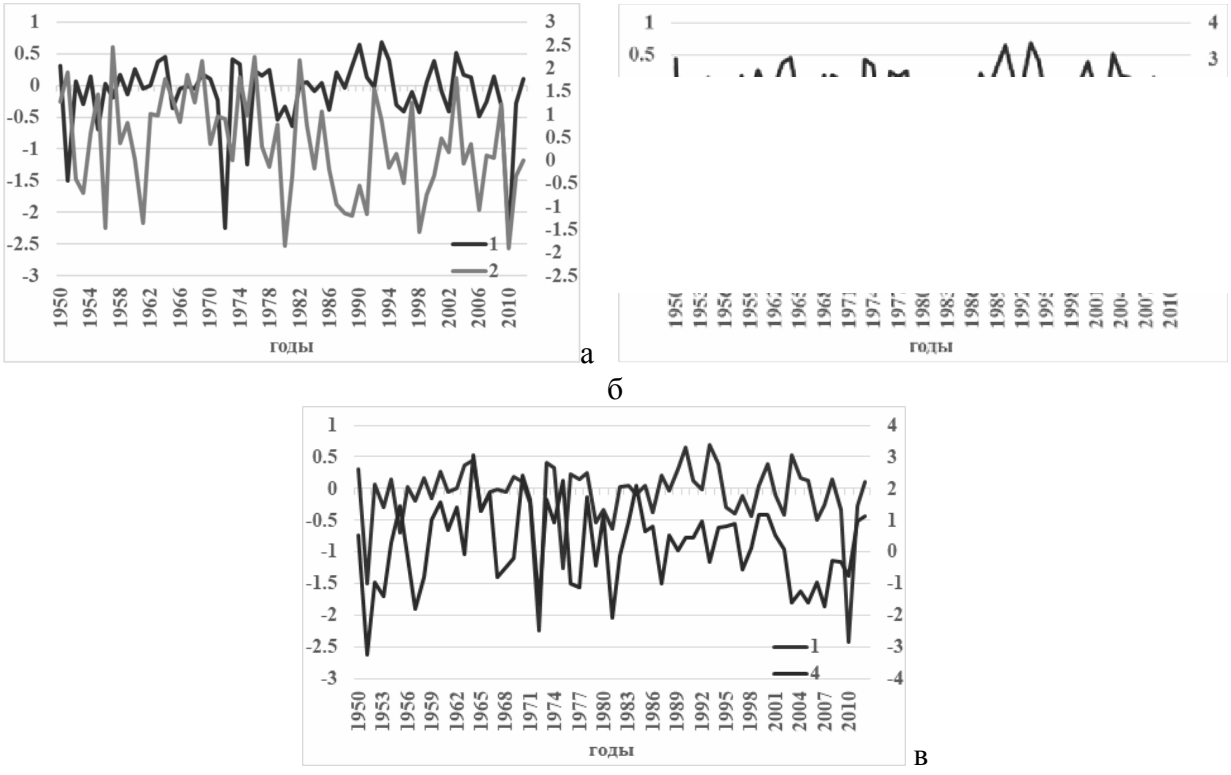
Как показано на рисунке 2а, в летние месяцы в меридионально ориентированной полосе 37°-67°в.д. наиболее тесная статистически значимая связь индекса Тибальди–Мольтени, отражающего условия блокирования Северного полушария, отмечается с индексом EAWR. Наблюдение блокирующих событий над Восточно-Европейской равниной связано с отрицательной фазой индекса EAWR, а точнее, с годами его экстремальных отрицательных значений, для которых характерно наблюдение сравнительно небольшого количества циклонов над востоком и юго-востоком ВЕР (рис. 2б).

Летом колебание ВА/ЗР проявляется на картах аномалий высотного давления менее интенсивно, чем в остальные сезоны года. Однако рост повторяемости лет его отрицательной фазы, начиная с 1990-х годов (см. рис. 2в), обусловил повышение интереса к колебанию ВА/ЗР в связи с увеличением частоты наблюдения летних засух на юге и юго-востоке ЕТР.

Таблица 1. Индекс EAWR в июне, июле, августе и в среднем за лето и 3-х месячный индекс SPI в августе, усредненный по территории 43°-55°с.ш., 45°-63°в.д. в отдельные года периода 1950-2015 гг.

год	EA/WR-6	EA/WR-7	EA/WR-8	EA/WR-6-7-8	SPI
1951	1.91	-0.86	-3.26	-0.74	-1.50
1953	-0.71	-0.71	-1.41	-0.94	-0.29
1957	2.45	-0.54	-1.81	0.03	-0.19
1972	0.91	-0.16	-1.63	-0.29	-2.25
1981	-0.34	-1.08	-2.09	-1.17	-0.64
1998	-1.56	-1.25	0.12	-0.90	-0.42
2006	-1.07	1.01	-0.97	-0.34	-0.49
2010	-1.91	-1.42	-0.77	-1.37	-2.42

Для количественной характеристики летних атмосферных засух, обусловленных дефицитом осадков, был использован 3-х месячный стандартизованный индекс осадков – Standardized Precipitation Index (SPI) [7] в августе. Согласно принципам построения индекса на основе распределения его значений с помощью функции, близкой к функции плотности вероятности Гаусса, идентифицирующие засуху значения SPI ниже -1 наблюдаются в 15.87% лет при расчете индекса в период длительностью не менее 30 лет. Алгоритм расчета индекса SPI и сравнение повторяемости засух на юге ЕТР по различным отечественным и зарубежным показателям засухи более подробно приводится в [3]. Как отображено в таблице 1 и на графиках рисунков 3а-3в, отрицательные значения SPI, сигнализирующие о недостатке осадков в среднем на всей территории юго-востока ЕТР, отмечались в те годы отрицательной фазы индекса EAWR, когда его значения были экстремальными хотя бы в один из летних месяцев.



а

б

в

Рис. 3. Многолетняя изменчивость 3-х месячного SPI в августе на территории юго-востока ЕТР, ограниченной43°-55°с.ш., 45°-63°в.д. (1), и индекса EAWR в июне (2) (а), июле (3) (б) и августе (4) (в) в период 1950-2012 гг.

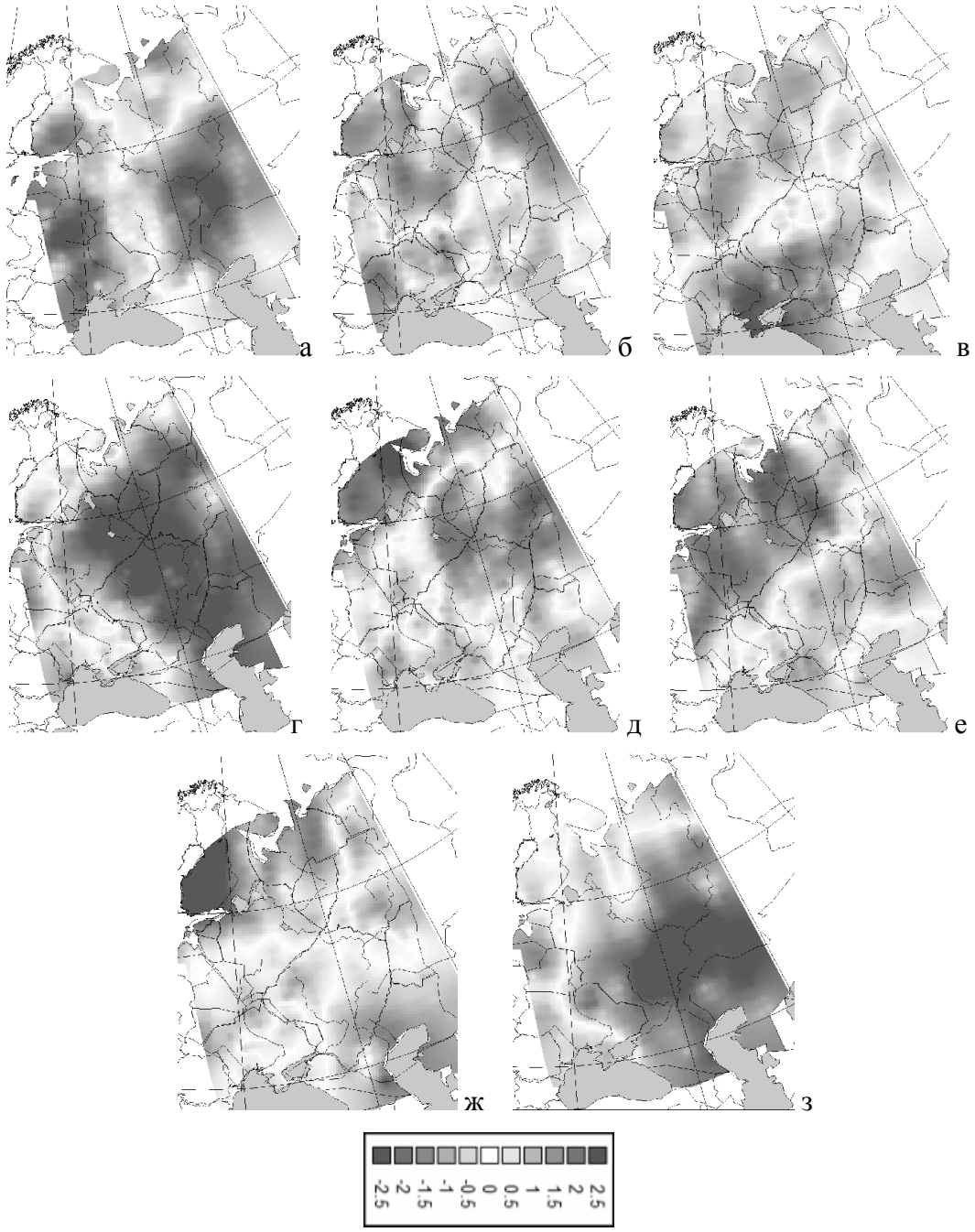


Рис. 4. Атмосферные засухи летом на юге ВЕР (южнее 55°с.ш.) и засушливые условия (севернее 55°с.ш.) в августе в 1951 (а), 1953 (б), 1957 (в), 1972 (г), 1981 (д), 1998 (е), 2006(ж), 2010гг. (з) по данным 3-х месячного индекса SPI. Градации оранжевого цвета обозначают засуху

Необходимо отметить, что в разные годы отрицательной фазы колебания ВА/ЗР наблюдалась заметные различия географического положения основных центров действия атмосферы колебания ВА/ЗР и интенсивности аномалий давления в них, что бесспорно повлияло на региональные особенности формирования засух на ЕТР.

Так, наиболее сильно летние засухи в 1951 г. (рис. 4а), 1972 г. (рис. 4г), 1981 (рис. 4д) и 2010 г. (рис. 4з) проявились в регионах на востоке и юго-востоке ЕТР. Эти засухи были самыми обширными и экстремальными на ЕТР в период 1950-2015 гг. Вместе с тем, кроме имеющегося условного сходства, засухи в 1972, 1981 и 2010 гг.обладают существенными различиями не только генезиса засухи, но и климатических условий, предшествующих засухе[2]. Засухи в 1957 (рис. 4в), 1998 (рис. 4е) и 2006 гг. (рис. 4ж) наблюдались в основном на юге ЕТР и были менее сильными и масштабными.

Как следует из анализа графиков рисунка 5, наиболее сильно на территории бассейна Дона (рис. 5а) и в восточной части бассейна Волги (рис. 5б) проявились обе экстремальные летние засухи 1972 г. и 2010 г. Вместе с тем, сильные засухи 1951 и 1981 гг. наблюдались на востоке бассейна Волги (рис.4а и 4д), а засуха 1957 г. была более интенсивной в бассейне Дона (рис. 4в).

Таким образом, летом в период 1950-2012 гг. в отрицательную фазу колебания барических центров «Восточная Атлантика/Западная Россия» и, в особенности, при отрицательных экстремумах индекса EAWR повышалась вероятность наблюдения сильных и обширных засух на ЕТР. Такими засухами в большей степени были охвачены регионы, расположенные на юго-востоке ЕТР.

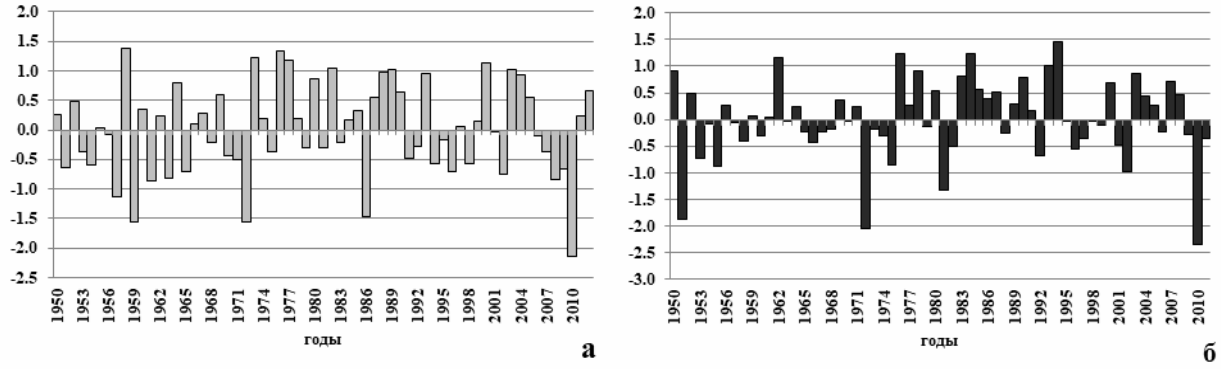


Рис. 5. Многолетние изменения 3-х месячного SPI в августе в период 1950-2012 гг. в среднем на территории бассейна Дона (а) и в восточной части бассейна Волги (б)

Анализ засух в бассейнах Волги и Дона выполнен в рамках проекта № 18-05-00891, финансируемого Российским фондом фундаментальных исследований. Исследование атмосферной циркуляции проведено при финансовой поддержке Российским фондом фундаментальных исследований (проект № 17-05-41085)

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов В.А., Черенкова Е.А. Оценка влияния Атлантической Мультидекадной Осцилляции на крупномасштабную циркуляцию в Атлантическом секторе в летний сезон // Доклады Академии наук. – 2018. – Т. 478. – № 6. – С. 697-701.

2. Черенкова Е.А. Анализ особенностей обширных атмосферных засух на юге Европейской России// Аридные экосистемы. – 2012. – Т. 18. – № 4 (53). – С. 13-21.

3. Черенкова Е.А., Золотокрылин А.Н. О сравнимости некоторых количественных показателей засухи //Фундаментальная и прикладная климатология. – 2016. – Т. 2. – С. 79-94.

4. Черенкова Е.А. Сезонные осадки на территории Восточно-Европейской равнины в периоды теплых и холодных аномалий температуры поверхности Северной Атлантики // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2017. – № 5. – С. 72-81.

5. Черенкова Е.А. Влияние изменений крупномасштабной атмосферной циркуляции и температуры поверхности океана на тренды летних осадков на европейском севере России по наземным и спутниковым данным //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2018. – Т. 15. – № 5. – С. 229-238.

6. Barnston A.G. and Livezey R.E. Classification, seasonality and persistence of low - frequency atmospheric circulation patterns // Mon. Wea. Rev. – 1987. – Vol. 115. – Pp. 1083-1126.

7. McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan17-23. – Anaheim CA, 1993. – Pp.179-186.

8. Tibaldi S., MolteniF. On the operational predictability of blocking // Tellus. – 1990. – 42A. – Pp. 343-365.

ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ И ДАЛЬНИЕ АСИНХРОННЫЕ СВЯЗИ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ КАК ОСНОВА ДЛЯ ПРОГНОЗА ПРИРОДНЫХ КОЛЕБАНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТРИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

Б.Г. Шерстюков
boris@meteo.ru

Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации - Мировой центр данных, г.Обнинск, Россия

Известные из публикаций IPCC [5] прогностические сценарии изменения климата на XXI век основаны на гипотезе об антропогенном усилении парникового эффекта в атмосфере. Согласно материалам IPCC современные модели климата не позволяют объяснить потепление глобального климата, свершившееся в последней четверти XX века, на основе только природных факторов. В материалах [5] это обстоятельство приводится как обоснование необходимости введения в модель фактора антропогенного увеличения парниковых газов. При этом известно, что существующие модели климата не учитывают многие известные природные факторы, способные влиять на климат. Вполне возможно, что проблема физико-математических моделей заключается в неполном учете некоторых важных природных факторов изменений климата. Надо признать, что неопределенность в понимании причин колебаний климата ставит под сомнение модельные сценарии продолжения потепления климата до конца XXI века, вычисленные как следствие антропогенной деятельности [5].

В настоящей работе, на примере одной метеорологической станции, рассматривается возможность построения альтернативных прогностических оценок природных колебаний климата без привлечения антропогенного фактора на основе асинхронных дальних связей в климатической системе и предположения о том, что колебания климата атмосферы задаются долгопериодными колебаниями ее теплообмена с океаном.

В работе использовались среднегодовые данные наблюдений за температурой воздуха (Тв) на метеорологической станции Москва за 1879-2016гг и данные о среднегодовой температуре поверхности Мирового океана (ТПО) в узлах географической сетки 2x2 градуса широты и долготы за 1854-2016гг.

Исключим линейный тренд, вычисленный по всему ряду Тв. Межгодовые колебания длительностью мене 3-х лет сгладим методом скользящих средних по 3-м годам. Аналогичную обработку проделаем с рядами среднегодовой ТПО в каждом узле Мирового океана. Дальние связи будем оценивать по наилучшим (максимальным положительным) ассинхронным коэффициентам корреляции между ТПО в каждом отдельном узле географической сетки и Тв в Москве с запаздыванием Тв от 1 до 36 лет. В каждом исследуемом узле из серии ассинхронных коэффициентов корреляции Тв с ТПО выделялся максимальный коэффициент корреляции R и фиксировалась величина L опережения колебаний ТПО в узле относительно последующих колебаний Тв в Москве. Значимыми принимались коэффициенты $R>=0.3$ (вероятность случайности менее 1%). Узлы с $R<0.3$ исключались из дальнейшего анализа.

Наилучшая асинхронная связь ($R=0.55$) Тв в Москве с ТПО обнаружилась в далеком узле с координатами 18^{o}зд 30^{o}юш в Южной Атлантике при опережении ТПО на 30 лет ($L=30$). Кроме этого, тесная корреляция Тв с ТПО ($R>0.5$) с опережением ТПО преимущественно на 31-35 лет обнаружилась в Тихом океане на широтах $30\div65^{o}$юш на траектории Антарктического Циркумполярного океанического течения (Течения Западных ветров), а также вдоль Перуанского течения в направлении на север и далее с поворотом на запад вдоль экватора по пути Южного Пассатного течения в Тихом океане. Столь же тесная асинхронная корреляция Тв обнаружена с ТПО в южной Атлантике – в районах Бразильского и Южного Пассатного течений и в Индийском океане – чуть севернее Антарктического Циркумполярного течения. Теория большого конвейера океанических те-

чений утверждает, что региональные океанические течения объединены в одну общую систему [4], которая перераспределяет тепло по всему миру.

Во всех океанах наилучшая асинхронная корреляция Тв в Москве с ТПО наблюдалась в связи с Антарктическим Циркумполярным океаническим течением. Широтная зона расположения течения Западных ветров является единственной зоной на Земле, в которой материки не преграждают путь океаническому течению при движении вокруг Земли. Антарктическое Циркумполярное течение является важным элементом глобальной океанической циркуляции. Запаздывание 30 лет в распространении возмущений ТПО в допустимо, так как согласуется с оценками [6].

С учетом выявленного наилучшего сдвига было построено уравнение регрессии $T_в$ в Москве (предиктант) на ТПО в упомянутом базовом узле 18°зд 30°юш при L=30 лет (предиктор). Среднеквадратическая ошибка уравнения регрессии оказалась 0.5°С. Запаздывание колебаний $T_в$ относительно колебаний ТПО и сдвиг ряда ТПО на 30 лет вперед позволили продлить предиктор вперед на 30 лет до 2046 года. Уже произошедшие изменения ТПО в Южном океане дают возможность вычислять предстоящие изменения Тв. По уравнению регрессии и по известным значениям ТПО со сдвигом на будущее, были вычислены на 30 лет прогностические значения $T_в$ (отклонения температуры воздуха от тренда), а затем к этим прогностическим $T_в$ были прибавлены трендовые прогностические значения температуры воздуха до 2046 года. Полученные значения прогностической температуры на 2017-2046 годы приведены на рис.1. Там же показана сглаженная фактическая температура воздуха в Москве за 1879-2016 годы и сглаженная температура поверхности океана в узле 18°зд 30°юш со сдвигом на 30 лет на оси за 1879-2046 годы.

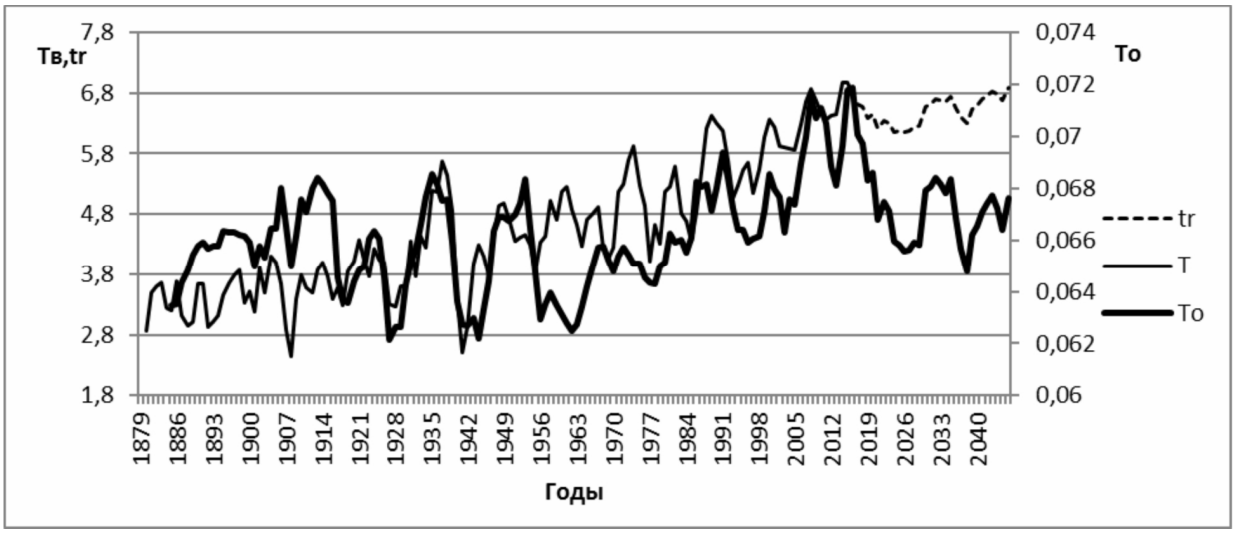


Рис. 1. Среднегодовая сглаженная температура воздуха в Москве T по данным наблюдений за 1879-2016 годы; прогнозируемая сглаженная температура в Москве tr на период до 2046 года, вычисленная по уравнению регрессии; слаженная температура поверхности океана To в выбранном узле географической сетки океана со сдвигом на 30 лет

С учетом выполненного сдвига графика ТПО вперед на 30 лет из рисунка 1 видно, что колебания температуры в Москве с запаздыванием 30 лет повторяют колебания ТПО в области Антарктического Циркумполярного течения. На примере станции Москва подтвердилось предположение о существенной роли океана в современном потеплении климата атмосферы. В предстоящие три десятилетия в значениях предиктора ожидается понижение, но температура воздуха в Москве в предстоящие годы удержится на современном уровне за счет добавления трендовой составляющей.

Колебания значений ряда предиктора и потепление ТПО, начавшиеся в 1940-х годах в Южном океане предположительно стали причиной начала повышения температуры в Москве через 30 лет. Из этого следует, что потепления климата в Москве в последней

четверти XX века можно объяснить природными факторами, не привлекая антропогенную гипотезу. Глобальный теплообмен между элементами климатической системы гипотетически стал причиной повышения температуры воздуха в Москве в конце XX века. Далее покажем, что изменения в теплообмене между элементами климатической системы также не является следствием антропогенной деятельности.

Предстояло выявить исходную причину долгопериодных изменений ТПО в области Антарктического Циркумполярного течения. Возникло предположение о динамическом механизме зависимости океанических течений и ТПО от возмущений в движении Земли под воздействием диссимметрии Солнечной системы. Суть предполагаемого механизма заключается в изменениях циркуляции вод Мирового океана и генерации дополнительных потоков тепла из океана в атмосферу при изменениях момента инерции вращения системы Солнце-Земля относительно центра масс Солнечной системы. Такой показатель планетного влияния предлагается впервые. Ранее в подобных исследованиях другими исследователями рассматривалось изменение расстояния Солнце-Земля под влиянием планет и предполагался другой механизм передачи возмущений в климатическую систему [1, 2].

В настоящей работе сделана попытка обнаружить воздействие неучтенных ранее аномалий в движении Земли в космосе и возникающих при этом неучтенных сил, регулирующих циркуляцию океана, при изменениях момента инерции вращения системы Солнце-Земля относительно центра масс Солнечной системы.

В Солнечной системе планеты движутся не вокруг центра Солнца, а каждая пара Солнце-планета стремится двигаться вокруг их общего центра масс, который смещен относительно центра Солнца. Солнце само перемещается в пространстве по некоторой траектории под воздействием орбитального вращения планет-гигантов вокруг их общего центра масс с Солнцем. Как следует из уточненного 1-го закона Кеплера по Хлыстову А.И. [3] Земля движется вокруг Солнца, участвуя вместе с ним в движении вокруг барицентра Солнечной системы. Вся орбита Земли, как единое целое, перемещается в космосе вокруг центра масс Солнечной системы. Квазиритмические составляющие движения Земли по кардиоидам могут передавать часть своей энергии осевому вращению Земли и океаническим течениям вдоль широтных кругов Земли. Количественной оценкой появления неучтенных сил при таком движении Солнца вокруг барицентра может служить суммарный момент инерции орбитального вращения планет-гигантов вокруг оси, проходящей через центр масс Солнечной системы (J). Он был вычислен по астрономическим данным.

Задача сводится к поиску района в Мировом океане с максимальным ассинхронным коэффициентом корреляции между рядом среднегодовых значений ТПО в узле географической сетки и рядом среднегодовых значений J. Корреляции вычислялись при запаздывании колебаний ТПО от 0 до 39 лет. На рисунке 2 показаны поля вычисленных коэффициентов корреляции ТПО с J при наилучших сдвигах и цифрами показаны значения наилучших сдвигов.

Анализ карты (рис. 2) показывает, что после изменений J появляются подобные изменения ТПО во всех океанах с наилучшей корреляцией в районах, приуроченных к основным океаническим течениям. Наилучшие корреляции R>0.8 между ТПО и J обнаружены в Тихом океане. Возмущения ТПО в Тихом океане сначала появляются в западной его части вблизи островов Океании с запаздыванием 16-18 лет в зоне 15-30 ^{o}юш и в зоне 15-30^{o}сш. В Южной указанной зоне возмущения ТПО с запаздыванием 16-17 лет и с наиболее высокими коэффициентами корреляции видны на рисунке 2 в области Восточно-Австралийского течения и далее район подобных возмущений простирается на восток до Восточно-Тихоокеанского поднятия дна Тихого океана.

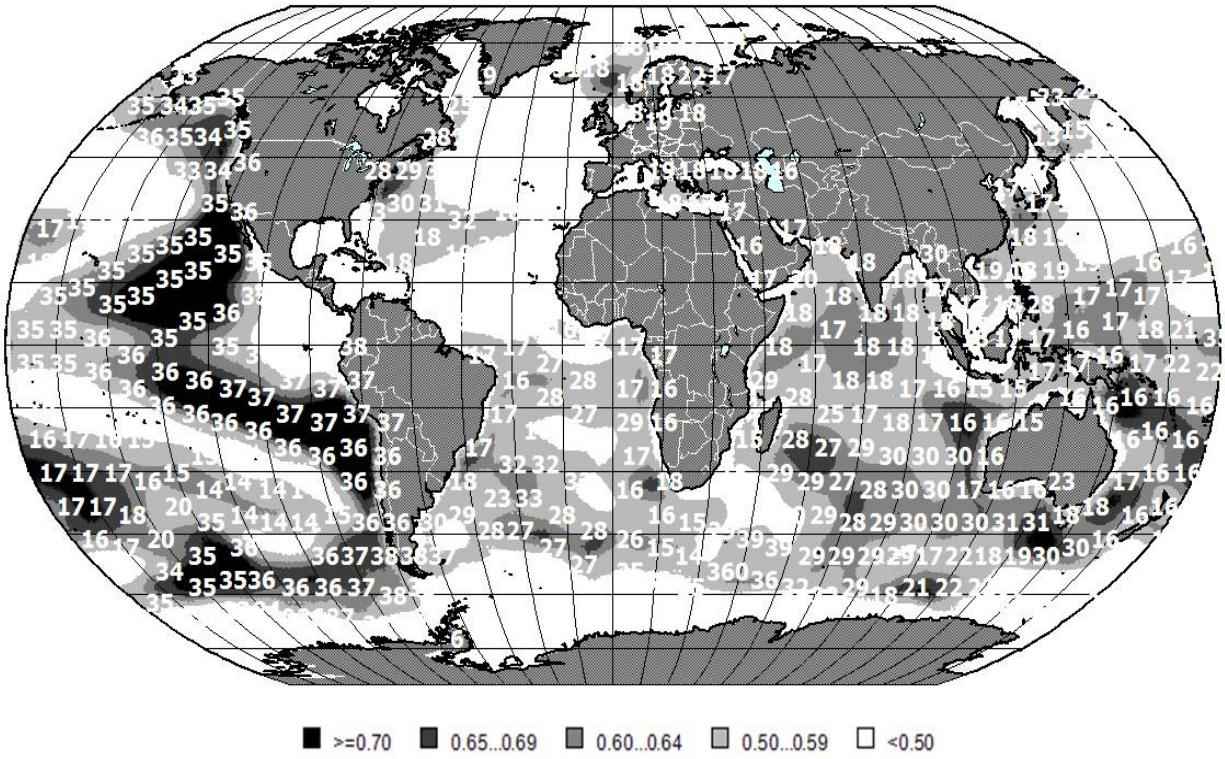


Рис. 2. Поля наилучших асинхронных коэффициентов корреляции ТПО с J и время (годы) запаздывания реакции поверхности океана на изменения J в узлах географической сетки со значимой корреляцией

С запаздыванием 35-37 лет возмущения ТПО, коррелирующие с *J* , появляются в Южном полушарии вдоль Перуанского течения, переходящего в Южное Пассатное Течение, и в Северном полушарии вдоль Калифорнийского течения, переходящего в Северное Пассатное течение. Коэффициенты корреляции 0.65-0.85. На юге Тихого океана еще одна зона высоких корреляций в области Антарктического Циркумполярного течения там, где это течение пересекает Восточно-Тихоокеанское поднятие дна океана. Запаздывание здесь составляет 35-37 лет. В других океанах происходят аналогичные процессы. Несколько разрозненных очагов высокой корреляции на юге Тихого, Атлантического и Индийских океанов можно объединить в одно кольцо значимых корреляций вдоль Антарктического течения вокруг Антарктиды. Запаздывание здесь преимущественно 28-36 лет. В перечисленных районах Мирового океана в областях важнейших океанических течений вклад изменений момента инерции вращения Солнечной системы в изменения среднегодовой поверхностной температуры океана составляет от 40 до 70% от общей изменчивости ТПО в этих районах.

В качестве наглядного примера высокой корреляций колебаний ТПО с колебаниями *J* на рисунке 3 приводятся графики изменения момента инерции вращения Солнца (J) относительно центра масс Солнечной системы и среднегодовой ТПО в области Калифорнийского течения по наблюдениям в узле с координатами 118^{o}зд 24^{o}сш со сдвигом на 35 лет (изменения ТПО запаздывают). Коэффициент корреляции между ними R=0.84. Совершенно очевидно, что колебания ТПО почти полностью описываются воздействиями космического фактора, а не антропогенного.

Полученные оценки корреляций ТПО и *J* подтверждают связь колебаний ТПО с динамическими воздействиями больших планет. Запаздывание колебаний температуры на поверхности океана увеличивает возможности заблаговременного предвычисления будущего состояния температуры воздуха в Москве на основе обнаруженных асинхронных связей возмущений ТПО с внешним космическим фактором и с учетом асинхронных свя-

зей колебаний температуры в Москве с ТПО в области Антарктического Циркумполярного течения.

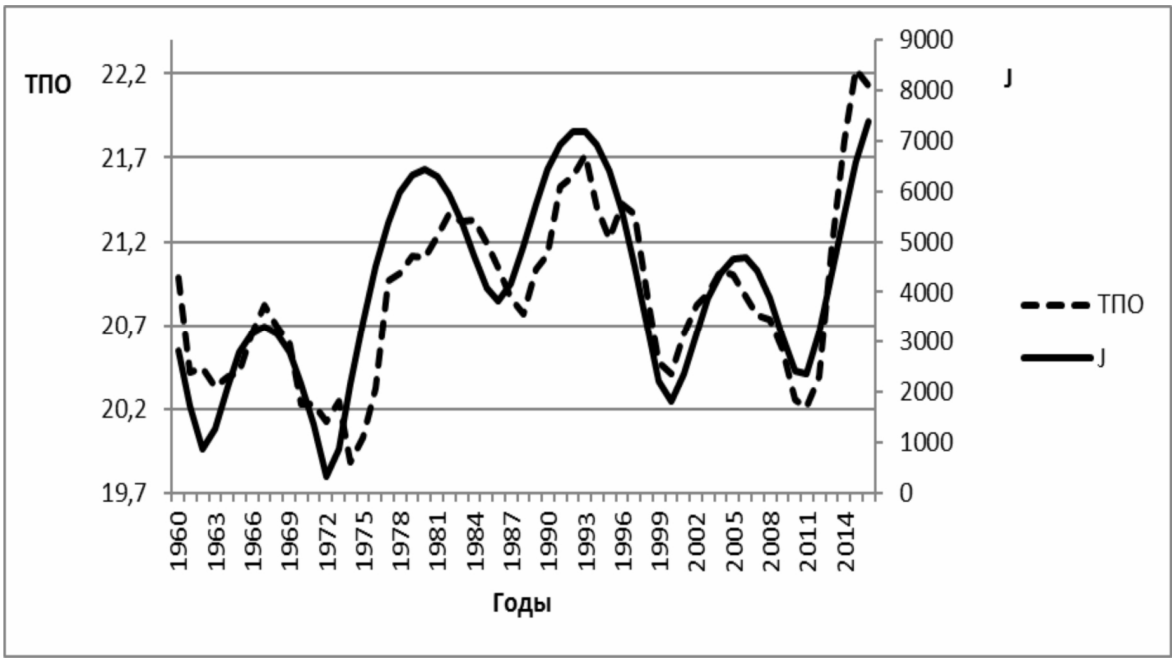


Рис. 3. Температура поверхности океана в области Калифорнийского течения, сглаженная по трехлетиям (ТПО), и момент инерции вращения Солнца относительно центра масс Солнечной системы со сдвигом на 35 лет

В настоящей работе представлены первые обнадеживающие результаты, однако все затронутые вопросы требуют дальнейшего более глубокого изучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты 18-05-00721 и 18-45-160006

ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко В.Д., Кизим Л.Д., Пашестюк А.М., Николаев В.Г. Исследование причин изменчивости климата // Агроклиматические ресурсы Сибири. Сб. трудов ВАСХНИЛ Сиб. отд. Новосибирск, 1987. – С. 103-113.

2. Котляков В.М. О причинах и следствиях современных изменений климата // Солнечно-Земная физика. – 2012. – Вып.21. – С.110-114.

3. Хлыстов А. И., Долгачев В. П., Доможилова Л. М. Барицентрическое движение Солнца и его следствия для Солнечной системы // Современные глобальные изменения природной среды. Отв.ред. Н.С. Касимов и Р.К. Клиге. – М.: Научный мир, 2012. – Т. 3: Факторы глобальных изменений. – С. 62-77.

4. Broecker, W.S., The great ocean conveyor. // Oceanography, 1991, 4(2). – Pp. 79-89.

5. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 1535 pp.

6. Wyatt M.G., Kravtsov S., Tsonis A.A. Atlantic Multidecadal Oscillation and Northern Hemisphere's climate variability.// Climate Dynamics. March 2012, Volume 38, Issue 5-6. – Pp 929–949.

РЕКОНСТРУКЦИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ПРИБРЕЖНО-МОРСКОЙ ОБЛАСТИ ЗАПАДНОГО ЯМАЛА В ЦЕЛЯХ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА

Р.С. Широков
shirocov@gmail.com

Государственный университет по землеустройству, г.Москва, Россия

Одни из приоритетных геоэкологических рисков – изменения климатических условий, влияющих на многолетнемерзлые породы, а также потенциальное увеличение негативной антропогенной нагрузки, связанной ростом добычи полезных ископаемых и развитием инфраструктуры.

Прибрежно-морская область Западного Ямала – наиболее модельная и уязвимая территория при климатических изменениях. Географическое положение берега моря определяется положением границы моря и суши, называемой береговой линией или урезом воды. Перемещение береговой линии в сторону суши вызывает разрушение и отступание берега, соответствующее перемещение всей береговой зоны и уменьшения территории суши. Перемещение береговой линии в обратную сторону вызывает увеличение территории суши и соответствующее перемещение береговой зоны.

На фоне наблюдаемой динамики климата изучение геоэкологических процессов становится особенно актуальным при составлении перспективных планов развития климато-зависимых отраслей хозяйственной деятельности.

Изменение климатических условий:

- влияет на социально-экономическую деятельность регионов, условия проживания людей и здоровье населения;
- ведет к изменениям в природной среде и отражается на видовом составе флоры и фауны, уровне рек, погодных условиях, сезонной ритмике, таяние многолетнемерзлых пород, распространение ареалов природно-очаговых заболеваний т.д.;
- может повлечь за собой создание пожароопасной обстановки, возможности возникновения экологических катастроф.

Предполагаемые изменения климата могут оказать как позитивное, так и негативное воздействие. Для учета возможных последствий при изменении геоэкологических условий той или иной территории особое значение приобретает географическое прогнозирование, как научное исследование конкретных перспектив развития географических явлений.

Большая часть полуострова Ямал занята низменными равнинами и не поднимается выше 50-60 м над уровнем Карского моря. Ее плоская поверхность сложена верхнечетвертичными морскими отложениями и расчленена неглубокими долинами небольших тундровых речек, начинающихся из озер внутренних районов полуострова. Территория сильно заозерена. В геологическом строении Западного Ямала основная роль принадлежит поздне-четвертичным отложениям морского генезиса, которые образуют в рельефе морские террасы разной высоты [3, 4].

На основании многолетних данных метеонаблюдений установлено, что, начиная с 1970-х гг. в Арктике в целом и на Западном Ямале, в частности, наблюдается ярко выраженное потепление. Оно происходит синхронно для всего региона Западной Арктики, при этом не монотонно, а с некоторыми кратковременными флуктуациями как в сторону повышения, так и в сторону понижения среднегодовой температуры. Полученные нами данные по трендам среднегодовой температуры воздуха показывают, что в течение последних 50 лет на Западном Ямале реализуется умеренный сценарий потепления климата с ростом среднегодовых температур до 4,0-4,5^{o}C/100 лет [2, 5].

Анализ климатических данных показал, что для Западного Ямала наблюдается увеличение продолжительности теплого периода. Осенний переход температуры через «0» смещается к все более поздним срокам. За последние годы эта дата сместилась с 5 октября (1980) к 17 октября (2016), что составляет примерно две недели за последние 30-35 лет. Потепление климата сопровождается увеличением годовой суммы осадков. В конце 1960 - начале 1970-х гг. сумма летних осадков составляла 110-130 мм, а к 2015 г. выросла до 150-170 мм. По имеющимся наблюдениям прослеживается увеличение максимальной высоты снежного покрова: с 16 см (статистически) в 1960 г. до 37 см при некотором снижении его плотности. Таким образом, существенно возросла теплоизолирующая роль снега.

Отмечено, что на фоне общего потепления Мирового океана, оцениваемого примерно в 0,02 -0,04^{o}C в год, температура придонного слоя воды в Карском море за последние 100 лет повышается со скоростью от 0,01^{o}C до 0,028^{o}C в год [6]. Это приводит к ускоренной деградации субаквальной мерзлоты, дополнительной эмиссии метана из мерзлых пород в водную толщу и ускорению биогеохимических процессов.

Повышение температуры воздуха, увеличение продолжительности безлёдного периода вызывает повышение среднегодовой температуры воды в мелководной области. На основании результатов измерения толщины сезонного (припайного) льда за 1998-2018 гг. можно сделать вывод, что потепление климата в набольшей мере сказывается на ледовом покрове. На Западном Ямале максимальная толщина сезонного льда за последние 20 лет уменьшилась (статистически) с 150 до 115 см. Температура многолетнемерзлых пород в континентальной области повышается на фоне потепления климата. С 1978 по 2018 гг. в среднем по району исследований среднегодовая температуры повысилась с -6,8 до -4,6^{o}C. Из-за потепления климата в этой зоне наблюдается затруднение новообразования мерзлоты и нарушается ее стабильность [1].

Температура почвы играет очень важную роль в развитии почвенных процессов и растительности. Последние десятилетия формируется отчетливый тренд повышения среднегодовой температуры корнеобитаемого слоя почвы (до глубины 1,0 м) с -7,5 до -5,5…-6,0^{o}C. Таким образом, формируются более благоприятные условия для развития растительного покрова и прироста биомассы. За период с 1978 по 2018 г. в среднем по всем доминантным ландшафтам глубина сезонного оттаивания увеличилась всего на 5-15%. Наблюдается прогрессирующее оттаивание верхнего горизонта мерзлых пород и развитие деструктивных процессов, в первую очередь, термокарста.

На основании многолетнего мониторинга (30 лет) динамики морских берегов установлено, что скорость отступания термоабразионных берегов не связана непосредственно с показателями климатических изменений, но определяется более сложными связями с характеристиками атмосферных процессов – барико-циркуляционными процессами в Арктике в целом. Разрушение морских берегов не постоянно во времени, но изменяется циклически с периодом порядка 21 – 23 лет. Средняя многолетняя скорость отступания берегов в районе исследований составляет около 1,7 м/год, изменяясь от 0,4 м/год до 3,2 м/год в разные периоды. По нашим наблюдениям деформации пляжей и примыкающей части подводного берегового склона могут иметь разный знак [1]. Таким образом, ширина полосы риска прибрежно-морской области, обусловленная интенсивным развитием криогенных процессов, составляет около 400 м от береговой полосы вглубь берега.

Динамика геоэкологических условий приводит к изменениям показателей состояния природных, природно-антропогенных и антропогенных объектов, а также компонентов природной среды; параметров протекания природных и природно-техногенных процессов и явлений. Выделим основные реверсивные показатели, имеющие огромное значение для географического прогнозирования:

- изменение видового состава растительности;
- смещение границ биоклиматических зон к северу;

- рост биопродуктивности;
- увеличение продолжительности вегетационного периода;
- увеличение доли болотных ландшафтов;
- ускорение биогеохимических процессов;
- переувлажнение и заболачивание;
- повышение температуры почв;
- изменение структуры пастбищных угодий;
- возможное ухудшение санитарно-эпидемиологической обстановки;
- утрата пастбищных земель;
- улучшение строительно-климатических показателей;
- увеличение продолжительности теплого периода;
- сокращение сроков использования зимних дорог;
- возможность подтопления строительных объектов;
- образование просадок морского дна за счет деградации мерзлоты с пластовыми льдами;
- деформации оснований за счет ускоренной деградации мерзлоты;
- снижение несущей способности свайных фундаментов; ускоренное криогенное разрушение оголовков свай;
- развитие опасных процессов при техногенном воздействии на мерзлоту.

Итак, в пределах прибрежно-морской области Западного Ямала на коротком пространстве в ее разных природных зонах одновременно наблюдаются реверсивные реакции (тренды) компонентов природной среды на климатические изменения, определяющие изменения геоэкологических условий этих зон. Реконструкция геоэкологической ситуации прибрежно-морской области Западного Ямала на основе многолетних данных позволяет не только прогнозировать возможные последствия при изменении климата, но и открывает принципиально новые возможности для повышения уровня экологической безопасности всего полуострова.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев А.А., Облогов Г.Е., Стрелецкая И.Д., Широков Р.С. Новообразование многолетнемерзлых пород на низких лайдах Карского моря // Криосфера Земли. –2018. – Т. 12. – №. 5. – С. 36 – 46.

2. Васильев А.А., Стрелецкая И.Д., Облогов Г.Е., Широков Р.С. Динамика субаквальной мерзлоты Карского моря в меняющихся климатических условиях // Материалы пятой конференции геокриологов России. МГУ имени М.В. Ломоносова, 14-17 июня 2016 г. Ч. 5. Региональная и историческая геокриология. – М., 2016., –Т. 2. – С. 26 – 30.

3. Гатаулин В.Н. Верхнечетвертичные отложения западного берега полуострова Ямал: автореферат. дис. … канд. геол.-минер. наук. – Л., 1988.– 21 с.

4. Трофимов В.Т., Баду Ю.Б., Кудряшов В.Г., Фирсов Н.Г. Полуостров Ямал (инженерно-геологический очерк). – М.: Московский университет, 1975. – 245 с.

5. Shirokov R.S., Vasiliev A.A. Bathymetric and Bottom Temperatures GIS of the Barents and Kara Seas // Natural Resource Management, GIS & Remote Sensing –Iran, 2019 – Vol.1 – N.1 –P. 21–27.

6. Willis J.K., Roemmich D., Cornuelle B. Interannual variability in upper ocean heat content, temperature, and thermosteric expansion on global scales // Journal of Geophysical Research. – 2004. – Vol. 109. – P. 1–13.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ТЕРРИТОРИИ СУШИ И АКВАТОРИЯХ ОКЕАНОВ ЗА ПЕРИОД СОВРЕМЕННОГО ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

М.В. Щенин, И.А. Корнева, Э.Я. Ранькова
maxim.shchenin@igce.ru

Институт глобального климата и экологии имени академ. Ю.А. Израэля, г.Москва, Россия
Институт географии РАН, г.Москва, Россия

Введение

В мировом научном сообществе на данный момент факт происходящего глобального потепления не вызывает сомнений [5]. Тем не менее, остается множество частных вопросов, которые пока исследованы недостаточно. В частности, представляет интерес изучение особенностей изменчивости температуры на суше и на поверхности океанов, и их сравнение. Принимая во внимание разные термические свойства воды и воздуха, различия в структуре потепления логичны.

В работе приводятся оценки изменчивости приповерхностной температуры на территории суши и акваториях океанов в глобальном и региональном масштабах. Для анализа использованы следующие данные:

- SAT – температура приземного воздуха; ряды получены осреднением данных наблюдений на 3288 станциях (массив T3288) по методике ФГБУ «ИГКЭ»[3]; для сравнения приводятся также данные CRUTEM 4.6.0.0 (MetOffice: http://www.MetOffice.gov.uk)

- SST - температура поверхностного слоя воды; ряды скачаны с сайта MetOffice, версия HadSST 3.1.1.0[1].

Данные представлены в виде отклонений от климатической нормы 1981-2010 гг. с разрешением один месяц.

В работе приводятся временные ряды и оценки трендов приповерхностной температуры на континентах и акваториях океанов, в среднем по Земному шару и полушариям. Обсуждается вопрос существования устойчивых отрицательных трендов на материках Земного шара в условиях глобального потепления.

1. Многолетние изменения приповерхностной температуры над сушей и на акваториях океанов

На рисунке 1 представлены временные ряды осредненных по территории континентов и океанов значений приповерхностной температуры за весь период инструментальных наблюдений. Самым теплым на сегодняшний день остается 2016 год, за ним – 2015 и 2017 (в Южном полушарии – 1998), а период 2015-2018 гг. стал самым теплым 4-летним периодом с начала инструментальных наблюдений [1, 6]. Как было отмечено в [2], современное потепление началось в 1970-х, замедлилось в 2000-х (вплоть до 2010 г.), в 2015-2016 гг. вышло на новый уровень, но к 2018 г. вернулось к уровню 2014 г. (и по величине аномалий, и по оценкам тренда).

2. Межмесячные изменения приповерхностной температуры в среднем по полушариям

На диаграммах (рис. 2) в форме двумерных изоплет представлены межгодовые (по вертикали) и межмесячные (по горизонтали) изменения глобально осредненных (полушарных) аномалий приповерхностной температуры на протяжении всего периода инструментальных наблюдений (1850-2018 гг.). Диаграммы приведены для 4-х групп данных:

[1] При анализе оценок трендов, полученных по данным HadSST3, следует иметь в виду инструментальную неоднородность этих данных, связанную с разной точностью используемых наблюдений. При этом, как показано в [4], основные претензии относятся к периоду 1950-1975 гг., который в данном анализе практически не используется.

(суша–море) * (СП–ЮП). Во всех случаях использованы данные MetOffice, доступные за полный период инструментальных наблюдений (с 1850 года): CRUTEM.4.6.0.0 (суша, SAT) и HadSST.3.1.1.0 (море, SST) .

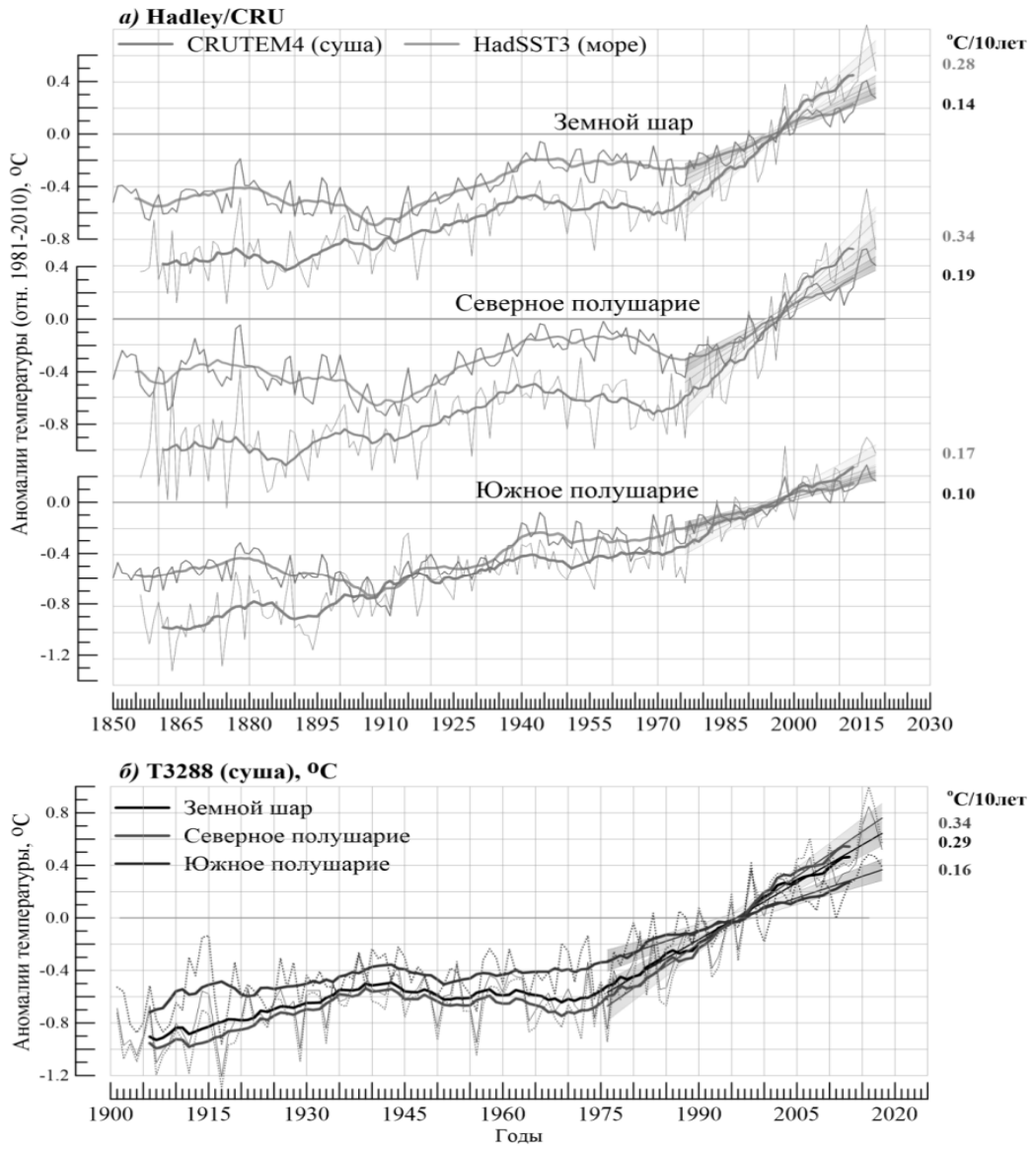


Рис. 1. Временные ряды среднегодовых аномалий приземной температуры, осредненных по территории Земного шара, Северного и Южного полушарий: а) по данным Hadley/CRU; использованы оригинальные ряды CRUTEM4 (суша, зеленые кривые), HadSST3 (море, синие кривые); б) по данным ИГКЭ Т3288 (суша); осреднение выполнено по методике ИГКЭ.

Для всех рядов показан ход 11-летних скользящих средних и линейный тренд за 1976-2018 гг. с 95% доверительным интервалом. Справа приведены числовые значения коэффициентов линейного тренда за 1976-2018 гг. (°C/10лет)

На рисунке 2 виден разный масштаб изменчивости – над сушей (SAT, слева) он значительно выше, чем на поверхности океанов (SST, справа). Изолинии в изменении SST имеют четко выраженную горизонтальную направленность, что практически означает отсутствие сезонного хода.

На всех четырех диаграммах условно можно выделить три временных интервала с различным ходом температуры: холодный начальный период примерно до 1930-1940 гг., затем – потепление с эпизодами похолодания до 1970-1990 гг. и далее – активное потепление. Однако каждый из них неоднороден и требует большей детализации.

Самым холодным периодом на суше Северного полушария стал период 1880-1900 гг., а на суше Южного полушария – весь начальный период до 1895-1910 гг. На акваториях океанов аномалии достигли минимума в 1905-1915 гг.

Первое потепление, известное как «арктическое потепление 40-х», прослеживается на территории суши и, вероятно, является одним из первых эпизодов потепления, чередующихся с кратковременными похолоданиями. Началось оно, по-видимому, с потепления зим в середине 1920-х годов на территории северных континентов. В океанах такой режим сформировался уже после 1940 г. и до середины 1970-х периоды потепления преобладали.

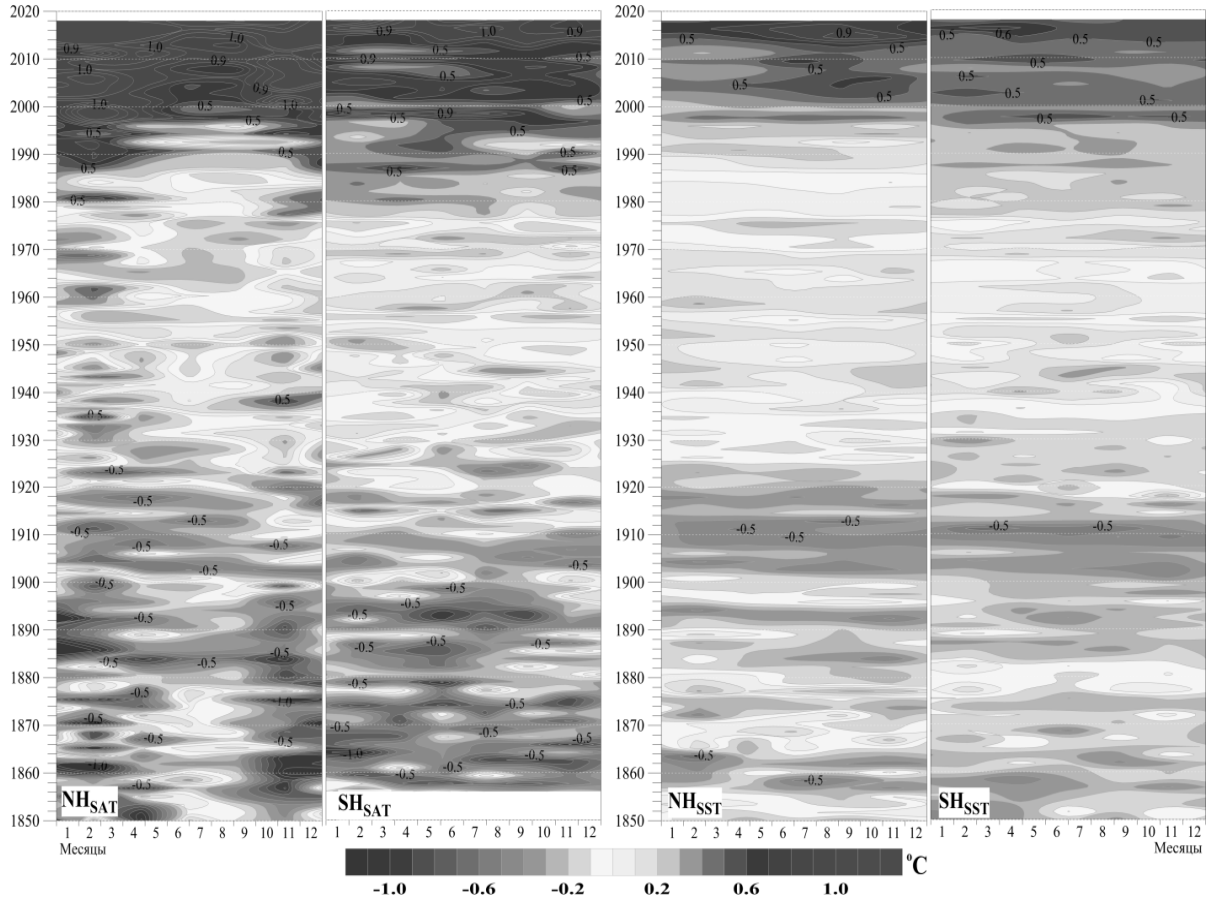


Рис. 2. Межгодовые (по вертикали) и межмесячные (по горизонтали) изменения аномалий температуры приземного воздуха SAT (слева, CRUTEM4) и температуры поверхности океана SST (справа, HadSST3), осредненных по территории Северного и Южного полушарий, за период с января 1850 г. по декабрь 2018 г.

В середине 1960-х и до начала 1980-х гг. начался длительный холодный период на континентах Северного полушария, который с 1970 г. охватил и океаны Северного полушария.

Таким образом, несмотря на то, что в соответствии с ходом глобально осредненной температуры, за дату начала современного глобального потепления условно принят 1976 год, данные диаграммы показывают, что континенты Северного полушария включились в него лишь в начале 1980-х, а океаны и вовсе примерно с 1990 г. Зато в Южном полушарии, как можно видеть, длительных эпизодов похолодания с конца 1970-х гг. действительно не было.

На рисунке 2 отчетливо видна активная фаза потепления, наступившая после 2000 г., с максимальными аномалиями на суше Северного полушария. Видны также эпизоди-

ческие повышения температуры на суше Южного полушария, а в последние 2-3 года – и в океанах Северного полушария.

3. Оценки трендов в изменении глобальной температуры

В таблице 1 приведены количественные оценки линейных трендов в изменении приповерхностной температуры за 1976-2018 гг. и 1919-2018 гг.

Можно видеть, что современное потепление происходит с разной интенсивностью над континентами и на поверхности океанов: в среднем за год потепление на суше и в Северном и в Южном полушариях происходит примерно в 2 раза быстрее, чем на поверхности океанов (табл. 1). Максимальная скорость потепления на суше в Северном полушарии происходит весной (+0.36-0.37 °С/10 лет), а в Южном – осенью (+0.20 °С/10 лет); на поверхности океанов максимум в Северном полушарии приходится на лето (+0.22 °С/10 лет), а в Южном – на весенний сезон (+0.12 °С/10 лет).

Таблица 1. Коэффициенты линейного тренда временных рядов приповерхностной температуры в 1976-2018 и 1919-2018 гг., ^{o}С/10 лет (в среднем по полушариям, за год и календарные сезоны)

Регион	1976-2018					1919-2018				
	Год	*Зима*	*Весна*	*Лето*	*Осень*	*Год*	*Зима*	*Весна*	*Лето*	*Осень*
SAT, T3288 (суша)										
Северное полушарие	0.341	0.333	0.372	0.318	0.345	0.132	0.163	0.161	0.106	0.099
Южное полушарие	0.164	0.157	0.141	0.167	0.202	0.086	0.080	0.083	0.085	0.090
SAT, CRUTEM4 (суша)										
Северное полушарие	0.336	0.335	0.364	0.313	0.335	0.126	0.149	0.155	0.102	0.100
Южное полушарие	0.166	0.155	0.140	0.173	0.198	0.092	0.086	0.088	0.096	0.097
SST, HadSST3 (море)										
Северное полушарие	0.185	0.159	0.161	0.216	0.209	0.062	0.054	0.058	0.073	0.065
Южное полушарие	0.096	0.092	0.115	0.097	0.083	0.069	0.069	0.073	0.068	0.067

В таблице 2 приводятся показатели k_1-k_3, сравнивающие интенсивность потепления в факторных подгруппах (поверхность, регион, период) через отношение соответствующих коэффициентов тренда *b*, а именно: $k_1 = b_{SAT}/b_{SST}$ – на территории суши и акваториях океанов; $k_2 = b_{СП}/b_{ЮП}$ – в северном и южном полушариях; $k_3 = b_{1976\text{-}2018}/b_{1919\text{-}2018}$ – за период современного потепления 1976-2018 и последнее столетие 1919-2018 гг.

В соответствии с данными таблицы 2, можно сделать следующие выводы.

❖ *Скорость современного потепления у поверхности суши выше, чем на поверхности океанов* в k_1=1.2 - 2.4 раза, в зависимости от сезона и полушария. В северном полушарии этот контраст больше в зимне-весенний период (примерно в 2.1-2.3 раза против 1.5-1.7), а в южном – скорее наоборот, летом и осенью (в 1.7-2.4 против 1.2-1.7). Весной же в южном полушарии скорость потепления на суше и поверхности океанов почти одинакова (k_1 =1.2 против k_1=1.0).

❖ *Современное потепление на суше протекает в Северном полушарии в k_2=1.7-2.6 раза быстрее, чем в Южном*. И здесь разрыв между полушариями для континентов больше в зимне-весенний период (2.1-2.6 против 1.7-1.9), а для океанов – летом и осенью (2.2-2.5 против 1.4-1.7). Как и для k_1, весной показатель k_2 для континентов не уменьшается как для океанов, а увеличивается.

❖ *Современное потепление (1976-2018) ускорилось в 1.2-3.5 раза по сравнению с потеплением столетия (1919-2018).* На суше Северного полушария это ускорение составило 2.0-2.3 в зимне-весенний сезон и в 3.0-3.5 летом и осенью, а на океанах – 2.8-2.9 и

3.0-3.2, соответственно. Т.о. наибольшие значения коэффициента k_3 характерны для континентов в летне-осенний период, в то время как зимой и весной ускорение наиболее интенсивно на поверхности океанов. В Южном полушарии этот показатель от сезона почти не зависит – для суши он равен примерно 2.0, а для океанов – около 1.5, при этом для весенних сезонов и для суши, и для океанов, он равен 1.6-1.7.

Таблица 2**.** Сравнение скорости глобального потепления (у поверхности) в разных факторных подгруппах: в среднем за год и по сезонам

Данные	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень
k_1	$k_1 = b_{SAT}/b_{SST}$, 1976-2018									
	СП					ЮП				
IGCE	1.8	2.1	2.3	1.5	1.7	1.7	1.7	1.2	1.7	2.4
CRU	1.8	2.1	2.3	1.4	1.6	1.7	1.7	1.2	1.8	2.4
k_2	$k_2 = b_{СП}/b_{ЮП}$, 1976-2018									
	SAT					SST				
IGCE	2.1	2.1	2.6	1.9	1.7					
CRU|SST	2.0	2.2	2.6	1.8	1.7	1.9	1.7	1.4	2.2	2.5
k_3,СП	$k_3 = b_{1976\text{-}18}/b_{1919\text{-}18}$, СП									
	SAT					SST				
IGCE	2.6	2.0	2.3	3.0	3.5					
CRU|SST	2.7	2.2	2.3	3.1	3.4	3.0	2.9	2.8	3.0	3.2
k_3,ЮП	$k_3 = b_{1976\text{-}18}/b_{1919\text{-}18}$, ЮП									
	SAT					SST				
IGCE	1.9	2.0	1.7	2.0	2.2					
CRU|SST	1.8	1.8	1.6	1.8	2.0	1.3	1.3	1.6	1.4	1.2

4. Временная изменчивость месячных оценок тренда на континентах

Пространственное распределение локальных оценок трендов среднегодовой приповерхностной температуры за период 1976-2018 гг. показывает, что на территории Земного шара практически повсеместно наблюдается потепление [1]. При сезонных оценках количество областей с тенденцией к похолоданию возрастает, а именно, кроме областей похолодания в Антарктиде и Южном океане, наблюдаются еще и области практически нулевого или слабоотрицательного тренда на континентах Северного полушария [1].

Для примера на рисунке 3 приведено пространственное распределение коэффициентов тренда за периоды с шагом 5 лет для конечного года с 1976 по 2018 гг. за осенний сезон. Отчетливо видно, что в ноябре наблюдается наиболее обширная и интенсивная область похолодания в Евразии – при оценках за период до 2000 г. охватывает всю Восточную Европу и Россию вплоть до Дальнего Востока. Далее при увеличении периода оценки площадь очага уменьшается, и за период 1976-2018 гг. занимает только Западную Сибирь.

Отмечаются некоторые общие тенденции, характерные для всех месяцев года при таких оценках пространственного распределения коэффициентов тренда в динамике:

Потепление не проявляется повсеместно в каждой точке географической сетки на протяжении всего года. Во все месяцы наблюдаются крупные области отрицательных трендов на континентах Северного полушария, а иногда и Южного полушария.

При оценках за периоды с конечным годом после 2000 г. локальные величины как положительных, так и отрицательных коэффициентов тренда уменьшаются, области похолодания становятся меньше как по площади, так и по интенсивности.

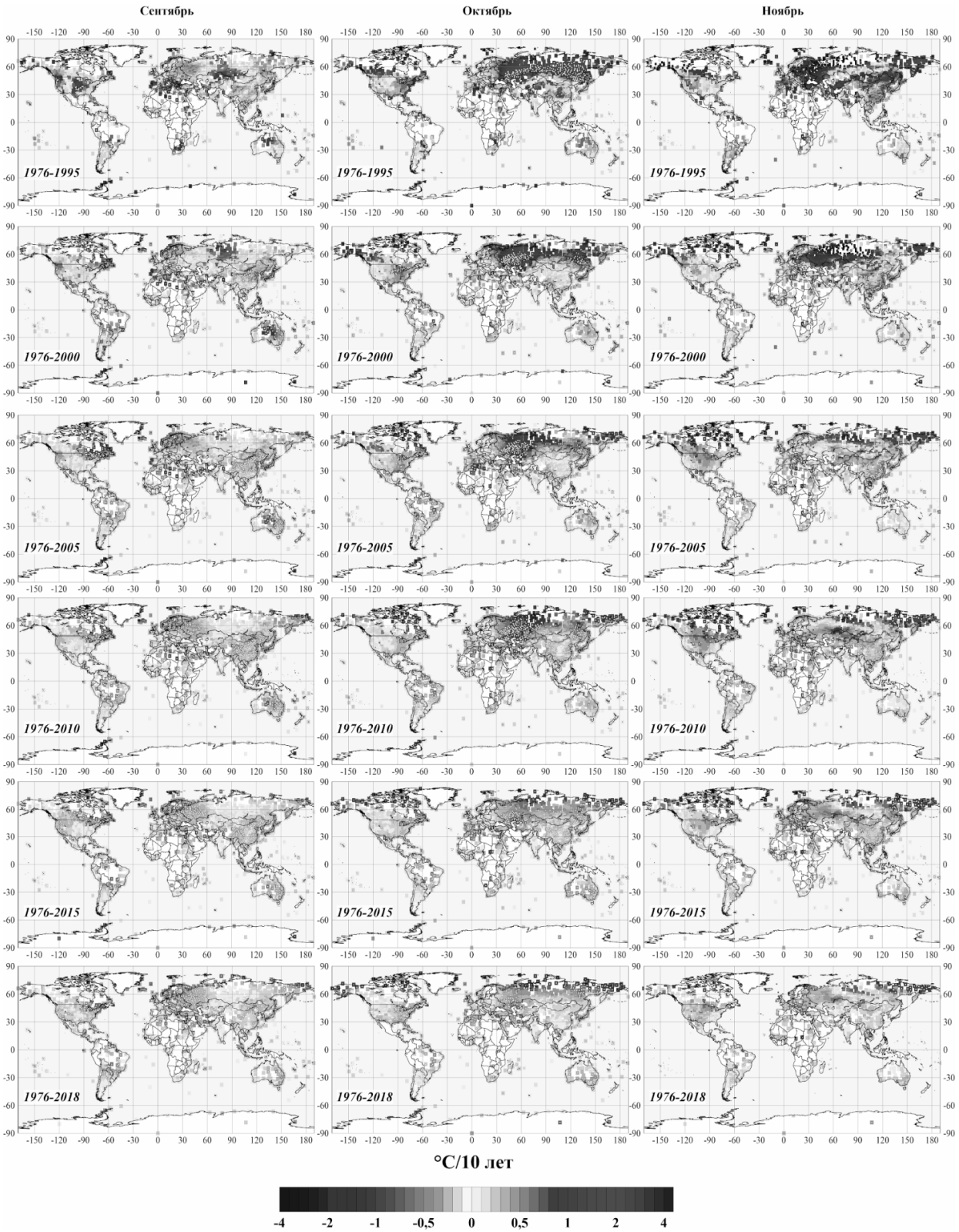


Рис. 3. Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда средней месячной приповерхностной температуры за месяцы осеннего сезона за периоды от 1976-1995 до 1976-2018 гг. (^{o}C/10 лет) по станционным данным Т3288

ЛИТЕРАТУРА

1. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Самохина О.Ф., Корнева И.А., Щенин М.А., 2019: Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2018 г. – Фундаментальная и прикладная климатология. – 2019. – №1 (в печати).

2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Самохина О.Ф., Корнева И.А., Алешина М.А., 2018: Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2017 г. - Фундаментальная и прикладная климатология. – 2018. – №1. – С. 112-136.

3. ИГКЭ, 2019: Мониторинг изменений климата Земного шара. http://climatechange.igce.ru/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=31&Itemid=75&lang=en.

4. Davis, L., D. Thompson, J. Kennedy, and E. Kent, 2018: The importance of unresolved biases in 20th century sea-surface temperature observations. Bull. Amer. Meteor. Soc. doi:10.1175 / BAMS-D-18-0104.1, inpress.

5. IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 1535 pp.

6. WMO, 2019a: WMO statement on the State of the Global Climate in 2018. WMO-No.1233. ISBN 978-92-63-11233-0. https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate.

РАЗДЕЛ 2. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

РЕАКЦИЯ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РУССКОЙ РАВНИНЫ НА ФАЗЫ ЛУНЫ

Л.М. Акимов
akl63@bk.ru

Воронежский государственный университет, г.Воронеж, Россия

Термический режим территории является основным климатическим показателем определяющим развитие хозяйственной деятельности. Увеличивающаяся нестабильность погодных условий связанная с глобальным потеплением, наблюдаемая в настоящее время, способствует усилению разработки методик долгосрочного прогнозирования с привлечением различных предикторов. Одним из таких направлений является использование данных приливных колебаний скорости вращения Земли обусловленной солнечно-лунными приливами установленных Сидоренковым Н.С. [5]. Термический режим территории в данном случае является отображением реакции изменения циркуляционного режима атмосферы на колебания скорости вращения Земли.

Целью данной статьи является проведение исследований полей аномалии температуры в центральной части Русской равнины с учетом данных приливных колебаний скорости вращения Земли. Для реализации поставленной задачи проведена типизация полей температуры в зависимости от основных фаз Луны на рассматриваемой территории. Особенности термического режима Русской равнины подробно рассмотрены в статье [1].

Луна – природный спутник Земли, самое близкое небесное тело к Земле. Фазы Луны – периодически меняющиеся состояния освещения Луны Солнцем. Различают четыре основные фазы Луны, которые постепенно переходят одна в другую в следующей последовательности: новолуние (I фаза), первая четверть (II фаза), полнолуние (III фаза), последняя четверть (IV фаза). Новолуние (I фаза) – Луна находится в соединении с Солнцем; Первая Четверть (II фаза) – Луна образует с Солнцем правую квадратуру; Полнолуние (III фаза) – Луна в оппозиции с Солнцем; Последняя четверть (IV фаза) – Луна образует с Солнцем левую квадратуру. Этот цикл делится на четыре фазы примерно по 7,5 дней каждый. Луна от новолуния до следующего новолуния проходит свой цикл за 29,6 дней.

Ньютон установил, что движением всех небесных тел управляет сила притяжения. Например, Земля движется по своей орбите под влиянием притяжения Солнца, а Луна – под действием притяжения Земли. В разные дни Луна оказывается над разными участками Земли. Луна своим притяжением немного вытягивает атмосферу Земли в свою сторону, делая атмосферный столб выше, как, соответственно, и атмосферное давление [2]. Такую зависимость между фазами Луны и атмосферным давлением впервые заметили еще в 1847 году [3].

Земля и Луна обращаются вокруг общего центра тяжести (барицентра) системы «Земля – Луна» с сидерическим (относительно звезд) периодом 27,3 суток (сут). Земля описывает орбиту, которая является зеркальным отображением орбиты Луны, но размеры ее в 81 раз меньше лунной орбиты. Барицентр всегда располагается внутри Земли, на расстоянии примерно 4670 км от её центра. Тело Земли обращается без вращения (поступательно) вокруг «неподвижного» (в системе Земля-Луна) барицентра. В результате такого месячного обращения Земли на все земные частицы действует точно такая центробежная сила, как в центре масс Земли. Сумма векторов центробежной силы и силы притяжения Луны называется **приливной силой Луны.** Аналогично определяется приливная сила Солнца [4-6].

Приливные колебания скорости вращения Земли основаны на теории Лунно-солнечного приливного потенциала. В настоящее время для вычисления приливных колебаний скорости вращения Земли используются 62 гармоники зонального прилива с периодами от 5 суток до 18.6 года [6]. Наиболее значительными из них являются колебания с полумесячным, месячным и полугодовым периодами. Скорость вращения Земли характеризуется относительной величиной и определяется по формуле:

$$v = \frac{\delta\varpi}{\Omega} = \frac{\omega - \Omega}{\Omega} \approx -\frac{\Pi_3 - T}{T} = -\frac{\delta\Pi}{T}, \quad (1)$$

где Π_3 – длительность земных суток; T – длительность стандартных (атомных или эфемеридных) суток, которая равна 86400 с; $\omega = \frac{2\pi}{\Pi_3}$ и $\Omega = \frac{2\pi}{86400}$ рад/с – угловые скорости, соответствующие земным и стандартным суткам. Поскольку величина ω изменяется только в девятом – восьмом знаке, то значения v имеют порядок 10^{-9} – 10^{-8} [6]. Пример колебаний скорости вращения Земли *v* вызванные приливными силами [5] представлены на рисунке 1.

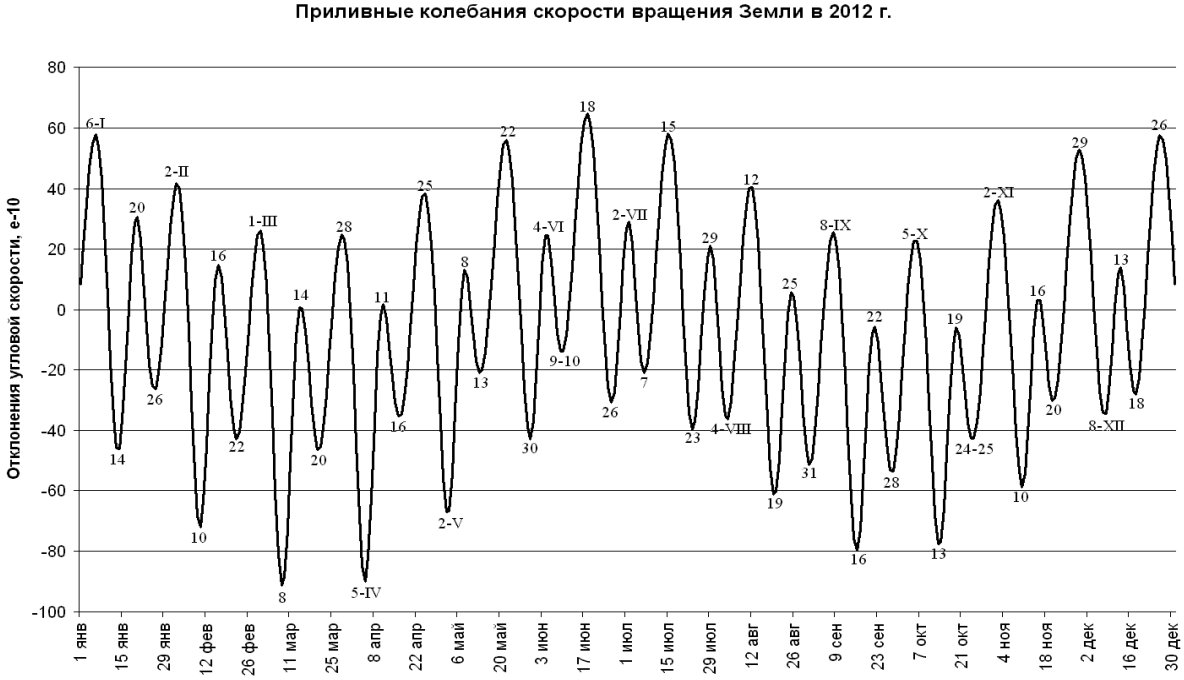


Рис. 1. Прогноз приливных колебаний скорости вращения Земли v на 2012 г. По оси ординат отложены относительные отклонения угловой скорости v в 10^{-10}. Цифрами отмечены даты наступления максимумов и минимумов v [5]

Используемая база данных термического режима центральной части Русской равнины состоит из ежедневных фактических метеорологических параметров наблюдений о состоянии температуры атмосферы, за декабрь, в период наблюдений с 1948 по 2016 годы, размещаемых на официальном сайте Росгидромета РФ (Метеоцентр – URL: http://meteocenter.net/), по 11 метеорологическим станциям.

Пространственное распределение аномалий температуры в декабре месяце в центральной части Русской равнины при 1 фазе (новолунии), представленное на рисунке 2, свидетельствует об незначительной отрицательной температурной аномалии на всей территории, колеблющийся от -0,1 °С Уфа до -0,4 °С Курск.

Средние значения аномалий температуры находятся в пределах -0,2°С. В центральной части рассматриваемой территории и ориентированной в меридиональном направлении по линии Курск (-0,4°С), Тамбов (-0,3°С), Киров (-0,3°С) наблюдается незначительное увеличение аномалий температуры до -0,3 -0,4°С.

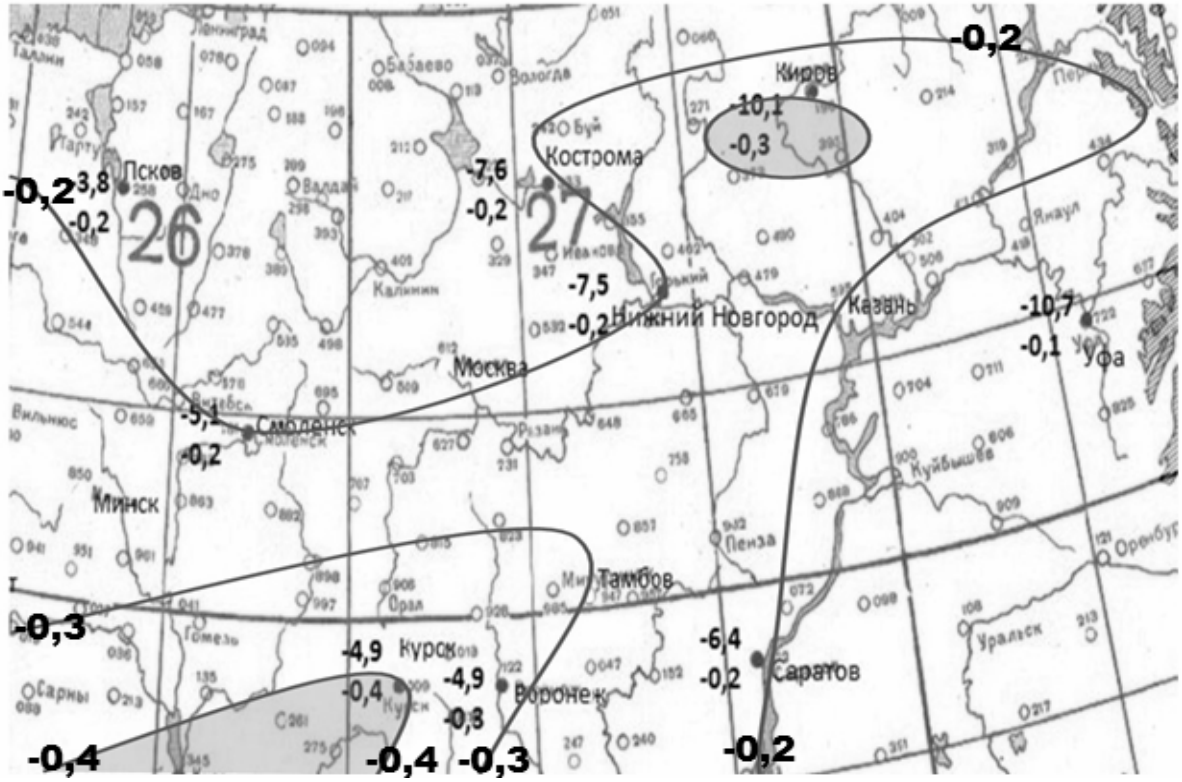


Рис. 2. Пространственное распределение аномалии температуры в декабре при новолунии

Картина распределения аномалий температуры для 2 фазы (первая четверть) в декабре (рис. 3) имеет более пёстрый характер, с отрицательными значениями на северо-западе (Псков -0,3°С) и положительными очагами на юго-западе (Курск 0,3°С, Воронеж 0,3°С), а также на северо-востоке (Киров 0,3°С, Уфа 0,2°С).

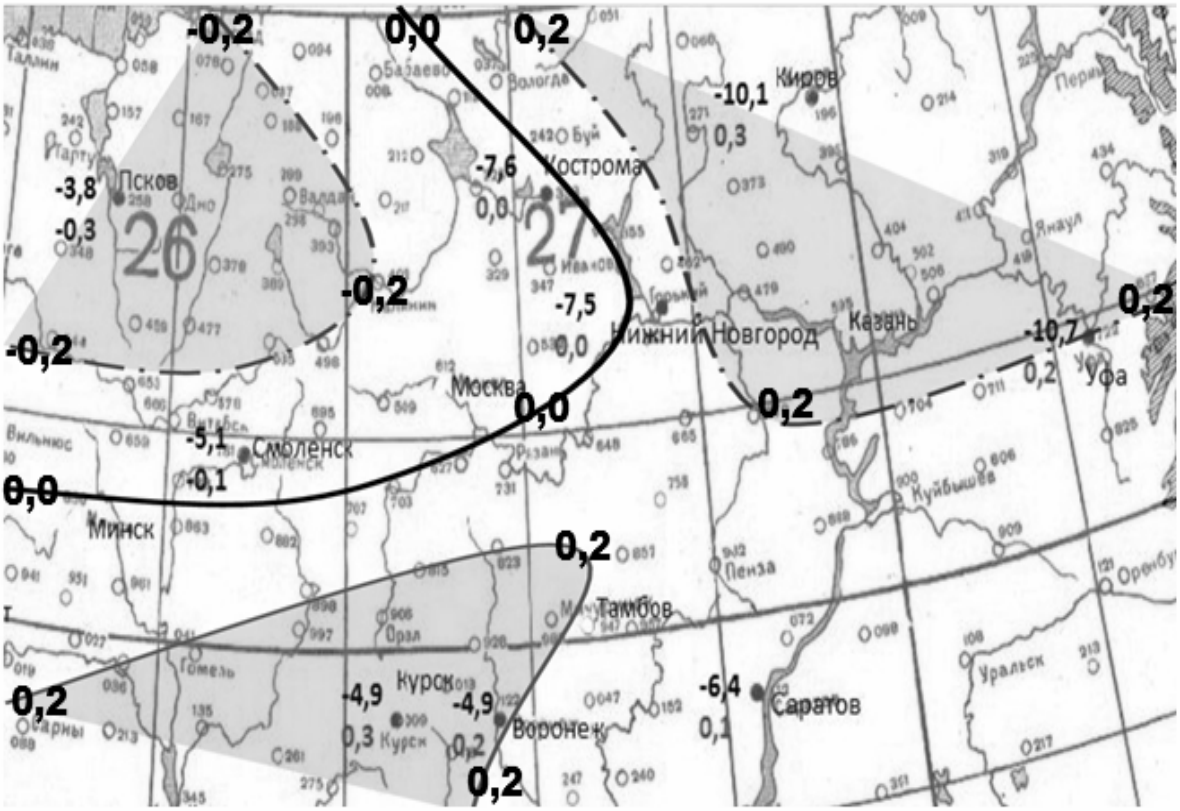


Рис. 3. Аномалии температуры в декабре при первой четверти Луны

Характер распределения температуры при полнолунии (3 фаза Луны) представленный на рисунке 4, имеет **положительные** значения по всему полю достигающего значений 0,6°С Смоленск, Курск, Саратов. Не значительные положительные величины аномалий наблюдаются в Пскове и Уфе + 0,2 °С.

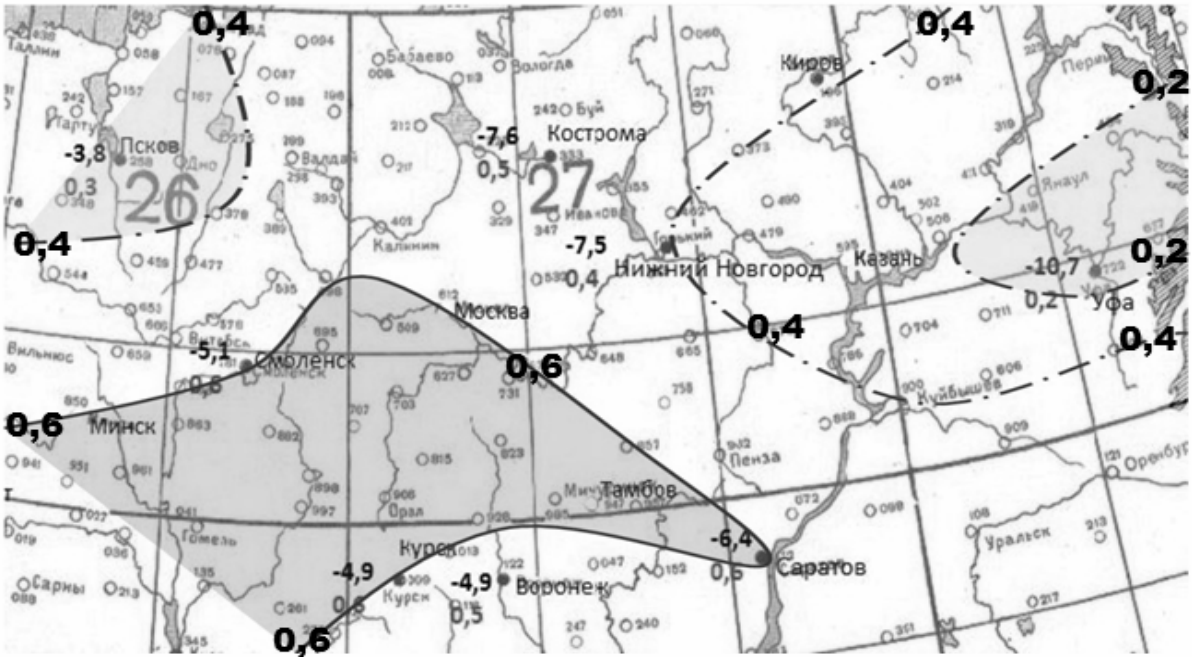


Рис. 4. Аномалии температуры в декабре при полнолунии

Отличительной особенностью 4 фазы (последняя четверть) в декабре (рис. 5) является преобладающие большие отрицательные значения аномалии температуры находящихся в приделах от -0,3°С (Кострома, Н. Новгород) до -0,5°С,Саратов, -0,7°С Уфа. Отрицательные аномалии температуры, при 4 фазе Луны, охватывают практически на 3/4 территории Русской равнины. Положительный очаг аномалии температуры со значением 0,3°С, наблюдается на северо-западе территории в районе Пскова.

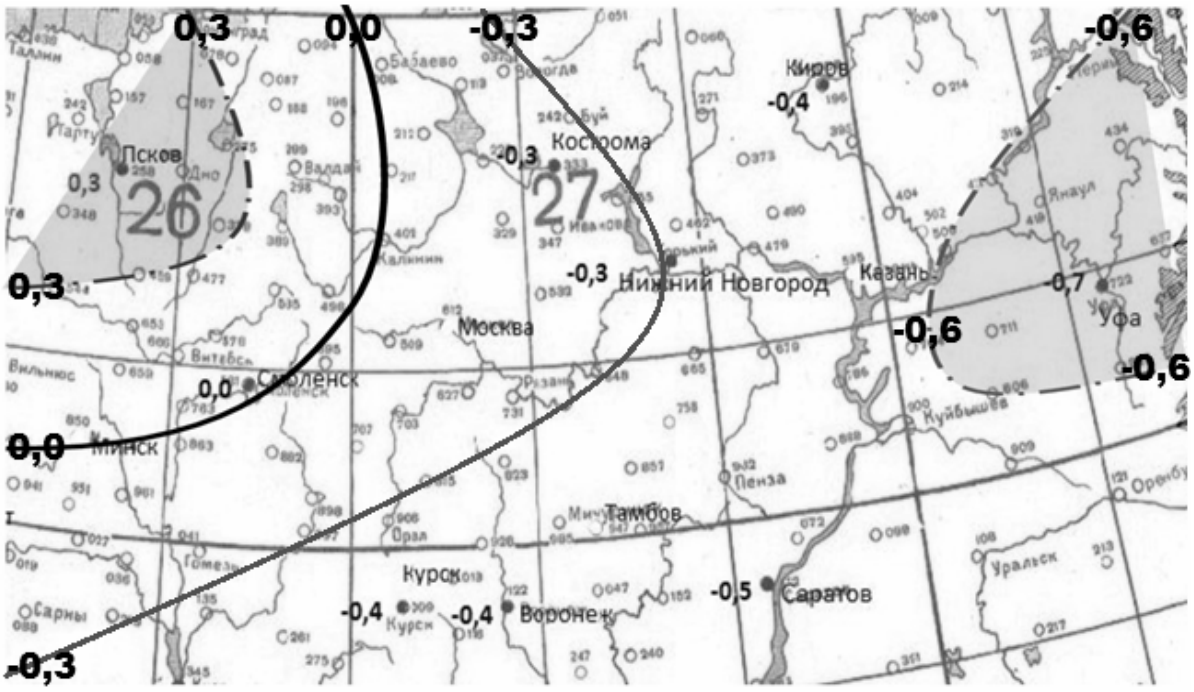


Рис. 5. Аномалии температуры в декабре в последней четверти Луны

Проведенный таким образом анализ термического режима территории Русской равнины, позволил выявить основные закономерности пространственного распределения аномалии температуры при различных фазах в декабре месяце. Установлена противоположная зависимость распределения аномалии температуры на противофазах Луны. Например, если при новолунии (1 фаза Луны) на территории Русской равнины преобладают отрицательные аномалии температуры, то при полнолунии (3 фаза) – положительные. При первой четверти (2 фаза Луны) и в последней четверти Луны (4 фаза), знаки аномалии температуры меняются на противоположные при постоянном месте расположения очагов формирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов Л.М. Особенности термического режима Русской равнины в зимний период. / Л.М. Акимов // В сборнике: Современная экология: образование, наука, практика материалы международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 373-376.

2. Берри Б.Л. Управление климатом, его прошлое и будущее // Холодок. – 2008. – 1. – С. 72-84.

3. Вильд Г. О температуре воздуха в Российской империи. – СПб., 1882. – Ч. 2. 2.

4. Сидоренков Н.С. Атмосферные процессы и вращение Земли. – С. Петербург: Гидрометеоиздат, 2002. – 366 с.

5. Сидоренков Н.С. О важности наблюдений за эффектами приливных колебаний скорости вращения Земли. – http://meteoweb.ru/articles/sidorenkov.pdf

6. Сидоренков Н.С. Способ прогноза гидрометеорологических характеристик / Н.С. Сидоренков, П.Н. Сидоренков // Патент на изобретение № 2182344 от 10 мая 2002 г.

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛОВ НА ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В СЕВЕРНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ

Т.Л. Ананина
t.l.ananina@mail.ru

Объединенная дирекция Баргузинского государственного природного биосферного заповедника и Забайкальского национального парка, Республика Бурятия, Россия

В последнее время проблема изменения климата привлекает к себе все большее внимание и продолжает оставаться остро-дискуссионной (https://tass.ru/spec/climate). Полагается, что природно-климатические процессы, протекающие на Земле, инициируются и регулируются активностью солнца. Взаимосвязи солнечной активности и природных явлений сложны и до сих пор не объединены в общую теорию [1, 2, 3].

Солнце излучает энергию в огромном диапазоне частот. Коротковолновое излучение регистрируют на Земле по показаниям приборов, работающих в рентгеновском диапазоне. Оно формируется только тогда, когда процессы на поверхности звезды входят в активную фазу. Чем выше уровень излучения, тем сильнее вспышка. На диске Солнца в периоды его повышенной активности наблюдаются тёмные области – солнечные пятна. Количество пятен (и связанное с ним число Вольфа) – один из главных показателей солнечной активности. Во время солнечного минимума пятна могут полностью отсутствовать. Излучение солнца испытывает колебания. Долговременным наблюдением за солнечной активностью была установлена закономерность чередования большого и малого количества пятен, 11 – летняя периодичность (Sunspot.sta). Но каждый последующий период не является точной копией предыдущего. Эти неточные периоды и называются солнечными циклами, продолжительность которых может варьировать от 9 до 14 лет [3]. Длительность солнечных циклов определяется минимумами пятнообразования. Разные

фазы солнечного цикла, подъемы и спады – естественные части циклической активности и именно они оказывают наибольшее влияние на живые объекты. Так, максимумы солнечной активности могут инициировать вспышки насекомых вредителей [4] и других объектов животного мира.

Влияние солнечных циклов на биологические процессы представляется нам особенно интересным. В данный момент солнце находится на пороге очередного минимума активности, а что дальше? Мониторинг количества пятен дает возможность проследить влияние солнечной активности на природно-климатические процессы нашего региона в том числе, а также строить краткосрочные прогнозы.

Исследования проведены на территории Баргузинского государственного природного биосферного заповедника, расположенного на северо-восточном берегу оз. Байкал. Предполагаем, что количество солнечных пятен оказывает влияние на погоду и на объекты животного мира. Для установления взаимосвязей солнечной активности с выбранными объектами мы использовали среднемесячные и среднегодовые значения солнечных циклов системы Цюрихского ряда чисел Вольфа, W (признана как международная) [5], таблица 1.

Таблица 1. Характеристика солнечных циклов для Северного полушария Земли в интервале 1955- 2019 гг.

№ цикла (Цюрихская система)	Начало-конец цикла (годы)	Продолжительность цикла (лет)	Минимум W (месяц, год)	Максимум W (месяц, год,	Средне-цикличное W
19	1954-1964	10,5	Июль, 1956	Октябрь, 1956	96,4
20	1965-1976	11,7	Июль, 1976	Март, 1969	59,0
21	1977-1986	10,3	Июнь, 1986	Сентябрь, 1989	83,1
22	1987-1996	9,7	Октябрь, 1996	Июнь, 1989	106,5
23	1997-2007	12,6	Октябрь, 2007	Июль, 2000	94,5
24	2008-2019 (не окончен)	12,3	Август, 2008	Февраль, 2014	54,3

Среднемесячные и среднегодовые показатели температуры воздуха и уровня атмосферных осадков за период 1955-2017 гг. (19-24 солнечные циклы) проанализированы по данным метеостанции «Давша», расположенной на территории заповедника [6]. Из объектов живой природы в качестве моделей выбраны: *Carabus odoratus bargusinicus* Shilenkov, 1996; *Pterostichus dilutipes* Motschulsky, 1844; *Pterostichus montanus* Motschulsky, 1844; и субдоминантные: *Carabus henningi* Fischer von Waldheim, 1817; *Carabus loschnikovi* Fischer von Waldheim, 1823; *Pterostichus orientalis* Motschulsky, 1844; *Calathus micropterus Duftschmid,* 1812 виды жужелиц Баргузинского заповедника. Учет жуков проводился в течение вегетационного периода на стационарных площадях стандартными почвенными ловушками в градиенте Баргузинского хребта (1988-2017 гг.) [6].

Для оценки наличия и силы корреляционной связи «числа Вольфа – среднегодовая температура», «числа Вольфа – уровень годовых осадков» (рис. 1), «числа Вольфа – среднедекадная относительная численность жужелиц», применялся коэффициент корреляции Спирмена (r_s).

Для общей характеристики солнечных циклов мы выбрали среднецикличные значения. Диаграммы среднегодовой температуры демонстрируют тенденцию к повышению, особенно резкий рост температур обнаруживается в 23 цикле высокой солнечной активности. Отмечена значительная величина достоверности коэффициента аппроксимации (R^2 = 0,403) для этого параметра. Установлены тесные корреляционные связи внутри солнечных циклов чисел Вольфа со среднегодовой температурой воздуха r_s = 0, 4123 и средне-

годовыми осадками r_s = 0, 618. Отмечено, что эффект от солнечного максимума или минимума может сказываться еще 2-3 года. Все солнечные циклы не только очень тесно связаны, но и частично налагаются друг на друга. Взаимное наложение соседних циклических кривых наблюдается вблизи минимумов активности [5].

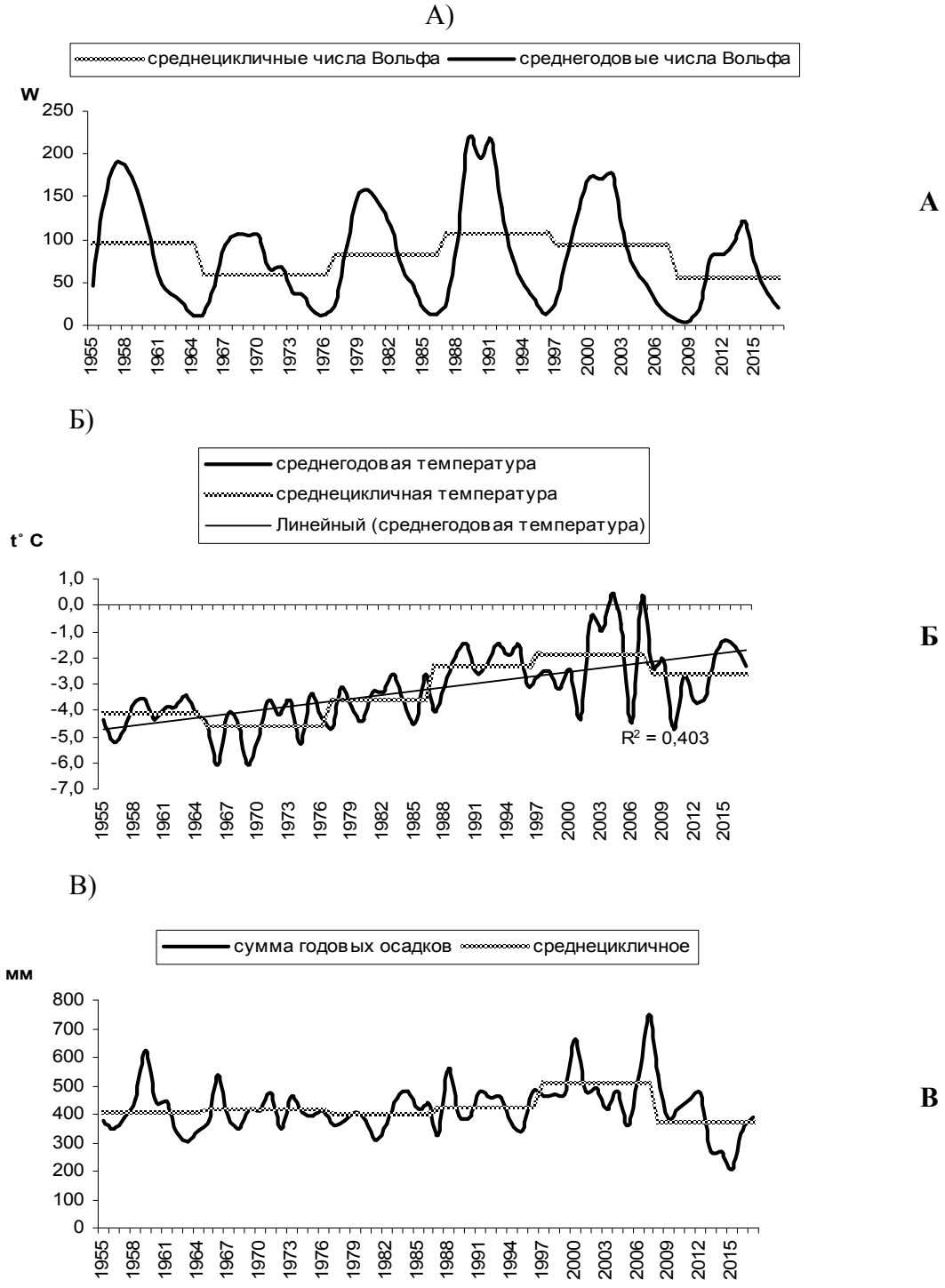


Рис. 1. Динамика Чисел Вольфа, среднегодовых температуры воздуха и суммарного уровня атмосферных осадков в 1955-2017 гг.;
А – числа Вольфа, Б – среднегодовая температура, В – уровень годовых осадков

Высокие среднегодовые температуры воздуха в пределах солнечных циклов наблюдались, в основном в годы высокой солнечной активности. Например, мягкие зимы с отклонением коэффициента жесткости зимы до 42% отмечены в период активного солнца

в 1958, 1959, 1992, 2014, 2015 гг., а суровые зимы 1963, 1964, 1985, 2009 гг. – в годы неактивного Солнца. Годы избыточного увлажнения в летние периоды 1958, 1966, 1988, 2009 гг. отмечались, преимущественно, при минимальной солнечной активности. Недостаточно увлажненные, и даже засушливые периоды года наблюдались, как правило, при высокой солнечной активности [6, 7].

Для развития личинок и имаго жужелиц особенно важны погодные условия предыдущего вегетативного сезона, а также и зимнего периода, когда они находятся в состоянии диапаузы. Корреляционный анализ взаимосвязи чисел Вольфа и относительной численности популяций жужелиц показал их реакцию на уровень активности солнечных циклов. В 22-летнем цикле самой высокой солнечной активности (табл. 1) установлены значимые положительные корреляционные связи численности большинства видов с числами Вольфа: у *Pterostichus dilutipes* r_s = 0,766; *Carabus henningi,* r_s = 0,521; *C. loschnikovi* r_s = 0,766; *Pt. orientalis* r_s = 0,449; *Calathus micropterus* r_s = 0,309. У видов *Carabus odoratus* и *Pterostichus montanus* связей в этом цикле не обнаружено. В 24 цикле, характеризующемся очень низкой солнечной активностью, обнаружены значимые отрицательные зависимости от сумм чисел Вольфа у большинства видов: *C. odoratus,* = -0,732; *Pt. dilutipes* r_s = -0,545; *Pt. orientalis* r_s = -0,319, *C. loschnikovi* r_s =- 0,409.У видов *Pt. montanus, C. henningi, Cal. micropterus* наблюдались только тенденции.

По 30-летним данным наших исследований, динамика численности жужелиц имеет полицикличный ритм и включает несколько периодических составляющих. У разных видов просматриваются короткие 2, 3, 4, 5-летние и длинные 9, 11, 13- летние периоды. Короткие периоды связаны с характером онтогенеза и типом жизненного цикла жуков (одно-двух летние, моно- или рециклики, фенологией развития, и т.д.), а длинные периоды формируются под воздействием метеопараметров в соответствие с особенностями солнечных циклов [6]. На численность жужелиц оказывают влияние биотопические условия их обитания – ландшафт, кормовая база, растительность и т.д.

Природно-климатические процессы на Земле инициируются солнечной активностью. Приток и отток энергии от Солнца вносит коррективы в формирование погоды. Сегодня Солнце находится в минимуме активности, по нашим прогнозам, в Северном Прибайкалье во второй половине 2019 года ожидается повышенное содержание осадков, температура воздуха будет умеренной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Максимов А.А. Природные циклы: Причины повторяемости экологических процессов. – Л.: Наука, 1989. – 236 с.

2. Константиновская Л.В. Солнечная активность и циклы катастроф Математические методы анализа цикличности в геологии. – М.: Изд-во «ГЕОС», 2008. – Т. 14. – С. 225-227.

3. Константиновская Л.В. Солнечная активность. – Москва: ООО «ИСПО-ПРИНТ», 2019. – 132 с.

4. Викторов Г.А. Проблемы динамики численности насекомых на примере вредной черепашки. – М., 1967. – 271 с.

5. Тартаковский В.А. Синхронный анализ рядов чисел Вольфа и температуры с метеостанций Северного полушария Земли [электронный ресурс] // Оптика атмосферы и океана – 2015. – №2 – С. 84-92 .— режим доступа: https://rucont.ru/efd/357891

6. Ананина Т.Л. Динамика численности жужелиц в горных условиях Северо-Восточного Прибайкалья. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2010. – 136 с.

7. Ананина Т.Л., Ананин А.А. Характеристика климата Баргузинского заповедника (Северное Прибайкалье) за период 1955-2015 гг. // Природа Байкальской Сибири: труды заповедников и национальных парков Байкальской Сибири. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2017. – Вып. 2. – С. 117-126.

ОСОБЕННОСТИ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН ЗА ПЕРИОД 2006–2015 ГГ.

Е.С. Андреева, И.Н. Липовицкая, С.С. Андреев
espmeteo@yandex.ru, lipovitskaya@mail.ru, rggmurd@yandex.ru

Донской государственный технический университет, г.Ростов-на-Дону, Россия
Ивангородский филиал гуманитарно-технического института Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г.Ивангород, Россия
Ростовский институт защиты предпринимателя, г.Ростов-на-Дону, Россия

В настоящее время проблемы загрязнения окружающей среды приобретают все большую актуальность. Несмотря на то, что архипелаг Шпицберген (Западный Шпицберген, является территорией Российской Федерации) находится в непосредственном удалении от промышленных районов Европы и Америки, он также подвержен антропогенному преобразованию [1]. Так, основными факторами, оказывающими влияние на окружающую среду острова, на данный момент, являются добыча угля и, в последнее время, увеличение туристической индустрии. Поэтому одной из наиболее актуальных проблем острова можно считать, загрязнение воздушной среды. Ухудшение состояния атмосферного воздуха на Шпицбергене или Свальбарде (Норв.) имеет особое значение, так как в силу своего географического положения он является одним из уникальных регионов стратегического назначения современной России, на территории которого также осуществляются различные комплексные научные исследования в Арктике.

Проблема загрязнения воздушной среды промышленных зон и урбанизированных территорий известна достаточно давно, еще с середины XX века, однако и в XXI веке ее актуальность осталась неизменной не только для Российской Федерации, но и для ряда иных стран мира, в числе которых и достаточно развитые государства. В это же время ведутся активные шаги в области обеспечения защиты окружающей среды Свальбарда от антропогенного воздействия, опираясь на законодательную базу Норвегии и России.

Существенную роль в формировании качества окружающей среды играют природно-климатические условия, которые определяют условия накопления и рассеивания загрязняющих веществ и качество атмосферного воздуха, и соответственно имеют немаловажное значение в изменении уровня загрязнения атмосферного воздуха. Данный факт неоднократно подтверждается в научной литературе, что указывает не только на теоретическую, но и практическую значимость обсуждаемой работы.

Отсюда актуальность исследования обусловлена необходимостью анализа зависимости между уровнем загрязнения воздушной среды ипогодно-климатическими условиями поселка Баренцбург.

Целью данного исследования является осуществление оценки вклада метеорологических параметров в рассеивание антропогенных примесей в российском арктическом секторе архипелага (поселок Баренцбург) на примере периода 2006–2015 гг.

Особенности диффузии примесей, присутствующих в нижнем слое атмосферного воздуха архипелага Шпицберген, включая его западную часть, напрямую зависят от его физико-географических условий, в общем, и климатических [2-3], в частности. По этой причине рассмотрим изначально некоторые физико-географические особенности архипелага.

Так*, Шпицберген* или *Свальбард*, или *Грумант*, как известно, представляет собой достаточно обширный полярный архипелаг, расположенный в Северном Ледовитом океане между 76°26` и 80°50` северной широты и 10° и 32° восточной долготы, в состав которого входят как крупные острова: Западный Шпицберген (площадь 37 673 км^2), Северо-Восточная Земля (14 443 км^2), остров Эдж (более 5 000 км^2); так и более мелкие, площадью от 1288 до 120 км^2: остров Баренца, Белый, Земля Принца Карла, Конгсёйа, Медвежий, Свенскёйа, остров Вильгельма; а также группы островов, мелкие островки и шхеры общей площадью около 621 км^2.

Уникальность Свальбарда заключается не только в его расположении вблизи Северного полюса (расстояние до полюса около 1050 км), но и в размещении на территории архипелага 7 национальных парков, 6 природных и 15 птичьих заповедников; потому практически 65% площади Свальбарда находится под защитой государства Норвегия.

Архипелаг был известен русским поморам и викингам, как показывают исторические летописные документы, с XII века. В более позднее время в районе Свальбарда активно развивался китобойный промысел, научные исследования. Экономический интерес в смысле развития горнодобывающей отрасли к архипелагу Шпицберген со стороны ряда европейский стран был проявлен в начале XX века. Тогда же, в 1920 г. в Париже был подписан так называемый Шпицбергенский трактат, который закрепил суверенитет Норвегии над архипелагом, определив условия хозяйственного использования территории Свальбарда.

В настоящее время наряду с туризмом и научными исследованиями на землях природоохранного назначения в пределах архипелага ведется и хозяйственная деятельность, связанная, прежде всего с добычей каменного угля, как со стороны Норвегии, так и со стороны России в разведанных каменноугольных толщах мезозойского и кайнозойского возраста. Рельеф острова представлен как островершинными зубчатыми хребтами на северо-востоке и северо-западе острова Западный Шпицберген высотой от 800 до 1200 м, так выположенными плато в центре. Возможно, наблюдение этих «острых гор» («s*pitz*» – острый; «*berg*» – гора) позволило голландскому мореплавателю Виллему Баренцу в 1596 году назвать архипелаг «*Spitzbergen»* или «*Шпицберген*» в русском варианте. На всей территории Свальбарда в геоморфологическом отношении развиты все виды ледниковой работы, включая ледниковую экзарацию, а также солифлюкцию, усиливаемую вечной мерзлотой.

Близость к Арктике обусловливает также уникальные особенности климата архипелага, которые для реализации цели исследования необходимо рассмотреть далее достаточно подробно.

Очевидно, что основными климатообразующими факторами арктических регионов, как и любых других на земном шаре, являются: солнечная радиация, циркуляция атмосферы, характер рельефа и влияние морей и океанов.

Так, баланс солнечной радиации в арктических условия определяется ледяным покровом, существующим в течение всего года, добавляя затраты тепла на таяние снега, льда и многолетней мерзлоты. Следует также отметить, что приход солнечной радиации на Свальбарде в период полярных ночей отсутствует, а в период полярного дня весьма высокий, однако практически 80 % его отражается от поверхности снега и льда.

Не менее важным климатообразующим фактором является циркуляция атмосферы, которая обусловливает перенос воздушных масс с разными физическими свойствами, то есть в конечном итоге, инициируя перенос тепла и влаги. Наличие ледовых плато в центральных частях островов архипелага способствует формированию местной циркуляции, представленной холодными воздушными массами. В свою очередь над прибрежными районами архипелага, находящимися под воздействием северной ветви Гольфстрима, формируются теплые воздушные массы, что в свою очередь вызывает значительные контрасты в температурном режиме Свальбарда.

По классификации климатов, предложенной Б. П. Алисовым, выделяются климатические зоны и области, исходя из условий общей циркуляции атмосферы. По данному распределению Шпицберген (Западный Шпицберген) относится к арктическому климату.

Как известно, атмосферное давление является важнейшей характеристикой физического состояния атмосферы и погодных условий.

Для острова характерны в течение всех сезонов вторжения циклонов и антициклонов, которые оказывают существенное влияние на формирование климата [4]. Так, циклоны приходят из области Исландского минимума (область пониженного давления), от которого в сторону острова протянулась Исландско-Карская ложбина низкого давления. Переносы теплых воздушных масс часто перерываются холодными, приносимые антици-

клонами из области Гренландского высокого давления. В целом, можно сказать, что исследуемая территория относится к территориям с преобладанием антициклонального погодного режима: в течение года весьма активны постоянные максимумы давления – Арктический и Гренландский. Постоянный Исландский минимум давления, расположенный достаточно близко, не способствует заметному понижению атмосферного давления.

Преобладающий в течение года антициклональный режим погоды в пределах острова Шпицберген во многом не способствует рассеиванию примесей [5–7], что наиболее проявляется в летние месяцы.

Температурный режим острова зависит от взаимодействия арктического воздуха с воздухом умеренных широт. Большое влияние оказывает теплое течение Гольфстрим, одно из ответвлений которого подходит к западному побережью архипелага Свальбард, а другое впадает в Баренцево море с юга, благодаря этому климат для данной территории значительно смягчен [4].

Абсолютный минимум температуры воздуха, отмеченный в поселке Баренцбург за многолетний период наблюдения составляет -39,8 °С (зафиксирован в марте 1986 г.). Абсолютный максимум температуры был зарегистрирован в июле 1999 г. и составил +20,3 °С.

Обычное явление для Шпицбергена (Западный Шпицберген) – зимние оттепели, а в летние периоды не редкость понижение температуры ниже нуля. Следует отметить, что положительные температуры воздуха на острове преобладают в некоторые годы в осенние месяцы. Примером может послужить среднегодовая температура на станции Хорнсунн в 1957 гг., которая была равна +1,7 °С, что лишь на 0,5 °С ниже средней июньской.

Для оценки температурного режима острова Шпицберген (Западный Шпицберген) за период с 2006 по 2015 гг. были рассчитаны средние температуры воздуха для каждого месяца года.Анализ многолетних температурных наблюдений в сравнении с исследуемым периодом времени показал, что в данном регионе прослеживается повышение температуры на 1,0 °С [4]. При этом значение среднегодовой температуры воздуха острова повысилось до -2,9 °С. Полученные результаты подтверждает и график межгодовой изменчивости среднегодовой температуры воздуха острова Шпицберген (Западный Шпицберген) с 2006 по 2015 гг.

Влажность воздуха определяется содержанием в нем водяного пара, который непрерывно поступает в атмосферу при испарении воды с поверхности водоемов, снега, почвы, растительного покрова. Содержание влаги в воздухе меняется в зависимости от температуры воздуха, времени суток, физико-географических условий местности и т. д.

Перемещение воздушных масс приводит к тому, что одних регионах испарение преобладает над конденсацией, а в других наоборот, определяя существенную изменчивость значений относительной влажности воздуха в пределах Западного Шпицбергена.

Совершенно очевидно, что вследствие постоянных низких температур в течение года в пределах исследуемой территории наблюдаются достаточно высокие значения относительной влажности, колеблясь в диапазоне от 77% до 83%. Годовой ход относительной влажности воздуха характеризуется тем, что постепенное увеличение среднемесячных значений отмечается с марта по сентябрь. В это время на о. Шпицберген (Западный Шпицберген) начинается период полярного дня, который характеризуется увеличением солнечного тепла и таянием снега и льдов (увеличение испарения). С октября по февраль заметно понижение относительной влажности воздуха, так на острове наступает сезон полярной ночи.

На территории острова встречаются холодные полярные потоки воздуха с влажным морскими, тянущимся с юга, что создает области низкого давления и способствует резкому изменению погоды и резким порывом ветра.

Скорость ветра достигает достаточно значительных значений, что чаще характерно для зимних месяцев. Средняя многолетняя скорость ветра в п. Баренцбург составляет 3,4 м/с. На данный момент времени, при быстро растущем загрязнении, именно ветер играет наиболее важную роль в процессе самоочищения атмосферного воздуха [5–7]. Для острова Шпицберген (Западный Шпицберген) характерны сильные порывы ветра. Наибольшая скорость ветра (4,3 м/с) и максимальные порыв ветра (13 м/с) наблюдается в зимний пе-

риод, пик приходится на январь [7]. В это время на острове преобладают метели, характеризующиеся выпадением большого количества осадков. В зимние время на острове нередко бывают штили, для которых характерны наиболее сильные морозы.

Для Шпицбергена (Западный Шпицберген) наиболее характерными направлениями ветра в период с 2006 по 2015 гг., являются: южное, юго-западное, юго-восточное, западное, восточное, северо-западное, северное, северо-восточное. Пересчет их в процентное соотношение показал, что преобладающими направлениями ветра являются юго-восточное (38%), северное и северо-восточное (12%), штиль (11%).

Выпадение осадков отличается большой изменчивостью во времени: в течение года и внутри каждого месяца. Год, в зависимости от вида атмосферных осадков, подразделяют на два периода: холодный – выпадают осадки в твердом виде; теплый – выпадение осадков в жидком виде.

Ежегодно в поселке Баренцбург (Западный Шпицберген) количество дней с осадками составляет около 240, причем около 170 дней – с осадками в виде снега, а 70 дней – с дождем или моросящим дождем со снегом. Интересно отметить, что для периода с 1981 по 2010 гг. месячные и суточные максимумы осадков не совпадали, наблюдаясь в августе и марте – апреле соответственно. В то время, как месячный минимум приходился на май – июль (1 – 2 мм).

В годовом ходе осадков за период времени с 2006 по 2015 гг. можно отметить, что, во-первых, максимальное количество атмосферных осадков в поселке Баренцбург сместилось на октябрь, а минимальное – на июль; во-вторых, их количества по сравнению с серединой XX в. существенно измелились: максимум осадков уменьшился от 170 (1976) до 137 мм (2006 – 2015), а минимум в свою очередь возрос от 1 – 2 (1935, 1949) до 43 мм (2006 – 2015).

Устойчивый снежный покров на острове Шпицберген (Западный Шпицберген) устанавливается обычно в октябре. В основном осадки при этом выпадают в виде слабых, но продолжительных снегопадов.

В целом, климатические условия исследуемой территории, не создают достаточных условий для рассеивания примесей в атмосфере ввиду антициклонального режима погоды в течение года [7]. Однако тот факт, что в районе острова Шпицберген возникают взаимодействия между антициклонами (Гренландский, Арктический максимумы) и циклонами (Исландский минимум), проявляющимися в приземных условиях значительным усилением скорости ветра, может создать чрезвычайно положительные условия для диффузии примесей в отдельные периоды времени внутри года.

Основываясь на полученных результатах, можно видеть, что наиболее благоприятным периодом накопления загрязняющих веществ в атмосферном воздухе в пределах западной части Шпицбергена (пос. Баренцбург) с 2006 по 2015 гг. является весеннее-осенний период. Данный период характеризуется преобладанием на исследуемой территории Арктических и Гренландских антициклонов, вследствие чего происходит установление безветренной погоды или ветрового режима незначительной интенсивности, сопровождаемое отсутствием осадков или небольшого их числа, что, в своей совокупности, не способствует рассеиванию загрязняющих веществ в воздушном бассейне. Стоит отметить, что выводы и результаты данного исследования имеют практическое значение и их целесообразно учитывать при дальнейшем развитии производственной деятельности на Западном Шпицбергене.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андонова А.С., Бабин А.В., Викулина М.А., Воробьевская Е.Л., Воякина Е.Ю., Гаранкина Е.В., Голубева Е.И., Дикинис А.В., Дмитричева Л.Е., Ефимова Л.Е., Зенгина Т.Ю., Зуев Ю.А., Зуева Н.В., Кашлева Л.В., Кислов А.В., Комолова С.А., Лукашов А.А., Михеева А.И., Петрушенко В.Д., Плюшкавичуте Ю.А. и др. Влияние изменений климата и опасных природных явлений на природопользование Европейского Севера, Российский государственный гидрометеорологический университет, Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова. – Санкт-Петербург, 2013.

2. Андреева Е.С., Андреев С.С. География и генезис опасных явлений погоды юга России, М-во образования и науки РФ, Федеральное агентство по образованию, Российский гос. гидрометеорологический ун-т фил. в г. Ростове-на-Дону, Ростов-на-Дону, 2007. – 89 с.

3. Андреева Е.С. Вероятностно-географический метод прогноза сильных ветров для равнин юга России // Естественные и технические науки, 2008. – №4(36). – С. 217-220.

4. Демешкин А. С. Геоэкологическая оценка состояния природной среды в районе расположения Российского угледобывающего рудника Баренцбург на архипелаге Шпицберген: дис. … канд. геогр. наук: 25.00.36 / Демешкин Андрей Сергеевич. – СПб., 2017. – 181 с.

5. Лазарева Е.О., Попова Е.С., Липовицкая И.Н. Влияние температурных инверсий на концентрацию примесей в приземном слое воздуха над Санкт – Петербургом в 2006 – 2014 гг. // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2015. – № 41. – С. 149-155.

6. Попова Е.С., Липовицкая И.Н., Лазарева Е.О. Анализ временной изменчивости основных антропогенных примесей атмосферного воздуха г. Санкт – Петербурга за период с 1980 по 2012 гг./ В сборнике: Экологические проблемы постсоветского пространства Горбенко А.В., Ивановская Е.А. Международный сборник научных статей. Под общей редакцией А.В. Горбенко, Е.А. Ивановской. – Липецк, 2014. – С. 76-85.

7. Спицына А.Д., Андреева Е.С., Андреев С.С. Динамика концентраций антропогенных примесей арктической атмосферы (на примере западной части о. Шпицберген) за период с 2006 по 2015 гг. / В сборнике: Инновации и инжиниринг в формировании инвестиционной привлекательности региона Сборник научных трудов II Открытого международного научно-практического форума. НП «Единый региональный центр инновационного развития Ростовской области»; Донской государственный технический университет; Южный федеральный университет, 2017. – с. 21-27.

ПРОЯВЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ПОБЕРЕЖЬЕ АЗОВСКОГО И ЧЕРНОГО МОРЕЙ В СОВРЕМЕННЫЙ ПЕРИОД

Л.А. Беспалова, А.Г. Авакова, А.Е. Цыганкова, Е.В. Беспалова
bespalowaliudmila@yandex.ru

Южный федеральный университет, Российский информационно-аналитический и научно-исследовательский водохозяйственный центр (ФГБУ РосИНИВХЦ), г.Ростов-на-Дону, Россия

Анализ климатообразующих факторов Азово-Черноморского побережья Ростовской области и Краснодарского края показал, что за последние десятилетия отмечаются тенденции в изменении климатических показателей: рост средней температуры воздуха составил от 1° до 2,5°С, увеличение испаряемости, изменения годовых сумм осадков в основном в сторону их увеличения, изменения в структуре атмосферной циркуляции (ослабление западно-восточного переноса воздушных масс и учащение так называемых блокирующих ситуаций в атмосфере), что определяет увеличение частоты фронтальных погод и опасных погодных явлений [2, 5].

Цель работы – исследовать опасные погодные явления и провести районирование Азово-Черноморского побережья России по частоте их проявления.

В основу исследования положены данные Северо-Кавказского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период с 2005-2017 гг. по метеостанций: Таганрог, Донская (Азов), Тимашевск, Славянск-на-Кубани, Ейск, Должанская, Приморско-Ахтарск, Тамань, Анапа, Новороссийск, Геленджик, Туапсе, Сочи, а так же материалы научно-прикладного справочника «Климат России» за период с 1977 по 2005 гг. [6].

Для оценки частоты проявления опасных погодных явлений (ОПЯ) Азово-Черноморского побережья Ростовской области и Краснодарского края был использован метод бальных оценок и классификаций. Исследуемые объекты сравниваются между собой по сумме баллов всех показателей влияющих факторов

Для ранжирования был использован метод линейной интерполяции (формулы 1-3):

$$r = (A_{max}-A_{min})/n, \quad (1)$$

$$R_1 = A_{min} + r, \quad (2)$$

$$R_{2...n} = R_{1...n} + r, \quad (3)$$

где r – интервал, A_{max} – максимальное значение показателя, A_{min} – минимальное значение показателя, n – количество рангов, R – ранг.

По итогу оценки каждого фактора были построены электронные карты с использованием ГИС «Панорама» (версия 8.02#7). На основе электронных картографических материалов ВТУ ГШ: карты масштаба 1:500000 номенклатур K371, K372, L371, L372, L373, L374 (2003-2004 гг.), были созданы карты масштаба 1 : 2 000 000 (итоговая карта) и 1 : 5 000 000 (карта каждого показателя) в проекции Красовского 1942 г.

Из опасных природно-климатических явлений (ОПЯ), отмеченных на данной территории, наиболее значимыми по воздействию на жизнедеятельность людей являются такие ОПЯ как туманы, грозы и ливневые осадки, град, метель, изморозь, гололед, сильный ветер. Для характеристики пространственного распределения ОПЯ в прибрежной части Азовского и Черного морей России был использован такой показатель как среднее многолетнее число дней с ОПЯ за период 1977-2017 гг., составлены карта отражающие частоту их проявления с использованием методики балльных оценок и классификаций [4].

Туманы. Сильные туманы на Азово-Черноморском побережье довольно частое явление. Анализ их пространственного распределения показывает, что наибольшее количество туманов возникает на побережье Азовского моря в пределах Неклиновского, Азовского, Щербиновского и Славянского районов. За год наблюдается от 4 (в Туапсинском районе) до 40 (в Таганроге) дней с туманом, при среднемзначении 23 дня. К зоне с очень сильной степенью проявления данного явления (34-44 дня) относятся северное и южное побережья Таганрогского залива (Неклиновский, Щербиновский и Ейский районы). Для Восточного побережья Азовского моря (Азовский, Каневской и Славянский районы) характерна сильная степенью проявления туманов (28-33 дня). Средняя степень проявления туманов характерна для Восточного побережья и Таманского полуострова (Приморско-Ахтарский и Темрюкский районы). На Черном море с туманом и менее 22 дней в году (слабая степень проявления) [1].

Гроза и ливневые осадки – наиболее часто повторяющихся ОПЯ в приморских регионах. Анализ распределения грози ливневых осадков на побережье Азовского и Черного моря России показывает, что их число изменяется в широких пределах от 18 до 36 дней в году. Зона с сильной и очень сильной степенью проявления этого ОПЯ (более 28 дней в году) находится на Северном побережье Таганрогского залива (Неклиновский район) и на Черноморском побережье от Туапсе до г/о Сочи (рис. 1).Районами со средней степенью проявления гроз и ливневых осадков (28-25 дней) являются прибрежная зона Приморско-Ахтарского, Славянского районов и г/о Геленджик. Слабой и очень слабой степенью проявления гроз и ливней отличается побережье от Азовского района до г/о Новороссийск, в среднем не более 20 дней в году.

Град образуется при интенсивном развития кучево-дождевой облачности. В связи с тем, что град – явление локальное существующая сеть метеорологических станций и постов фиксирует не все случаи его выпадения. За период 1977 - 2017 гг. в среднем по побережью зафиксировано около одного случая в год с этим явлением.

Метели наиболее характерны для побережья Неклиновского, Азовского и Щербиновского районов. Количество дней с метелью за рассматриваемый период здесь изменялось от 1 до 27 дней в году. В пределах Северного берега Таганрогского залива повторяемость метелей за последние десять лет уменьшилась, на Южном практически не изменя-

лась. Тем не менее, эти районы относятся к зонам с сильной и очень сильной степенью проявления метелей. Напротив, на Черноморском побережье (Анапа, Новороссийск) тренд положительный, но эти регионы характеризуются слабой степенью проявления данного ОПЯ. В Туапсинском районе, г/о Гленджик и Сочи метели в период с 2005 по 2014 гг. вообще не наблюдались.

Анализа пространственного распределения *гололедных явлений* показал, что в среднем за год на побережье Азовского и Черного морей наблюдается от 1 (в г/о Сочи) до 10 дней (в Неклиновском районе) с гололедом, при среднем по побережью 7 дней. Районами побережья с наибольшим количеством дней с гололедом являются Неклиновский и Щербиновский, что связано с частым выпадением здесь дождей на холодную земную поверхность.

Побережье таких районов, как, Славянский. Ейский, Приморско-Ахтарский и Темрюкский характеризуются средней степенью проявления гололедных явлений. В Азовский район, а также на всем Черноморское побережье гололедные явления крайне редки, не более 3 дней в году.

Ветер на побережье одно из основных и наиболее часто возникающих ОПЯ. Для анализа использован показатель – число дней с сильным ветром более 15 м/с за период с 2005 – 2017 год. Повторяемость сильных ветров изменялась от 7 до 106 дней в году. Самым ветреным районом является г/о Новороссийск. Здесь в период с 2005 по 2017 наблюдалось в среднем 25 дней в году с сильным ветром, максимум – 50 дней. Для этого явления отмечается по всем постам наблюдения положительный тренд. В среднем за год на побережье Азовского и Черного морей наблюдается от 106 (в г/о Новороссийск) до 7 (в г/о Сочи) дней с сильным ветром, при среднем по побережью 50 дней.

В зоне с сильной степенью проявления ветра входят г/о Геленджик и Туапсинский район. Побережье Азовского моря характеризуется средней степенью проявления сильного ветра (Ейский и Темрюкский районы), слабой (Неклиновский, Азовский, Щербиновский, Приморско-Ахтарский районы) и очень слабая степень проявление (г/о Сочи, Каневской и Славянский районы).

Для оценки комфортность климатических условий выполнено геоэкологическое зонирование побережья Азовского и Черного морей России по степени проявления ОПЯ. Данный показатель является важным средообразующим фактором, формирующим эколого-климатический и природно-ресурсный потенциал территории, обеспечивающий жизнедеятельность населения, подлежащий обязательному учету [2].

Зонирование побережья Азовского и Черного морей России по степени проявления ОПЯ выполненное на основе интегральной оценки. Проанализировано 8 показателей, в результате суммирования которых был выведен общий ранг ОПЯ (формула (1), табл. 1):

$$I = \sum R = R_т + R_{ГЛ} + R_Г + R_м + R_{Гл} + R_и + R_в, \quad (1)$$

где I – интегральная оценка, $\sum R$ – сумма рангов, $R_т$ – ранг возникновения туманов, $R_{ГЛ}$ – ранг возникновения грозы и ливневых осадков, $R_Г$ – ранг возникновения града, $R_м$ – ранг возникновения метели, $R_{Гл}$ – ранг возникновения гололеда, $R_и$ – ранг возникновения изморози, $R_в$ – ранг возникновения ветра.

Таблица 1. Ранжирование проявления ОЯ

Общий показатель ОПЯ	Ранг	Степень проявления ОЯ
26 - 30	5	Очень сильная
22 – 26	4	Сильная
19 – 23	3	Средняя
15 – 19	2	Слабая
11 – 15	1	Очень слабая

Общий показатель ОПЯ ранжирован методом линейной интерполяции по принципу: чем больше значение, тем выше ранг. Выделено 5 кластеров с различной степенью проявления ОПЯ, которые соответствуют 5 территориальным зонам: Северо-

Таганрогская, Щербиновская, Восточно-Приазовская, Азово-Темрюкско-Геленджикская, Восточно-Причерно-морская (рис.).

В результате зонирования установлено, что Северо-Таганрогская зона, характеризуется очень сильной степенью проявления ОПЯ, здесь все опасные метеорологические явления имеют высокую повторяемость, особенно те, которые возникают в зимний период времени [3].

Щербиновская зона с сильной степенью проявления ОПЯ занимает 5% от общей территории. Здесь наблюдается максимальное количество дней с туманом и изморозью, 44 и 9 дней соответственно, при среднем по побережью 23 и 4 дня.

Ейский, Каневской, Приморско-Ахтарский и Славянский районы входят в Восточно-Приазовскую зону со средней степенью проявления ОПЯ. Она занимает наибольшую площадь исследуемого побережья – 35%. Все показатели ОЯ находятся на среднем уровне повторяемости, за исключением довольно частых метелей.

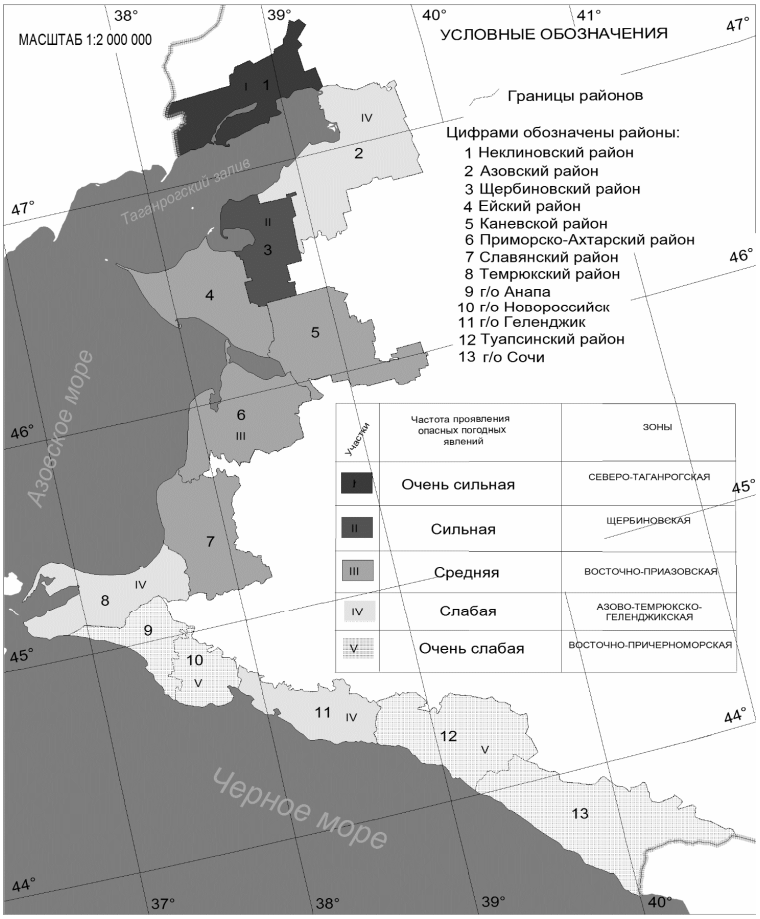


Рис. 1. Районирование побережья по степени проявления ОПЯ

Азово-Темрюкско-Геленджикская зона со слабой степенью проявления ОЯ, включающая в себя Азовский, Темрюкский районы и г/о Геленджик, составляет 23% от общей площади. Здесь все показатели ОПЯ находятся ниже среднего уровня.

Городские округа Анапа, Новороссийск, Сочи и Туапсинский район входят в Восточно-Причерноморскую зону (29% территории), которая характеризуется очень слабой степенью проявления ОЯ. Однако здесь наблюдается максимальное количество дней с ветром в среднем 71 день (Новороссийск), что в два раза больше, чем по всему побережью, так же здесь наибольшее количество дней с грозами и ливневыми осадками 33дня (Сочи), при среднем по побережью 27 дней. Остальные ОПЯ крайне редки.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при разработке рекомендации по минимизации последствий проявления опасных природно-климатических явлений. Для снижения социально экологического ущерба и рисков от опасных природных явлений необходимо:

• прогнозирование погодных процессов с учетом региональных особенностей проявления ОЯ, что дает возможность повысить эффективность предупреждений неблагоприятных метеорологических явлениях;

• создание компьютеризованной базы данных метеорологических явлений, которые привели к значительному ущербу и человеческим жертвам;

• повышение информированности общественности с помощью расширения сферы деятельности СМИ по усилению оперативной информации для населения региона;

• организация для населения всех возрастных категорий систематической подготовки по проблеме поведения при опасных природных явленьях;

• создание региональной системы мониторинга за опасными природными явлениями для увеличения точности прогноза снижения экономических потерь.

Полученные результаты могут быть использованы при улучшении качества современных прогнозов ОПЯ для повышения эффективности экономического развития прибрежной инфраструктуры, для уменьшения возможного материального ущерба и людских потерь.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 18-05-80082 Опасные явления по теме «Закономерности формирования опасных береговых процессов в Азовском море и социально-экономические последствия их проявлений»

ЛИТЕРАТУРА

1. Авакова А. Г., Кропянко Л. В., Беспалова Л. А. Районирование Азово-Черноморского побережья Ростовской области и Краснодарского края по степени проявления опасных погодных явлений // Сборник материалов IX международной научно-практическая конференция: «Научные перспективы XXI века. Достижения и перспективы нового столетия» (13-14.03.2015 г.). – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – С. 63-66.

2. Андреева Е.С. К вопросу о применении вероятностно – географического метода прогнозирования рисков возникновения опасных явлений погоды равнин юга России// Естественные и технические науки. – 2008. – № 2. – С. 261-262.

3. Беспалова Л.А. Иошпа А.Р., Кропянко Л.В., Авакова А.Г. Опасные погодные явления Азово-Черноморского побережья Ростовской области и Краснодарского края // Естественные и технические науки. – 2015. – №11. – С. 272-276.

4. Коробов В.Б. Экспертные методы в географии и геоэкологии: монография / В.Б. Коробов. – Архангельск: Поморский университет, 2008. – 236 с.

5. Панов В.Д, Лурье П.М., Ларионов Ю.А. Климат Ростовской области. – Ростов-на-Дону, 2006. – 487 с.

6. Электронный научно-прикладной справочник «Климат России» // ВНИИГМИ-МЦД. – 2007.

ЦИКЛИЧНОСТЬ ИЛИ ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА НА ПРИМЕРЕ НИЖНЕ-ВОЛЖСКОГО РЕГИОНА

В.А. Брылёв
brilev_vspu@rambler.ru

Волгоградский государственный социально-педагогический университет, г.Волгоград, Россия

Анализируемый нами период охватывает последние полвека, когда многолетние параметры климата региона следующие: среднегодовые температуры в Волгограде и п. Эльтон +7,5°С, в Котельниково +8°С, К Урюпинске +5,7°С; среднемесячные температуры самого жаркого месяца июля - в Волгограде и Котельниково +24,5°С, в п.п. Быково и Эльтон +25°С, в Урюпинске +21,5°С; средние температуры января, наиболее холодного месяца, - в Волгограде и Урюпинске практически одинаковы и составляют - 9-10°С, в п.

Эльтон -11°С, а в Котельниково - 7,2°С. Среднегодовое количество осадков составляет для Волгограда 350-400 мм/год, Урюпинска - 400-450 мм/год, Эльтона - 280 мм/год, Котельниково 390 мм/год. Однако, за 2000-е гг.указанные метеоэлементы испытывали значительные колебания, так средняя температура июля в 2004 г. в Волгограде составила +22,2°С, в 2010 г. почти до +29°С.

Летом 2010 г. почти на 3 месяца установилась среднеазиатская жара и, в июле температура составила **+28,2°С, а в августе +27,8°С.** С конца мая над территорией установился блокирующий антициклон и, практически, за все летние месяцы выпало всего несколько мм осадков, но рекорд максимальных температур не был побит, он составляет для Волгограда +43°С [1], абсолютный же максимум, зарегистрированный в 1948 г., **составил +44°С, а в Эльтоне - +45°С.** Отметим, что по этим показателям наш регион самый жаркий во всей России. До наступления летней засухи 2010' г. буквально одним дождём выпало более 50 мм садков в мае, что отчасти спасло урожай и приостановило опустынивание региона. Далее в течение всего лета практически один день был с осадками, в остальные дни дождей не было и относительная влажность воздуха снижалась до 20% и даже до 10%.

Установившийся летом 2010 г. над югом России обширный малоподвижный антициклон, вызвал небывалую жару в регионе, а к началу июля распространился и на средние широты Европейской России, «закачивая» горячий центрально-азиатский воздух. Продолжительность существования этого антициклона (более 2 месяцев) привело к длительному разогреву воздуха до рекордных значений. В начале сентября 2010 г. происходил вынос раскаленного воздуха из пустынь Средней Азии в Европейскую часть России. В связи с этим температура воздуха в регионе взлетела до +40°С, а скорость ветра повысилась до 28 м/с. Резкие порывы ветра приводили к обрывам и перехлёсту линий электропередачи, которые вызывали короткое замыкание и искрение. Аномально высокий температурный режим и суховеи привели к тому, что на большей части территории области началась засуха. Следствием этого явились сильнейшие ландшафтные пожары. При этом время их возникновения пришлось на конец лета, у нас это первая половина сентября. Пожары охватили северную часть области, горели, в основном, лесопосадки и целинные участки, скорость распространения огня, по оценке Главного управления МЧС России по Волгоградской области, составляла 20-30 м/с. На территории северных районов области возникло 74 очага ландшафтных пожаров, огонь от которых быстро "перекинулся" на населённые пункты и стал реальной угрозой для населения Постановлением Главы администрации Волгоградской области режим чрезвычайной ситуации был введен на территории пяти муниципальных районов [3].

Лесные и степные пожары, спровоцированные небывало жаркой погодой стали причиной крайне негативных геоэкологических последствий как для природы, так и для населения области. Из-за горящих сухой травы и леса сразу в нескольких районах области сгорело несколько населенных пунктов. И это в сентябре, когда местные жители думали, что опасность возникновения пожаров миновала. В Камышинском районе вспоминают фермера, у которого сгорела свиноферма, но он в это время тушил сооружения и лесопосадки на соседних участках населенного пункта.

Пострадали также сельскохозяйственные угодья с посевами пшеницы, ржи, подсолнечника, гречихи, травы, кустарники естественные лесные массивы и парковые насаждения. Пожарами уничтожено свыше 860 гектаров леса. Небывалая засуха вызвала пересыхание малых рек, прудов, резкое увеличение продажи прохладительных напитков, мороженого, вентиляторов, кондиционеров, сплит-систем. Огнём был охвачен 21 населённый пункт в шести 1 районах Волгоградской области, сгорело более 530 строений, включая 489 / жилых домов. Жилья лишились свыше 500 семей, более 1 тыс. человек [4]. По данным МЧС, в результате возгораний погибли 8 человек, 39 пострадавших.

Таким образом, по теплому периоду - 2009-2011 годы были наиболее жаркими за последние 50 лет. Что же касается холодных периодов, то в основном, зимние температуры также были выше нормы. Например, январь 2001 г. имел среднюю температуру месяца -1,6°С, а декабрь 2000 г. - только -0,5°С против - 9,5°С и -6,1°С соответственно. Анало-

гичные теплые зимы отмечались в 2005 и 2006 гг. Отмеченные теплые зимние аномалии последних' двух десятилетий объясняют низкое половодье на малых реках и практически в указанные годы поймы не затоплялись, только весна 2003 и 2018 гг. была дружной и накопившейся зимой снег дал половодье выше среднего многолетнего.

Что касается Волжского бассейна, то здесь наполняемость водохранилища и режим сброса через Волжскую плотину определяется запасами снега на Средней Волге и Каме, а также заданными энергетиками параметрами расхода воды через плотину ГЭС. Весеннее половодье на Волге началось 25 апреля, при этом максимальный расход воды - 7-8 мая 2010 г. составил 27,1 тыс. м³/сек. Однако пик половодья был небольшим - всего 5-6 дней.

В связи с летними аномально жаркими погодными условиями температура воды в Волгоградском водохранилище достигала в районе Камышина +29°С, в Волжском - +30°С, а температура воды в Волге и Ахтубе составила +27,8°С и +28,6°С соответственно, что выше средних многолетних на 3-4°С.

В среднем, за летний период 2010 г., т.е. 4 месяца, выпало 118 мм осадков, что составляет только 60% от многолетних данных и это в основном в начале лета - в мае. Максимальные температуры до +41°С в Волгограде отмечались в конце июля и в начале августа, с отклонениями от нормы до 11°С. В июле был один ливень - 5-го числа, когда выпало 38 мм осадков, а всего за месяц - 45 мм: т.е. 22% от нормы. Трехдневный период с осадками, который фактически защитил от аридизации наши сухостепные ландшафты. Лето продолжалось в сентябре и понижение температуры воздуха произошло 30 сентября, т.е. на 2 недели позже среднемноголетних, таким образом в 2010 г. лето продолжалось почти 5 месяцев. Поэтому понизился уровень воды в Волгоградском водохранилище, а в его нижнем бьефе - более чем на 1 метр, и расход Волги в осенний период составил 4,5 тыс. м³/сек. Осень продолжалась 2 месяца до начала декабря, но снежный покров к началу зимы 2010-2011 гг. не образовался и промерзание почвы не наблюдалось.

Характеристика зимы. Начало зимы 2011-2012 гг. было отмечено температурой всего -1°С, а первая половина января только -2°С, к тому же декабрь практически был без осадков. Преобладал антициклонический режим погоды начал в середине января и продолжил в первой половине февраля 2012 г., когда на территорию региона и Волгоградской области вышел азиатский антициклон, принёсший из его центра сухой и холодный воздух. В следствии этого начались продолжительные морозы (днем -15-20°С, ночью -24-27°С, местами до -30-35°С), сопровождающиеся обильным снегопадом, метелями, сильным северо-восточным ветром (5-8 м/с). Высота снежного покрова на улицах г. Волгограда достигла 30 сантиметров, в области местами 50-60 сантиметров. Синоптики отмечают, что установившийся температурный фон на 10°-15° ниже климатической нормы [5].

Однако, морозная погода, установившаяся в последние недели в европейской части России и в регионе, не означает, что тренд изменения климата сменился. Сейчас совершенно нормальная зимняя погода для Европейской России, и по ней нельзя судить о "медленных" многолетних климатических изменениях, т.к. в климатических исследованиях берётся, как правило, 30-летний цикл. А вот о региональных проявлениях аномально морозной погоды в этом случае следует констатировать.

Выводы. Рассмотренные особенности проявления метеоусловий в пределах Нижне-Волжского региона (Волгоградской области) позволяет сделать следующие выводы:

1. Изучаемый нами район в своей юго-восточной части является самым- жарким на территории России. Абсолютный максимум достигает +44°С в Волгограде и +45°С в п. Эльтон. Однако, по сумме температур 3000-3300°, Волгоградская область уступает Астраханской.

2. Остро засушливые годы повторяются каждый третий год. Ими были 1972, 1975 ..., 1988, 2001, 2009, 2010 гг., когда количество осадков снижалось в Волгограде до 180 мм, т.е. 50% от нормы. Но при похожих условиях лето 1972 г. было в среднем на 2-4°С прохладнее, чем в 2010 г. За последние 10 лет установлено значительно больше рекордов максимальной, чем минимальной температуры. Это объясняет причину остепнения и опустынивания региона.

3. Аномально холодные зимы (в январе ср.t° до -18°) отмечались в 1969, 1986, 1987, 2006, 2008 гг. Таким образом, в аномальных проявлениях метеоусловий сказывается удвоение экстремальных лет на фоне проявления 11 или 22-летних циклов. Следовательно, для конца 70-80-е гг., в целом, характерны как холодные циклы, а для 90-х и 2000-е гг. - как жаркие, с аномально теплыми зимами.

4. Аномально теплым был июль 1963, 1972 гг., апрель и май 1975, 1984, 2009, 2010 гг. По среднегодовой температуре выделяются два года - 1972 со среднегодовой температурой - +9,9°С и 2010 г. - +10,0°С соответственно. Это на 2,5°С выше нормы. Экстремальные климатические аномалии и зимой и летом по мнению Р.М. Вильфанда обычно обусловлены блокирующими антициклонами и этот процесс характерен как для центра Европейской России, так и для её юго-восточной периферии.

В изучаемом нами регионе зима в первой её половине значительно теплее нормы, но вторая половина зимы часто растягивается с конца января по конец марта, как это было в 2018 г.

5. Антропогенное воздействие на погодно-климатические условия региона в целом незначительные и отмечается в зимний период повышением температуры в крупных городах на 2°С по сравнению с окрестностями и в повышенном выпадении осадков, в т.ч. на 30-40 мм над г. Михайловка в результате влияния крупного цементного завода и на 20-25 мм в Волгограде.

6. Очевидно, что в Нижнем Поволжье отмечается за последние полвека цикличность метеоусловий на фоне прогрессирующего потепления.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.34.mchs.gou.ru (сайт Главного управления МЧС России по Волгоградской области).

2. www.yugmeteo.donpac.ru (сайт Северо-Кавказского межрегионального территориального управления Федеральной службы «Росгидромет»).

3. Брылёв В.А., Пряхин С.И. Экстремальные природно-климатические условия Волгоградской области за последние десятилетия и их геоэкологические последствия // Регион: эффекты глобальных изменений климата. – Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2012. – С. 118-122.

4. География и экология Волгоградской облети: учебное пособие, 4-е изд., перераб. и доп. / под общ. ред. В.А. Брылёва. – М.: Планета, 2019. – 192 с.

5. Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2010 г. / О.В. Горелов [и др.] // Комитет природных ресурсов. – Волгоград, 2011. – 352 с.

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ ЗА ПЕРИОД 2004-2017 ГГ.

М.С. Васильев
m.s.vasiliev@ikfia.ysn.ru

Институт космофизических исследований и аэрономии имени Ю.Г. Шафера СО РАН, Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, г.Якутск, Россия

Среднемесячные значения аэрозольной оптической толщи (АОТ) и параметра А получены по данным солнечного фотометра CIMEL CE-318 (ст. Якутск, АЭРОНЕТ - https://aeronet.gsfc.nasa.gov/) [2, 6]. В работе были использованы данные версии 3 (уровень 2).

Атмосферный аэрозоль принято делить на три класса в зависимости от размеров частиц (дисперсности): дымы (высокодисперсные 0,001 – 0,1 мкм); облака, туманы (средне-дисперсные 0,1 – 10 мкм); пыль (грубодисперсные, размеры частиц которых более 10

мкм) [5]. Параметр *A* характеризует дисперсность аэрозольных частиц. Значения, близкие к нулю, означают преобладание крупных частиц: в случаях, когда A>1 велика доля высокодисперсных частиц (наличие дыма) [1].

Так как среднестатистическое спектральное распределение АОТ для станций АЭРОНЕТ можно записать в виде АОТ (340) > АОТ (380) > … > АОТ (1020) > АОТ (1640) [4], то за рассматриваемый период при анализе спектрального распределения среднемесячных значений АОТ были обнаружены некоторые аномалии (табл. 1). В 2017 г. аномалии спектрального распределения среднемесячных значений АОТ наблюдались в феврале и июле (рис. 1), когда АОТ (380) < АОТ (440). Возможно, февральская аномалия связана с так называемым явлением «Арктической дымки» [7] (характеризующимся трансполярным выносом аэрозольных частиц в основном техногенного происхождения в зимне-весенний период в Арктику), а июльская – с дымами от лесных пожаров (июль). Среднемесячные значения параметра *A* (500/870 *нм*) за весь период наблюдения на солнечном фотометре CIMEL CE-318 в 2017 г. находились в пределах от 1,21 до 1,37 *нм*.

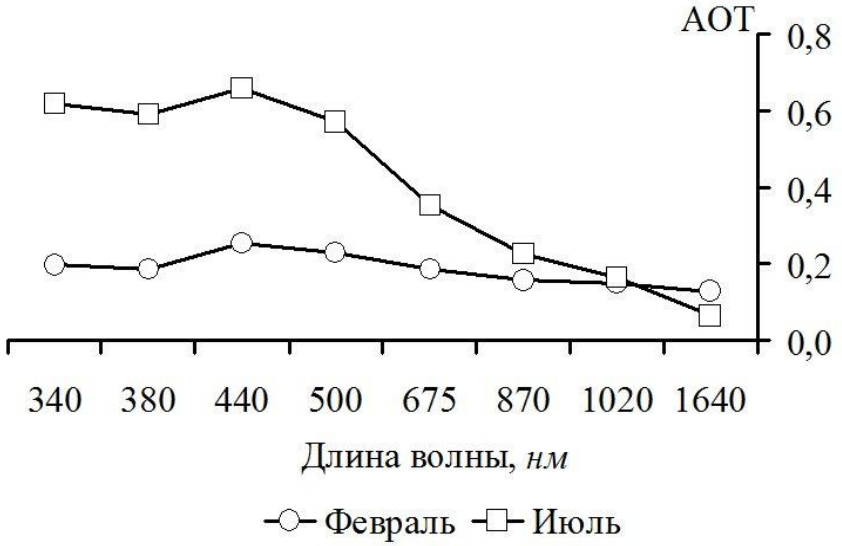


Рис. 1. Аномальное спектральное распределения АОТ в феврале и июле 2017 г.

Наблюдаемое спектральное распределение среднемесячных значений АОТ в отсутствии аномалий за период апрель-октябрь 2014 г. (табл.) представлено на рис. 2.

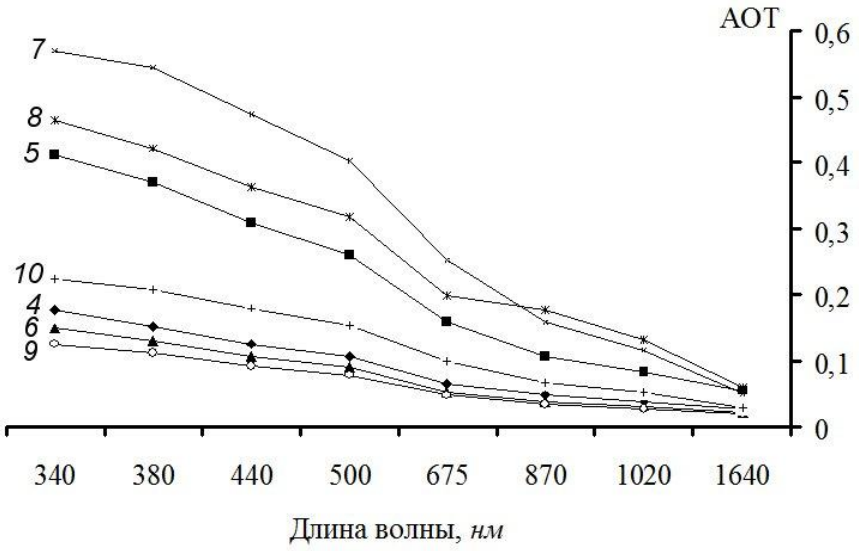


Рис. 2. Спектральное распределения АОТ за период апрель-октябрь 2014 г., где цифрами указаны номера месяцев

Таблица 1. Аномалии спектрального распределения среднемесячных значений АОТ по данным CIMEL CE-318 (*Version 3, AOT Level 2.0*) за период 2004-2017 гг., где пустые ячейки означают отсутствие аномалии

Год	Период наблюдения (CIMEL CE-318)	Период наблюдаемой аномалии спектрального распределения АОТ	Характер аномалии спектрального распределения АОТ (длина волны, нм)	*Диапазон среднемесячных значений параметра Ангстрема (500/800 нм) за весь период наблюдения*
2004	Май-Октябрь	-	-	от 1,32 до 1,73
2005	Май-Ноябрь	Июль, Октябрь, Ноябрь	AOT(440) < AOT(500), AOT(380) < AOT(440), AOT(440) < AOT(500)	от 1,34 до 1,75
2006	Март-Апрель, Июнь-Ноябрь	Апрель, Ноябрь	AOT(340) < AOT(380), AOT(340) < AOT(380) < AOT(440)	от 1,07 до 1,75
2007	Апрель-Сентябрь	-	-	от 1,40 до 1,66
2008	Май-Ноябрь	Май, Ноябрь	AOT(440) < AOT(500), AOT(380) < AOT(440)	от 1,06 до 1,65
2009	Январь-Сентябрь	-	-	от 0,78 до 1,77
2010	Март-Октябрь	-	-	от 1,03 до 1,65
2011	Апрель-Ноябрь	-	-	от 1,28 до 1,99
2012	Февраль-Июль, Сентябрь	-	-	от 1,28 до 1,86
2013	Март-Октябрь	-	-	от 0,99 до 1,61
2014	Апрель-октябрь	-	-	от 1,53 до 1,73
2015	Май-Ноябрь	Август	AOT(440) < AOT(500)	от 1,34 до 1,71
2016	Март-Октябрь	Август, Сентябрь	AOT(340) < AOT(380)	от 1,18 до 1,63
2017	Февраль-Сентябрь	Февраль, Июль	AOT(380) < AOT(440)	от 1,21 до 1,37

В целом анализ основных оптических характеристик (АОТ и *A*), в основном, при отсутствии данных в конце и начале зимы за период 2004-2017 гг. не позволил выявить явные закономерные фазы аномалий спектрального распределения среднемесячных значений АОТ по сезонам года. Тем не менее, можно говорить о некой закономерности в начале – май, середине – июль-август и конце – сентябрь-октябрь пожароопасного сезона в Якутии [3], а также в начале (ноябрь) и конце (февраль) зимы.

Представляет интерес более детального анализа проявления аномалий в спектральном распределении АОТ. В связи, с чем необходимо привлечение разносторонней информации: данных метеорологических станций, модели прямых и обратных траекторий распространения воздушных масс (HYSPLIT, http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php), автоматических газоанализаторов, информации об очагах горения лесного массива (данные системы FIRMS, https://earthdata.nasa.gov/data/near-real-time-data/firms/active-fire-data) и т.п.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации бюджетной темы II.16.1.7. 0375-2018-0004

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев С.Ф. Сезонные изменения влагосодержания и параметра Ангстрема в Душанбе по данным АЭРОНЕТ / С.Ф. Абдуллаев, А.Н. Махмудов, В.А. Маслов, Б.И. Назаров, М.И. Ходжахон // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2015. – Т. 58. – № 1. – С. 49-56.

2. Васильев М.С. Сравнительный анализ оптически активных компонент атмосферы по данным дистанционного зондирования над Центральной Якутией / М.С. Васильев // Вестник СВФУ. – 2018. – № 2 (64). – С. 52-62.

3. Васильев М.С. Исследование возможных причин возникновения лесных пожаров в Якутии по данным дистанционных наблюдений / М.С. Васильев, Р.Р. Каримов // В мире научных открытий. – 2014. – № 4 (52). – С. 161-170.

4. Калинская Д.В. Исследование особенностей оптических характеристик пылевого аэрозоля над Черным морем / Д.В. Калинская // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ НАН Украины. – 2012. – Вып. 26(2). – С. 151-162.

5. Чекман И.С., Сыровая О.О., Андреев С.В., Макаров В.А. Аэрозоли – дисперсные системы / И.С. Чекман, О.О. Сыровая, С.В. Андреев, В.А. Макаров // Монография. – Х: «Цифровая друкарня». – 2013. – № 1. – 100 с.

6. Dubovik O. Accuracy assessments of aerosol optical properties retrieved from Aerosol Robotic Network (AERONET) Sun and sky-radiance measurements / O. Dubovik, A. Smirnov, B.N. Holben, et al. // J. Geophys. Res. – 2000. – V. 105(D8). – № 4. – P. 9791-9806.

7. Shaw G.E. The Arctic Haze Phenomenon / G.E. Shaw // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1995. – V. 76. – P. 2403-2414.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ЛАНДШАФТОВ В КОТЛОВИНАХ БАЙКАЛЬСКОГО ТИПА

Н.Н. Воропай, О.В. Василенко, М.В. Киселев
voropay_nn@mail.ru

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г.Томск, Россия
Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, г.Иркутск, Россия

Интенсивность и направленность многих природных процессов происходит в результате глобального изменениях климата. Согласно данным инструментальных измерений, начиная с середины 70-хх гг. XX века наблюдаются наиболее интенсивные глобальные изменения климата, которые проявляются и на региональном уровне [IPCC, 2013; Оценочный…, 2014]. Горные районы занимают более 50% территории РФ и обладают многообразием природных ресурсов. Для рационального и экономически эффективного их использования, стратегического планирования устойчивого развития регионов, включающих горные области, требуются подробные исследования. В настоящий момент существует недостаток актуальной фактической информации о климатических изменениях в горных районах, т.к. плотность сети метеостанций не позволяет получить достоверную информацию в условиях сложного рельефа.

В качестве модельных территории исследований выбраны ветвь Тункинских межгорных котловин (на стыке хребтов Тункинские гольцы и Хамар-Дабан)и Байкальская котловина. Территория относится к зоне островного распространения многолетнемерзлых толщ и характеризуется высокой континентальностью климата, большими суточными и годовыми амплитудами температур, разнообразием ландшафтных условий (от степных до горнотаежных и гольцовых), форм рельефа и почвообразующих пород.

Сотрудниками Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН в рамках комплексных географических исследований в 2007 г. организован мониторинг природно-климатических характеристик ландшафтов в котловинах Байкальского типа (Тункинская, Мондинская, Байкальская). Площадки наблюдения расположены в диапазоне высот 450-3500 м над ур.м. В автоматическом режиме с шагом 1 час проводятся наблюдения за тем-

пературой и влажностью воздуха (68 площадок), температурой и влажностью почвы от поверхности до глубины 10 м (23 площадки). Для измерения используются Атмосферно-почвенные измерительные комплексы (производство ИМКЭС СО РАН), логгеры для измерения температуры и влажности воздуха (DS1922 и DS1923), автоматический измеритель влажности почвы TRIME-PICO32. Создана ежегодно пополняющаяся база данных метеорологических характеристик. В процессе работы проведена оценка качества информации, получаемой с помощью автоматического оборудования. Показана корректность его использования, путем сравнения данных автоматических измерений и данных стандартных метеорологических приборов, используемых на метеорологических станциях Росгидромета [3].

Влияние ландшафтных характеристик, в первую очередь высотной поясности, на температурно-влажностный режим проявляется в средних месячных и средних годовых значениях метеорологических величин. При рассмотрении данных срочных наблюдений контрасты становятся более выраженными. Различия между средними температурами на площадках, расположенных на склоне, в отдельные месяцы не превышают 6-7°С. При этом более контрастные температурные условия, наблюдаются в нижней части склона [1, 5]. Согласно результатам картографирования поля температуры воздуха за отдельные месяцы, степные ландшафты и сосновые леса, расположенные в днище котловины характеризуются относительно низкими температурами в холодный период года и высокими – в теплый, в пределах горнотаежных и гольцовых ландшафтах бортов котловины наблюдается обратная картина [6, 7].

Проведены расчеты вертикального градиента температуры воздуха на склонах котловин. В результате чего дана оценка характеристик температурных инверсий – уникального по мощности явления на территории Восточной Сибири. Практически круглогодично на склонах хребтов наблюдаются температурные инверсии. Максимальная продолжительность (до 12 дней), повторяемость (до 97%), вертикальный градиент (до -11,7 °С / 100 м), высота инверсионного слоя (до 1100 м) характерны для холодного времени года.

Особого внимания заслуживает мониторинг температуры и влажности почв, организованный на естественных и антропогенно нарушенных участках, на которые в разное время оказывалось антропогенное воздействие: нарушение естественного почвенного покрова, сведения лесных массивов, частичное или полное уничтожение лесных массивов пожарами, создание осушительных каналов[4]. В результате исследования получено, что почва на антропогенно нарушенных минеральных участках лучше прогревается и быстрее остывает, чем на естественных участках. Глубина проникновения изотермы +10°С в среднем больше на 50 см на антропогенно нарушенных участках. Однако высокая густая трава иногда оказывает сильный теплоизолирующий эффект и может воздействовать аналогично лесному массиву. В холодный период отсутствует четкая взаимосвязь между глубиной промерзания и лесным покровом. Однако наибольшие отрицательные температуры наблюдаются в основном на антропогенно нарушенных участках. На органических почвах глубина промерзания и величина отрицательных температур напрямую связана с уровнем болотных вод. Полученные данные измерения позволяют проводить верификацию результатов климатического моделирования и дистанционного зондирования (космоснимки). Наилучшая сходимость рядов отмечается на открытых умеренно-увлажненных участках [2].

Данные микроклиматических наблюдений позволяют детально изучить температурно-влажностный режим ландшафтов с учетом высотной поясности, экспозиции и крутизны склонов в течение года. Полученные уникальные данные наблюдений позволят уточнить климатическое описание территории исследования, опирающееся в настоящее время в основном на данных метеорологических станций, сеть которых не охватывает горные районы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17–05–00400)

ЛИТЕРАТУРА

1. Bilichenko I.N. Landscape and Climate Studies of Mountain Areas of the Baikal Natural Territory / I.N. Bilichenko, N.N. Voropay // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 211 (2018) 012046 doi:10.1088/1755-1315/211/1/012046.

2. Borodina I.A. Evaluation of satellite data on soil moisture in the south-west region of the Baikal / I.A. Borodina, L.I. Kizhner, **N**.N. Voropay, N.N. Bogoslovskiy, S.I. Erin // SPIE Journal – 2016. Proceedings Volume 10035, 22nd International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics; 100356I (2016).

3. Kiselev M.V. Automatic meteorological measuring systems for microclimate monitoring / M.V. Kiselev, N.N. Voropay, E.A. Dyukarev, S.A. Kurakov, P.S. Kurakova, E.A.Makeev // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 190 (2018) 012031 doi :10.1088/1755-1315/190/1/012031.

4. Kiselev M.V. Annual dynamics of hydrothermal conditions of natural and anthropogenically transformed soils / M.V. Kiselev, N.N. Voropay and A.A. Cherkashina // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 211 (2018) 012012 doi:10.1088/1755-1315/211/1/012012.

5. Василенко О.В. Особенности формирования климата котловин Юго-Западного Прибайкалья / О.В. Василенко, Н.Н. Воропай // Известия РАН. Серия географическая. – 2015. – № 2. – С. 98-104.

6. Василенко О.В. Картографирование поля температуры воздуха Тункинской котловины на ландшафтной основе / О.В. Василенко, Е.А. Истомина, Н.Н. Воропай // География и природные ресурсы. – 2017. – №2. – С. 182-189.

7. Воропай Н.Н. Исследования температурного поля Тункинской котловины с использованием космических снимков Landsat / Н.Н. Воропай, Е.А. Истомина, О.В. Василенко // Оптика атмосферы и океана.– 2011. – Том 24, № 01. – С. 67-73.

ОЦЕНКА ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.Н. Воропай, А.А. Рязанова, Е.А. Дюкарев
voropay_nn@mail.ru

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г.Томск, Россия
Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, г.Иркутск, Россия

Основными характеристиками климата, изменение которых является индикатором изменения засушливости/переувлажнения территории, являются температура воздуха и сумма атмосферных осадков, которые находятся в прямой зависимости от изменения глобальных климатообразующих факторов, в первую очередь от изменения циркуляционных условий.

В работе рассмотрено изменение гидротермических условий на территории Томской области за инструментальный период наблюдения. Рассчитаны наиболее часто используемые российские (гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова – ГТК, индекс засушливости Д.А. Педя – S) и международные (стандартизированный индекс осадков – SPI, стандартизированный индекс осадков и испаряемости – SPEI) индексы. При сравнении гидротермических условий в разных ландшафтах корректнее использовать нормированные показатели, в связи с чем, в работе использован не ГТК, а его нормированная аномалия. При определении засухи учитывают ее интенсивность, согласно классификации (табл. 1).

Таблица 1. Классификация засух на основе индексов засушливости ГТК, Педя, SPI и SPEI

Интенсивность засухи	**Нормированная аномалия ГТК**	**Индекс Педя**	**SPI/SPEI**
слабая	$-1{,}25<ГТК_{а\ норм}\leq-1$	$1 \leq S < 2$	$-2 < SPI/SPEI \leq -1$
умеренная	$-1{,}5<ГТК_{а\ норм}\leq-1{,}25$	$2 \leq S < 3$	$-3 < SPI/SPEI \leq -2$
сильная	$-1{,}75<ГТК_{а\ норм}\leq-1{,}5$	$3 \leq S < 4$	$-4 < SPI/SPEI \leq -3$
экстремальная	$ГТК_{а\ норм}\leq-1{,}75$	$S \geq 4$	$SPI/SPEI \leq -4$

В статье в качестве индикатора растительного покрова использован нормализованный разностный индекс растительности (NDVI), т.к. на основании анализа данных наземных наблюдений на сети станций FLUXNET и спутниковых данных сенсора MODIS[1] показано, что именно NDVI дает наилучшие результаты по сравнению с другими индексами растительности в оценке суммарного экосистемного обмена для различных типов растительности.

Проведено сравнение гидротермических индексов между собой и с характеристиками растительности, для определения которых использован нормализованный разностный индекс растительности (NDVI). Оценена связь изменения гидротермических условий на территории и индексов атмосферной циркуляции. Рассчитаны основные статистические характеристики, тенденции изменения рассматриваемых параметров.

В качестве исходной информации использованы многолетние ряды температуры воздуха и сумм атмосферных осадков на метеорологических станциях Томской области за 1967-2017 гг. (данные Росгидромета [4]), данные реанализа ERA Interim Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts – ECMWF) (Dee et al, 2011) в узлах сетки с шагом 0,75×0,75° за период 1979-2017 гг., данные MODIS (MCD12C1: MODIS/Terra and Aqua Combined Land Cover Type CMG Yearly Global) первого типа (Type 1) с 2001 по 2017 с пространственным разрешением 0,05×0,05° [2], материалы типизации циркуляции атмосферы Северного полушария, разработанной под руководством Б.Л. Дзердзеевского [6].

Основным инструментом в работе для расчёта гидротермических индексов является ранее разработанная веб-ГИС «КЛИМАТ» [5] (http://climate.scert.ru), дополненная расчетными модулями по расчету коэффициентов корреляции [3]. Получены архивы рассчитанных характеристик, а также наборы картографических слоёв, на основе которых проводился дальнейший анализ гидротермических условий.

Оценка влияния гидротермических условий на природные комплексы проводилась с учетом карты подстилающей поверхности, представленной 15-ю типами. Карта – продукт MODIS, верифицированный по данным натурных наблюдений и экспертной оценки.

На большей части рассматриваемой территории наблюдается статистически значимое повышение температуры воздуха при незначимом изменении месячных сумм атмосферных осадков. Тренды гидротермических индексов в летние месяцы статистически не значимы. В последние годы наблюдается увеличение повторяемости экстремальных явлений, как засух, так и периодов переувлажнения. Корреляционный анализ подтвердил синхронность изменения рассматриваемых индексов засушливости. Наиболее тесные связи наблюдаются в период активной вегетации (июнь-август). Однако выявленные экстремальные события в отдельные годы (интенсивность, продолжительность засухи) с помощью указанных индексов не всегда совпадают.

Одним из факторов, повлиявшим на изменение повторяемости экстремальных гидротермических событий, является изменение продолжительности групп циркуляции. Последние 30 лет характеризуются рост продолжительности меридиональных процессов. В 90-е гг. XX века наблюдалось резкое увеличение выходов циклонов из низких широт в высокие, сменившееся в начале XX века повышением повторяемости блокирующих процессов. Все это время наблюдается ослабление зональной циркуляции атмосферы [6].

Сравнение индексов засушливости и NDVI с помощью корреляционного анализа не принесло ожидаемых результатов – взаимосвязи оказались в большинстве случаев статистически незначимыми. Причем, это утверждение справедливо, как для случаев без сдвига по времени (оба индекса за один месяц – гидротермический и NDVI), так и со сдвигом от 1 до 4 месяцев – отклик NDVI на предшествующие гидротермические условия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ
в рамках научного проекта № 18-45-700015

ЛИТЕРАТУРА

1. Balzarolo M. Matching the phenology of Net Ecosystem Exchange and vegetation indices estimated with MODIS and FLUXNET in-situ observations / M. Balzarolo, S. Vicca, A.L. Nguy-Robertson, D. Bonal, J.A. Elbers, Y.H. Fu, T. Grünwald, J.A. Horemans, D. Papale, J. Peñuelas, A. Suyker, F. Veroustraete // Remote Sensing of Environment,Volume 174,2016,Pages 290-300.

2. Friedl M., Sulla-Menashe D. (2015). MCD12C1 MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 0.05Deg CMG V006 (Data set). NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/MODIS/MCD12C1.006.

3. Voropay N.N. A comparative assessment of the aridity indices for analysis of the hydrothermal conditions / N.N. Voropay, A.A. Ryazanova // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 190 (2018) 012041 doi : 10.1088/1755-1315/190/1/012041 http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/190/1/012041/pdf

4. Булыгина О.Н. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России (Электронный ресурс) / О.Н. Булыгина, В.М. Веселов, В.Н. Разуваев, Т.М. Александрова // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549 – Режим доступа: http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#описание-массива-данных

5. Гордов Е.П. Развитие информационно-вычислительной инфраструктуры для современной климатологии / Е.П. Гордов, И.Г. Окладников, А.Г. Титов, Н.Н. Воропай, А.А. Рязанова, В.Н. Лыкосов // Метеорология и гидрология. – 2018. – №11. – С. 20-30.

6. Колебания циркуляции атмосферы Северного полушария в XX – начале XXI века. http://atmospheric-circulation.ru/

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГА РОССИИ

Е.В. Вышкваркова
aveiro_7@mail.ru

Институт природно-технических систем, г.Севастополь, Россия

Наблюдаемая в мире тенденция к потеплению особенно заметна с 1970-х годов XX-го столетия. В отличие от тенденций потепления, характерных для индексов экстремальных температур, большинство индексов экстремальных осадков показывают изменения, которые пространственно и временно (сезонно) не согласованы. Во многих регионах мира обнаружены тенденции к росту частоты и интенсивности экстремальных осадков [1]. Данная работа направлена на исследование режима экстремальных осадков на территории юга России.

Данные и методы. В работе использованы ежедневные суммы осадков с 45 гидрометеорологических станций, расположенных на территории юга России за период 1961 – 2018 гг. Данные взяты с сайта ВНИИГМИ-МЦД (www.meteo.ru). Для оценки экстре-

мальных событий использованы индексы экстремальных осадков, предложенные международной группой CCl/CLIVAR Expert Team for Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) (http://www.clivar.org/organization/etccdi). Контроль качества и расчет индексов проведен с использованием программного обеспечения RClimDex [2]. Эти индексы широко используются для анализа исторических, настоящих или будущих экстремальных явлений и оценке их сдвигов на локальном, региональном и глобальном масштабах. Исследуемый период был разбит на два 30-летних периода (1961 – 1990 и 1991 – 2018 гг.) с целью выявления изменений режима экстремальных осадков. Коэффициенты годовых трендов и их статистическая значимость на 95% уровне значимости для климатических индексов рассчитаны на основе непараметрического критерия Манна – Кендалла.

Результаты. Сравнение двух периодов дало следующие результаты. Для индексов характеризующих «сухие» и «влажные» периоды (CDDи CWD соответственно), а также для среднегодовых сумм осадков (индекс PRCPTOT) отмечается положительная разность величин индексов для всего региона в современный климатический период (1991 – 2018), то есть величины индексов увеличились по отношению к климатической норме (1961 – 1990). Для остальных индексов характерно уменьшение их значений для территории Крымского полуострова в современный период (1991 – 2018). Пространственное распределение трендов неоднородно по исследуемой территории. Следует выделить положительные статистически значимые ($p< 0.05$) тенденции индекса CWD(последовательных влажных дней) для Крымского полуострова, а также для индекса PRCPTOT(годовые суммы осадков) для побережья Каспийского моря и территории Прикаспийской низменности. Для индексов частоты (R10, R20) и интенсивности (RX1day, RX5day и SDII) экстремальных осадков характерны отрицательные тренды для Крымского полуострова, однако не все они статистически значимы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-35-00325 и № 18-45-920063

ЛИТЕРАТУРА

1. Mathbout S., Lopez-Bustins J.A., Roye D., Martin-Vide J., Bech J., Rodrigo F.S. Observed changes in daily precipitation extremes at annual timescale over the Eastern Mediterranean during 1961 – 2012 // Pure Appl. Geophys. – 2018. – 175. – P. 3875–3890.

2. Zhang X, Yang F (2004) RClimDex (1.0) User Guide. Climate Research Branch Environment Canada, Downsview (Ontario, Canada). – p. 22.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

С.П. Гончаров, Н.Б. Максимова
goncharov.semyon93@mail.ru

Алтайский государственный университет, г.Барнаул, Россия

Климат на всей территории Российской Федерации подвержен значительным изменениям, и согласно прогнозным моделям, данные изменения будут сохраняться в будущем [5]. Это подтверждено результатами исследований большого количества ученых, занимающихся проблемой изменения климата. Рост приземной температуры воздуха, вследствие глобального потепления, на территории Российской Федерации является одним из наибольших на планете, с 1907 по 2006 гг. он составил 1,29°С, тогда как в среднем по планете рост составлял 0,75 °С 2].Обширная территория и наличие различных климатических зон также привносит региональный характер в климатические изменения, происходящие на территории России, в некоторых случаях региональные изменения могут

значительно отличаться от обобщенных глобальных данных. Так, для таких регионов как Западная Сибирь и Забайкалье, рост температуры воздуха за тот же период (1907-2006 гг.) составил 1,50°С и 1,65°С соответственно [4-5].

По данным Росгидромета, за период 1976-2012 гг., на всей территории России происходил рост годовых сумм осадков, в среднем 0.8 мм/месяц за 10 лет. Причем максимальное внутригодовое увеличение приходится на весенний период времени 1.6 мм/месяц за 10 лет. За этот же период времени также выросла длительность выпадения интенсивных осадков. На территории Российской Федерации в целом превалирует тенденция роста годового количества осадков, в пределах 2%. Только в ряде регионов Сибири, Дальнего Востока, и Северо-Кавказского ФО рост превышает 5% за 10 лет, наибольший рост характерен для весенних осадков: 5.8%/10 лет [6-7].

С 1964 по 2017 годы на территории Алтайского края произошли значительные климатические изменения, которые повлияли на продолжительность вегетационного периода, которая увеличилась из-за сдвига дат перехода температуры воздуха выше 10 °С к более ранним датам весной и к более поздним датам осенью[1].Несмотря на это, термический режим и режим увлажнения на территории края полностью не изучены. Для более достоверной оценки климатических изменений на региональном уровне, необходим полномерный анализ данных региональной сети метеорологических станций, так как данные инструментальных гидрометеорологических наблюдений являются наиболее надежным источником информации. В связи с этим, целью данной работы является анализ термического режима и режима увлажнения на территории Алтайского края за последние 50 лет, а также оценка трендов многолетней динамики приземной температуры воздуха и количества атмосферных осадков.

Исследования проводились на основе архивных данных (1965-2015 гг.) Алтайского ЦГМС. В расчетах использовались данные о температуре воздуха и количестве осадков с 31 метеорологической станции, расположенных в пределах Алтайского края. Пункты наблюдений расположены достаточно равномерно по территории края, что создает условия для пространственного обобщения результатов анализ. В работе использовались методы математической статистики, анализа, линейного тренд-анализа, картографический метод и метод интерполяции. Также использовался статистический критерий Смирнова-Граббса для оценки данных на грубые ошибки.

Для оценки режима увлажнения были произведены расчеты среднемноголетнего количества атмосферных осадков (норм), по всем метеостанциям Алтайского края, климатологические нормы ориентированы на среднее значение климатического элемента за определенный период времени. А также были рассчитаны аномалии количества атмосферных осадков за год, на основе которых были вычислены линейные тренды для двух временных периодов, 1965-2015 гг., и 1980-2015 гг., отражающие рост количества атмосферных осадков в многолетней динамике [3].

Для оценки термического режима на территории Алтайского края произведены расчеты климатических норм среднегодовой температуры воздуха по всем метеостанциям, климатологические нормы получены путем осреднения среднегодовых температур воздуха за период 1965-2015 гг. Также были вычислены коэффициенты линейного тренда осредненных среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха за 1965-2015 гг., и 1980-2015 гг., и вклад тренда в полную дисперсию. Коэффициент линейного тренда за исследуемый период времени использовался в качестве меры интенсивности климатических изменений.

Режим увлажнения на территории края крайне неоднородный, среднемноголетнее значение (климатическая норма) суммы атмосферных осадков за год составляет 420 мм (Табл. 1). Климатическая норма атмосферных осадков изменяется по территории региона почти в 2,5 раза: от 686 мм на юго-востоке (предгорья), до 274 мм на западе края (зона степей).Такие колебания в значениях климатических норм объясняются значительной неоднородностью подстилающей поверхности(рельефа), а также особенностями атмосферной циркуляции на территории региона.

Таблица 1. Статистические характеристики временных рядов среднемноголетнего количества осадков и трендов аномалий количества осадков

Метеостанции	Среднее значение (мм)	Коэффициент тренда (мм/месяц/10 лет)		Вклад тренда в дисперсию (%)	
		1965-2015 гг.	1980-2015 гг.	1965-2015 гг.	1980-2015 гг.
Алейск	440	0,45	1,18	0,76	2,39
Баево	331	0,40	0,05	0,86	0,01
Барнаул	424	0,34	0,24	0,71	0,18
Б. Зональная	557	0,42	1,04	0,72	1,24
Благовещенка	274	-0,26	0,39	0,58	0,65
Волчиха	347	0,09	0,20	0,12	0,13
Горняк	397	0,32	0,52	0,63	1,01
Заринск	456	1,77	2,84	14,49	16,40
Змеиногорск	686	-0,11	0,48	0,14	0,36
Камень-на-Оби	333	0,58	0,13	2,47	0,06
Ключи	274	1,02	0,72	12,53	3,05
Краснощеково	463	1,11	2,26	5.0	8,43
Кулунда	319	1,26	0,59	13,04	1,14
Мамонтово	398	1,44	1,40	11,30	5,23
Поспелиха	381	1,20	1,30	8,65	5,29
Ребриха	398	-0,20	0,51	0,19	0,54
Родино	335	0,20	0,18	0,32	0,17
Рубцовск	340	-0,27	0,19	0,52	0,13
Славгород	318	0,22	0,14	0,16	0,07
Солонешное	577	0,55	1,48	0,83	2,65
Тальменка	512	0,73	1,18	1,70	2,53
Тогул	548	1,70	2,98	14,38	17,28
Троицкое	574	0,97	1,25	5,02	3,41
Угловское	295	0,34	0,45	0,86	0,67
Усть-Калманка	441	0,14	1,57	0,41	5,68
Усть-Пристань	457	-0,39	1,11	2,66	2,34
Хабары	340	0,21	0,20	0,24	0,09
Целинное	442	0,81	1,45	2,98	4,95
Чарышское	606	0,37	2,37	0,45	8,87
Шелаболиха	358	0,39	0,12	0,95	0,05
Шипуново	417	1,02	1,66	2,27	5,04
Среднее по краю	420	0,56	0,97	3,1	4,04

Увеличение атмосферных осадков в частности характерно для наветренного склона Бийско-Чумышской возвышенности (Бийск-Занальная, Троицкое), со значительным уменьшением на подветренном склоне и в долине реки Чумыш (Заринск). Режим увлажнения предгорий Алтая и Салаира характеризуется значительным количеством дней с выпадением осадков, вследствие чего здесь отмечается наибольшее количество осадков за год, которое возрастает с запада на восток (Змеиногорск). Это достаточно отчетливо видно при анализе карты-схемы пространственного распределения норм годовых осадков (рис. 1).

Анализ 50-ти летних трендов годовых сумм осадков позволяет сделать несколько выводов. Во-первых, для большей части территории Алтайского края тренд является положительным, что означает о росте количества осадков за 1965-2015 гг. В среднем по краю коэффициент линейного тренда составил 0,56 мм/мес./10 лет. Во-вторых, имеется ряд трендов, статистическая значимость которых мала, и ряд отрицательных трендов. Что указывает на крайне низкий рост, или отсутствие роста как токового. В-третьих, вклад трендов в дисперсию незначителен. Анализ коэффициентов линейных трендов периода 1980-2015 гг. показывает гораздо лучшие результаты. Для всей территории региона характерны положительные коэффициенты линейного тренда годовых сумм осадков, но

также существуют тренды, статистическая значимость которых не значительна, хотя они и являются положительными.

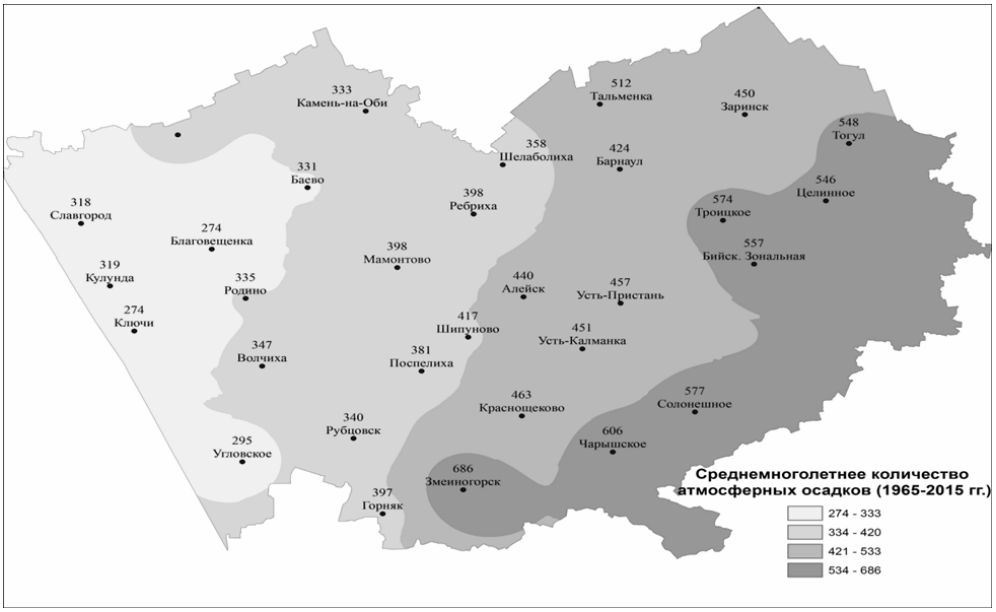


Рис 1. Пространственное распределение климатических норм годовых сумм осадков (в мм)

При сравнении трендов двух временных периодом можно отметить, что с 1980 по 2015 гг. наблюдается более значительный рост количества атмосферных осадков, и этот рост характерен для всех пунктов наблюдения. Где-то этот рост статистически мал, но существует, в отличие от трендов 1965-2015 гг. И в среднем по краю рост количества атмосферных осадков за период 1980-2015 гг. на 0, 41 мм/мес./10 лет больше, нежели за 50-ти летний период. Это позволяет сделать вывод о более значительном росте количества атмосферных осадков с 1980-х годов, это видно при построении 11 летней сглаживающей кривой (рис. 2).

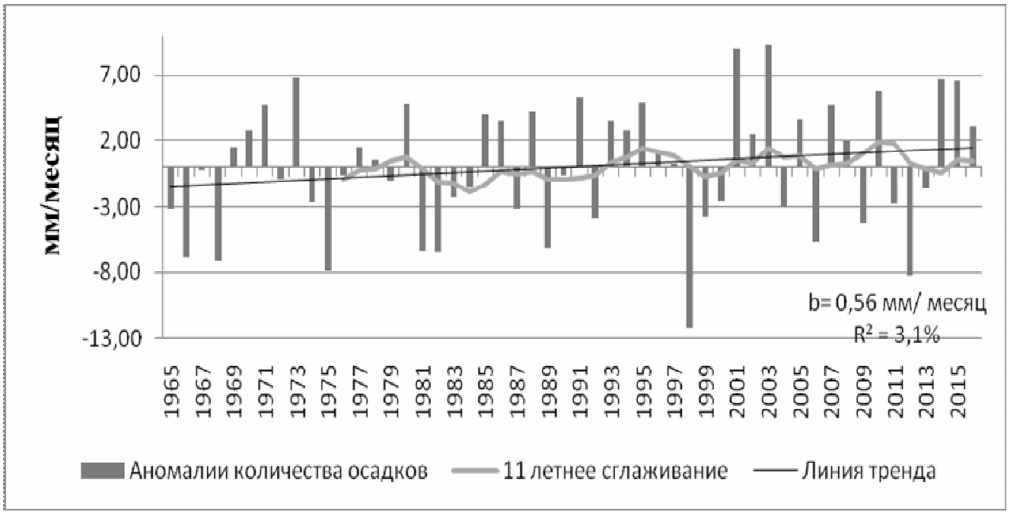


Рис 2. Аномалии годового количества осадков (мм/мес.), осредненные по территории Алтайского края, относительно среднего за 1965-2015 гг. Кривая соответствует 11-летнему сглаживанию; b - коэффициент тренда (мм/месяц/10 лет), D - вклад тренда в дисперсию (%)

За период 1965-2015 гг. рост осадков достаточно неоднороден, существуют пики роста и уменьшения сумм годовых осадков. В среднем по краю, за 1980-2015 гг., коэффициент линейного тренда составляет 0,97 мм/месяц/10 лет (табл. 1), а вклад тренда в суммарную дисперсию составляет 4,04%.

Пространственное распределение коэффициентов тренда по территории края еще более неравномерное, чем распределение климатических норм годовых сумм осадков. За период 1965-2015 гг. устойчивый и достоверный рост годового количества атмосферных осадков наблюдается в нескольких районах Алтайского края: на северо-востоке (метеостанции Заринск, Тогул, Троицкое, Целинное), а также в центральной части края, со смещением на юго-восток (метеостанции Мамонтово, Шипуново, Поспелиха, Краснощеково). За 1980-2015 гг. наиболее заметен рост годовых сумм осадков на северо-востоке края (метеостанции Заринск, Тогул, Целинное). Причем рост оказался очень значительным, до 1,1 мм/месяц/10лет, по отношению к периоду 1965-2015 гг. В центральной части региона также сохраняет рост годовых сумм осадков. Высокие значения коэффициентов линейного тренда теперь также были присущи метеостанциям на юго-востоке Алтайского края (Краснощеково и Чарышское - 2,26 и 2,37 мм/месяц/10 лет соответственно). Приведенные данные указывают на то, что в предгорьях Алтая, на северо-востоке, востоке и юго-востоке края происходит прирост количества выпадающих осадков. Незначительный рост сумм годовых осадков отмечается на западе и юго-западе края.

Термический режим на территории региона также неоднороден, как и режим увлажнения, пространственное распределение климатических норм постепенно изменяется с севера на юг (Рис. 3).

Наименьшие климатические нормы присущи северной части Алтайского края (Тальменка и Камень-на-Оби). При движении на юг среднемноголетние температуры возрастают по всей территории края, но наиболее ярко это прослеживается в западной (степной) и центральной (леса-степной) зонах. Максимальные значения отмечены на метеостанциях юго-западной части региона: Угловское 3,6^{o}С и Горняк 3,2^{o}С. Климатические нормы среднегодовой температуру воздуха изменяются приблизительно в три раза - от 3,6^{o}С на юго-западе, до 1,3^{o}С на севере края. В среднем для территории региона климатическая норма составила 2,47^{o}С (Таб. 2).

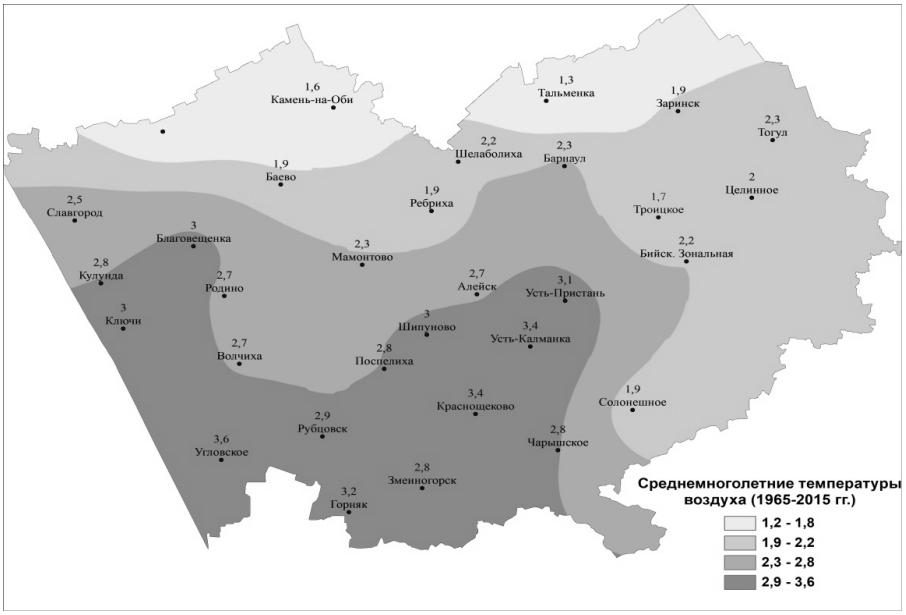


Рис. 3. Пространственное распределение климатических норм среднегодовой температуры воздуха (в ◦С)

Значительные перепады в термическом режиме по территории края связаны с рядом факторов: физико-географическое положение, значительная протяженность с юга на север и с запада на восток, в совокупности с изменениями подстилающей поверхности (от степных равнин до предгорий и гор), особенностями атмосферной циркуляции, формирующих мезоклимат. Высокие значения среднемноголетней температуры воздуха на западе, юго-западе и юге Алтайского края связаны с более южным географическим положением данных территорий, это степные районы, имеющие приграничное положение с Республикой Казахстан, через территорию которой из Средней Азии в Алтайский край

поступают прогретые воздушные массы. Низкие температуры на востоке и северо-востоке региона связаны в первую очередь с горными массивами, которые ограничивают поступление прогретых воздушных масс с юга, лесной растительный покров данный территорий также оказывает понижающий эффект на температуру приземного слоя воздуха.

В качестве меры интенсивности изменений температуры воздуха нами использовались линейные тренда осредненной температуры приземного воздуха. Коэффициенты линейных трендов были рассчитаны для 1965-2015 гг. и 1980-2015 гг. (табл. 2). Коэффициенты линейных трендов оказались положительными для всех пунктов наблюдения, и двух временных периодов. На всей территории Алтайского края наблюдается рост среднегодовой температуры воздуха. В среднем по краю коэффициент линейного тренда осредненных среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха а период 1965-2015 гг., составил 0,41 °С/10 лет, а за период 1980-2015 гг. - 0,15 °С/10 лет. При пересчете коэффициента тренда для периода с 1976 по 2006 г. полученное значение составило 0,43(°С/10 лет), что соответствует коэффициенту линейного тренда, полученному Росгидрометом для России за тот же период времени (0,43°С/10 лет) [6].

Таблица 2. Статистические характеристики временных рядов среднемноголетней температуры воздуха и линейных трендов осредненной температуры приземного воздуха территории Алтайского края

Метеостанции	Осредненная среднегодовая температура воздуха (°С)	Коэффициент тренда (°С/10 лет)		Вклад тренда в дисперсию (%)	
		1965-2015 гг.	1980-2015 гг.	1965-2015 гг.	1980-2015 гг.
Алейск	2,73	0,39	0,13	23,37	2,01
Баево	2,22	0,40	0,10	24,33	1,07
Барнаул	1,93	0,44	0,17	26,52	3,04
Б. Зональная	2,32	0,37	0,13	22,31	1,83
Благовещенка	2,95	0,48	0,17	29,85	3,07
Волчиха	2,19	0,41	0,17	22,99	2,69
Горняк	3,24	0,36	0,15	18,02	2,15
Заринск	1,90	0,40	0,13	24,50	1,84
Змеиногорск	2,82	0,38	0,15	21,30	0,91
Камень-на-Оби	1,58	0,39	0,15	22,67	2,30
Ключи	3,01	0,43	0,20	26,11	3,93
Краснощеково	3,35	0,40	0,06	19,79	0,35
Кулунда	2,83	0,45	0,20	28,40	2,31
Мамонтово	2,30	0,40	0,14	23,14	2,05
Поспелиха	2,80	0,46	0,16	27,78	2,68
Ребриха	1,85	0,31	0,13	16,09	1,68
Родино	2,72	0,44	0,16	25,70	2,60
Рубцовск	2,93	0,48	0,26	28,55	6,16
Славгород	2,45	0,43	0,20	28,72	4,57
Солонешное	1,88	0,33	0,11	18,52	1,34
Тальменка	1,16	0,40	0,13	23,01	1,74
Тогул	2,33	0,46	0,19	29,21	3,80
Троицкое	1,70	0,42	0,09	25,31	0,99
Угловское	3,69	0,48	0,20	28,09	3,56
Усть-Калманка	3,36	0,41	0,09	28,54	0,75
Усть-Пристань	3,08	0,42	0,18	29,93	3,47
Хабары	1,43	0,43	0,15	26,14	2,43
Целинное	1,98	0,35	0,17	19,27	2,69
Чарышское	2,77	0,36	0,14	21,36	2,19
Шелаболиха	2,19	0,46	0,22	29,65	4,87
Шипуново	2,95	0,40	0,09	28,62	0,05
Среднее по краю	2,47	0,41	0,15	24,77	2,42

В качестве меры существенности тренда приводится доля дисперсии климатической переменной, объясняемая трендом, выраженная в процентах от полной дисперсии климатической переменной за рассматриваемый период времени [6]. В среднем по краю за 1965-2015 гг. вклад тренда в суммарную дисперсию составляет 24,77%, что близко к средним данным по стране. За период 1980-2015 гг. вклад тренда в общую дисперсию значительно меньше – 2,42%.

Рост среднегодовой температуры воздуха по территории региона крайне неоднороден, имеются области с высокими и низкими значениями тренда. Наибольший рост температуры приземного воздуха происходит на западе и юго-западе края, 0,48 °С/10 лет (1965-2015 гг.), и 0, 26 °С/10 лет (1980-2015 гг.). Также есть очаги высокого роста на севере (Щелаболиха) и северо-востоке (Тогул), но данные пункты наблюдения немного выбиваются из общей тенденции близлежащих станций. Наименьший рост температуры характерен для юга и юго-востока края, в особенности для его предгорной части (Солонешное, Чарышское). Одновременно для двух временных периодов минимальный рост температуры воздуха также отмечается для метеостанций Ребриха и Барнаул. За 1980-2015 гг. минимальные коэффициенты тренда характерны еще для метеостанций Краснощеково, Троицкое и Усть-Калманка, 0,06, 0,09 и 0,09 °С/10 лет соответственно.

Подводя итоги можно сделать несколько заключений.

1. Изменчивость среднемноголетних сумм осадков за год, по территории Алтайского края очень велика.

2. На территории Алтайского края за период 1965-2015 гг. отмечена тенденция роста количества атмосферных осадков в многолетней динамике. В среднем по краю коэффициент линейного тренда составляет 0,56 мм/месяц за 10 лет, вклад тренда в суммарную дисперсию составляет 3,1%, однако, данный рост в пространственном распределении неоднороден.

3. Коэффициенты линейных трендов за период 1980-2015 гг. положительны для всех метеостанций, но статистическая значимость части из них мала. Пространственное распределение полученных коэффициентов, по территории края также неоднородно. В среднем по краю коэффициент линейного тренда за период 1980-2015 гг. составил 0,97 мм/месяц/10 лет.

4. Проведенный анализ, полученных результатов исследования не позволяет сделать определенный вывод о направленности изменений количества атмосферных осадков в целом по территории Алтайского края, однако в центральной части и на северо-востоке региона наблюдается стабильное увеличение количества осадков.

5. Климатические нормы температуры приземного слоя воздуха изменяются по территории Алтайского края почти в три раза.

6. Коэффициенты линейного тренда осредненной температуры приземного воздуха положительны для двух рассматриваемых периодов времени, что указывает на однозначный рост среднегодовой температуры воздуха на всей территории края, хотя для некоторых районов рост не значителен.

Таким образом можно говорить, что климатические изменения в Алтайском крае за последние 50 лет сопровождались ростом среднегодовой температуры воздуха и суммы осадков за год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Maximova N., Kantamaneni K., Morkovkin G., Arnaut D., Rice L. The Transformation of Agro-Climatic Resources of the Altai Region under Changing Climate Conditions// Agriculture, 2019. – 9(4), – 68.

2. Анисимов О.А., Белоруцкая М.А., Лобанов В.А. Современные изменения климата в области высоких широт Северного полушария // Метеорология и гидрология, 2003. – № 1. С. 18-30.

3. Дудник С.Н., Буковский М.Е., Шалагина А.Г. Динамика количества атмосферных осадков на территории Тамбовской области // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология , 2012 . – №2 . – С. 20-24.

4. Кабанов М.В. Некоторые закономерности климатических и экосистемных изменений в Сибири // Журнал Сибирского федерального университета. Биология, 2008. – Т. 1. № 4. – С. 312–322.

5. Мелешко В.П., Катцов В.М., Мирвис В.А., Говоркова В.А., Павлова Т.В. Климат России в XXI веке. Часть 1. Новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности его расчета // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 6. С. 5-19.

6. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2008. – Т. 1. – 228 с.

7. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Последствия изменений климата. – М.: Росгидромет, 2008. – Т. 2. – 288 с.

МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА ОСАДКОВ И ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

В.Т. Демихов, Д.И. Чучин
fir-sasha@yandex.ru

Брянский государственный университет, г.Брянск, Россия

В современных природных и хозяйственных условиях исключительно большое внимание уделяется проблеме глобального изменения климата. Это связано с усилением зависимости хозяйственной деятельности и условий проживания человека от климатических факторов. Установлено, что климат менялся как в геологическом, так и в историческом прошлом, но в последние столетия он стал более нестабильным по сравнению с предшествующим периодом. В связи с этим появляется все больше новых исследований, посвященных данной проблеме. Стоит отметить, что основная масса работ связана с оценкой глобальных климатических изменений. Колебания же климата в пределах небольших территорий рассматриваются в меньшей степени. Однако региональные и локальные климатические изменения могут существенно отличаться от глобальных [4].

Исследования, посвященные оценке изменений климата Брянской области, весьма ограничены и представлены несколькими статьями В. Т. Демихова с соавторами, в которых вопросы, касающиеся предмета настоящего исследования, затрагиваются с самых общих позиций, без должной глубины и детализации [3]. В связи со слабой изученностью проблемы изменений климата рассматриваемой территории и незначительностью опубликованных источников тема исследования является особенно актуальной.

Анализ многолетних рядов осадков на территории Брянской области не позволяет сделать однозначный вывод о направленности их изменений. В разных частях исследуемого региона тренды годовых сумм во 2-й половине XX–начале XXI вв. имеют свои особенности, отличаясь как по абсолютной величине, так и по знаку. Учитывая пространственные различия по знаку трендов, Брянская область разделена на 2 района: западный (положительные тренды) и восточный (отрицательные тренды). Тренды годовых сумм осадков в двух выделенных районах области характеризуются разнонаправленными тенденциями. В западном районе обнаруживается рост количества осадков, а в восточном — их снижение (различия в изменении осадков между районами достоверны на 95%-ном уровне, рис. 1).

Линейный тренд осредненных по западному району годовых сумм осадков составляет 21 мм/10 лет или 125 мм/60 лет. В восточном районе за 60 лет осадки уменьшились на 85 мм (тренд -14 мм/10 лет), а за последние 35 лет — на 95 мм (тренд -27 мм/10 лет).

Из приведенных значений следует, что в период интенсивного глобального потепления наблюдается усиление пространственных различий в изменении увлажненности в регионе вследствие роста по сравнению с интервалом 1955–2015 гг. противоположных по знаку трендов в разных частях исследуемой территории.

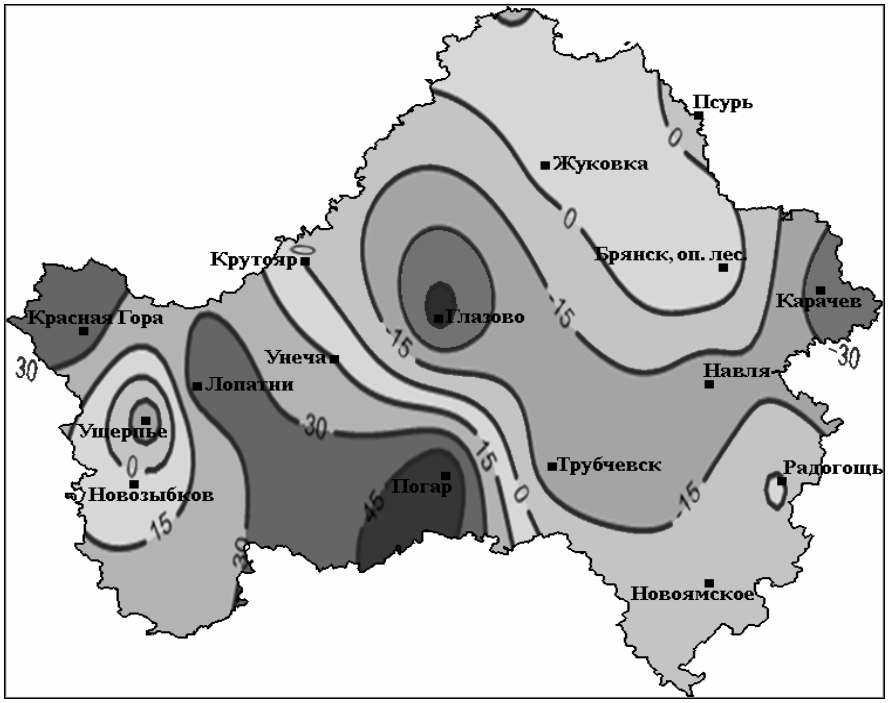


Рис. 1. Тренды годовых сумм атмосферных осадков на территории Брянской области, мм/10 лет [1]

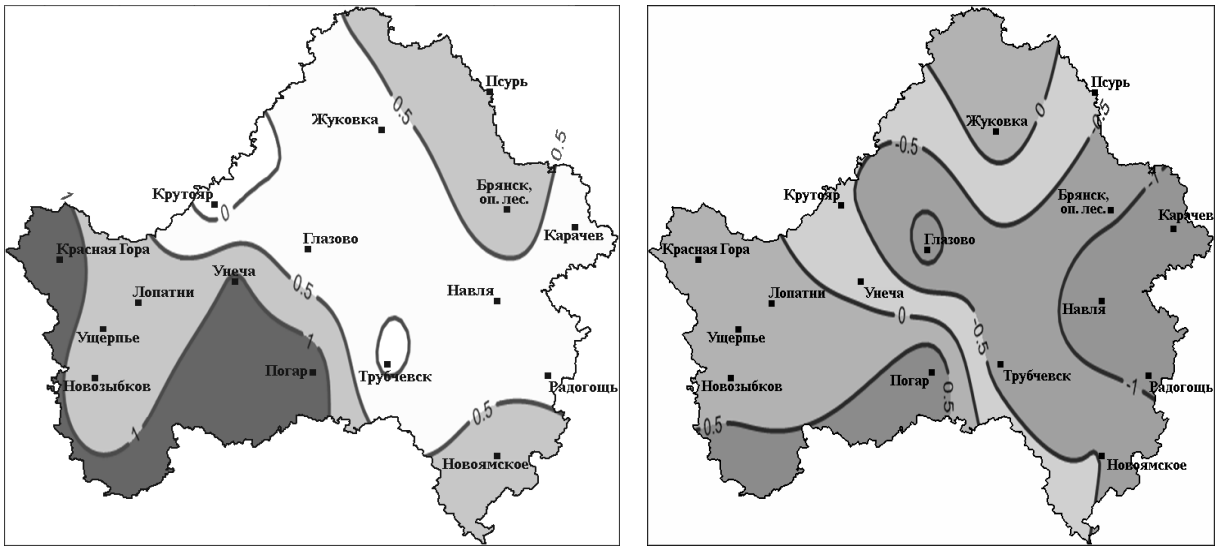
Анализ сезонных особенностей изменений количества осадков выявил, что увеличение их годовой суммы в западном районе как за период 1955–2015 гг., произошло за счет возрастания осадков осенью, в холодный сезон (октябрь–апрель) и в феврале. Помимо этого статистически значимый положительный тренд на западе области обнаружен зимой и в мае. В восточном районе уменьшение количества осадков за 1955–2015 гг. отмечено за счет их сокращения весной и в августе.

Таким образом, как с 1955 по 2015 гг., в западном районе прослеживается рост осадков в холодный период, а в восточном — их снижение в теплый сезон. При этом за октябрь–апрель максимальные положительные тренды наблюдаются на крайнем западе, за май–сентябрь — на юго-западе и юге соответственно. Наибольшие отрицательные тренды в холодный период локализуются в центре Брянской области, а в теплый — на крайнем востоке.

Оценка сезонных особенностей изменений числа дней с суточной суммой осадков ≥ 0.1 мм показала, что значимых отрицательных трендов зафиксировано больше, чем положительных (соответственно трендам годового числа дней с осадками). Однако отрицательные тенденции даже на соседних пунктах отмечаются, как правило, в различные периоды года. Пространственное распределение положительных сезонных трендов более устойчиво. Наиболее заметным является рост количества дней с осадками ≥ 0.1 мм в феврале на всей сети. Линейный тренд в целом по области составляет 5 суток/35 лет. Максимальное увеличение числа дней с осадками ≥ 0.1 мм в феврале регистрируется на западе и северо-востоке, минимальное — на крайнем юго-востоке исследуемой территории.

Наблюдаемые изменения числа дней с осадками ≥ 10.0 мм во многом сходны с изменениями самих осадков. На западе Брянской области, где отмечается рост осадков, прослеживается тенденция к увеличению годового количества дней с интенсивными осадками, а на востоке региона, напротив, обнаруживается сокращение таких дней (сообразно уменьшению осадков).

Оценка сезонных особенностей изменений числа дней с суточной суммой осадков ≥10.0 мм показала, что в западном районе отмечается возрастание таких дней осенью и в холодный период, а в восточном районе наблюдается их убывание за май–сентябрь и летом. Максимальное увеличение количества дней с интенсивными осадками в холодный сезон регистрируется на крайнем западе и в районе полосы Унеча—Стародуб—Погар, а в теплый (и в целом за год) — к юго-западу от Погара (рис. 2).



а) холодный период *б) теплый период*

Рис. 2. Тренды количества дней с интенсивными осадками за холодный (а) и теплый периоды (б) в Брянской области за 1975–2015 гг., дни/10 лет [1]

Наиболее сильное их уменьшение за октябрь–апрель происходит на северо-западе территории, а в теплый период (и в целом за год) — в центре и на востоке области.

В изменениях суточного максимума осадков также прослеживается в значительной степени сходная с изменениями количества осадков тенденция. На западе Брянской области отмечается повышение интенсивности осадков, а на востоке, наоборот, — понижение. Коэффициенты корреляции между данными характеристиками увлажнения (суточным максимумом осадков и количеством осадков) за 1975–2015 гг. статистически значимы во все сезоны и месяцы года (аналогично корреляции между числом дней с интенсивными осадками и количеством осадков).

Важной характеристикой режима увлажнения является также максимальная за год продолжительность сухого периода (максимальное количество последовательных дней в году с осадками менее 1 мм), поскольку она может служить одним из индикаторов засухи. Анализ ее многолетних изменений (1975–2015 гг.) показал, что на большей части исследуемой территории наблюдается увеличение максимального количества последовательных дней в году с осадками < 1 мм. Районы, занятые отрицательными трендами, локализуются на западе, юге и северо-востоке региона.

При сопоставлении изменений максимальной продолжительности сухого периода и количества осадков установлено, что наибольшее число дней подряд с осадками < 1 мм увеличилось в основном на тех территориях, где отмечается понижение годовых сумм осадков, и, наоборот, снизилось в тех районах, где наблюдается их возрастание. Однако коэффициенты корреляции между данными параметрами (1975–2015 гг.) статистически не значимы на большей части сети.

С середины XX в. в Брянской области на фоне повышения температуры воздуха и преимущественно роста количества осадков в холодный период происходят изменения и характеристик снежного покрова. Анализ многолетних рядов сроков образования устойчивого снегового покрова не выявил статистически значимых тенденций. Однако если за интервал с 1955 по 1975 гг. на большей части рассматриваемой территории отмечена сла-

бая тенденция к более позднему формированию устойчивого снежного покрова (УСП), то за интервал с 1975 по 2015 гг. — к более раннему его установлению, что согласуется с трендами (статистически не значимыми) температуры воздуха в ноябре–декабре.

Разрушение устойчивого снежного покрова за 60-летний отрезок времени (1955–2015 гг.) на всей сети стало происходить в более ранние сроки, что обусловлено потеплением в марте (когда сходит УСП), которое за 1955–2015 гг. является самым значительным в году. Осредненный по региону линейный тренд дат схода УСП достоверен на 95%-ном уровне и составляет -17 дней/60 лет.

Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом за временной интервал с 1955 по 2015 гг. вследствие более раннего схода снега повсеместно уменьшается. В целом по области линейный тренд длительности залегания УСП составляет -18 дней/60 лет (-3.0 дня/10 лет), что близко к статистической значимости на 95%-ном уровне. Максимальное сокращение длительности периода с устойчивым снежным покровом наблюдается на северо-западе исследуемой территории, а минимальное — на крайнем востоке, что почти совпадает с распределением трендов сроков разрушения УСП за аналогичный промежуток времени.

В многолетних изменениях толщины снежного покрова (1955–2015 гг.) прослеживается тенденция (достоверная на 95%-ном уровне) к ее уменьшению в период снеготаяния (3-я декада февраля–1-я декада апреля), что согласуется со сдвигом дат схода УСП на более ранние сроки. За промежуток с 3-й декады февраля по 1-ю декаду апреля в целом по региону она снизилась на 9 см/ 60 лет (-1.5 см/10 лет). Наибольшее убывание средней за период снеготаяния высоты снежного покрова происходит на юго-западе и северо-востоке рассматриваемой территории. Некоторое ее увеличение обнаруживается в центральной части.

Уменьшение высоты снежного покрова в период снеготаяния за 1955–2015 гг. как в Брянской области, так и в целом в западных районах европейской территории России обусловлено происходящим на фоне интенсивного потепления в конце зимы–первой половине весны значительным увеличением повторяемости оттепелей и доли жидких осадков.

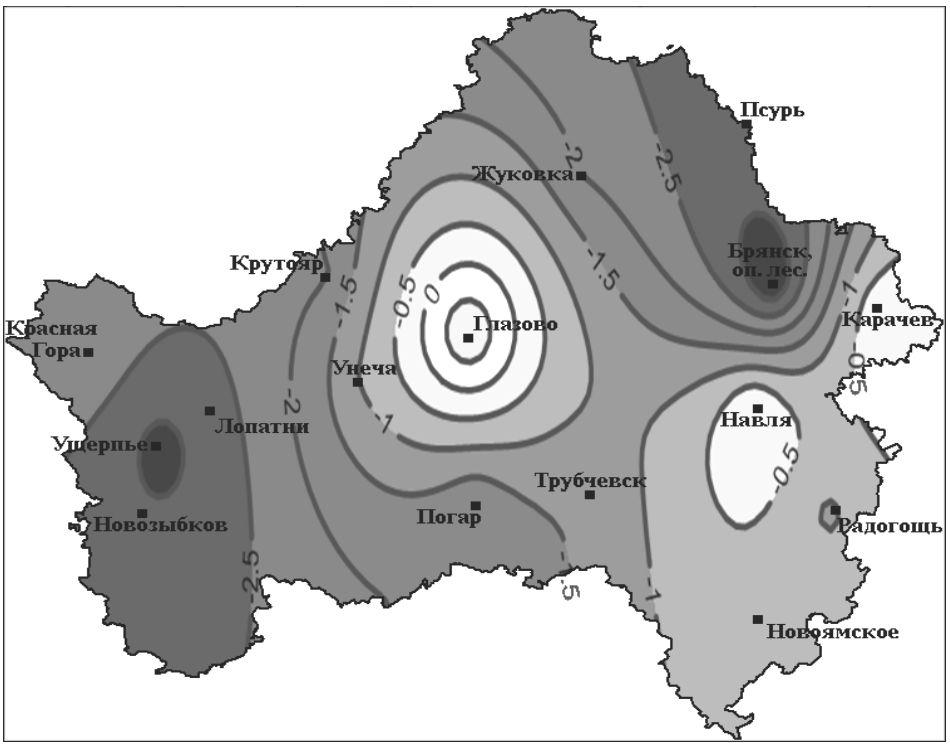


Рис. 3. Тренды средней за период снеготаяния (3-я декада февраля–1-я декада апреля) высоты снежного покрова на территории Брянской области за 1955–2015 гг., см /10 лет [2]

Убывание высоты снежного покрова и более ранний его сход за 1955–2015 гг. вызывают снижение влагосодержание почвы весной. Однако если на западе области весенний недостаток почвенной влаги частично компенсируется увеличением осадков в холодный период, то на востоке это лишь усугубляется дегрессией осадков в теплый сезон. К положительным последствиям изменений указанных характеристик снежного покрова следует, прежде всего, отнести возможность проведения посевных работ в более растянутые сроки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селютин В. С. Пространственные и сезонные особенности многолетних изменений атмосферных осадков на территории Брянской области // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. Науки. – 2015. – Т. 157, кн. 3. – С. 35-46.

2. Селютин В. С. Многолетние изменения характеристик снежного покрова на территории Брянской области // Труды 3-й междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых «Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование» (Москва, 17–19 апреля 2014 г.). – М.: Буки-Веди, 2014. – С. 158–160.

3. Шевченков П. Г., Демихов В. Т. Климат и климатические ресурсы // Природа и природные ресурсы Брянской области. – Брянск: Изд-во «Курсив», 2012. – С. 92-130.

4. Шерстюков Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. – Обнинск: ГУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2008. – 247 с.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ МАКСИМАЛЬНЫХ И МИНИМАЛЬНЫХ СУТОЧНЫХ ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА

С.Н Дудник, И.В. Бессонова, Д.С. Печагина
bessonovairina1@gmail.com

Тамбовский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды,
Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г.Тамбов, Россия

Изменение климата в последнее время не вызывает сомнения, так как этот факт подтвержден большим количеством исследований отечественных и зарубежных ученых. Одним из наиболее очевидных, несмотря на его простоту, показателем климатических изменений является климатическая норма, которая вычисляется за последовательные временные промежутки, и её изменения. Под климатической нормой понимают ту или иную характеристику климата, которая статистически получена из многолетнего ряда, например, средняя многолетняя величина[5].

По регламенту Всемирной метеорологической организации (далее ВМО) период осреднения для получения норм должен составлять 30 лет. На 16-й сессии Комиссии по климатологии ВМО было принято решение о сохранении периода 1961 – 1990 гг. в качестве стабильного базового периода ВМО для долгосрочной оценки изменчивости и изменения климата, и для этих целей нормы пересчитывать через 30 лет. Для целей мониторинга климата и оперативной оценки аномальности текущей погоды 30-летние климатологические стандартные нормы ВМО должны обновляться раз в 10 лет[1]. Особое значение регулярная оценка наблюдаемых климатических аномалий и изменений климата приобретает в связи с наблюдающимся глобальным потеплением [7].

Климат Тамбовской области формируется в результате сложного взаимодействия солнечной радиации, подстилающей поверхности и связанной с ними циркуляции атмосферы[2]. Динамика такого климатического параметра, как среднесуточная температура воздуха в пределах территории Тамбовской области достаточно хорошо изучена [3,4].

В настоящей работе проанализированы минимальные и максимальные суточные значения температуры воздуха в период с 1961-2018 гг. Этот период совпадает со временем наиболее активных климатических изменений современности и объективно отражает их общую тенденцию[6].

Целью работы является фиксация региональных особенностей климата на территории Тамбовской области. В основу работы положены данные Тамбовского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Данные были взяты по всем метеостанциям Тамбовской области, а именно: «Тамбов», «Жердевка», «Кирсанов», «Мичуринск», «Моршанск», «Обловка», «С/х им. Ленина». Расположение метеостанций показано на рис. 1.

Был использован метод сравнения опорного 30-летия (1961-1990) с современным периодом (1989-2018). Сравнивались средние значения максимальных и минимальных суточных температур воздуха за каждый месяц холодного периода года, осреднённые за 30 лет (рис. 2). Далее сравнивались среднемесячные значения максимальных и минимальных суточных температур воздуха за самый тёплый и самый холодный месяцы в каждом из 2-х изученных периодов. Среднемесячные максимальные суточные температуры воздуха сравнивались за шесть самых тёплых месяцев каждого из двух изученных периодов, а среднемесячные минимальные суточные температуры воздуха – за шесть самых холодных (рис. 3).

Рис. 1. Расположение метеостанций в Тамбовской области

На рисунке 2 отражены среднемесячные значения минимальных и максимальных суточных температур осреднённые за два изученных периода по всей территории Тамбовской области.

Из рисунка 3 видно, что превышение климатической нормы 1961-1990 гг. сохраняется на протяжении всех месяцев. Очень хорошо заметно это превышение в зимние меся-

цы. Например, в январе и в марте разница между средними значениями максимальных суточных температур за период 1961-1990 гг. по сравнению с периодом 1989-2018 составляет 1,9°С и 2°С соответственно. В ноябре и декабре фиксируется небольшое отличие температур, а именно 0,7°С и 0,4°С соответственно.

Средние значения минимальных суточных температур за период 1989-2018 гг. также превышают средние значения минимальных суточных температур за период 1961-1990 гг. Наибольшая разница отмечается в январе - 1,8 °С, а наименьшая (0,4°С)- в ноябре и в апреле.

Рис. 2. Среднемесячные значения минимальных и максимальных суточных температур воздуха в Тамбовской области в холодный период года осреднённые по двум периодам

На рисунке 3 показаны осреднённые по месяцам максимальные и минимальные суточные температуры воздуха.

Для помещения на график по каждому месяцу выбраны наибольшие за каждый из изученных периодов значения средних за месяц максимальных суточных температур воздуха («1961-1990 MAX» и «1989-2018MAX») и наименьшие за каждый из изученных периодов значения средних за месяц минимальных суточных температур («1961-1990 MIN» и «1989-2018MIN»). Иначе говоря, на графиках представлены температуры шести самых тёплых и шести самых холодных месяцев в каждом из изученных периодов. При этом максимальные температуры могли быть взяты, к примеру, за январь 1971 года, а минимальные - за январь 1963 года. Аналогично во втором периоде.

Как можно заметить, в ноябре показатель «1989-2018MAX» превышает климатическую норму «1961-1990 MAX». Наибольшая разница между этими двумя показателями составляет 3°С и было зафиксировано по метеостанции «Жердевка», наименьшая разница в 2,1°С была отмечена по метеостанции «Моршанск». В среднем по области разница температур равна 2,5°С. Показатель «1989-2018MIN», напротив, не превышает климатическую норму «1961-1990 MIN». Наибольшая разница между этими показателями 3,4°С отмечена по метеостанции «Кирсанов», а наименьшая разница в показателях была зафиксирована по метеостанции «Тамбов» и была 1,8°С. В среднем разница температур составляет 2,7°С.

В декабре показатель «1989-2018 MAX» незначительно превышает климатическую норму «1961-1990 MAX». Наибольшая разница между периодами составляет 1,1°С по метеостанции «Тамбов», а наименьшая разница 0,4°С отмечена по метеостанции «Моршанск». Средняя разница температур в этих периодах 0,7°С. Показатель «1989-2018MIN» в основном не превышает климатическую норму «1961-1990 MIN», превышение фиксируется по метеостанциям «Мичуринск» и «Моршанск». Наибольшая разница в показателях 2,8°С отмечена по метеостанции «Тамбов», а наименьшая разница 0,6°С по метеостанции «Мичуринск». В среднем разница температур в ту или другую сторону составляет 1,5 °С.

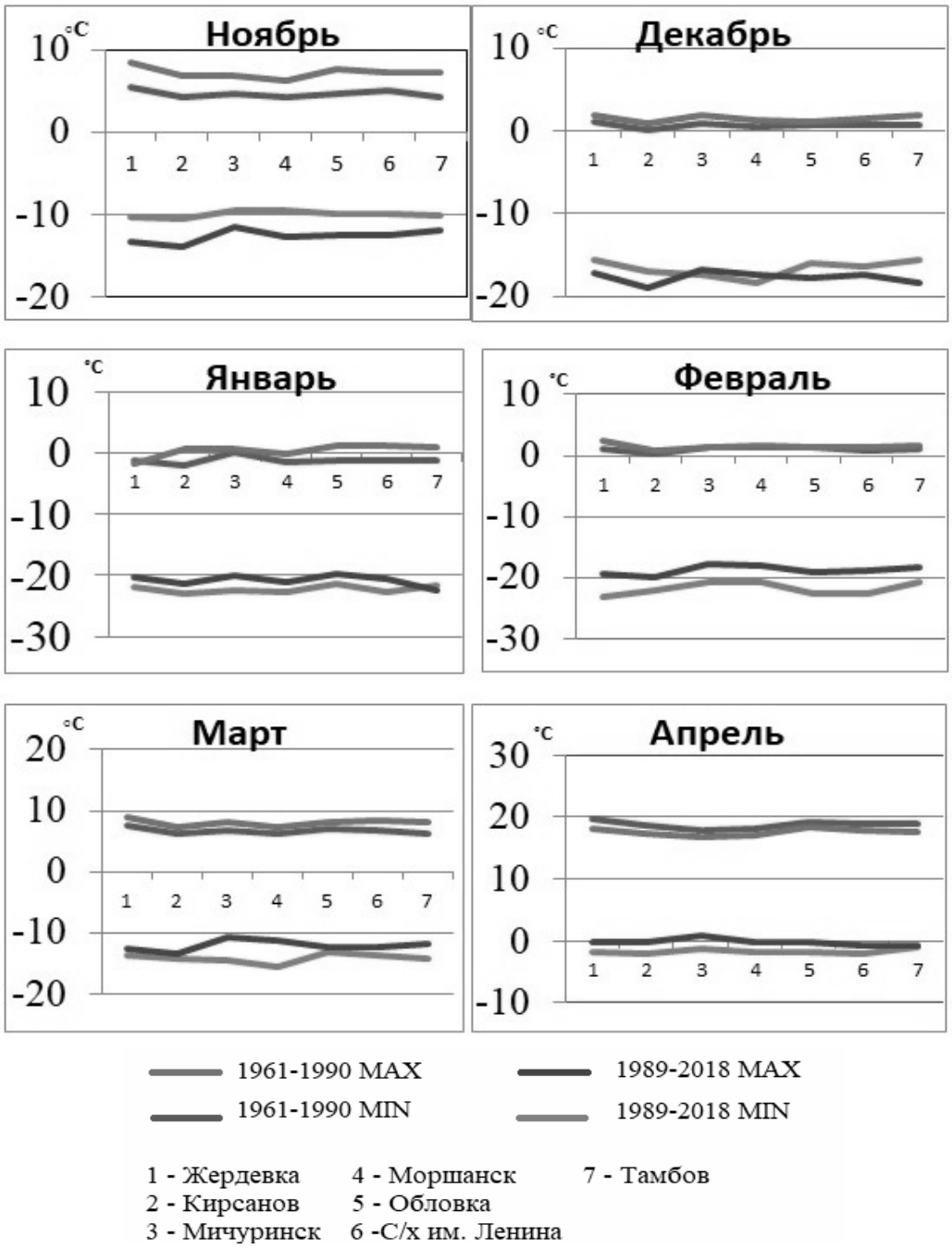


Рис. 3. Осреднённые за месяц значения максимальных и минимальных суточных температур воздуха самых тёплых (максимальные суточные температуры) и самых холодных (минимальные суточные температуры) месяцев в каждом из двух периодов (1961-1990 гг. и 1989-2018 гг.)

Показатель «1989-2018 MAX»января почти повсеместно превышает климатическую норму «1961-1990 MAX». Наибольшее превышение современных температур над прошлым периодом достигает 2,7°С и отмечено на метеостанции «Кирсанов», а наименьшая 0,5°С отмечается по метеостанции «Мичуринск». Исключением является метеостанция «Жердевка», где картина обратная. Средняя по области разница температур составляет 1,7 °С. Показатель «1989-2018 MIN», в целом, превышает климатическую норму «1961-1990 MIN». Наибольшая разница среди климатических норм составляет 2,4°С по метеостанции «Мичуринск», а наименьшая разница, но с обратным знаком 0,9°С отмечается по метеостанции «Тамбов».Как уже отмечено на метеостанции «Тамбов» превышения климатической нормы не наблюдается. Средняя региональная разница температур равна 1,7°С.

В феврале показатели «1989-2018 MAX» и «1961-1990 MAX» практически совпадают, но все-таки незначительное превышение климатической нормы присутствует. Наибольшая разница между периодами составляет 1,3°С по метеостанции «Жердевка», а наименьшая 0°С была отмечена по метеостанции «Обловка». Средняя по области разница составляет 0,6°С. Показатель «1989-2018MIN»превышает климатическую норму «1961-1990 MIN». Наибольшая разница в значениях 3,8°С отмечена по метеостанции «С/х им. Ленина», а наименьшая 2,2°С по метеостанции «Кирсанов». Средняя по области разница температур составляет 3°С.

В марте показатель «1989-2018 MAX» незначительно превышает климатическую норму «1961-1990 MAX». Наибольшая разница между периодами составляет 1,7°С по метеостанциям «Тамбов» и «С/х им. Ленина», а наименьшая разница 1°С отмечена по метеостанции «Моршанск». Средняя региональная разница температур между периодами 1,4°С. Показатель 1989-2018MIN»превышает климатическую норму «1961-1990 MIN», но по метеостанциям «Кирсанов» и «Обловка» различия в температуре минимальны: 0,6°С и 0,7°С соответственно. Наибольшая разница в показателях 4,2°С отмечена по метеостанции «Моршанск», а наименьшая разница 0,6°С по метеостанции «Кирсанов». Средняя разница температур составляет 2°С.

В апреле показатель«1989-2018MAX»находится ниже климатической нормы «1961-1990 MAX». Наибольшая разница среди этих показателей достигает 1,5 °С по метеостанции «Жердевка», а наименьшие 0,9°С отмечаются по метеостанциям «Моршанск» и «Обловка». Средняя разница температур насчитывает 1,2°С. Напротив, показатель «1989-2018MIN»все еще превышает климатическую норму «1961-1990 MIN». Наибольшая разница среди значений составляет 2,1°С по метеостанции «Мичуринск», а наименьшая разница 0,3°С отмечается по метеостанции «Тамбов». Средняя по региону разница температур равна 1,5°С.

Таким образом, основываясь на результатах анализа максимальных и минимальных суточных температур, можно сделать вывод о том, что в среднем период 1989-2018 гг. оказался теплее по сравнению с климатической нормой, рассчитанной за период 1961-1990 гг. Особенно это заметно с января по март. Об этом говорит анализ средних за месяц максимальных и минимальных суточных температур воздуха, осреднённым по двум упомянутым периодам.

Если говорить наиболее тёплых или наиболее холодных месяцах за периоды 1961-1990 гг. и 1989-2018 гг., то картина чуть менее однозначная, но всё же с преобладающей тенденцией к потеплению.

В целом, максимальные и минимальные суточные температуры в холодный период года во временном отрезке с 1989 по 2018 гг. были выше, чем в предыдущем тридцатилетии. Климатическая норма «1961-1990 MAX» не была превышена только в апреле. Климатическая норма «1961-1990 MIN»не была превышена в ноябре, а также эпизодически по ряду метеостанций с декабря по апрель.

ЛИТЕРАТУРА

1. 2for Climatology Sixteenth session. Heidelberg, 3 – 8 July 2014. Abridged final report with resolutions and recommendations. WMO-№ 1137. – p 75.

2. Дудник Н.И., Дудник С.Н., Буковский М.Е. Климат //Тамбовская лесостепь: природа и общество: монография. – Тамбов: Изд. Дом ТГУ имени Г.Р. Державина. 2013. – С. 91-111.

3. Дудник С.Н., Буковский М.Е., Галушкина Н.А. Динамика температурного режима на территории Тамбовской области // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2012. – Т.17, № 6. – С. 1555-1560.

4. Дудник С.Н., Буковский М.Е, Галушкина Н.А. Климатические региональные и сезонные изменения на территории Тамбовской области // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В.И. Вернадского. – 2013. – № 3 (47). – С. 141-149.

5. Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь / Под ред. А.И. Бедрицкого. – СПб: Летний сад, 2009. – Том II. – 336 с.

6. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм / Издание 2017 г. ВМО. – № 1203.

7. Рябов В.А. Влияние глобального потепления на местный климат и возможные последствия для плодовых культур // Научные труды южного филиала национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: сельскохозяйственные науки. – 2011. – №137. – С. 128-138.

ПРОЯВЛЕНИЯ 179-ЛЕТНИХ ЦИКЛОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

К.Н. Дьяконов, А.Ю. Ретеюм
diakonov.geofak@ , aretejum@yandex.ru

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия

Оценка текущего состояния атмосферы и предвидение его будущего требуют углубленного понимания природы регулярно повторяющихся событий. Опыт изучения 11-летних циклов показал, что соответствующие климатические эффекты обладают большой изменчивостью во времени и в пространстве, сильно затрудняющей установление общих закономерностей. Данный факт нередко служит основанием для отрицания климатообразующего значения вариаций солнечной активности. Как представляется, необходимо увеличить размеры рассматриваемых периодичностей, в которых 11-летние циклы должны играть роль составных частей. Целостными единицами являются 179-летние циклы, поскольку именно в их временных границах происходит регулярное возвращение нашей планетной системы в исходное состояние. Влияние этого цикла на солнечную активность впервые более полувека назад продемонстрировали компьютерные расчеты П.Д. Хозе.

Для территории России актуально изучение сил, генерирующих колебания климата в тех местах, где по условиям прихода тепла и влаги режим геосистем неустойчив. Один из наиболее интересных регионов для исследования феномена долговременной периодичности – Северное Приобье, выделяющееся сейчас резкой активизацией природных процессов, а ранее, в голоцене, пережившее несколько фаз наступлений леса и тундры. Благодаря точной датировке 179-летних циклов и дендроиндикации летних обстановок на Ямале, выполненной коллективом авторов [1], открывается возможность раскрытия временной упорядоченности событий в истекшие 2000 лет. Последний из рассматриваемых циклов начался в 1990 г., поэтому целесообразно сосредоточить внимание в первую очередь на выявлении событий, характерных для переходного этапа.

Обработка ряда восстановленных величин температуры воздуха методом наложенных эпох приводит к выводу, что 179-летние климатические циклы реально существуют, так как годы их смен отмечены значительными положительными и отрицательными аномалиями различных показателей, в особенности стандартного отклонения (рис. 1), максимумов и минимумов (рис. 2).

Как и 22-летние циклы солнечной активности, циклы длительностью около 179 лет состоят из двух половин с неодинаковой интенсивностью гелиофизических процессов, что отражается на климате, судя по материалам дендроиндикации (рис. 3). Дифференцированы и сами 179-летние циклы в зависимости от их положения в образованных ими 358-летних циклах.

Атмосфера Арктики в первую половину 179-летнего цикла, отличающуюся пониженными температурами, подвержена волнообразным возмущениям с периодом порядка 90 лет (рис. 4).

Рис. 1. Стандартное отклонение средних летних температур воздуха на временных границах циклов 1811, 1632, 1453, 1275, 1096, 917, 738, 559, 381, 202 и 23 гг. (Источник: расчет по данным [1])

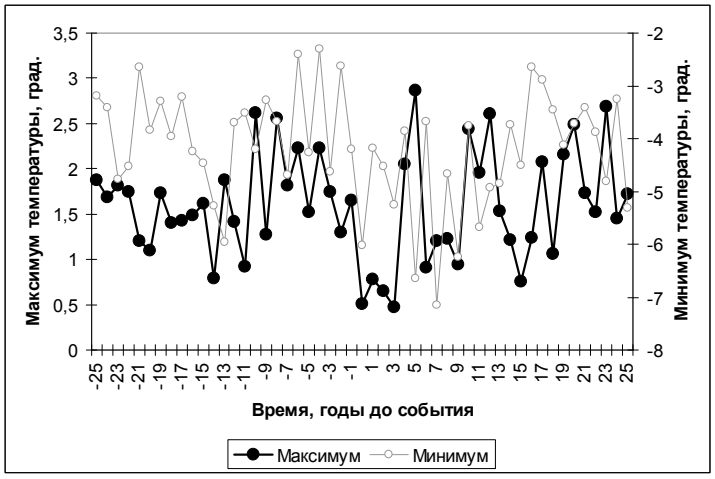


Рис. 2. Максимальные и минимальные средние летние температуры воздуха на временных границах 179-летних циклов (Источник: Ibid.)

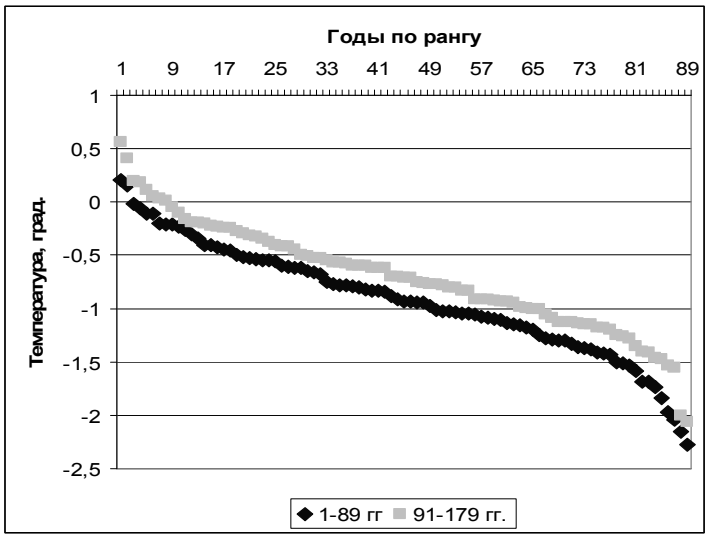


Рис. 3. Распределение средних летних температур воздуха в первой и второй половинах 179-летних циклов. Различия значимы по непараметрическому U-критерию Манна-Уитни (Источник: Ibid.)

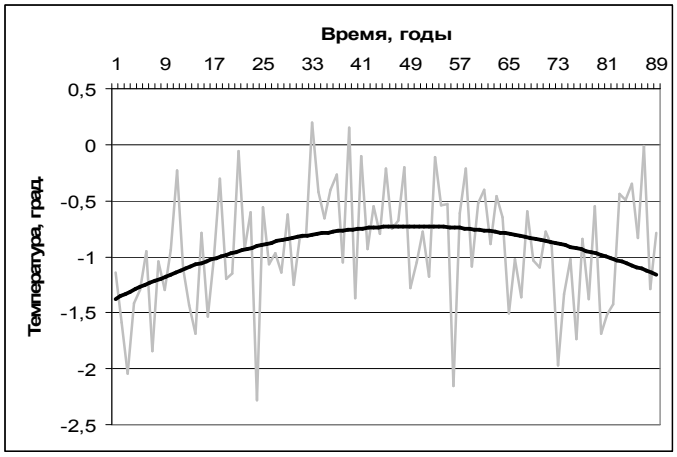


Рис. 4. Ход средних летних температур воздуха в первой половине 179-летних циклов и тренд (Источник: Ibid.)

После 1990 г., когда начался новый 179-летний цикл, температуры воздуха летом поднялись на уровень более высокий, чем в соответствующий период всех предыдущих циклов. Это отклонение не позволяет непосредственно использовать способ прогноза по аналогии. Необходимы дополнительные исследования, базирующиеся на более длинных рядах и учете эндогенных факторов.

Работа поддержана грантом РФФИ № 19-05-00786

ЛИТЕРАТУРА

1. Briffa K.R., Melvin T.M., Osborn T.J., Hantemirov R.M., Kirdyanov A.V., Mazepa V.S., Shiyatov S.G., Esper J. Reassessing the evidence for tree-growth and inferred temperature change during the Common Era in Yamalia, northwest Siberia // Quaternary Science Reviews, 2013, vol. 72, pp. 83-107; http://hurricane,ncdc,noaa,gov/pls/paleox/f?p=519:1

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Т.Н. Задорожная, В.П. Закусилов
zakusilov04@yandex.ru

Военный учебно-научный центр ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г.Воронеж, Россия

Одним из направлений оценки изменений климата и его составляющих, является анализ линейных и нелинейных трендов температуры, позволяющих определить как направление, так и интенсивность ее изменения за некоторый промежуток времени.

В работе исследованы тренды на территории Европы в узлах регулярной сетки с шагом 2,5^o на поверхности 1000 гПа в широтной зоне 40–60^o с.ш., в секторе 0–60^o в.д. в январе за период с 1958 по 2017 годы. Информационной базой служили данные реанализа NCAR/N [1].

Показателем величины и знака тенденции служил угол наклона линейного тренда, который описывает направление и интенсивность изменения термического режима. На рисунке 1 представлен характер многолетнего изменения температуры для узла с координатами 60^o с.ш., 0^o. Отмечается положительный линейный тренд, указывающий на то, что в многолетнем ходе температуры имеет место повышение среднемесячной температуры

воздуха. Достоверность полученного тренда оценивалась величиной параметра R^2, составляющая для данного случая 0,186.

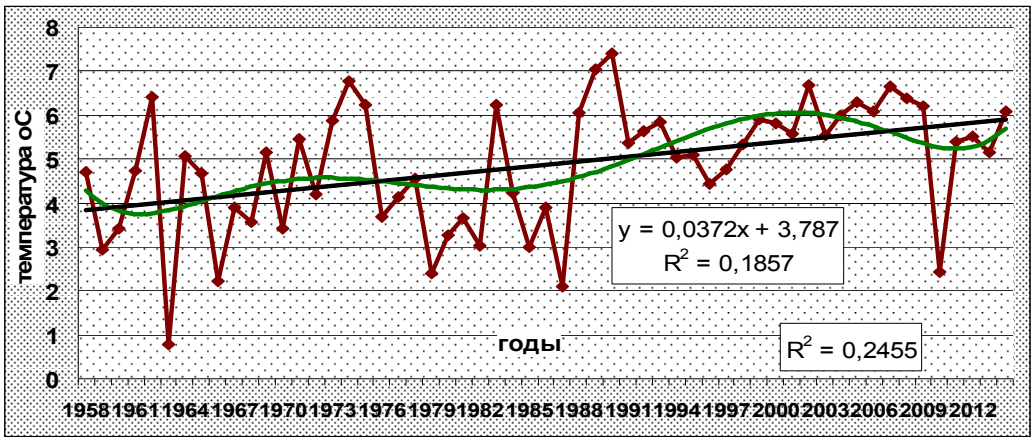


Рис. 1. Многолетний ход среднемесячной температуры воздуха в узле 60^o с. ш. – 0^o. Январь. (1958–2017 гг.)

Повышение температуры происходило не монотонно. На фоне повышения наблюдаются значительные межгодовые и декадные колебания, которые аппроксимированы полиномом 6-ой степени. С точностью R^2 = 0,246 можно говорить о наличии во временном ряду гармонических колебаний с периодом, примерно, 24–25 лет. Особенно это проявляется по экстремальным минимумам температуры. Аналогичный результат получен и обоснован в работе [2]. Таким образом, в среднем, температура с течением времени, растет на фоне возрастающей синусоиды (0,37^{o}C/10 лет), однако, наряду с длительным периодом повышения температуры (например, с 1963 по 1975 годы), наблюдались отрезки времени с отрицательным трендом, что согласовывается с [3–7].

Для определения изменений в интенсивности и направлении тенденции в остальных точках исследуемой территории, для каждого узла строились графики распределения. Предварительно рассмотрено в общем виде распределение углов линейных трендов α, усредненных вдоль каждой долготы λ (λ = 0; 2,5; 5,0; …,60).

$$\alpha_\lambda = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\alpha_{i\lambda},$$

где n – количество широт φ, кратных 2,5^o (φ = 60, 57,5, 55,…,40).
Результаты расчетов представлены на рисунке 2.

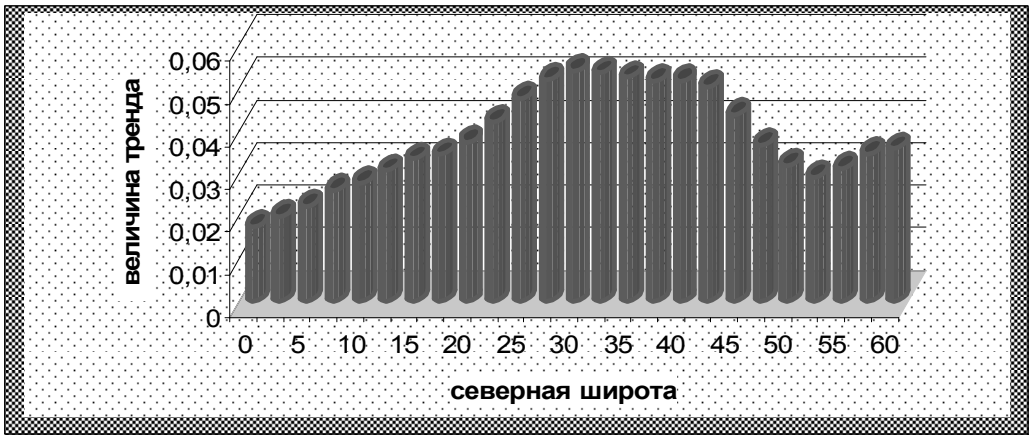


Рис. 2. Распределение величины линейного тренда, усредненного по широтам, вдоль фиксированной долготы λ. Январь. (1958–2017 гг.)

Из рисунка видно, что в среднем, на всех долготах знак тренда положительный, однако интенсивность роста температуры на различных долготах не одинакова. Максимум повышения приходится на сектор 25°–45° в.д., где она составляет 0,5°С/10 лет. К западу, величина угла линейного тренда уменьшается, скорость повышения температуры на долготе 0° составляет лишь 0,18°С/10 лет, на крайнем востоке она не опускается ниже 0,25°С/10 лет.

Описанное усредненное распределение линейных трендов дает представление о преобладающем фоне. В тоже время, анализ кривых, построенных для индивидуальных узлов, показал на различие распределения скорости изменения температуры на различных широтных зонах. По характеру распределения кривых они были разделены на зоны: северную, центральную и южную.

В северной группе точек (60–55° с.ш.) имеет место повсеместное повышение температуры. Однако, величина интенсивности роста находится в диапазоне: от 0,1°С/10 лет на западе территории до 0,95°/10 лет в центральных районах. Максимум повышения температуры обнаруживается на долготах 32,5 – 35° в.д. Таким образом, для данной группы широт колебания довольно значительные и далеки от осредненных значений, представленных на рисунке 2.

В центральной группе (52,5–47,5° с.ш.) имеет место также положительный линейный тренд, однако, по сравнению с северными широтами, интенсивность роста температуры ниже. На долготах, в секторе 25–30° в.д., она составляет 0,60°С/10 лет. Наиболее высокие значения интенсивности роста отмечаются для широты 47,5° с.ш., где на долготе 45° угол тренда достигает 0,069.

Особый вид имеет распределение трендов для узлов, расположенных на южных широтах (45–40° с.ш.). На западных долготах от 0° вплоть до $\lambda = 12{,}5^{\circ}$ в.д., характер линейного тренда имеет однородный ход, с минимальными значениями на долготе 0°. Здесь значения изменения близки к 0, а на широте 42,5° с.ш., их величина опускается до отрицательных величин. К востоку кривые хода трендов для различных широт значительно расходятся. Самые низкие значения отмечаются на широте 40° с.ш. От долготы 32,5° в.д., величина линейного тренда меняет знак на противоположный, опускаясь на долготе 37,5° в.д. до -0,3°С/10 лет. Восточнее, угол наклона тренда возрастает и на долготе 60° в.д. отмечается интенсивность 0,65°С/10 лет. Максимальные интенсивности повышения температуры отмечается на широте 45° с.ш. В секторе 27,5–40° в.д. они достигают значений 0,55°С/10 лет, а начиная с долготы 42,5° в.д. линейный тренд снижается, принимая на долготе 52,5°–55° в.д. отрицательные значения, указывающие на тенденцию к многолетнему понижению температуры.

Дифференцированный подход позволил обнаружить в данной группе широт районы с преобладанием отрицательных трендов. Это характерно, в основном, для широты $\varphi = 40^{\circ}$ с.ш.

Дополнительно были рассмотрены изменения величины угла трендов на различных долготах при фиксированной широте, представленные на рисунке 3.

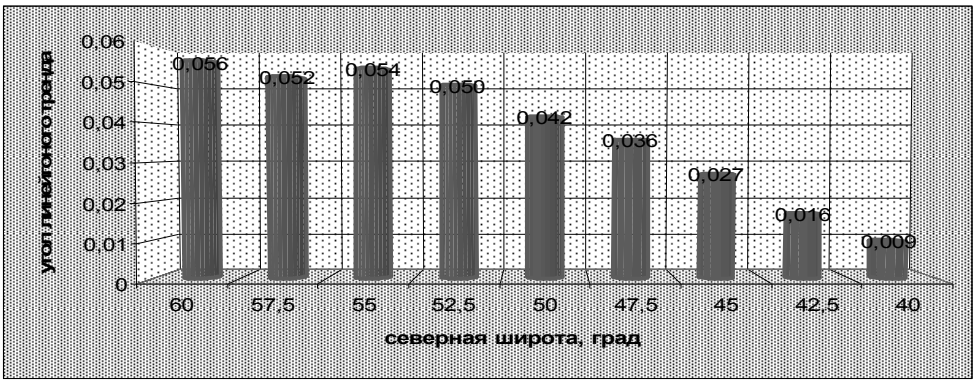


Рис. 3. Распределение линейных трендов, осредненных по широтам. Январь

Из рисунка 3 следует, что, наибольшие значения положительного тренда наблюдаются в северных широтах с экстремумом на $\varphi = 60^{o}$ с. ш., достигающего $0{,}58^{o}$C/10 лет. При смещении в южные широты, они понижаются, принимая на широте $\varphi = 40^{o}$ с.ш. величину менее $0{,}01^{o}$C/10 лет.

Далее рассмотрены линейные тренды в отдельных узлах географической сетки. Предварительный анализ трендов, построенных для каждой долготы, позволил сгруппировать их в шесть групп, достаточно различимых между собой и однородных внутри. Интенсивность изменения температуры для групп приведена на рисунках 4-9.

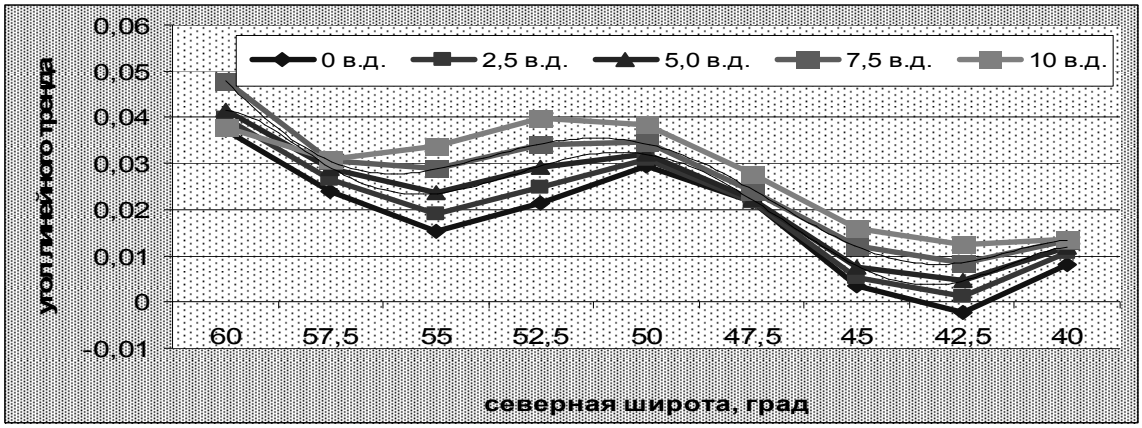


Рис. 4. Интенсивность изменения температуры в широтной зоне 40–60^{o} с.ш. на долготах 0–10^{o} в.д. Январь

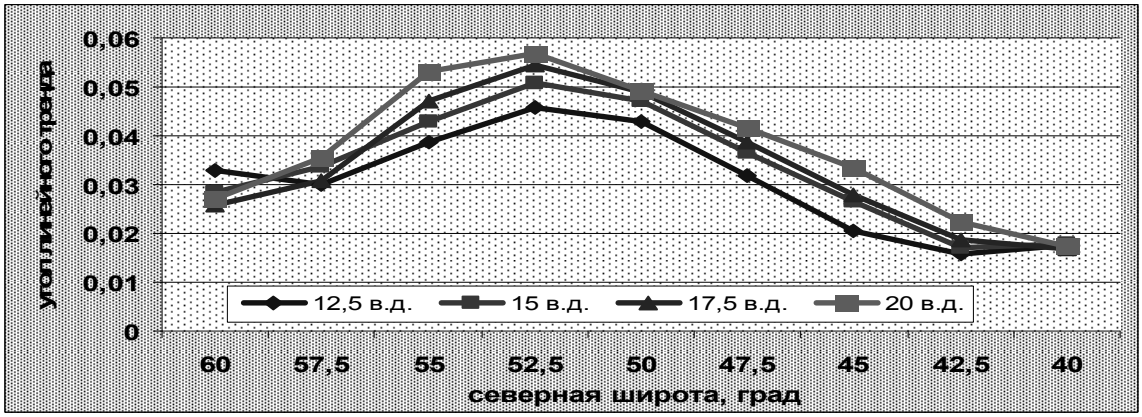


Рис. 5. Интенсивность изменения температуры в широтной зоне 40–60^{o} с.ш. на долготах 12,5–20^{o} в.д. Январь

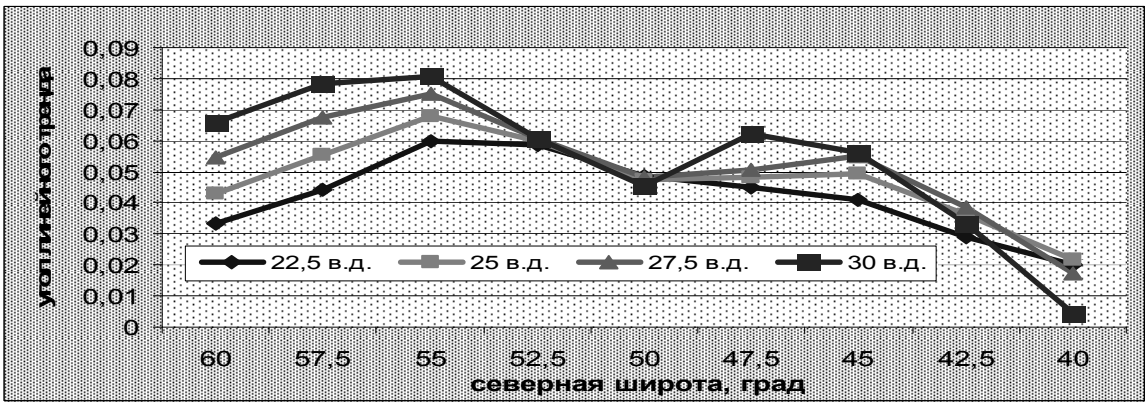


Рис. 6. Интенсивность изменения температуры в широтной зоне 40–60^{o} с.ш. на долготах 22,5–30^{o} в.д. Январь

Рис. 7. Интенсивность изменения температуры в широтной зоне 40–60° с.ш. на долготах 32,5–40° в.д. Январь

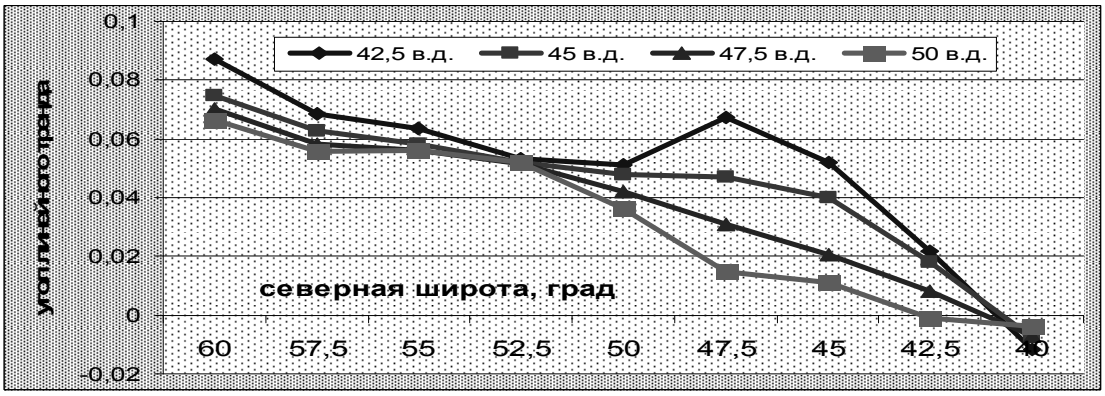


Рис. 8. Интенсивность изменения температуры в широтной зоне 40–60° с.ш. на долготах 42,5–50° в.д. Январь

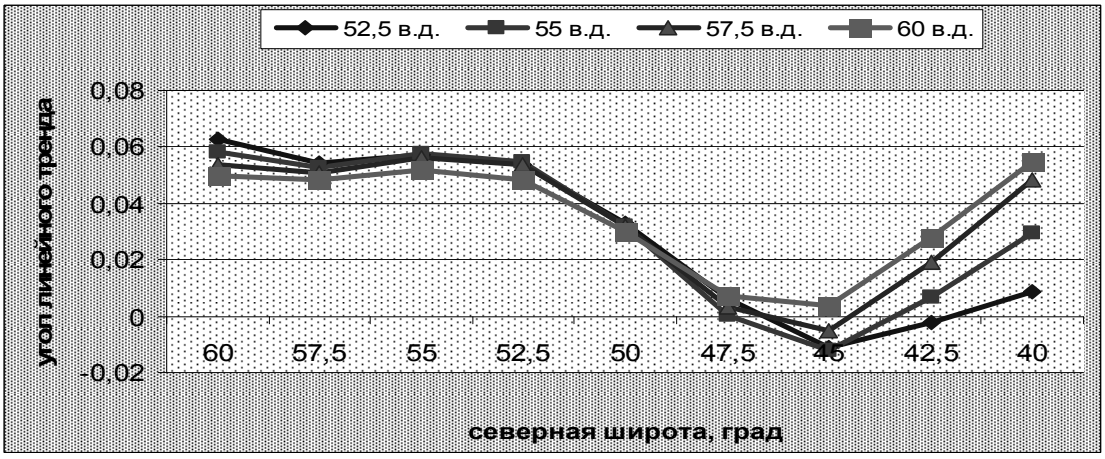


Рис. 9. Интенсивность изменения температуры в широтной зоне 40–60° с.ш. на долготах 52,5–60° в.д. Январь

Анализ представленных рисунков показывает, что величина и направление угла линейного тренда, а, следовательно, и интенсивность изменения температуры распределены по территории не равномерно. Нет прямой связи между величиной тренда и широтой или долготой места.

Проведенный анализ временных рядов позволил выявить определенные закономерности, полученные для конкретной рассмотренной территории. Их результаты полезно использовать в практической деятельности метеоспециалистов и руководящего состава при планировании различных видов мероприятий, зависящих от погодных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. NCEP/DOE AMIPII Reanalysis [Электронный ресурс]. URL: http:// www. cdc. noaa.gov/cdc/data.ncep.reanalysis2.html.

2. Задорожная Т.Н., Шипко Ю.В., Битюков А.В. Гармонический анализ временного ряда температуры воздуха северного полушария // Всероссийская научно-практическая конференция (26 ноября 2009). - Воронеж, ВАИУ, 2009. - С. 91–95.

3. Задорожная Т.Н., Закусилов В.П., Шлеев Д.Н. Закономерности долготного распределение трендов температуры воздуха на Европейской территории РФ и сопредельных государств // Сб. научных статей по материалам 4-ой Всероссийской научно-практической конференции 29-30 мая 2018. - Воронеж, 2018. - С. 77-81.

4. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. – Обнинск: ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД", 2012 г. – 193 с.

5. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М., Росгидромет, 2014. - С. 18–235.

6. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М. Особенности проявления современного глобального потепления климата в различных регионах северного полушария в последние десятилетия // Вестник Удмуртского университета. Биология. Наука о Земле. – 2008. – Вып. 2. – С. 3–13.

7. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменения климата // Фундаментальная и прикладная климатология. – Москва, 2015. – С. 62–69.

ИЗМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРИМЕРЕ СЕЛА НОРС ЗА 1965-2015 ГГ.

Е.С. Залошкова
gemini@mail.ru

Южный федеральный университет, г.Ростов-на-Дону, Россия

Объекты и методы исследования. Объектом исследования стал климат в селе Норск Селемджинского района Амурской области, в котором были изучены некоторые метеорологический факторы (температура и количество выпавших осадков). Были использованы метод анализа отдельных метеорологических элементов, статистический метод и комплексный метод, в котором были разработаны графики сопровождающимися кривыми хода температур и распределения осадков.

Цель этой работы состоит в том, чтобы рассмотреть колебания некоторых метеорологических факторов (температуры и количества выпавших осадков) за 52 года и дать прогноз на дальнейшие изменения климата.

Климат Амурской области резко континентальный с муссонными чертами. Наиболее холодными районами Амурской области являются Тындинский (север области), Сковородинский (северо-запад области) и Селемджинский (восток области). Селемджинский район расположен в горном массиве, в долине р. Селемджа, окруженный с трех сторон Селемджинским хребтом, хребтами Ям-Алинь и Турана. Сюда стекают выхоложенные, более тяжелые массы воздуха, что определяет низкие зимние температуры и отрицательные среднегодовые [2].

С помощью данных средних температур за период 1965-2015 гг. был построены графики (рис. 1-3). В среднем максимальные температуры (Рис.1) находятся в пределах от 19 до 22°С, наибольший максимум наблюдался в 1992 г., когда температура поднималась выше 25 °С, а наименьший был зафиксирован в 1972 г. (17,4°С) и 1987 (17,6 °С).

Любопытным отрезком времени является 2000-2007 гг. Именно в этот период максимальные температуры имеют наименьшее колебание и за семь лет находились в преде-

лах 19,3 – 20,3°С. В среднем максимальные температуры имеют тенденцию к увеличению, так с 1995 г. они не опускались ниже 19,2°С.

Рассматривая минимальные температуры (рис. 2), было отмечено, что они находятся в пределах -34 – -28°С.

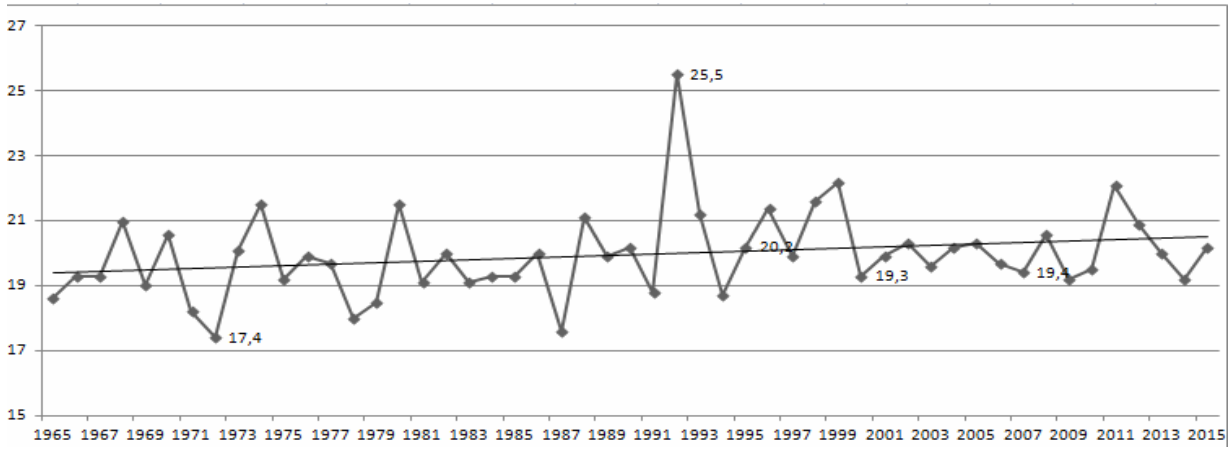


Рис. 1. Максимальные значения температуры, °С, 1965-2015 гг. (на основе данных (по данным [1])

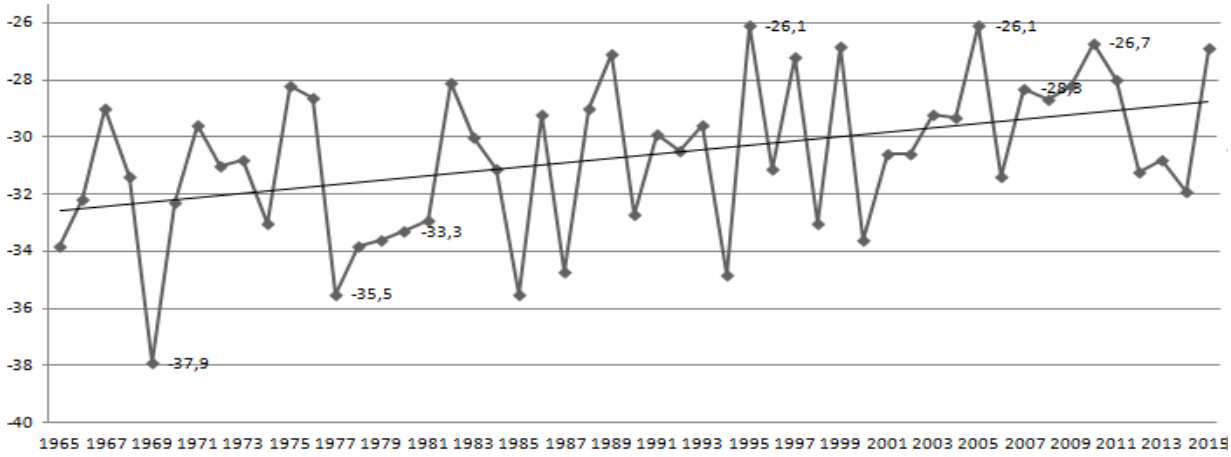


Рис. 2. Минимальные значения температуры, °С, 1965-2015 гг. (по данным [1])

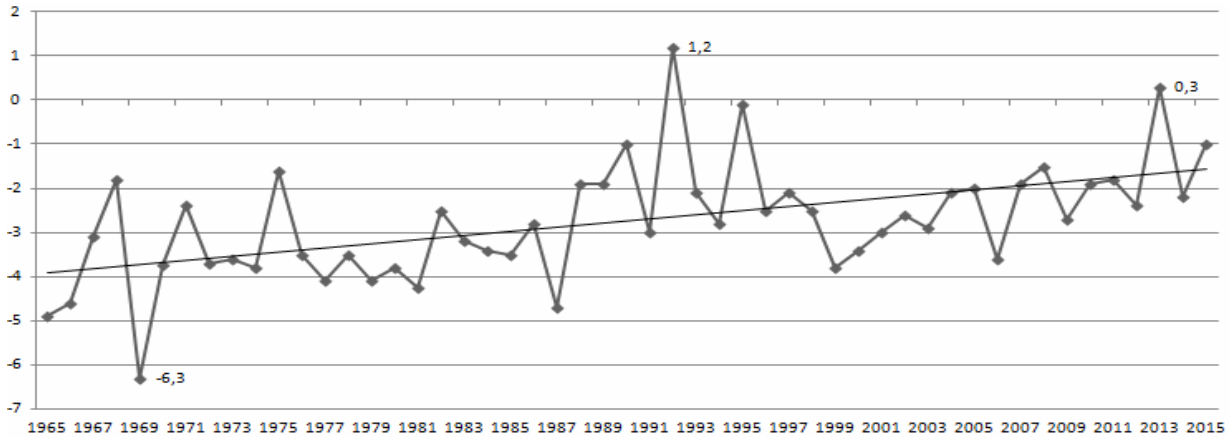


Рис. 3. Средние значения температуры, °С, 1965-2015 гг. (по данным [1])

Наибольшая минимальная температура была зафиксирована в 1969г. и составляла -37,9°С, а наименьшая – -26,1°С в 1995 и 2005 гг. Хотелось бы выделить период с 1994 по 2000 гг., именно тогда отрицательные температуры колебались между -33 и 26,7 °С. Также хотелось бы выделить ещё несколько периодов, а именно 1977-1980 гг. и 2007 - 2010

гг.. В первом периоде за четыре года минимальные температуры не поднимались выше -32°С, а во второй они не опускались ниже -28,7°С. Также хотелось бы отметить, что минимальные температуры также подвержены повышению, так с 2001 года температура не опускалась ниже -32°С.

Средняя температура воздуха за 52 года (рис. 3) характеризуется отрицательными значениями и амплитудой 5,1 °С.

Только в 1992 и 2013 годах температура поднималась выше ноля, а самый большой минимум был зафиксирован в 1969 (-6,3 °С). За данный период времени средняя температура закономерно, как минимальные и максимальные температуры, повысилась и, начиная 1988 года, она не опускалась ниже 4°С.

Обработав данные по осадкам за 1965-2015 гг. и составив по ним графики (рис. 4, 5), можно сказать следующее.

Твёрдые осадки, выпавшие на территории Норска (рис. 4), составляют в среднем 69,2 мм, максимальные значения были зафиксированы в 1977 г. (111,2 мм) и 1979 (114,7 мм) гг., а минимальные в 1981 г. (30 мм) и 1985 г. (34 мм) годах.

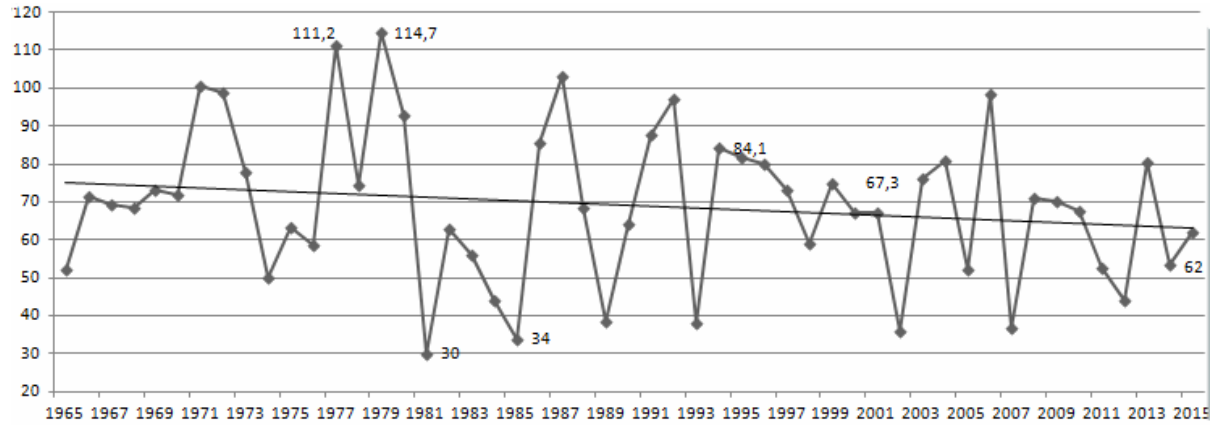


Рис. 4. Значения выпавших твёрдых осадков, мм, 1965-2015 гг. (по данным [1])

Хотелось бы отметить, что начиная 1981 г. по 2015 г., появились периоды с количеством осадков, которые составляли меньше 40 мм. Но в этот период очень ярко выделяется отрезок времени с 1994 по 2001 гг. Хоть здесь и идёт снижение, а после небольшой рост, за 8 лет твёрдые осадки не выпадали меньше 59 мм, но и не достигали больше 84,1 мм. В целом с 1981 г. осадков стало меньше. Это видно по минимальным и максимальным значениям до и после этого года.

В среднем за 52 года осадки составили 551 мм (рис. 5), что соответствует норме той области, в которой находится Норск.

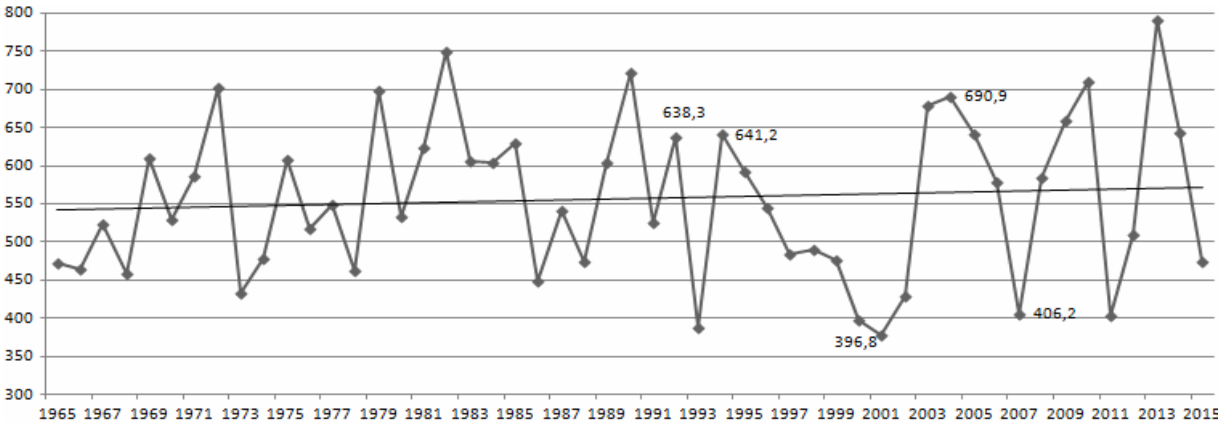


Рис. 5. Значения выпавших осадков, мм, 1965-2015 гг. (по данным [1])

Максимальное значение было зафиксировано в 2013 г. и составило 790,7 мм, а минимальные же – в 2001 (378,4 мм). За 52 года хочется выделить несколько периодов, а именно 1994-2000 и 2004-2007 гг. Их связывает то, что в них с каждым годом количество выпавших осадков планомерно уменьшалось. Так за 1994-2000 гг. осадки уменьшились с 641,2 до 378,4 мм, а за 2004-2007 гг. осадки уменьшились на 284,7 мм. Также хотелось бы отметить, что за 1965-2015 гг. количество выпавших осадков уменьшилось. Так с 1992 года, в котором имелись осадки больше 600 мм, их количество уменьшилось. И появились те года, которые за год в среднем получили осадков меньше 400 мм.

Заключение: Климатические условия Селемджинского района и села Норск в частности формируются под влиянием воздушных масс, формирующихся над Тихим океаном и материком. Это хорошо отражается в распределении тепла и осадков за 1965-2015 гг. Проанализировав представленные данные, можно увидеть, что климат в селе Норск за 52 года изменился в сторону потепления. Минимальные и максимальные температуры выросли в среднем на 1-3°С, а осадки уменьшились на 50 мм. Подобная тенденция уже не первое десятилетие фиксируется в разных уголках земного шара, поэтому неудивительно встретить её и здесь. Можно с уверенностью сказать, что потепление продолжит нарастать, поэтому данные значения тоже изменятся в большую сторону.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аисори – Удаленный доступ к ЯОД-архивам [Электронный ресурс] – http://aisori-m.meteo.ru/waisori/ свободный – Загл. с экрана.-Яз.рус. [Дата обращения: 20.02.19]

2. Правительство Амурской области [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.amurobl.ru/pages/print.php?id=7984, свободный – Загл.с экрана.-Яз.рус. [Дата обращения: 20.03.19]

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПОЖАРООПАСНУЮ ОБСТАНОВКУ

А.В. Звягинцева, Н.А.Шеина
zvygincevaav@mail.ru, aktrisa051197@mail.ru

Воронежский государственный технический университет, г.Воронеж, Россия

Влияние метеорологических факторов на возникновение опасных природных процессов усиливается, как на глобальном, так и региональном уровне. Для оперативного ежедневного прогноза возникновения природных пожаров необходимо установление зависимостей между метеорологической обстановкой и характеристиками лесных массивов каждого квартала государственного лесного фонда на момент возникновения пожара [1-4]. Общая площадь лесов Воронежской области по состоянию на 1 января 2019 года составила 506,0 тыс. га. Из них лесные насаждения, расположенные на землях лесного фонда – 464,8 тыс. га, землях обороны и безопасности - 2,1 тыс. га, землях особо охраняемых природных территорий – 33,9 тыс. га, землях населенных пунктов – 0,1 тыс. га, землях иных категорий – 5,3 тыс. га. [5].

Анализ среднемесячной температуры воздуха и количества выпавших осадков за 2017 год представлен на рис. 1 и 2, а за 2018 год на рис. 3 и 4.

Кратко представим анализ приведенных данных. Средняя температура зимы 2016-2017 года (−5,8) превысила среднюю многолетнюю (−7,3) на 1,5 градуса – сезон можно назвать умеренно теплым. Осадков (136 мм) выпало около нормы (123 мм) – аномалия составила 111%.Весна 2017 года в целом была тёплая. Средняя температура сезона (+8,7) превысила среднюю многолетнюю (+6,7) на два градуса. Весна завершилась с небольшим

дефицитом влаги: при норме 117 мм выпало 104 мм осадков (аномалия 89%). Лето 2017 года отличилось резкими перепадами температуры.

Рис. 1. Среднемесячная температура воздуха, 2017 г.

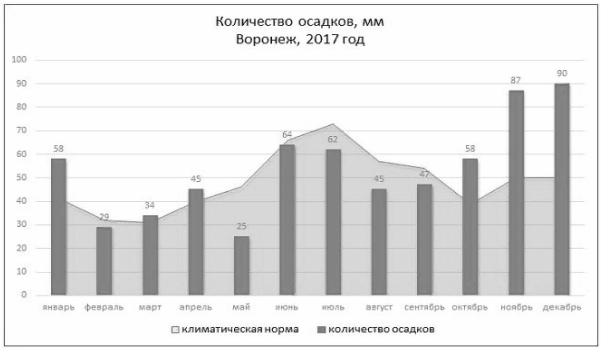


Рис. 2. Количество осадков, 2017 г.

Рис. 3. Среднемесячная температура воздуха, 2018 г.

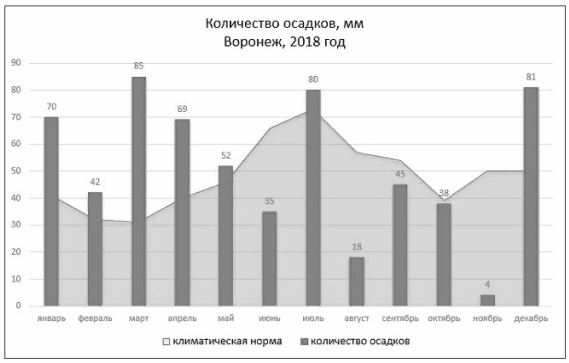


Рис. 4. Количество осадков, 2018 г.

Средняя температура сезона (+19,7) превысила среднюю многолетнюю норму (+18,6) на 1,1 градуса – при таком отклонении лето попадает по климатической статистике как «теплое». Осадков выпало меньше обычного - 171 мм при среднем многолетнем 196 мм. Аномалия 87% считается в пределах нормы. Самой влажной стала первая декада июня (аномалия 228%), абсолютно сухой (0 мм осадков) – вторая декада августа. Осень 2017 года была умеренно теплой, средняя температура (+7,5) превысила норму (+6,2) на 1,3 градуса. Вместе с тем, сезон оказался влажным: осадков (192 мм) выпало на треть больше нормы (142 мм), аномалия составила 135%. Зима 2017-2018 года была теплой и завершилась со средней температурой −3,8 (при норме −7,2, аномалия составила +3,4). При среднем многолетнем количестве 123 мм осадков выпало 203 мм (аномалия 165%). Весна 2018 года принесла две нормы осадков и мощный паводок. При среднем многолетнем 117 мм в Воронеже выпало 207 мм осадков (аномалия 177%). Средняя температура сезона (+7,0) оказалась около нормы (+6,7). В лето 2018 года пополнило статистику теплых и сухих сезонов, с небольшим количеством гроз и шквалов. Самая высокая температура года (+33,9) также пришлась на август и была зафиксирована 16 числа. Можно отметить, как и 2017 году, пик пожароопасной погоды пришелся на август месяц. В целом летняя средняя температура (+20,9) превысила среднюю многолетнюю (+18,6) на 2,3 градуса. Осадков (133 мм) выпало в 1,5 раза меньше нормы (196 мм). Напомним, что самым засушливым в новейшей климатической истории остается лето-2010 г. – в тот экстремально засушливый и жаркий год выпало всего 98 мм влаги. Самая высокая температура осени (+33,7) зафиксирована в Воронеже 1 сентября, самой низкой отметки (-13,0) термометры достигли 4 ноября. Средняя температура сезона (+8,5) превысила среднюю многолетнюю (+6,2) на 2,3 градуса – осень получилась теплой. В целом осень оказалась сухой: при норме 143 мм выпало 87 мм влаги (аномалия составила 61%).

В целом зима 2018-2019 года стала теплее обычного на 2,5 градуса: при норме −7,2 градуса, средняя температура зимой −4,7 °С. Сезон пополнил статистику теплых зим. Осадков выпало 148 мм, это на 20% больше, чем в среднем многолетнем (123 мм). Март 2019 года был теплым - средняя температура марта (+1,3) превысила среднюю многолетнюю (−2,2) на 3,5 градуса. Воздух в Воронеже 31 марта прогрелся до +19,2 °С - эта температура стала не только абсолютным максимумом для этой даты, но и новым абсолютным максимумом марта. Осадков (46 мм) выпало в 1,5 раза больше нормы (31 мм), аномалия составила 148%. Средняя температура апреля (+10,2) превысила норму (+7,6) на 2,6 градуса. Суммарное количество влаги за месяц (33 мм) можно считать около нормы (40 мм), аномалия составила 83%. Прошедший май оказался теплым и влажным. По средней температуре (+17,1) месяц перевыполнил норму (+14,8) на 2,3 градуса. 31 мая воздух в Воронеже прогрелся до +31,0 (самая высокая температура мая), а среднесуточная температура достигла +25,0, что выше обычных показателей на 8 градусов. Суммарно за месяц выпал 91 мм осадков, что превысило майскую норму (46 мм) в два раза (аномалия составила 198%).

Выводы: Анализ изменения климатических факторов, таких, как среднемесячная температура и количество осадков показал следующее:

2017 г. Средняя годовая температура (+8,3) превысила среднюю многолетнюю (+6,1) на 2,2 градуса - в целом год оказался очень теплым. Он стал теплее 2016 года на 0,3 градуса. Осадков выпало больше среднего многолетнего количества -644 мм, при норме 579 мм аномалия составила 111%.

2018 г. Средняя температура года (+7,6) отклонилась от нормы (+6,1) на 1,5 градуса, в результате 2018 год пополнил статистику теплых. Несмотря на неравномерное распределение влаги по месяцам и сезонам, годовое количество осадков (619 мм) немного (на 8%) превысило среднее многолетнее (573 мм).

Число лесных пожаров в Воронежской области по итогам пожароопасного сезона 2017 года выросло в 2 раза по сравнению с сезоном 2016 года, ландшафтных пожаров - в 1,8 раза. Вместе с тем, площадь, охваченная лесными и ландшафтными пожарами, составила 155,5 га (рост в 24 раза) и 409 га (рост в 2 раза) соответственно. Среди причин, спровоцировавших рост числа природных пожаров - засушливая весна, периоды аномально жаркой погоды летом, а также неосторожное обращение с огнем. При этом общее число пожаров на территории региона с начала 2017 года снизилось в 3,5 раза до 1,362 тыс. случаев, количество погибших на пожарах - в 2,6 раза до 75 человек, по данным ГУ МЧС России по Воронежской области.

Согласно итогам прохождения пожароопасного сезона на территории Воронежской области в 2018 году: зафиксировано 65 лесных пожаров общей площадью 902 га, из них на землях лесного фонда - 62 пожара на площади 702 га, ущерб от которых составил 10,2 млн. рублей. По сравнению с 2017 годом количество и площадь пожаров увеличились. Этому способствовали неблагоприятные погодные условия. В течение 102 дней – 55% от всей продолжительности пожароопасного сезона – был установлен высокий (четвертый) и чрезвычайный (пятый) класс пожарной опасности по условиям погоды. В лесном фонде области было зафиксировано 3 крупных лесных пожара, 2 из них площадью 443 га (63% от общей площади пожаров на землях лесного фонда) возникли в результате перехода возгорания с территории полигона «Погоново», земли Минобороны России. Общая площадь двух очагов возгорания составила более 40 га.

В 2018 году Воронежская область вышла на 2-ое место в ЦФО по количеству лесных пожаров, уступив только Московской области. В Воронежской области произошло 62 пожара за год, а в Белгородской, Тамбовской, Липецкой областях – ни одного пожара. В 2018 году первый пожар был 4 мая, а в 2019-м – уже 19 апреля – в Сомовском лесничестве. С начала 2019 года зарегистрировано 689 возгораний сухой травы на площади почти 100 га. По сравнению с предыдущим годом превышение ландшафтных пожаров – почти на 80%. Пожароопасный сезон в 2019 году в Воронежской области начался 1 апреля. Одной из причин повышения пожароопасной обстановки является изменение климата - одно из крупномасштабных экологических явлений. [6]. Анализ двух климатических факторов

за 2017-2018 года показал превышение среднемесячной температуры и количества осадков по сравнению со среднемноголетней нормой, что приводит к дальнейшему потеплению. Для стабилизации глобальной температуры на Земле, чтобы избежать последствий изменения климата, прежде всего, необходимо понизить уровень парниковых газов в атмосфере. Одним из решений данной проблемы – переход на альтернативные углеводородному сырью источники энергии и восстановление площадей лесных массивов [1, 4]. Другим важным компонентом для оперативной оценки пожароопасной обстановки является мониторинг динамических показателей. Прогнозирование обстановки в каждой точке местности затрудняется из-за малой плотности распределения метеорологических постов и станций. Средняя плотность по Центрально-Черноземному региону России – одна метеостанция на 10-12 тысяч км^2, в результате нельзя получить полную мониторинговую информацию по метеорологическим показателям, это не позволяет объективно оценить сложившуюся обстановку на территории области. Для повышения объективности оценки целесообразно учесть внутрисуточные изменения метеорологических параметров. В общем виде процесс восстановления метеорологической обстановки на территории конкретного квартала можно представить в следующем порядке: отбор статистических метеоданных по 1 параметру на конкретный момент времени; связывание выборки с местоположением метеостанции; интерполирование в непрерывную модель распределения показателя; восстановление значения показателя на территории конкретного квартала; формализация и сохранение результата [1-4]. Данная последовательность действий циклически повторяется для каждого показателя и момента времени, что приводит к необходимости полной автоматизации проведения вычислений. Развернутую последовательность действий процесса восстановления метеорологической обстановки на территории конкретного квартала можно представить в виде схемы (рис. 5).

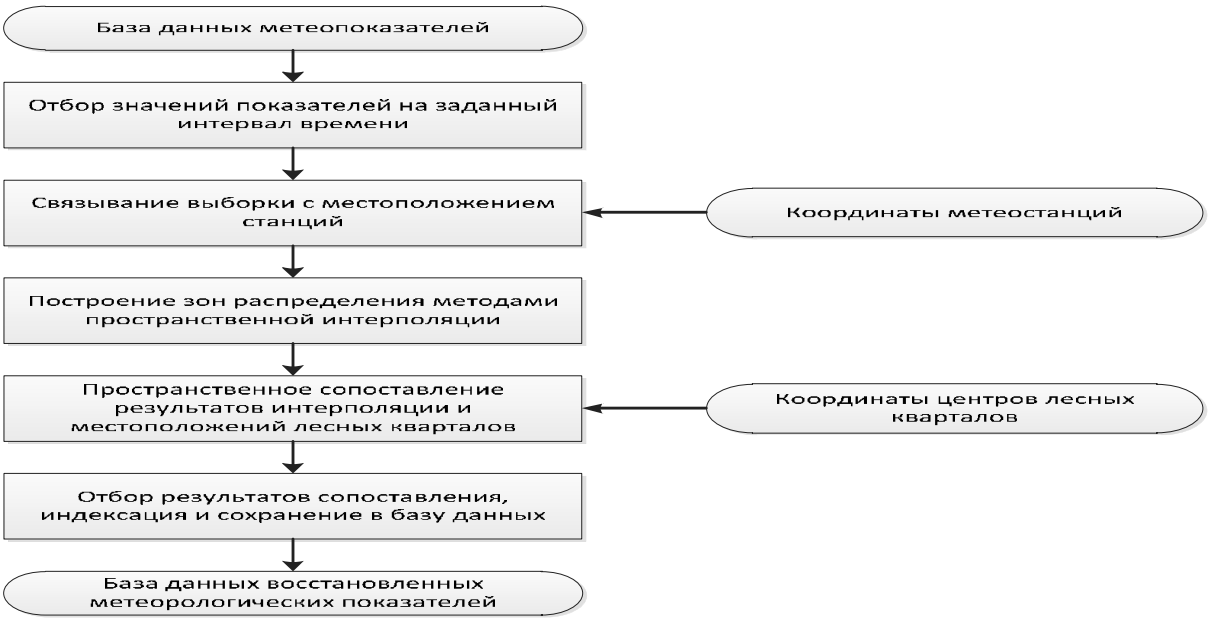


Рис. 5. Алгоритм восстановления метеорологической обстановки на территории конкретного квартала лесного массива Воронежской области

Анализируя грид индекса пожароопасности и объединяя его с данными о плотности застройки и картой вероятности проявления пожаров на территории, можно выявить области с наиболее высоким риском возникновения и развития пожаров и создать карту общей оценки риска для анализируемой территории. Частота проявления лесных пожаров на территории Воронежской области по степени пожарной опасности погоды представлена в таблице 1 и на рис. 6.

Таблица 1. Частота проявления лесных пожаров по степени пожарной опасности погоды на территории Воронежской области

№	Район\класс погоды	1	2	3	4	5
1	Аннинский	0	0	0,0062	0	0
2	Бобровский	0	0,0171	0,0279	0,0933	0,3235
3	Борисоглебский	0	0	0,0581	0,2000	0,1538
4	Верхнемамонский	0	0,0076	0,0235	0,0333	0
5	Верхнехавский	0	0	0	0,0145	0
6	Воронеж	0,0127	0,1293	0,4938	1,7101	6,2857
7	Грибановский	0	0,0146	0,0291	0,1714	0
8	Калачеевский	0	0	0,0060	0,0213	0
9	Каширский	0	0,0544	0,0875	0,3043	1,1429
10	Лискинский	0	0,0085	0,1061	0,1733	0,8235
11	Новоусманский	0,0383	0,1361	0,3625	1,4348	1,5714
12	Новохоперский	0	0	0,0061	0,0139	0,0769
13	Ольховатский	0	0	0,0047	0	0
14	Острогожский	0	0	0,0056	0,0133	0
15	Павловский	0	0	0,0282	0,0167	0
16	Рамонский	0	0	0,0188	0,0435	0
17	Россошанский	0	0,0303	0,0610	0,2500	0,7143
18	Семилукский	0	0,0064	0	0	0,2667
19	Таловский	0	0	0,0121	0	0
20	Терновский	0	0,0073	0,0116	0	0
21	Хохольский	0	0	0,0051	0,0357	0
	Средняя частота	0,0024	0,0196	0,0645	0,2157	0,5409

Рис. 6. Зависимость частоты проявления лесных пожаров на территории области от класса пожарой опасности погоды на территории Воронежской области

Полученные данные, наглядно интерпретированные на рис. 6 показывают увеличение частоты проявления лесных пожаров в зависимости от класса пожарной опасности погоды на территории Воронежской области. При аппроксимации зависимости в степенную функцию с достоверностью 0,9936, степенная функция имеет вид: $f(K) = 0.0021 \cdot K^{3.32}$.

Совмещение результатов полученных при пространственном анализе статистических данных по условиям и территориям возникновения лесных пожаров даёт возможность в автоматизированном режиме прогнозировать возникновение лесных пожаров на конкретной территории с точностью до квартала. После построения унифицированных поверхностей создается карта результирующей оценки рисков, на которой показываются зоны повышенного риска на территории Воронежской области, где существует наибольшая вероятность возникновения лесных пожаров. Она основана на адаптации нейросетевой модели комплексного метода прогнозирования возникновения лесных пожаров, входными данными являются соответствующие грид-поверхности [1, 3]. При создании

карты рисков на территорию Воронежской области требуется учесть четыре группы факторов: потенциальные источники угрозы, пожароопасность лесных массивов, пожароопасность погодных условий, влияние рельефа местности [1-4]. Комбинируя эти компоненты на математической основе (используя нейросетевую модель комплексного метода прогнозирования возникновения лесных пожаров и средства геоанализа ArcGIS), получается оценка рисков возникновения лесных пожаров на территории области. Результатом прогнозирования является картограмма, отображающая частоту проявления лесных пожаров в зависимости от состояния пожарной опасности погоды и от типа антропогенной нагрузки территории. Итак, оперативный учет климатических изменений на территории области позволит принять своевременное превентивное решение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Звягинцева А.В. Перспективы пространственного анализа в географических информационных системах для прогнозирования риска лесных пожаров на территории Воронежской области / А.В. Звягинцева, Д.В. Яковлев // Гелиогеофизические исследования. Heliogeophysical Research. Электронный научный журнал. – 2014. – Выпуск 9. – С. 78 -88.

2. Пространственный анализ в прогнозировании возможных лесных пожаров на территории Воронежской области / Д.В. Яковлев, А.В. Звягинцева, Н.А. Ус // Вестник ВГТУ. – 2008. – Т.4, №10. – С. 70-73.

3. Нейросетевое моделирование в прогнозировании возникновения лесных пожаров на территории Воронежской области / Яковлев Д.В., Звягинцева А.В., Ус Н.А. // Информация и безопасность. – 2009. – Т.12, Ч.3. – С. 397-404.

4. Яковлев Д.В. Оценка современных методик прогнозирования развития лесных пожаров и возможные пути их усовершенствования / Д.В. Яковлев, А.В. Звягинцева, В.И. Федянин // Научно-технический вестник МЧС России «Технологии гражданской безопасности». – 2006. – № 4(10). – С. 33-36.

5. [Электронный ресурс]: режим доступа: https://www.gismeteo.ru/

6. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата / Б.Г. Шерстюков. – Обнинск: Изд-во ВНИИГМИ-МЦД, 2015. – 302 с.

ТРЕНД ПОТЕПЛЕНИЯ В ЮЖНОМ ПОДМОСКОВЬЕ И ДИНАМИКА ПРОДУКТИВНОСТИ ИЗОЛИРОВАННОЙ СТЕПНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Н.Н. Зеленская
zelen_1@rambler.ru

Институт фундаментальных проблем биологии Российской академии наук – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, г.Пущино Московской обл., Россия

В последние 100 лет происходят значительные изменения глобального климата. По данным Оценочного доклада Росгидромета 2008 г. изменения фиксируются различными компонентами экосистем и во всех природных зонах, а на территории России положительный тренд существенно опережает глобальный. Как следствие этого увеличился годовой максимум и минимум суточной температуры приземного слоя воздуха, уменьшилось число морозных дней [5]. Второй оценочный доклад Росгидромета (2014 г.) подтвердил, что потепление климата последних десятилетий является «неоспоримым фактом». Отмечено, что на территории РФ среднегодовая скорость потепления почти вдвое опережает общую скорость потепления на планете. Наиболее выраженные признаки потепления наблюдаются на территории Европейской России [1]. В заявлении ВМО (2018 г.) о состоянии глобального климата сказано, что глобальная средняя температура в 2018 году превысила аналогичный показатель базового доиндустриального периода (1850-1900

гг.) на 0,99 ± 0.13°С. Тенденция к потеплению наблюдается с начала столетия и, как ожидается, будет продолжаться [7].

На территории РФ к 2018 году средняя аномалия температуры в сравнении с базовым периодом (1961 - 90 гг.) достигла +1,58°С [4]. Потепление нарастает со скоростью 0,47°С/10 лет. Наибольшие тренды фиксируются для осени (0,6°С/10 лет) и для весны (0,61°С/10 лет). На фоне межгодовых колебаний выделяется летний тренд (0,41°С/10 лет: описывает 64% суммарной дисперсии). Наряду с ростом температур наблюдался рост годовых осадков, особенно весной (5,9% /10 лет). Увеличение годовых осадков за 1976 - 2018 гг. составило 2,2% /10 лет. Однако в Европейской части России (ЕЧР) уже зафиксирован тренд убывания летних осадков: в Центральном Федеральном округе он составил - 4% /10 лет.

Наиболее быстрый отклик на изменение условий дают экосистемы, расположенные в пограничных условиях существования, становясь своеобразными природными моделями изменчивости экосистем. Приокско-Террасный биосферный заповедник (ПТБЗ), расположенный на юге Московской области, обладает уникальным для лесной зоны эксклавом степной растительности (урочище Долы). Этот фрагмент степи представляет собой изолированный северо-западный ареал, за пределами ботанико-географической зоны степей. Ранее В.И. Даниловым было показано, что степная экосистема в ПТБЗ близка по структурной организации эталонным луговым степям Центрально-Черноземного заповедника (ЦЧЗ, Курская обл.), однако уступала им в продуктивности [2].

По метеонаблюдениям Станции Фонового мониторинга ПТБЗ с 1973 года, средняя зимняя температура воздуха в заповеднике (до потепления) составляла –6,4°С, средняя температура летнего сезона +15,3°С. Годовая сумма осадков в среднем достигала 683 мм, из них более 67% выпадали в теплый период года. Одной из климатических особенностей региона Южного Подмосковья являются частые и продолжительные весенние засухи, совпадающие с периодом активного роста растений [3].

Тренд климатического потепления в заповеднике привел к повышению среднегодовой температуры приземного воздуха на 2°С.Следствием потепления стали сдвиг начала вегетации на более ранние сроки, увеличение продолжительности всего вегетационного сезона, неравномерность распределения осадков. Засухи, ранее отмечавшиеся в период фенологической весны, теперь характерны и для лета, особенно его второй половины. С 1998 по 2018 гг. средняя продолжительность вегетационного сезона в ПТБЗ увеличилась с 186 до 196 дней, каждый второй сезон превысил 200-дневную отметку (рис. 1).

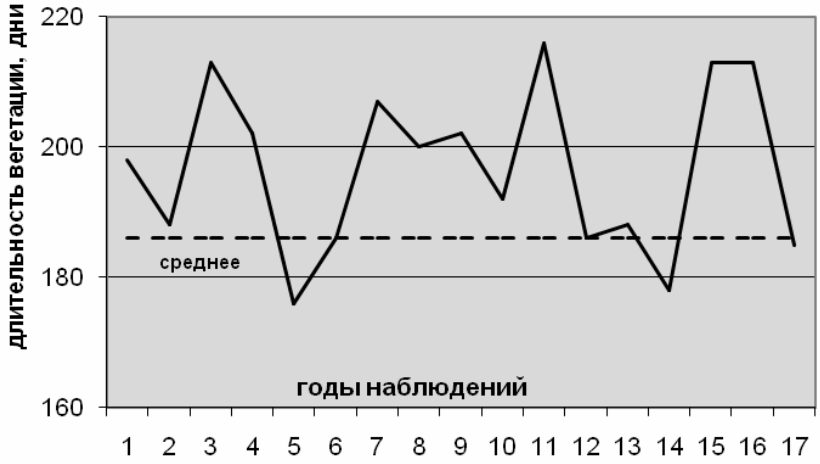


Рис. 1. Изменение продолжительности вегетационного сезона в ПТБЗ с 1998 г. (по материалам Станции фонового мониторинга «Приокско-Террасный заповедник»)

Сезон вегетации увеличивался как за счет сдвига окончания вегетации осенью, так и за счет более раннего начала вегетации весной. При этом значительно увеличились суммы эффективных температур. При средних значениях в 1591°С, теперь они часто дос-

тигают 1700-1900°С. Такие значительные изменения условий должны сказаться на функционировании экосистемы и ее параметрах.

Продуктивность является одной из интегральных характеристик экосистем. До потепления динамика продуктивности степных сообществ в Долах сохраняла тенденцию, свойственную зональной растительности, однако, в абсолютном выражении отставала от таковой на эталонных степных участках Центрально-Черноземного заповедника (ЦЧЗ) не менее чем в 1,5 раза. В то время как среднюю надземную продукцию эталонных степных фитоценозов при косимом режиме содержания можно оценить в 333,0 г/м^2/год [6], средняя надземная продукция степных сообществ ПТБЗ при таком же режиме содержания достигала в контрольном цикле лишь 210,0 г/м^2/год [2].

Цель данного исследования: подтвердить тенденцию повышения продуктивности степных сообществ экосистемы Долы (ПТБЗ, Московская область) в условиях продолжающегося потепления климата.

В связи с этим решены следующие задачи:

а) дополнить ряд данных по надземной продукции экосистемы Долы в период потепления климата;

б) провести сравнительный анализ данных, полученных автором с 1998 г. и архивных данных ПТБЗ, в привязке к циклам солнечной активности и в зависимости от гидротермических условий (ГТУ) вегетационных сезонов.

Оценивалась величина надземной продукции (включая зеленую часть и ветошь текущего года) как среднее арифметическое значение с трех стационарных площадок (площадью 100 м^2 каждая), расположенных вдоль градиента влажности. Одноразовое скашивание травостоя проводилось в период с 30 июня по 10 июля, на уровне почвы, в стандартных прямоугольных рамках 20х50 см – по трансекте из пяти фиксированных метровок каждого стационара. Укосы разбирали по видам, высушивали до воздушно-сухого состояния (для сопоставления с архивными данными) и взвешивали на лабораторных весах М-500, потом – на весах Acculab Vic-300d3. С 1975 по 2009 гг. методика предусматривала 20-кратную повторность по каждому стационару (по 4 рамки с каждой метровки). С 2010 г. учет велся выборочно (по 1-3 рамки с тех же метровок). Статистическую обработку данных проводили при помощи программы MXL.

Проведено сравнение продуктивности изолированной степной экосистемы Долы за три солнечных цикла: контрольного (1976-1986 гг.), совпадающего с базовым периодом климатической нормы, и двух циклов, совпавших с глобальным потеплением (1998-2008 гг. и 2009-2018 гг.). Диапазон продуктивности (по величине надземной продукции) за весь период исследований составил от 85,0±5,5 до 595,0±7,5 г/м^2/год (рис. 2).

В первом цикле составил от 85,0 до 330,0 г/м^2/год; во втором цикле – от 193,0 до 595,0 г/м^2/год; в третьем – от 217,0 до 390,0 г/м^2/год.

Сравнение показало, что средняя величина надземной продукции в экосистеме Долы на протяжении двух теплых циклов существенно превысила продукцию контрольного цикла. Значение итоговой фитомассы хорошо согласуется с гидротермическими условиями сезонов вегетации: ростом эффективного тепла и количеством атмосферных осадков до сенокошения.

Комплексная оценка условий вегетации включала сумму балов следующих факторов:

а) сочетания гидротермических условий сезона (до сенокошения),

б) сочетания гидротермических условий критического периода засухи,

в) влияние фактора непромерзания почвы.

Все сезоны были ранжированы по степени благоприятности для прироста фитомассы.

По данным трех стационаров величина средней надземной продукции за весь период наблюдений увеличилась с 210 г/м^2 до 280 г/м^2 в год. При этом в целом продуктивность экосистемы возросла в период потепления в 1,5 раза, а в оптимальные сезоны последних двух (теплых) циклов увеличилась по сравнению с контрольным циклом не менее чем на треть.

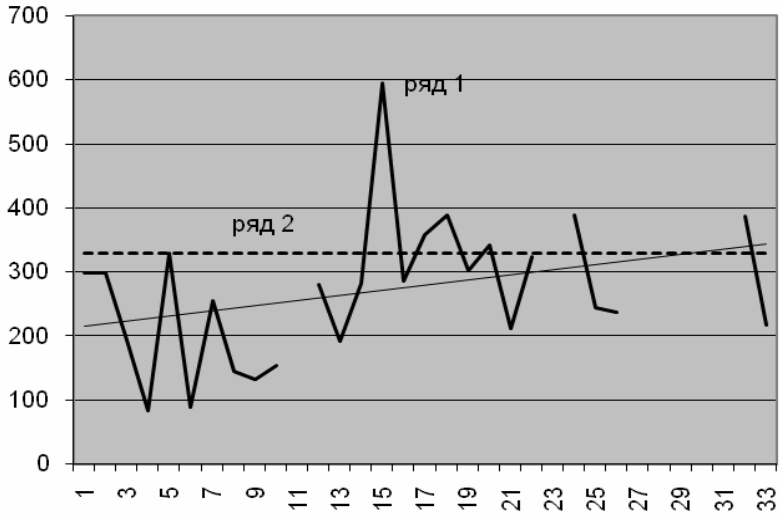


Рис. 2. Изменение продуктивности степной экосистемы Долы (ПТБЗ, Московская обл.) в период потепления климата. По оси абсцисс – годы наблюдений, по оси ординат – надземная продукция экосистемы, в г/м^2/год: ряд 1 – данные по ПТБЗ за три солнечных цикла (1976-1986; 1998-2008; 2009-2018); ряд 2 – средняя продуктивность луговых степей в ЦЧЗ (Курская область)

К оптимальным отнесены сезоны, гидротермические условия которых близки среднемноголетним значениям по региону. До потепления продуктивность в такие сезоны составляла не более 200-210 г/м^2/год. В цикле, совпавшим с потеплением (1998-2008 гг.) оптимальная продукция для экосистемы Долы практически сравнялась с зональной нормой для луговых степей, составив 324,4 г/м^2/год. Во втором теплом цикле (2009-2018 гг.) средняя надземная продукция составила 295,4 г/м^2/год – по выборке за 5 лет (или 320,3 г/м^2/год – по выборке за 6 лет). Таким образом, подтверждается тенденция 1.5 кратного увеличения продуктивности северного фрагмента луговой степи при продолжающемся потеплении.

В отличие от оптимальных, неблагоприятные сезоны характеризуются продолжительными периодами засухи (либо весной, либо летом). Такие сезоны существенно отличаются по гидротермическим условиям от среднемноголетних значений тепла и влажности, но не на всем протяжении вегетации. Потери продукции в экосистеме Долы в такие сезоны составили около 30%.

Сезоны с продолжительными и повторяющимися периодами засух могут быть отнесены к экстремальным. Такими особо засушливыми сезонами стали 1979, 1981 годы контрольного цикла (отрицательный экстремум). Они характеризуются наиболее значительным падением надземной продукции – до 70% от среднемноголетних значений.

Во втором цикле самыми засушливыми вегетационными сезонами стали 1999 и 2007 годы. Однако эти сезоны можно отнести к неблагоприятным, но не экстремальным, поскольку недостаток атмосферных выпадений этих лет компенсировался ранней вегетацией, совпавшей с наличием талых вод, что сказалось на конечной продукции. Итоговая надземная продукция в 1999 и 2007 гг. оказалась вдвое больше, чем в жаркие сезоны контрольного цикла. В третьем цикле также отмечены два сезона с рекордно жарким и сухим летом – 2010 и 2011 гг. Но при сильной засухе второй половины лета, они характеризуются чрезвычайно благоприятным периодом разгара фенологической весны и начала лета. Итоговая надземная продукция достигла среднемноголетних значений уже к началу июня.

Исследования показали, что в период потепления появились условия, более благоприятные для прироста фитомассы. Такими наиболее благоприятными сезонами стали теплые и влажные сезоны с ранним и активным началом вегетации. В период потепления каждый второй сезон отмечен продукцией выше региональной нормы на 50% и выше. В общем массиве данных особо выделяется сезон 2001 года (положительный экстремум). В

условиях влияния нового фактора (непромерзания почвы в зимний период) и ранней вегетации растений надземная продукция на всех стационарах оказалась выше в 2-2,5 раза по сравнению с продукцией контрольного цикла.

Заключение. Региональные особенности потепления в Южном Подмосковье проявились в повышении среднегодовой температуры воздуха на 2°С (выше чем средний тренд по РФ). Как следствие, увеличился вегетационный сезон, в среднем на 10 дней. Чаще сезон вегетации увеличился за счет его окончания осенью. Но каждый второй сезон теперь начинается раньше (в среднем, на неделю). Сдвиг начала вегетации на более ранние сроки положительно влияет на продуктивность степных сообществ заповедника.

Анализ продуктивности изолированного северо-западного фрагмента степи Долы в ПТБЗ на протяжении трех 11-летних циклов солнечной активности (контрольного и двух теплых циклов) подтвердил тренд 1,5 кратного увеличения продуктивности в данной экосистеме при потеплении климата.

Полный диапазон продуктивности экосистемы Долы (урочище Долы в ПТБЗ, Московская обл.) при косимом режиме содержания за 40 лет наблюдений составил от 85,0 до 595,0±7,5 г/м^2 надземной фитомассы в год. Географически исследуемая экосистема «сдвинута» от оптимума ГТУ луговых степей. Тренд климатического потепления приблизил условия ее функционирования до условий, близких к зональной норме. Теперь экосистема Долы способна производить продукцию, сравнимую с эталонной продукцией луговой степи в Курской области.

Потепление климата позволяет обозначить оптимум продуктивности экосистемы Долы при косимом режиме содержания диапазоном 300-400 г/м^2/год (надземная продукция). Максимальная продукция экосистемы Долы может двукратно превышать средние значения и составляет 600 г/м^2/год (по 2001 г.), что совпадает со средним значением зонального положительного экстремума (по данным трех стационаров ЦЧЗ) при косимом режиме содержания [по 6].

Благодарности: *Автор выражает искреннюю признательность сотрудникам Станции фонового мониторинга «Приокско-Террасный заповедник», Центрального управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, за постоянное сотрудничество и предоставление метеорологических данных.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменения климата. – М.: Росгидромет, 2014. – 61 с.

2. Данилов В.И. О структуре надземной фитомассы луговых степей Русской равнины. // Бюл. Моск. общ-ваиспыт. природы. Отд. биол. – 1988. – Т 93, вып. 6. – С. 51-59.

3. Данилов В.И. Сезонные ритмы природы Приокско-Террасного биосферного заповедника / В.И. Данилов, С.Д. Кулигин, Н.Н. Фадеев // Экологический мониторинг Приокско-Террасного биосферного заповедника. – Пущино, 1983. – С. 8-36.

4. Доклад Росгидромета об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год // Изменение климата (информационный бюллетень) – N77 // http://meteorf.ru. Дата обращения 09.04.2019.

5. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменения климата. – М., Росгидромет, 2008. – 227 с.

6. Собакинских В.Д. Динамика надземной фитомассы луговой степи Центрально-Черноземного заповедника (1948-2004 годы) // Изучение и сохранение природных экосистем заповедников лесостепной зоны. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Центрально-Черноземного заповедника. – Курск, 2005. – С. 218-220.

7. WMO. Statement on the State of the Global Climate in 2018. //www.meteorf.ru/upload/iblock/996/Izmenenie_klimata_N77_FebMar_2019.pdf/ обращение 09.04.2018.

НЕГАТИВНОЕ ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЛЕСНУЮ ЭКОСИСТЕМУ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

А.В. Калинин
kandvas@yandex.ru

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г.Архангельск, Россия

Изменение климата связано с возникновением стихийных бедствий и является одной из главных экологических проблем. Из-за сокращения площади бореальных и тропических лесов, снижается поглощение углекислого газа, способствующее развитию парникового эффекта в атмосфере. Глобальное потепление влияет на таяние полярных льдов и многолетней мерзлоты, приводит к увеличению температуры в Мировом океане, что сказывается на сокращении биоразнообразия флоры и фауны. Обезлесивание территории способствует нагреванию земной поверхности, приводящее к засухе зелёной растительности, опустыниванию и деградации природного ландшафта [0].

Архангельская область располагается на севере Восточно-Европейской равнины. На западе омывается водами Белого моря, образующего Мезенский, Двинской и Онежский заливы. Климат области является переходным между морским и континентальным. Север области относится к субарктической тундре. Ближе к югу господствует лесотундра с труднопроходимыми болотами. Приморский климат характеризуется интенсивными циклонами, формирующие большую влажность и облачность. Вследствие чего, на территории выпадает в среднем 600 мм осадков за год. Зима холодная, средняя температура зимних месяцев колеблется на уровне -26 °С с преобладанием холодных сильных ветров. Снежный покров на севере и востоке области залегает в течение 180-200 дней, на юге и западе 170-180 дней. В зимние месяцы солнце низко находится над горизонтом, длина дня сокращается на 5-6 часов.

Наступление весны начинается в апреле, вегетационный период длится от 50–60 дней на севере и до 150–155 дней на юге. Средняя температура лета +15°С. С середины мая до конца июля солнце не заходит за горизонт, образуя белые ночи. Антициклоны обуславливают ясную или малооблачную погоду. С Западной Сибири антициклоны, перемещаясь на север европейской части России, приносят с собой сухую морозную погоду зимой и жаркую – летом [0].

Тайгу в Архангельской области подразделяют на северную и среднюю. Северотаёжная и среднетаёжная подзоны обладают различными климатическими показателями. Климат, как доминирующий фактор, влияет на первичную биологическую продуктивность лесов. Например, потепление климата приводит к снижению уровня воды в реках и озёрах, а также грунтовых вод. Тёплая погода сказывается на быстром росте насекомых-вредителях и развитии вредных организмов. Оба лимитирующих фактора негативно влияют на состояние лесных насаждений, ухудшают их качество и сокращают численность лесообразующих пород. Солнечный свет играет незаменимую роль в развитии и росте растений. Увеличение продолжительности освещённости из-за сплошных вырубок и пожаров, влечёт за собой изменение форм стволов и отмиранию нижних ветвей деревьев. На Крайнем Севере продолжительность залегания снежного покрова, его высота и промерзание почвы является главными климатическими факторами роста деревьев. При дефляции сильного ветра в холодный период уменьшается высота снежного покрова, заморозки моментально губят подрост, освободившийся от снега. Количество осадков зимой также влияет на вегетационный период древесной растительности, сокращая его и ограничивая плодоношение. Пожары, ветровалы и буреломы воздействуют на генетическую дифференциацию и межвидовую конкуренцию [0].

Учёными установлена прямая связь между силой воздействующего на деревья ветра и производительностью древостоев. Оказывается, отрицательное влияние возникает в

формировании флагообразной кроны у деревьев, произрастающих деревьев по берегам озёр и по открытой масштабной территории. Флагообразная крона деревьев смещает центр тяжести, тем самым способствуя раскачиванию ствола ветром и подвергая его искривлению. При эксцентричной форме кроны снижается качество древесины, деревья уменьшают прирост в высоту, и возникает криволесье. При частых проявлениях ураганов и штормов лес превращается в сухостой. Сильные ветра расшатывают корневую систему деревьев, ухудшается питание растений влагой и минеральными веществами, защитные функции лесов теряются [0].

На территории Архангельской области проведено исследование университетом Восточной Финляндии и Шведским лесным агентством, которые определили, что вследствие изменения климата пострадают в большей доле еловые леса. При увеличении температуры на 4,5-7,4 градуса и влажности на 19-33 % значительно повлияет на рост, динамику, состояние и продуктивность лесов Поморья. Прогноз составлен с учётом влияния различных климатических сценариев и стратегий управления лесами. При более тёплом климате увеличится число вредных насекомых и организмов. В долгосрочной перспективе сократится лесистость насаждений, возможно появление наибольших случаев ветровалов и буреломов в лесу, что поспособствует росту численности жуков короедов и древоточцев.

Для решения проблемы истощения лесов вследствие влияния климатических и биологических факторов, необходимо провести меры по адаптации лесных экосистем. Рекомендуется заниматься лесовосстановительными работами, высаживать более устойчивые породы к изменению климата, сократить количество сплошных рубок в области и проводить экологический мониторинг в целях обнаружения и ликвидации негативных источников, вызывающих дисбаланс окружающей среды [0].

ЛИТЕРАТУРА

1. Архангельские известия: [сайт]. URL: https://www.izvestia29.ru/ 2018/10/08/5bbb0ba712f17b85d81c10f2.html (дата обращения: 10.05.2019).

2. Бобылев С.Н. Глобальное изменение климата и экономическое развитие / С.Н. Бобылев. – Москва: Изд-во ЮНЕП, WWF Россия, 2005. – 64 с.

3. Мартынов А.Н. Основы лесного хозяйства и таксация леса / А.Н. Мартынов. – Санкт-Петербург: Изд-во «Лань», 2008. – 372 с.

4. Общая характеристика климата Архангельской области и Ненецкого автономного округа: [сайт]. URL: http://www.sevmeteo.ru/files/arh-nao.pdf(дата обращения: 10.05.2019).

5. Сенов С.Н. Лесоведение / С.Н. Сенов. – Санкт-Петербург: Изд-во ГЛТУ, 2006. – 156 с.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В СТЕПНЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИК ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА

Е.А. Корчагина
helena.a.k@mail.ru

Кабардино-Балкарский научный центр РАН, г.Нальчик, Россия

Комплексное исследование подверженности территорий Северного Кавказа совокупности опасных природных процессов включает в себя мониторинг характеристик климата, влияющих на их активизацию [6-8].Особенности рельефа территории, на которой расположены республики Центрального Кавказа, приводят к тому, что здесь ярко выражено взаимное влияние опасных природных процессов различного генезиса – геолого-морфологического, климатического, гидрологического. Такие явления как сильные дожди

и ливни могут вызвать изменения в строении русла рек, влияют на их гидрологический режим, вызывают паводки на реках региона, приводящие к неблагоприятным последствиям для хозяйственной деятельности. Продолжительные периоды с высокими температурами воздуха приводят к таянию ледников в верховьях горных рек и самостоятельно, или в совокупности с ливнями, провоцируют сходы селей, оползней [13].

На примере метеостанции г. Прохладный, расположенной в равнинной части Кабардино-Балкарской Республики, рассчитана и проанализирована динамика климатических показателей такого элемента климата, как температура воздуха, в рамках исследования подверженности горных территорий опасным природным процессам. Исследованы изменения годового хода, многолетние средние за 30-летний и 10-летний периоды. Более подробно о методах расчета написано в [3-5].

Основой для составления рядов динамики средних месячных, сезонных и годовых значений приземной температуры воздуха послужили данные измерений на метеостанции [1, 10]. Расчету и анализу подверглись многолетние средние за весь период (с 1961г. по 2017 г. и с 1976 по 2017 гг.) и результаты сравнения с данными справочника [11] за 1881-1960 гг.; абсолютные и относительные аномалии для рядов, полученных на основе статистической обработки для средних за год, по десятилетним и тридцатилетним периодам, соответствующим требованиям ВМО [12].

Результаты расчетов многолетних средних годовых и сезонных значений температуры воздуха за периоды 1881-1960 гг., рассчитанные по данным [11], и 1961-2017 гг., приведены в таблице 1. Также приведены характеристики годового хода температуры воздуха по данным метеостанции г. Прохладный за различные периоды.

Таблица 1. Характеристики годового хода температуры воздуха (°С/мес.) за различные периоды, метеостанция г. Прохладный

Период, гг.	*Средняя температура,* °С					*Амплитуда годового хода,* °С
	Год	*Весна*	*Лето*	*Осень*	*Зима*	
1881-1960	9,64	9,30	22,33	10,23	-3,30	28,2
1961-2017	10,51	10,41	22,52	10,85	-1,74	26,6
1961-1990	10,09	10,09	21,92	10,54	-2,18	26,8
1971-2000	10,21	10,20	22,23	10,50	-2,07	26,2
1981-2010	10,66	10,37	22,67	11,00	-1,39	25,9
1988-2017	10,94	10,79	23,10	11,15	-1,26	26,3

Амплитуда годового хода при переходе от периода 1881-1960 гг. к периоду 1961-2017 гг. снизилась на 1,6 °С, что больше средней за год ошибки расчета значений, приведенных в [9].

Динамика средней годовой амплитуды воздуха с 1961 по 2017 гг. представлена на рисунке 1. На рассматриваемом отрезке времени динамика отрицательная, но статистически незначимая.

Средние месячные, годовые и сезонные значения, рассчитанные за тридцатилетние периоды, широко используемые показатели элементов климата. Периоды формируются согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО) и служат климатическими нормами [12, 13].

Результаты расчета указанных показателей для календарных сезонов и года в целом приведены выше в таблице 1. На исследуемом промежутке 1961-2017 гг. укладываются три таких периода, отвечающих требованиям ВМО: 1961-1990 гг., 1971-2000 гг., 1981-2010 гг. Абсолютные и относительные характеристики динамики данного показателя приведены в таблице 2.

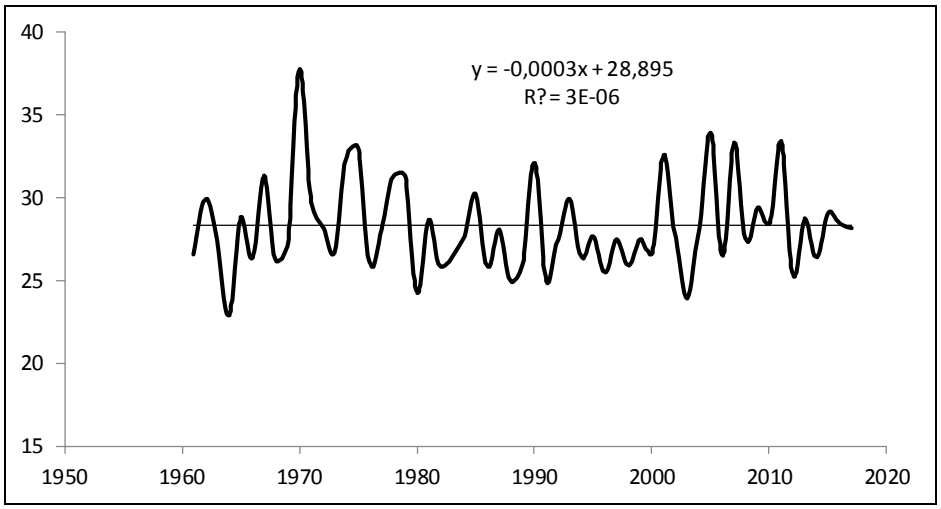


Рис. 1. Средняя годовая амплитуда температуры воздуха с 1961-20117 гг., метеостанция г. Прохладный

Таблица 2. Показатели динамики средних многолетнихзначенийприземной температуры воздуха, метеостанция г. Прохладный

Показатель	Год	Весна	Лето	Осень	Зима
Абсолютное изменение уровней ряда, °С					
$T_{N(1971-2000)} - T_{N(1961-1990)}$	0,12	0,11	0,31	-0,04	0,11
$T_{N(1981-2010)} - T_{N(1971-2000)}$	0,45	0,17	0,45	0,50	0,68
Темп прироста в % к предыдущему					
$\frac{T_{N(1971-2000)} - T_{N(1961-1990)}}{T_{N(1961-1990)}}$	1,21	1,09	1,41	-0,40	1,91
$\frac{T_{N(1981-2010)} - T_{N(1971-2000)}}{T_{N(1971-2000)}}$	4,40	1,67	2,01	4,72	11,54
Темп прироста в % к начальному 1961-1990 гг.					
$\frac{T_{N(1981-2010)} - T_{N(1961-1990)}}{T_{N(1961-1990)}}$	5,66	2,78	3,45	4,30	13,67

Из результатов расчета видно, что при переходе от уровня 1961-1990 гг., значения которого рекомендованы ВМО в качестве нормы, к уровню 1971-2000 гг. значения показателей возросли для всех сезонов на 1-2 %, не считая незначительного снижения осеннего показателя на 1% начального уровня.

Относительные базовые (к начальному уровню) приросты показателей за 1981-2010 гг. ($\frac{T_{N(1981-2010)} - T_{N(1961-1990)}}{T_{N(1961-1990)}}$) положительны для всех сезонов.

Десять лет - минимальный срок для вычисления значений элементов климата для получения климатических показателей. На рис. 2приведены абсолютные аномалии средних десятилетних показателей температуры воздуха. Последний уровень ряда 2008-2017 гг. не удовлетворяет требованиям ВМО, но характеризует самое последнее состояние климатической системы исследуемого района.

Средние десятилетние показатели температуры воздуха в равнинной части демонстрируют устойчивый рост, начиная с уровня ряда 1971-1980 гг. Для сравнения, в низкогорной части региона по данным метеостанции Зеленчукская отрицательное отклонение от нормы средних годовых аномалий приземной температуры воздуха имело место в пе-

риод зимой 1971-1990 гг. и составило -0,10 - -0,12 °С. На высокогорной метеостанции Шаджатмаз самое холодное десятилетие имело место в 1981-1990 гг. В этот период показатели температуры воздуха для всех сезонов отрицательные и среднегодовая аномалия составляет -0,18 °С [3].

Из полученного ряда видно, что на начальном отрезке (1961-1980 гг.) наблюдалось небольшое снижение уровня среднегодовой температуры воздуха (на 1,3%) (рис. 2).

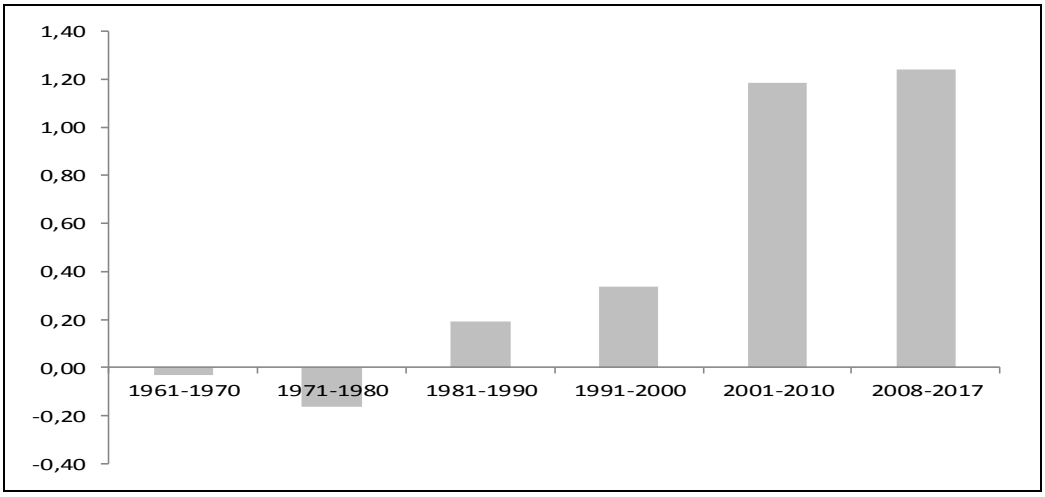


Рис. 2. Аномалии средних годовых уровней приземной температуры воздуха по 10-летним периодам, °С/мес./10лет, метеостанция Прохладная

Далее начался рост уровней более существенными темпами (в процентах к предыдущему): 3,6%, 1,3%, 8,1%. Начиная с десятилетия 1981-1990 гг. среднегодовые температуры стали превышать средний долгосрочный показатель 1961-1990 гг.

Вклад среднесезонных температур в среднегодовую положительную абсолютную аномалию по отношению к климатической норме приведен на рисунке 3.

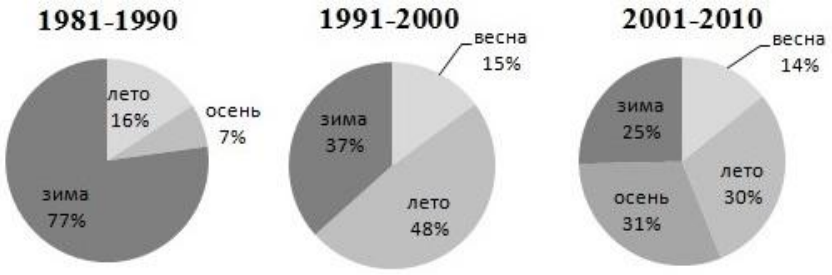


Рис. 3. Вклад среднесезонной приземной температуры воздуха в годовые положительные аномалии температуры, %

Из расчетов видно, что в 1981-1990 гг. основной вклад в среднегодовую аномалию внесли температуры зимнего сезона (77% общей аномалии), следующее десятилетие 1991-2000 гг. потеплело в основном за счет летних температур (48%), и только начиная с 2001 г. в потеплении стали участвовать все сезоны, но максимальный вклад (31%) пришелся на осень.

Линейные тренды уже традиционно характеризуют наличие или отсутствие направленных изменений климатических показателей в регионе [2]. Анализ характеристик линейных трендов, построенных для средних месячных, средних сезонных и средних годовых значений температуры воздуха за период 1961-2017 гг. показывает, что во все сезоны существует тенденция к повышению температуры, значимая на уровне 0,05. При этом *p*-значение для сезонов весна и зима на порядок меньше, чем у сезонов лето и осень.

Тренды на временном промежутке 1976-2017 гг. превышают свои значения за период 1961-2017 гг. в 1,3-1,7 раз. Все тренды средних сезонных значений температуры

воздуха в 1976-2017 гг. положительны и статистически значимы (гипотеза о случайном отличии от нуля отклоняется).

Из проведенного исследования можно сделать следующие выводы о региональных особенностях динамики температуры воздуха в равнинной части республик Центрального Кавказа.

Амплитуда годового хода температуры воздуха при переходе от периода 1881-1960 гг. к периоду 1961-2017 гг. снизилась на 1,6°С, что больше средней за год ошибки расчета значений, изменения могут быть признаны действительными.

Максимальные значения многолетних средних показателей демонстрируют те показатели, период расчета которых включает последние десятилетия рассматриваемого периода 1961-2017 гг.

За исследованный период тренды всех средних сезонных показателей температуры положительны. Статистически значимыми признаны линейные тренды за все сезоны как за период 1961-2017 гг., так и за период современного потепления 1976-2017 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В. «Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485.2014. URL:http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных (дата обращения: 15.08.2017).

2. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год. М.: Росгидромет, 2017. 70 с.

3. Корчагина Е.А. Колебания температуры воздуха в горных районах Карачаево-Черкесской Республики // Известия КБНЦ РАН. 2018. №5. С. 18-25

4. Корчагина Е.А.Исследование температурного режима в высокогорье Карачаево-Черкесской Республики с 1951 по 2016 гг. // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2017. № 6 (80).

5. Корчагина Е. А. Исследование устойчивости тенденций элементов климата в высокогорье Карачаево-Черкесии с 1959 по 2017 гг. // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2018. № 3(23). С. 106-115. DOI: 10.18454/2079-6641-2018-23-3-106-115

6. Марченко П.Е. Дифференцированные интегральные оценки подверженности геосистемопасным экзогенным процессам (на примере Кабардино-Балкарской Республики) // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – №1. – С. 35-41.

7. Кюль Е.В.Вопросы комплексной оценки фактической природной опасности территории Кабардино-Балкарской Республики (на примере бассейна р. Чегем) // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – № 1. – С. 24-32.

8. Марченко П.Е., Кюль Е.В., Анисимов Д.А., Борисова Н.А. Картографическая реализация оценки потенциальной природной опасности для Кабардино-Балкарской Республики // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2013. – № 6-1 (56). – С. 99-104.

9. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – Выпуск 13. – 724 с.

10. Расписание погоды. URL: https://rp5.ru (дата обращения: 15.08.2017)

11. Справочник по климату СССР. Выпуск 13. Часть II. Температура воздуха и почвы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – С. 430.

12. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals – WMO; 2017. URL: https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=4166 (дата обращения: 18.01.2018)

13. The Global Climate 2001-2010: a decade of climate extremes – Summary Report //WMO, 2013. N1203. 29 p. ISBN: 978-92-63-11203-3. URL: http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1119_en.pdf (дата обращения: 15.02.2018).

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ В ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

С.А. Костебелова, А.А.Махонченко
anastasiamahonchenko113@mail.ru, kostebelova.svetlana@mail.ru

Воронежский государственный педагогический университет, г.Воронеж, Россия

Климат в области умеренно-континентальный со среднегодовой температурой от +4,6 до +5,6 °С на севере области и от +6,5 до +7,0 °С на юге. На территории Воронежской области различают две климатические зоны — лесостепная и степная. Граница между ними проходит по долине Тихой Сосны до впадения ее в Дон, далее по Дону до устья Битюга, а затем на Таловую - Борисоглебск. Линия раздела климатических зон совпадает с оптимумом увлажнения, который балансирует около 1,0.

В северном климатическом районе годовое количество осадков опускается ниже 430-450 мм. В Россоши их выпадает 453, Каменной степи - 459, Евдаково - 484, Поворино - 451 мм. Средняя месячная температура января на севере и востоке области - 9,2 ... -10,5 °С. Наиболее высокие температуры наблюдаются в июле, когда средняя температура 19,6-20,6 °С на севере и северо-западе.

К южному климатическому району относятся южные и юго-восточные части Ольховатского, Россошанского, Петропавловского и Калачеевского муниципальных районов, а также Кантемировский и Богучарский районы. Среднее годовое количество осадков в этом районе 520-550 мм (Воронеж, Нижнедевицк). Средняя температура января здесь самая высокая (от -8,5 до -9,6°С), а в мае - сентябре она на градус выше, чем в соседнем северном районе. Средняя температура июля здесь от +21,0 до +21,8 градусов. Абсолютный максимум температуры был отмечен в 1971 году в южной части Воронежской области +41°С.

На территории Воронежской области максимальные значения относительной влажности смещаются с севера и запада на восток и юг. Число дней с высокой относительной влажностью (>80%) колеблется от 123 на северо-западе до 97-102 на востоке и юге. Наиболее часты «влажные» дни зимой. За сезон «влажных» дней бывает 53—55; максимум их приходится на декабрь — 20—23 дня. Летом высокая относительная влажность бывает редко: от 8 дней за сезон на северо-западе и до 4 — на востоке и юге. Минимальное число «влажных» дней отмечается в июне — 1-3 дня.

Для запада области в пределах восточных склонов Среднерусской возвышенности (Донское Белогорье) характерна «пятнистость» в распределении осадков. На Калачской возвышенности отмечается сложный рисунок распределения осадков (Воробьевка — 555 мм, Калач — 452 мм, Бутурлиновка — 494 мм). На Окско-Донской равнине суммы осадков понижены, как и на юге области (Эртиль — 457 мм, Ростоши — 402 мм, Шуриновка — 460 мм). Над Усманским бором, Шиповым лесом, Хреновским бором, особенно Теллермановской рощей отмечается повышение годовых сумм осадков на 40-60 мм.

Наиболее часты осадки зимой. Зимние осадки преимущественно продолжительные, моросящего или обложного характера и обычно небольшой интенсивности. Летом на севере и в центре области за месяц 10—12 дней с осадками, а на юге их менее 10. Минимальное число дней с осадками обычно в сентябре — 7—9 дней и менее. Во все месяцы теплого времени года, за исключением июля, можно ожидать заморозков. В июне и августе они бывают не ежегодно. В апреле заморозки на большей части территории области — явление обычное, в первой декаде мая вероятность заморозков достаточно велика даже на юге. И лишь во второй и начале третьей декады мая вероятность заморозков на большей части территории области уменьшается до 10—15%, а на юге они обычно прекращаются. Осенью заморозки начинаются в третьей декаде сентября — начале октября. При раннем наступлении холодной погоды они могут начаться и в начале сентября, а в условиях теплой осени — лишь в конце октября.

Летом интенсивность и количество осадков наибольшее (в июле от 53 до 75 мм), зимой количество осадков минимально (в феврале, реже в марте количество осадков от 30 до менее 20 мм). Летом практически одинакова вероятность северо-западных, северных и северо-восточных ветров. Осенью преобладают западные ветры. Зимой больше ветров с южной стороны, а весной велика повторяемость юго-восточных ветров, нередки суховеи. Слабые ветры (2,7—4,2 м/сек) наиболее вероятны в летние месяцы. Зимой и в переходные сезоны скорость их возрастает (до 4,8-6,2 м/сек). Скорость ветра минимальна обычно в августе (2,7—4,0 м/сек), максимальна — на всей территории в феврале (3,9-6,3 м/сек). На Окско-Донской равнине дуют ветра с меньшей скоростью, чем на Калачской возвышенности и отрогах Среднерусской возвышенности (в среднем на 0,4-0,9 м/сек). Дней со штилем бывает в среднем от 5 до 16 в год. Больше таких дней на юге области. Максимум штилей приходится на лето. В любое время года на большей части области возможны ветры более 15 м/сек. В среднем за год наблюдается от 8 до 20 дней с сильным ветром, а местами их число может составлять 25—29 (Нижнедевицк, Каменная степь, Митрофановка).

Оказалось, что самый холодный и самый тёплый день в **январе** были 10-го числа: 10 января 1987 года зафиксировали -35,3°С, а 10 января 2001 года — 8 градусов тепла. В **феврале** самый тёплый день за 65 лет наблюдений зафиксировали 27-го числа 1990 года: было 11 градусов тепла. Самый холодный — 3 февраля 1967 года (-35,8°С). Самым холодным оказался день 7 **марта** 1964 года (-32°С), а самым тёплым — 20 марта 1990 года (+18°С).8 апреля 1975 годы было жарче всего (+28,5°С), а 1 **апреля** 1952 года — холоднее (-14,3°С).Самый тёплый день в **мае** (+35,7°С) был 31-го числа 2007 года, а самый холодный (-3,1°С) — 9 мая 1952 года. Самый тёплый день в **июне** (+36,9°С) был 28-го числа 2010 года, а самый холодный (-1,5°С) — 4 июня 1967 года29 **июля** 2010 года зафиксировали +40,1°С, а 5 июля 2009 года отметили +5°С. Самый тёплый день за все 65 лет оказался 2 **августа** 2010 года: +40,5°С. А 44 года назад, в 1966 году, 31 августа температура опустилась до +0,6°С. С разницей в 50 лет температура в **сентябре** скакнула от -4,1°С до +31,9°С. Это было 18 сентября 1958 года и 9 сентября 2008 года, соответственно. Самый теплый день в **октябре** был 15 лет назад: 2 октября 1999 года было +26,5°С. А 31 октября 1979 года зафиксировали -11,5°С. Теплым выдалось и 11 **ноября** 2010 года: +16,1°С. Холоднее всего было 30 ноября 1998 года: -24,1°С. И, наконец, самый тёплый день за 65 лет наблюдений в **декабре** зафиксирован 6 числа 1976 года: 12,2 градусов тепла. А самый холодный — 31 декабря 1978 года (-33,4°С).

Результаты наблюдений в северной части Воронежской области (ВНИИСС им. А.Л. Мазлумова, п. Рамонь) выявили аналогичную тенденцию изменения климатических условий [2]. Здесь в 1919-1985 гг. средняя температура воздуха за вегетационный период с апреля по сентябрь составила около 15,0 ºС (рис. 1.). Но с 1986 г. наблюдается тенденция к росту (15,8 ºС), а в период 1999-2013 гг. – 18,2 ºС. В последний период наблюдений 2009-2015 гг. показатель температурного режима увеличился до 18,9 ºС, что превышает уровень периода 1919-1985 гг. на 3,5 ºС. Соответственно возросли и среднемесячные температуры: в апреле на 2,9 ºС, в мае на 4,7 ºС, в июне на 3,9 ºС, в июле на 4,9 ºС, в августе на 3,5 ºС, в сентябре на 3,1 ºС.

Количество осадков за апрель-сентябрь в 1919-1926 гг. составило 242 мм, в 1946-1974 гг. – 313 мм, в 1975-1985 гг. – 329 мм, в 1986-1998 гг. – 378 мм, и в последние 2009-2015 гг. – 373 мм, т.е. почти за 100 лет количество осадков увеличилось также на 130 мм (рис. 2).

В целом, начиная с 1946 г., изменения климатических условий применительно к северу Воронежской области выглядит следующим образом: среднегодовая температура воздуха с 1946 по 2014 год выросла на 3,0ºС, достигнув 8,6ºС, а количество осадков за тот же период увеличилось на 155 мм, достигнув уровня в 688 мм.

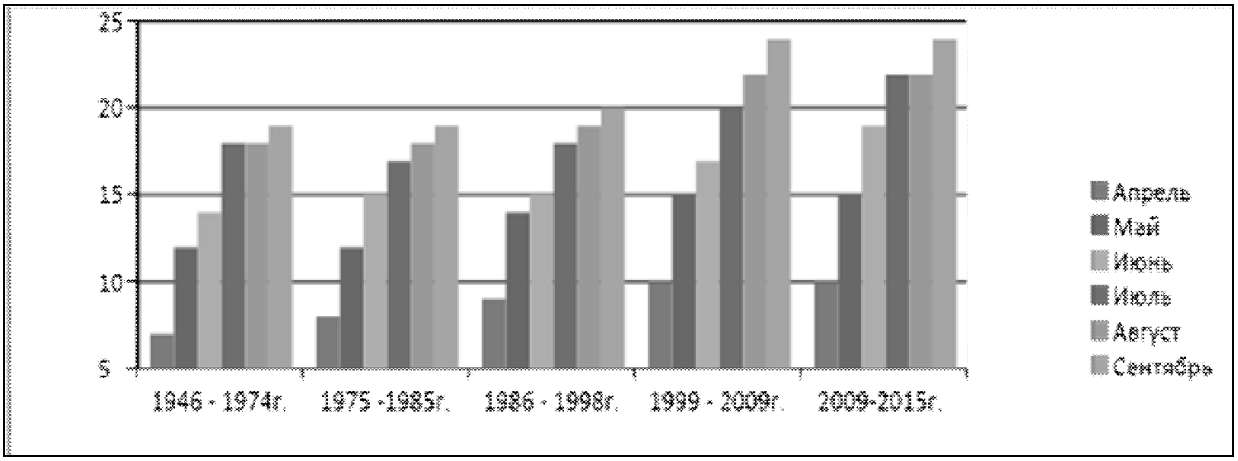


Рис. 1. Динамика изменения температуры за вегетационный период с 1946 по 2015 гг.

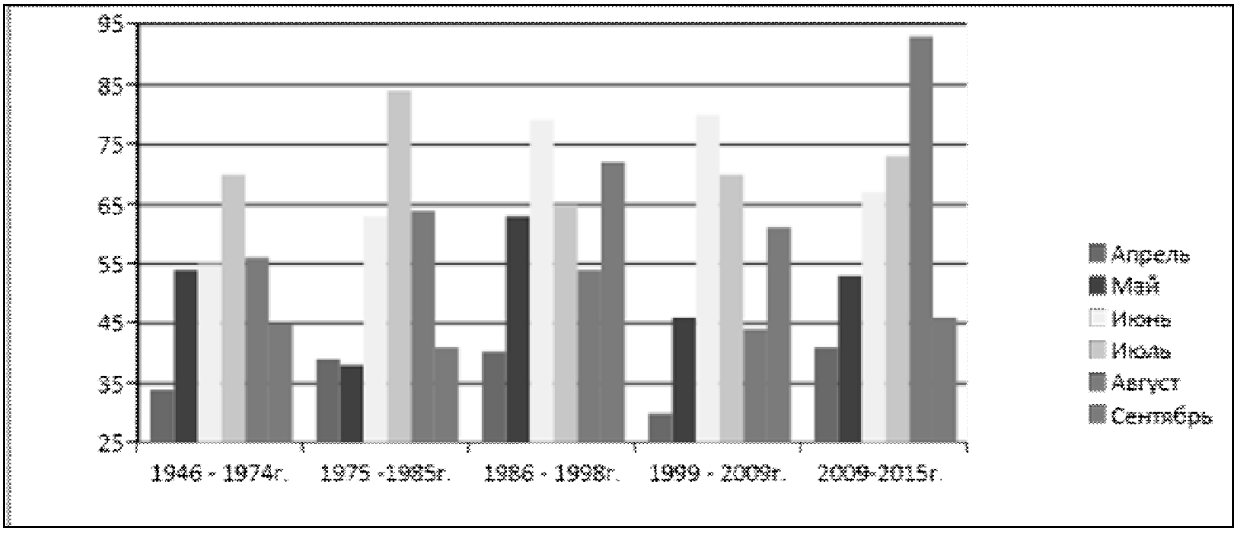


Рис. 2. Динамика изменения количества осадков в период вегетации

Однако следует отметить, что в последние годы осадки в период вегетации часто выпадают в виде ливней. Так, за сутки может выпасть более месячной нормы осадков, что в отдельных случаях приводит к повреждению посевов сельскохозяйственных культур. После выпадения обильных осадков, как правило, устанавливается сухая и жаркая погода с суховеями, переходящими в пыльные бури, что также негативно сказывается на развитии растений. Это косвенно подтверждается показателями относительной влажности воздуха, которая в мае, июне и июле не менялась за все периоды наблюдений, а в августе в последние годы снизилась на 6%, несмотря на увеличение количества осадков.

Почему же происходят изменения климата ЦЧР и особенно интенсивно в последние годы это проявляется в ЦЧР? Специалисты провели ряд анализов климатической обстановки и установили, что виной всему являются устойчивые блокирующие антициклоны, устанавливающиеся над Среднерусской равниной. Не случайно 2010 год отметился рекордно высокими температурами воздуха и малым количеством осадков: антициклон несколько месяцев препятствовал проникновению атлантических воздушных масс в ЦЧР, и в то же время способствовал приходу горячих воздушных масс из Северной Африки и Центральной Азии [4]. На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. В связи с указанными изменениями климата необходимо уточнение набора агротехнических приемов, возделываемых культур и их сортового состава.

2. В связи с потеплением ухудшились условия зимовки озимых культур, безвысадочных посевов сахарной свеклы на семена и многолетних насаждений, что требует изменений в подходах к селекции и агротехнике.

3. Изменяется видовой состав полезной и вредной микрофлоры почвы, возбудителей болезней растений, животных и человека, энтомофауны и сорных растений, что также требует соответствующего мониторинга и разработки интегрированных методов защиты растений.

4. Появляются новые проблемы и новые возможности изменения плодородия и сохранности почв (ускоренная минерализация органического вещества почвы и сидеральных культур).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гордеев А.В., Турусов В.И. Изменение плодородия черноземных почв в результате антропогенеза и способы его воспроизводства в современных системах земледелия / А.В. Гордеев, В.И. Турусов, Ю.И. Чевердин, А.М. Новичихин, В.М. Гармашов // Каменная степь. – 2015. – с. 9-23.

2. Кравец М.В. Изменение климата и семеноводство сахарной свеклы в ЦЧР / М.В. Кравец, И.И. Бартенев, С.П. Борзенков, Д.С. Гаврин // Приемы и средства повышения продуктивности сахарной свеклы и других культур севооборота. Сборник научных трудов. – Воронеж: Воронежский ЦНТИ – филиал ФГБУ «РЭА» Минэнерго России. – 2014. – С. 87-90.

3. Мингалев Д.Э. Региональные аспекты глобального потепления климата (на примере Псковской области) / Д.Э. Мингалев // Современные концепции научных исследований: Материалы международной научно- практической конференции. – 2014. – Ч. 8. – С. 44-45.

4. Соловьев А.Б. Влияние изменений агроклиматических условий на зерновое хозяйство Белгородской области / А.Б. Соловьев, Л.В. Марциневская, И.Ю. Вагурин, Д.С. Шушурихина // Современные концепции научных исследований: Материалы международной научно-практической конференции. – 2014. – Ч. 8.

5. Гляциологический словарь / под ред. В. М. Котлякова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 527 с.

6. Котляков В. М. Мир снега и льда / В. М. Котляков. – М., Наука, 1994. – 286 с.

7. Никаноров А. М. Глобальная экология / А. М. Никаноров, Т. А. Хоружая. – М.: Приор, 2001.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МИНИМАЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ЗИМНИЙ ПЕРИОД НА ТЕРРИТОРИИ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.А. Кочугова
kochugovae@mail.ru

Иркутский государственный университет, г.Иркутск Россия

Наступивший в конце прошлого века перелом в понимании значимости климата способствовал постановке новых климатических задач, в которых анализ климатических экстремумов занял особое место. Появились более качественные модели климата [2], воспроизводящие сценарии будущего изменения экстремальных явлений, позволившие заключить, что потепление глобального климата приводит к заметным изменениям повторяемости и интенсивности экстремальных явлений регионального масштаба.

Экстремумы метеорологических величин показывают границы их изменчивости и определяют степень как прямого воздействия на организм человека за счет увеличения числа дней с аномально низкими или высокими температурами, наводнений, штормов, так и косвенного, определяемого влиянием экологических или социально-экономических факторов.

Динамика экстремумов является важным показателем глобального климата, и ее своевременная оценка может помочь адаптировать общество к рискам, а также выработать меры по использованию благоприятных возможностей, связанных с ожидаемым изменением климата и его воздействиям. В попытках приспособиться, конечные пользователи заинтересованы не только в простых временных рядах средних значений, показывающих тенденции, но и в оценке возможных изменений изменчивости климатических переменных, т.к. даже сравнительно небольшие по величине изменения средних значений могут приводить к значительным изменениям статистики экстремумов.

Информация о вероятности возникновения экстремально низких температур важна для решения прикладных задач в различных секторах экономики, в том числе здравоохранении, энергетики, сельском, лесном, водном хозяйствах и т.д. Очень часто для их решения необходимы сведения о годовых минимумах, значения которых используются в качестве расчетных параметров в ряде нормативных документов.

В данном исследовании пространственной структуры минимальных значений температур на территории Иркутской области используется период с 1943 по 2017 гг. Поданным суточного разрешения наблюдений за минимальной температурой воздуха, собранных в ВНИИГМИ−МЦД, был проведен анализ температурного режима зимнего периода.

На распределение минимальной температуры воздуха в большей степени, чем на среднюю месячную температуру, оказывают влияние особенности местоположения метеорологической станции (форма рельефа, ширина и направление долин, условия стока холодного воздуха, площадь воздухосбора, инверсии, близость больших водоемов, микроклиматические особенности подстилающей поверхности и т.д.). Большое разнообразие физико-географических условий рассматриваемой территории затрудняет обобщение данных наблюдений. В целом, минимальная годовая температура на севере региона исследования может опуститься от –57 °С 1 раз в 10 лет до –62 °С 1 раз в 100 лет; в центральный части от –47 °С 1 раз в 10 лет до –55 °С 1 раз в 100 лет; на юге от –42 °С 1 раз в 10 лет до –50 °С 1 раз в 100 лет; на прибрежной территории озера Байкал от –37 °С 1 раз в 10 лет до –41 °С 1 раз в 100 лет. Практически исключена возможность понижения температуры ниже –40 °С в высокогорьях Хамар-Дабана. Более низкие температуры в долинах по сравнению с хребтами зимой объясняются преобладанием антициклональной погоды, которая, как правило, приводит к образованию инверсионного распределения температуры. Зимой в антициклонах часто приземная инверсия, возникающая в результате выхолаживания приземного слоя воздуха от подстилающей поверхности и отрицательного радиационного баланса, может существовать неделями и, постепенно усиливаясь, может соединиться с антициклональной приподнятой инверсией, существующей на высоте 1-2 км. Таким образом они, усиливая друг друга, приводят к тому, что приземная температура воздуха опускается до –50°С, а на высоте 1,5 км она на 10–20 °С выше.

Как правило, наиболее низкие температуры воздуха в районе исследования наблюдаются в январе, когда азиатский антициклон достигает своего наибольшего развития и велико радиационное выхолаживание. Средние температуры января колеблются от −30,8°С (станция Бодайбо) и −35,1 °С (станция Наканно) на севере до −17,0 °С (станция Хамар-Дабан) на юге Иркутской области [6]. На большей же части территории температура изменяется от −27 до −24 °С, несколько повышаясь в юго-восточных районах и Предсаянье до −20 °С. В отдельные дни температура воздуха может быть значительно ниже. Предельно низкая приземная температура воздуха (−61 °С) была зафиксирована на станции Ербогачен в 1966 г. Именно этот год долгое время оставался рекордным для большей части региона (Ербогачен, Светлый, Хамакар, Казачинское, Ика, Киренск, Орлинга, Преображенка). Новым рекордным годом повсеместных сильных морозов стал 2001 г. Минимальные температуры этого года на отдельных станциях превзошли минимумы предыдущих лет. На метеостанции в Ангарске в указанный год наблюдалась минимальная температура воздуха −47,6 °С, следует указать, что предыдущий минимум (−45,1 °С) был зафиксирован также в 1966 г. Обновился абсолютный минимум и на других станциях (Братск, Калтуке, Лукиново) [4].

Наиболее суровый температурный режим в зимний период на рассматриваемой территории наблюдается при мощных ультраполярных вторжениях антициклонов. Вторжение сопровождается распространением с севера отрога антициклона. При этом типе синоптических процессов повторяемость низких температур колеблется от 50 до 65%.

Зимой территория Иркутской области может находиться под опосредованным влиянием блокингов, которые, как известно, приводят к ослаблению зонального переноса, развитию сопряженной высотной ложбины и длительному сохранению сильных затоков холодного воздуха на материк [1; 3; 5]. Яркий пример подобных блокингов − аномально холодная зима 1968-1969 гг., когда в 92% случаев отсутствовал зональный перенос. Повторяемость блокирующих процессов в последние годы увеличивается. Быстрый рост продолжительности блокирующих процессов, стали определять низкие температуры воздуха, что в полной мере подтвердили суровые зимы 2000-2001 гг., 2005-2006 гг., 2009-2010 гг. и 2015-2016 гг.

Региональные особенности изменчивости климатических характеристик, связанные с глобальными процессами декадных масштабов, активно исследуются в рамках многочисленных климатических международных и национальных программ [7]. В данной работе результаты анализа минимумов температуры воздуха зимнего сезона, осредненных за десятилетия показали, что потепление охватывало большую часть региона. Однако на фоне роста минимальных температур наблюдались десятилетия, когда значения средней минимальной температуры резко понижались. В десятилетний период (1963-1972 гг.) минимальные температуры почти повсеместно (исключение ст. Ика, Наканно) стали ниже на 1,3 °С по сравнению с предыдущим временным отрезком. Наиболее значительное понижение исследуемой переменной отмечено на станциях Киренск (ниже на 2,1 °С), Большое Голоустное и Максимово (ниже 1,8 °С). Второй период понижения минимумов температуры воздуха наблюдался после 2003 г. Среднее значение понижения минимальной температуры, осредненное по всем рассматриваемым в работе станциям, составляет 2,2 °С. Наибольший вклад в эту величину вносит станция Максимово. Здесь минимальная температура резко понизившись на 8,2 °С по сравнению с периодом 1993-2002 г., стала составлять -28,6 °С.

Средние квадратические отклонения минимальных температур зимних месяцев находятся в пределах от 5,6 до 18,7 °С. Наибольшие значения этой величины характерны для северной части Иркутской области, т.к. рельеф Ербогаченской равнины не представляет препятствия для прохождения воздушных масс с севера, запада и юга, что увеличивает изменчивость условий погоды из года в год. Очаг наименьших значений среднего квадратического отклонения располагается на юге рассматриваемого региона (станции Иркутск и Большое Голоустное).

Хозяйственная деятельность и жизнеобеспечение населения существенно нарушаются в период экстремальных условий погоды. Морозы увеличивают вероятность технических аварий. Ущерб от сильных морозов связан с гибелью людей от переохлаждения, замораживанием технических объектов, разрушением систем отопления, повреждениями в жилищно-коммунальном хозяйстве населенных пунктов, в первую очередь водоснабжения. В целях повышения уровня предсказуемости наступлениях зимних экстремальных температур была проведена статистическая обработка случаев с очень сильными морозами, когда минимальная температура воздуха опускалась ниже –30, –35, –40, –45, –50 и –55 °С.

Минимальная температура воздуха ниже –30 °С наблюдалась на всех рассматриваемых станциях. Приблизительно 50%станций фиксировали эту температуру через день. Наиболее часто минимальная температура опускалась ниже–30 °С на станциях, расположенных в на севере Иркутской области. Например, в Наканно повторяемость температуры ниже указанного предела от десятилетия к десятилетию колебалась от 75 до 83%. Довольно редко температура воздуха опускалась ниже –30 °С на станциях Иркутск и Большое Голоустное в 14 и 7% случаев соответственно.

Аналогичное распределение повторяемости характерно и для температур ниже –35 °С. В среднем по территории повторяемость температур ниже указанного предела соста-

вила 26%. Самые суровые зимние условия наблюдались с 1963 по 1972 г. в этот период повторяемость температур ниже –35 °С увеличилась до 32%. Наибольшее увеличение характерно для западных станций (Тулун, Тайшет, Нижнеудинск), а также станций Максимово и Киренск. На севере региона температуры ниже –35 °С наблюдались всего на 2% чаще по сравнению с предыдущим десятилетием. После 1973 г. повторяемость рассматриваемой градации уменьшилась до 22%.Самые теплые зимы в Иркутской области наблюдались после 1983 г. На всех метеорологических станциях повторяемость минимальной температуры воздуха ниже –35 °С резко уменьшилась. Значительное сокращение градации произошло на территории расположенной севернее широты 57°. Здесь повторяемость сильных морозов уменьшилась по сравнению с предыдущим периодом, по крайней мере, на четверть, а местами на треть (Жигалово). В последующие годы темпы роста минимальной температуры сократились, а в последнее десятилетие тенденция сменилась на обратную (за исключением станций Ика и Нижнеудинск).

В среднем повторяемость случаев с минимальной температурой ниже –40 °С на севере Иркутской области колеблется в пределах от 18 до 49%, на остальной территории – не превышает 7%. В целом закономерности пространственно-временного распределения аномально низких температур характерные для градации ниже –35 °С сохраняются. Однако интенсивность изменения повторяемости минимальных температур от десятилетия к десятилетию уменьшалась в 2 раза по сравнению с повторяемостью температур ниже –35 °С.

Сравнивая повторяемости случаев с минимальными температурами ниже –45 и –50 °С можно отметить, что указанные температуры могут устанавливаться на большей части рассматриваемой территории, за исключением южных районов. Однако их повторяемость не превышает 36% в северном и 4% в западном районах области. За рассматриваемый период для этих градаций было отмечено несколько исключительно суровых зимних периодов в 1943-1952 гг. и 1973-1982 гг. Так, на станции Наканно повторяемость температур ниже –50 °С в указанные временные интервалы составляла в среднем 14%, т. е. случаи с аномально низкой температурой наблюдались через 7-8 суток. Далее произошло довольно резкое сокращение повторяемости указанной градации до 5% (20 суток). Аналогичные тенденции наблюдались и на других станциях региона. В среднем повторяемость градации ниже –45 °С в 3 раза больше, чем градации ниже –50 °С.

Крайне редко (не более 3,5% случаев) минимальная температура опускается ниже –55 °С. Значительные понижения температуры воздуха обусловлены перемещением холодных арктических воздушных масс, которые вследствие малой влажности и большой прозрачности при движении подвергаются дальнейшему радиационному выхолаживанию. Повторяемость этой градации от десятилетия к десятилетию значительно меняется, уменьшаясь после 1982 г. Последний 10-летний цикл по данным о минимальной температуре является значительно теплее предыдущего периода.

В среднем на рассматриваемой территории минимальная температура воздуха за период с 1943 по 2017 гг. повысилась на 3,3°С. Увеличение минимальной температуры, превысившее его среднее значение по региону, произошло в северо-восточном, западном и центральном районах. На побережье Байкала этот рост выражен слабее.

Климатические экстремумы – важнейший фактор условий жизни людей, т.к. именно они создают предпосылки для возникновения чрезвычайных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булыгина О.Н. Рекордные морозы в январе 2006 года на территории Российской Федерации // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2007. – Вып. 173. – С. 215-220.

2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. – 1018 с.

3. Голубев А.Д., Кабак А.М., Никольская Н.А. и др. Блокирование западного переноса над Евразией зимой 2012 года и связанные с ним погодные аномалии // Труды Гидрометцентра России. – 2013. – Вып. 349. – С. 188-213.

4. Кочугова Е.А. Динамика климатических экстремумов на территории Иркутской области. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. – 171 с.

5. Мохов И.И. Действие как интегральная характеристика климатических структур: Оценки для атмосферных блокингов // Докл. Акад. наук. Геофизика. – 2006. – Т. 409, № 3. – С. 403–406.

6. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Вып. 22. – Л. : Гидрометеоиздат, 1991. – 604 с.

7. Попова В.В., Шмакин А.Б. Региональная структура колебаний температуры приземного воздуха в северной Евразии во второй половине XX – начале XXI веков // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2010. – № 2. – С. 161–175.

ИЗМЕНЕНИЯ В РЕЖИМЕ ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

О.В. Крымская, А.А. Крымская, И.В. Волошенко
krymskaya@bsu.edu.ru

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г.Белгород, Россия

Климат Белгородской области, расположенной на юго-западных и южных отрогах Среднерусской возвышенности умеренно-континентальный с преобладанием летних осадков над зимними. Согласно данным Научно-прикладного справочника по климату [3] годовое количество осадков по метеостанциям Белгородской области изменялось от 536 мм в Валуйках до 553 мм в Белгороде.

Изменения основных климатических показателей – температуры воздуха и осадков в регионе неоднократно были объектом исследования [1, 2, 4]. Если в конце XX века на исследуемой территории отмечалось потепление «по зимнему типу», когда наблюдались значительные положительные аномалии температуры воздуха с января по март, то в начале XXI века зафиксированы положительные аномалии температуры и в летний период. Белгородская область относится к зоне неустойчивого увлажнения и повышение испаряемости как следствие роста температуры может усилить засушливость климата. В этой связи актуальным является исследование изменений в режиме осадков, произошедших как в начале текущего столетия, так и за последние 30 лет.

В таблице 1 приведены значения годовых сумм осадков по трём метеостанциям Белгородской области: Богородицкое-Фенино (расположено на севере), Валуйки (юго-восток области), Белгород (центр). Выбор станций объясняется возможностью сопоставить обобщенные данные Научно-прикладного справочника по климату с фондовыми материалами Белгородского центра по гидрометеорологии.

За последние 30 лет в Богородицком-Фенино и Валуйках годовое количество осадков увеличилось примерно на 9%, в то же время в Белгороде зафиксировано снижение указанной характеристики почти на 3%. Отмеченные тенденции сохранились и даже усилились в XXI веке в Богородицком-Фенино и Белгороде.

Таблица 1. Годовые суммы осадков в Белгородской области за различные периоды осреднения, мм

Период осреднения	Метеостанции		
	Богородицкое-Фенино	Белгород	Валуйки
Норма-80	546	553	536
1989-2018 гг.	593	538	583
2001-2018 гг.	598	526	577

Осадки теплого периода составляют приблизительно две трети от общей годовой суммы осадков и играют определяющую роль в формировании урожая основных сельскохозяйственных культур, выращиваемых на территории области. Изменения, произошедшие в количестве осадков, выпадающих с апреля по октябрь на территории Белгородской области представлены в таблице 2.

Таблица 2. Суммы осадков теплого периода за различные периоды осреднения, мм

Период осреднения	Метеостанции		
	Богородицкое-Фенино	Белгород	Валуйки
Норма-80	386	362	343
1989-2018 гг.	394	343	372
2001-2018 гг.	393	314	346

Сравнение осреднённых значений сумм осадков за последние 30 лет с нормой-80 показало увеличение количества осадков теплого периода в Валуйках (на 29 мм) и уменьшение этой характеристики в Белгороде (на 19 мм), отсутствие существенных изменений – в Богородицком-Фенино.

В то же время в Белгороде и Валуйках за период 1989-2018 гг. и последние восемнадцать лет отмечен отрицательный статистически значимый тренд в изменении осадков теплого периода (рис. 1).

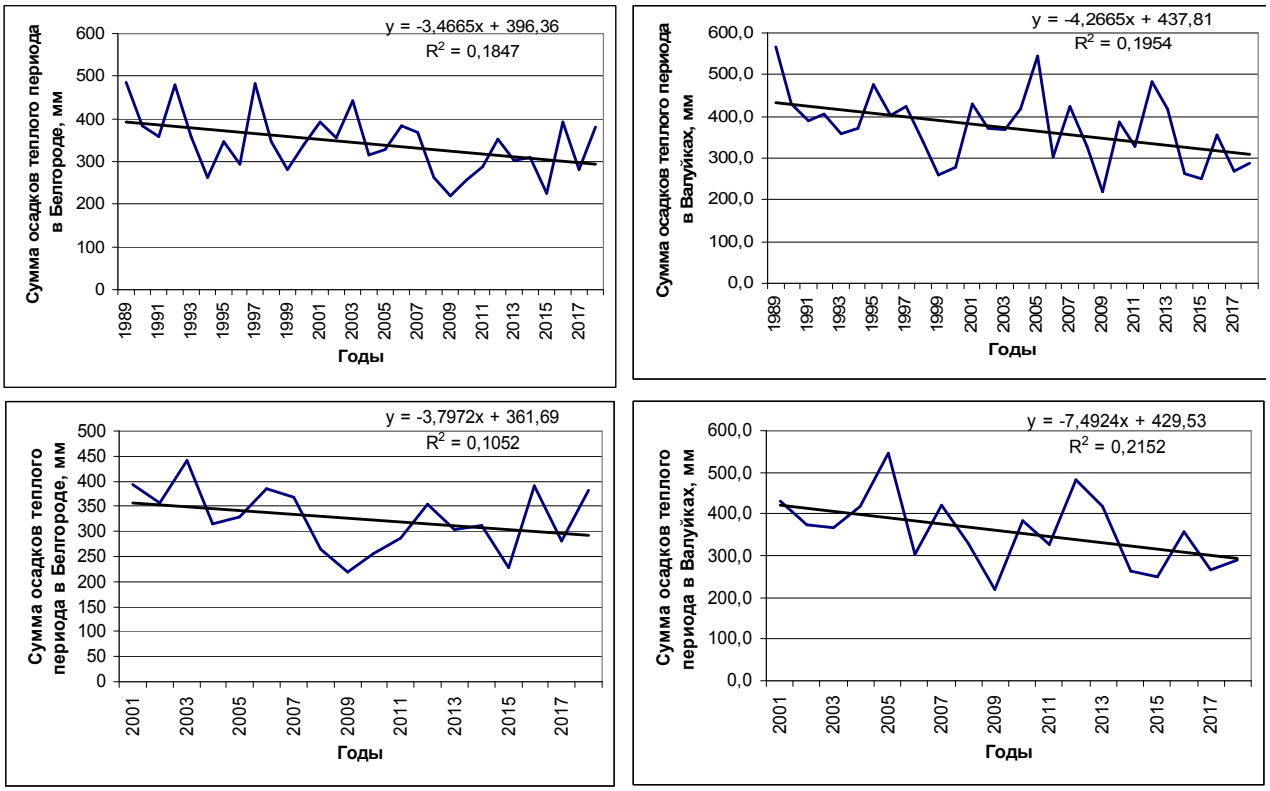


Рис. 1. Межгодовая динамика осадков теплого периода в Белгороде и Валуйках

Анализ повторяемости непрерывных периодов без дождей показал, что в начале XXI века на всех исследуемых станциях отмечен рост таких периодов, продолжительностью более 15 дней, что говорит об усилении засушливости теплого периода.

Произошли изменения и в количестве осадков, выпадающих с ноября по март. Наибольший рост их за последние три десятилетия по сравнению с нормой-80 отмечен на севере области – в Богородицком-Фенино (на 40 мм), на юго-востоке количество осадков увеличилось незначительно, а в центре изменений не наблюдалось. В начале XXI века увеличение сумм осадков холодного полугодия зафиксировано только на севере области (табл. 3).

Таблица 3. Суммы осадков холодного периода за различные периоды осреднения, мм

Период осреднения	Метеостанции		
	Богородицкое-Фенино	Белгород	Валуйки
Норма-80	160	191	193
1989-2018 гг.	200	194	211
2001-2018 гг.	204	186	208

Таким образом, оценивая изменения режима осадков на территории Белгородской области в начале XXI века, можно выделить три варианта: снижение годового количества осадков, связанное с уменьшением осадков теплого полугодия в центре области (Белгород), рост годовых сумм осадков на севере и юго-востоке, вызванный в первом случае (Богородицкое-Фенино) увеличением осадков холодного полугодия, а во втором (Валуйки) – ростом осадков теплого полугодия.

Анализ произошедших изменений в режиме осадков позволяет сделать следующий вывод: повсеместное увеличение термических ресурсов в Белгородской области [1, 2] в большинстве пунктов не сопровождается достаточным увеличением количества осадков, а в центре области наблюдается уменьшение сумм осадков теплого периода, что приводит к неблагоприятным для сельского хозяйства региона последствиям – усилению засушливости, проявляющейся в учащении атмосферной и почвенной засух [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Географический атлас Белгородской области: природа, общество, хозяйство. – Белгород: КОНСТАНТА, 2018. – 200 с.

2. Лебедева М.Г., Крымская О.В., Чендев Ю.Г. Агроклиматические ресурсы Белгородской области в начале XXI века //Достижения науки и техники АПК. – 2016. – №10, т. 30. – С. 71-75.

3. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1 – 6. Вып. 28. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1990. – 365 с.

4. Почвы и растительность юга Среднерусской возвышенности в условиях меняющегося климата: монография; отв. ред.: Ю.Г. Чендев, М.Г. Лебедева. – Белгород: КОНСТАНТА, 2016. – 326 с.

АТМОГЕОХИМИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ЛЕСОСТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Т.М. Кудерина, С.Б. Суслова, В.Н. Лунин, А.В. Кудиков
kuderina@igras.ru

Институт географии РАН, г.Москва, Россия

Современные изменения климата активно влияют на ландшафтно-геохимические системы (ЛГС) России. Особый интерес вызывают наиболее чувствительные к переменам геосистемы переходных зон. Ярким примером таких ландшафтов могут быть лесостепные ландшафты ЕТР. Это наиболее экономически значимая часть России с длительным периодом антропогенного освоения. Для оценки состояния современных ландшафтов используется методика нейтрального баланса деградации земель [НБДЗ]. Конвенции по борьбе с опустыниванием [1]. Для ее наполнения необходимо знать характеристики всех компонентов ландшафтно-геохимических систем изучаемой территории. Почвы и в какой-то степени растительность остаются в стабильном состоянии. Значимым компонентом ЛГС в лесостепи являются жидкие и твердые атмосферные осадки, которые определяют устойчивое функционирование этих семи аридных ландшафтов.

Лесостепная зона ЕТР характеризуется теплым климатом, полого-увалистым рельефом, степной растительностью с фрагментами широколиственных лесов, черноземами на покровных суглинках и слабой речной сетью. Поэтому атмосферные осадки здесь являются лимитирующим фактором при функционировании ЛГС.

Определение атмогеохимических особенностей ЛГС лесостепи было основной целью исследований. Геохимическое изучение атмосферных осадков в течение 2018 года и снежного покрова зимой 2018 и 2019 годов проводились на Курской биосферной станции ИГ РАН (КБС), которая расположена в Медвенском районе Курской области.

Методика исследований основывалась на ландшафтно-геохимическом подходе[2].Отбор проб снежного покрова проводились в конце февраля при максимальном снегонакоплении, отмечалась мощность снежного покрова в точках наблюдения и при маршрутных исследованиях ЛГС КБС. Пробы снега в колонке 10х10 см по всей толще отбирались в стерильную тару, отмечались горизонты протаивания. В пробах снега определялись pH, минерализация кондуктометром Hanna, химический состав методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой(ICP-MS). Пробы дождевых осадков отбирались в теплый период года в весенне-летне-осенний период с указанием срока выпадения дождя. Химические исследования проводились тоже методом ICP-MS.

По данным метеостанции Росгидромета в Курске общее количество осадков в 2018 составило около 600мм. По нашим данным высота снежного покрова в лесных и степных ландшафтах достигала 39 см, а в агроландшафтах колебалась от 25 до 30 см.

Гидрохимические показатели снежного покрова 2019 г. и дождей 2018 г. отражены в таблице 1. Для сравнения приведены данные вод Сейма и снежного покрова техногенного ландшафта г. Курска (Завод «Аккумулятор»). 2018 год отличался засушливостью в весенний период, поэтому представлены осадки летне-осеннего периода.

Таблица 1. Минерализация и pH растворенной части снежного покрова и дождевых осадков в ландшафтно-геохимической системе Курской биосферной станции

Место отбора проб	**pH**	**г/л**
Снежный покров 2019 г.		
степь КБС	5,9	0,06
степь АТ КБС	5	0,01
поле к востоку от КБС	4,61	0,01
Дно Панинскогооврага	4,35	0,01
поле к югу от КБС	4,32	0,01
поле к западу от КБС	4,75	0,01
Поле, свежий снег 27.02	4,02	0,01
поле к западу от КБС	4,05	0,01
лес дубово-ясеневый, ДК	4,2	0,01
Лес дубовый	4,1	0,01
Лес широколиственный, свежий снег 27.02	3,9	0,01
Лес широколиственный,дно оврага	4,66	0,01
Степь,метеостанция	4,06	0,01
Поле, овраг к северу от КБС	4,32	0,01
Дорога, Панино	4,04	0,01
Дорога, Панино	4,06	0,01
Трасса, перекресток	4,7	0,02
КБС, свежий снег 28.02	5,35	0,02
Завод «Аккумулятор», Курск	6,01	0,03
Р. Сейм	7,71	0,38

Место отбора проб	pH	г/л
Дождевые осадки		
23-24.06.18	5,5	0,019
04.07.18	5,7	0,033
07.08.18	5,4	0,011
27.09.18	5,6	0,018
01.10.18	6,0	0,056
30.10.18	5,0	0,024

Результаты измерений показывают, что снежный покров в 2019 г. в целом слабо минерализован. Антропогенное влияние наблюдается вдоль автодорог и техногенных объектов, что совпадает с данными предыдущих исследований [3]. Показатели pH кислые, подщелачивание происходит только при антропогенном давлении. Эти данные совпадают с нашими экспериментальными данными [4,5]. Жидкие атмосферные осадки слабокислые, но минерализация их выше, чем в снежном покрове, и зависит от приходящей воздушной массы. При уборке урожая и распашке территории происходит подщелачивание и увеличение минерализации (01.10.18) дождевой влаги.

Химические элементы глобального, регионального и локального распространения [6] в снежном покрове представлены в таблицах 2 и 3, в которых рассчитаны среднегодовые концентрации химических элементов в жидких осадках за 2018 год и в снежном покрове в конце периода снегонакопления в 2019 году.

Таблица 2. Средние концентрации химических элементов глобального распространения в атмогеохимических компонентах ЛГС КБС, мкг/л

Компонент ЛГС	B	Al	Si	P	S	Li	Na	Mg	K	Ca	Rb	Sr	Ba
дождь	14,9	25	331	330	1517	2,3	2287	324	3495	3692	2,6	11,8	3,6
снег	1,2	25,4	57,7	39,4	255	0,04	160	35,7	152	298	0,2	0,8	0,9

Таблица 3. Средние концентрации химических элементов регионального и локального распространения в атмогеохимических компонентах ЛГС КБС, мкг/л

Компонент ЛГС	As	Br	Sn	Sb	Pb	Bi	Mo	Ag	Cd	W
дождь	0,22	9,52	1,03	0,25	1,23	0,004	0,46	0,18	0,24	0,01
снег	0,08	7,56	0,16	0,19	23,28	0,006	0,02	0,01	0,22	0,01
Компонент ЛГС	Ti	V	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	La	U
дождь	1,77	0,75	14,52	34,26	0,52	133,00	69,34	1706,77	0,04	0,03
снег	1,00	0,27	1,95	27,34	0,09	0,40	1,67	44,13	0,03	0,003

Полученные данные показывают, что дождевые осадки содержат значительные концентрации практически всех исследованных элементов, превышающие значения в снежном покрове. Это свидетельствует о взаимодействии в теплый период года воздушных масс с подстилающей поверхностью, которая в свою очередь является источником поступления химических элементов с деградированных ландшафтов в приземную атмосферу [7]. Особенно выделяются поставкой вещества в атмосферу агроландшафты и предприятия горно-обогатительного комплекса.

Таким образом, экспериментальные исследования геохимического состава твердых и жидких атмосферных осадков территории Курской биосферной станции позволили рассчитать среднегодовые концентрации химических элементов в лесостепных ЛГС. При сильной освоенности ЕТР эти данные могут служить фоновыми показателями атмогеохимичеких компонентов в пределах региона.

Исследование выполнено в рамках Государственного задания ФГБУН ИГ РАН № 0148-2019-0007 (НИОКТР АААА-А19-119021990093-8) «Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования». Аналитические работы выполнялись по гранту РНФ 18-17-№ 18-17-00178

ЛИТЕРАТУРА

1. Orr B.J., Cowie V.M., Castillio Sanchez V.M. et al. Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD). – Bonn, Germany, 2017. –136 p.

2. Глазовская М.А. Геохимические особенности типологии и методики исследования природных ландшафтов. – Смоленск: Ойкумена, 2002. – 288 с.

3. Борисочкина Т.И., Кайданова О.В. Сопряжённый мониторинг ландшафтов в зоне аэротехногенного загрязнения тяжёлыми металлами // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2009. – Т.64. – С 57–66.

4. Кудерина Т.М., Суслова С.Б, Замотаев И.В. и др. Атмогеохимическое состояние лесостепных ландшафтов Курской биосферной станции // Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития: материалы XII Междунар. ландшафтной конф., Тюмень-Тобольск, 22-25 августа 2017 г. / Под ред. К. Н. Дьяконова, К. А. Мерекалова, Т. И. Харитонова. – Тюмень: Изд-во ТГУ, 2017. – Т. 1. – С. 295–297.

5. Кудерина Т. М., Лунин В. Н., Суслова С. Б. Геохимический состав атмосферных осадков лесостепных ландшафтов Курской биосферной станции // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 2. – С. 78–8.

6. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочник: в 6 кн. – М.: Недра, 1994. – Кн. 2: Главные р-элементы. – 303 с.

7. Кудерина Т.М. Атмосферный аэрозоль как индикатор опустынивания в аридных и субаридных ландшафтах ЕТР // В сб. Степи Северной Евразии: Материалы VII международного симпозиума / Под науч. редакцией А.А. Чибилёва. – Оренбург: ИС УрО РАН, Печатный дом «Димур», 2015. – 996 с. (С. 442-443).

ПОГОДНЫЕ ФЛУКТУАЦИИ В ДОНБАССЕ В АСПЕКТЕ ИНТРОДУКЦИИ И КУЛЬТИВИРОВАНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫХ РАСТЕНИЙ

О.К. Кустова, А.З. Глухов
lavanda_dbg@mail.ru

Донецкий ботанический сад, г.Донецк, Украина

В Донбассе исторически сложилась специфическая техногенная среда. Высокая концентрация промышленного и сельскохозяйственного производства, транспортной инфраструктуры в сочетании со значительной плотностью населения создали чрезвычайно высокую техногенную и антропогенную нагрузку на биосферу, которая на единицу территории области в 4 раза выше средней по Украине [3]. Существенна доля площадей деградированных, выведенных из культуроборота, земель с разной степенью ветровой и грунтовой эрозией. Все это в комплексе обуславливает сложную экологическую ситуацию с постоянным фактором негативного воздействия на природные экосистемы.

Донецкий ботанический сад (ДБС) является первым ботаническим садом на постсоветском пространстве, созданным для решения экологических проблем промышленного региона, а также центром интродукционных исследований растений [2]. Здесь собраны

богатые тематические коллекции, созданы экспозиции различного назначения, в которых сосредоточены редкие и научно ценные представители растительного мира. Мобилизация хозяйственно-ценных растений из разных интродукционных пунктов в ДБС была начата в 1975 г. В настоящее время коллекции хозяйственно-ценных растений дают представление о разнообразии растений мировой и аборигенной флоры. Продолжается поиск новых и малораспространенных культур, обладающих высоким адаптивным потенциалом к природно-климатическим условиям степной зоны и антропогенной нагрузке промышленного региона. Привлеченные культуры включаются в интродукционный эксперимент и селекционную работу [1, 6].

Интродукционная адаптация растений в новых условиях существования отражает связь организмов со средой, когда сохраняется их функционирование в условиях воздействия меняющихся факторов среды [4]. За этим следует оценка успешности интродукции видов и расширение или сокращение видового списка интродуцентов. В связи с этим, в аспекте успешности проведения интродукционных исследований и перспективности внедрения растений в широкое культивирование, актуальным является мониторинг и оценка климатических изменений в Донбассе в сравнении с многолетними данными наблюдений.

Цель работы – оценка погодных флуктуаций основных климатических показателей, наблюдаемых в Донбассе, в сравнении с многолетними данными за 60 лет.

Для анализа использовали архивные данные отчетов метеорологической лаборатории Донецкого института агропромышленного производства за период 1996–2013 гг. Этот институт в 1992 г. был реорганизован из Донецкой государственной сельскохозяйственной опытной станции, основанной в 1926 г., но, прекратил свою деятельность в 2014 г. по причине военного конфликта в Донбассе. Для проведения анализа наибольшее внимание было уделено следующим климатическим факторам: среднесуточная температура воздуха (°С), сумма осадков (мм), которые фиксировались посуточно, подекадно и помесячно, а затем усреднялись. Основное внимание было уделено данным по эффективным температурам для выращивания сельскохозяйственных растений (более 10 °С), т.е. за период, когда наблюдается весеннее отрастание (апрель) и завершение вегетационного сезона большинством культур (октябрь), что подходит и для растений-интродуцентов.

Эколого-географические и климатические характеристики территории ДБС: сад расположен на юго-западе Донбасса, в восточной части г. Донецка на высоте 235 м над уровнем моря. Климат континентальной степной области умеренных широт, с четко выраженными засушливо-суховейными явлениями. Продолжительность солнечного сияния – 2100 часов за год. Характерны большие амплитуды колебаний температуры, сильные восточные ветры нередко приносят засуху, повторяющий через 10-15 лет и летние ливни [5].

Согласно литературным данным, среднегодовая температура воздуха в Донецкой области – (+7,9-8,2)°С; средняя температура наиболее теплого месяца – июля – (+21-23)°С, при абсолютном максимуме +38,2°С. В наиболее холодном месяце – январе – минус (6,4-6,6)°С, при абсолютном минимуме зимой – минус 40°С.Среднегодовая сумма осадков не постоянна и значительно колеблется по годам от 350 до 550 мм в год. Относительная влажность воздуха варьирует в пределах 71-75%. Среднее многолетнее число дней с осадками – 140.[3, 5].

По нашим многолетним наблюдениям, в весенний период возможны внезапные поздние весенние заморозки на поверхности почвы (вторая декада мая), которые повреждают вегетирующие растения и смещают фазы развития на более поздние сроки. Для теплолюбивых однолетних культур, которые высевают в открытый грунт, заморозки представляют опасность для проростков. Высев в более поздние сроки, когда угроза заморозков минует (конец мая – начало июня) приходится на уже высокие летние температуры воздуха, низкую влажность воздуха и суховеи, которые быстро высушивают поверхность почвы. Период вегетации растений характеризуется высокими дневными температурами и низкой относительной влажностью воздуха, недостаточным и неравномерным выпадением осадков, частыми засухами. В последние три года наблюдаются длительные и частые суховеи (от 3 до 5-7 дней), приходящиеся не только на май-июнь, но и на весь летний

период. Предполагаем, что это последствия повреждений или гибели полезащитных древесных насаждений вследствие военных действий. Для осеннего периода характерны внезапные осенние ранние заморозки (в 20-х числах сентября), которые вызывают преждевременное прекращение вегетации растений и гибель однолетних теплолюбивых интродуцентов.

Сведения об изменениях показателей среднемесячной температуры и количества осадков по годам и месяцам свидетельствуют о довольно резких различиях и отклонениях от средних многолетних величин. Так, летом температура воздуха может подниматься до +35–40°С, а среднемесячная температура воздуха превышать норму на 4–5°С(1998-1999 гг.). Относительная минимальная влажность воздуха снижаться до 35-40%, что меньше нормы на 20-35%. Предварительная оценка погодных флуктуаций показала, что за 18 лет наблюдений (1996−2013 гг.) наблюдалось превышение среднесуточных температур воздуха в апреле–августе и октябре в сравнении с многолетними показателями (табл. 1).

Таблица 1. Основные климатические показатели Донецкой области за период 1996−2013 гг. и за многолетний период 60 лет

Климатический показатель	Период наблюдений			Разница показателей за период 60 лет и период 1996−2013 гг.
	месяц	1996−2013 гг.	60 лет	
Средние значения суточной температуры воздуха за месяц, °С	апрель	9,9	8,9	1,0
	май	16,6	15,6	1,0
	июнь	20,5	19,3	1,2
	июль	23,1	21,2	1,9
	август	21,7	20,5	1,2
	сентябрь	15,2	14,9	0,3
	октябрь	9,1	7,9	1,2
Средние значения суммы осадков за месяц, мм	апрель	40,7	39,0	1,7
	май	45,8	56,0	10,2
	июнь	66,8	56,0	10,5
	июль	52,7	51,0	1,7
	август	38,3	47,0	8,7
	сентябрь	47,5	31,0	16,5
	октябрь	45,1	40,0	5,1

Наибольшая разница показателей за период 60 лет и период 1996−2013 гг. была отмечена в июлев 1,9°С.

Средние значения суммы осадков превысили многолетние показатели в следующие месяцы: апрель, июнь, июль, сентябрь и октябрь. Особенно значительна оказалась разница в июне и сентябре. Но, при этом, наблюдался существенный дефицит осадков в мае, что в сочетании с суховеями, наносит существенный ущерб всходам и молодым растениям хозяйственно-ценных растений, замедляет развитие и ослабляет растения, сказывается на снижении урожая растительной продукции и семеношении, усложняет агротехнику их культивирования в открытом грунте.

Специфичность метеоусловий обуславливает разные сроки наступления основных сезонных характеристик за годы наблюдений, влияющих на течение вегетационного периода (табл. 2). Условия степной зоны наиболее подходят для культивирования растений Средиземноморского, Евразийского и Североамериканского центров происхождения культурных растений. Средняя продолжительность их вегетационного периода составляет 180–200 дней.

Таблица 2. Показатели сезонных характеристик и даты их наступления

Многолетние даты за 60 лет	Пограничные даты помесячно за период наблюдений 1996–2013 гг.					
	даты	%	даты	%	даты	%
Весенний переход среднесуточных температур воздуха через 0˚С						
13–20.III	22.II	5,6	7.III–31.III	61,1	2.IV–4.IV	11,1
Весенний переход среднесуточных температур воздуха через 5 ˚С						
5–7.IV	–	–	12.III–31.III	44,4	1.IV–8.IV	55,6
Последний заморозок на поверхности почвы						
4–6.V	29.III	5,6	1.IV–28.IV	50	2.V–21.V	44,4
Летний переход среднесуточных температур воздуха через 15 ˚С						
10–14.V	–	–	23.IV–30.IV	38,9	1.V–21.V	61,1
Осенний переход среднесуточных температур воздуха через 15 ˚С						
13–20. IX	–	–	1.IX–29.IX	66,7	2.X–16.X	33,3
Первый заморозок на поверхности почвы						
5–7. X	–	–	1.X–22.X	61,1	17.IX–28.IX	38,9
Осенний переход среднесуточных температур воздуха через 5 ˚С						
4–6.X	–	–	9.X–28.X	53,3	3.XI–26.XI	46,7
Переход среднесуточных температур воздуха через 0 ˚С в сторону понижения						
10–14.XI	22.X	6,2	3.XI–29.XI	56,3	1.XII–11.XII	37,5

За период наблюдений в большинстве случаев даты сезонных характеристик совпадают с многолетними погодными данными за 60 лет. Но, при сравнении с ними, существенную долю составили более ранние даты весеннего перехода среднесуточных температур воздуха через 5°С (2-3-я декада марта), даты последнего заморозка (апрель), даты летнего перехода среднесуточных температур воздуха через 15 °С (последняя декада апреля). Осенний переход среднесуточных температур воздуха через 15 °С часто приходится на первую половину октября, что позже многолетних данных. Но первый заморозок на поверхности почвы – на вторую половину сентября, что раньше и имеет большое значение при культивировании теплолюбивых растений. Наблюдения осеннего перехода среднесуточных температур воздуха через 5 °С и через 0 °С в сторону понижения показали смещение на более поздние сроки, что продлевает осенний период с непродуктивным для однолетних культур температурами.

Проведенный анализ носит предварительный характер и может быть углублен в дальнейшем. Его результаты подтвердили наши визуальные наблюдения и позволили обосновать следующие выводы. Лимитирующими факторами для выращивания интродуцированных видов растений являются, прежде всего, являются природно-климатические условия степи как зоны экстремального земледелия с четко выраженными засушливо-суховейными явлениями. Это низкие зимние температуры с явлениями оледенения на фоне бесснежной зимы и сильными ветрами; ранние осенние (сентябрь) и поздние весенние (май) заморозки; продолжительный период «длинного дня» приводящий к быстрому наступлению генеративной фазы растений (начало бутонизации и цветения); недостаточное количество почвенной и атмосферной влаги в весеннее-летний период, особенно, в сочетании с длительными суховеями; высокие дневные температуры воздуха, несбалансированные достаточной влажностью окружающей среды и ночными похолоданиями в конце августа-сентября. Позитивными факторами для выращивания ароматических растений в Донбассе являются: плодородные черноземы; средняя продолжительность вегетационного периода с температурами выше 5°С – 180-200 дней; период наиболее активной вегетации растений, когда среднесуточные температуры выше 10°С составляют 170−180 дней (начало третьей декады апреля − вторая декада октября). Сумма суточных положительных температур этого периода равна 3000−3200°С.

В целом, анализ погодных условий за период наблюдений 1996–2013 гг. выявил в 38% более ранние сроки наступления активных для растений среднесуточных температур воздуха (через 15 °С), что является показателем раннего наступления весны. Продление осеннего периода (от 15 до 0°С) дает некоторое преимущество для многолетних растений (продлевается период подготовки к зимнему периоду).

ЛИТЕРАТУРА

1. Глухов А.З., Горлачева З.С., Кустова О.К. Эфирномасличные и пряно-ароматические растения (интродукция, адаптивная стратегия, оценка перспективности выращивания). – Донецк: Восток–Пресс–Плюс,– 2013. – 238 с.

2. Глухов А.З., Остапко В.М., Приходько С.А. Роль Донецкого ботанического сада НАН Украины в решении экологических проблем Донбасса // Донбасс – 2002: Охоронадовкілля та екологічнабезпека: Зб. доп. наук-практ. конф. – Донецьк: Б.и, 2001. – Т. 2. – С. 25 – 28.

3. Донбасс. Взгляд в будущее. Донецкая область – 2000. – Донецк: ВТФ «Интердонбасс», 1999. – 384 с.

4. Казначеев В.П. Современные аспекты адаптации. – Новосибирск: Наука, 1980. – 192 с.

5. Природа Украинской ССР. Климат / В.Н. Бабиченко, М.Б. Барабаш, К.Т. Логвинов и др. – Киев: Наук. думка, 1984. – 232 с.

6. Приходько С.А., Кустова О.К., Глухов А.З. Коллекция ароматических растений Донецкого ботанического сада: интродукция, аспекты изучения и использования в условиях степной зоны // Сборник научных трудов ГНБС. – 2018. – Т. 146. – С. 104–111.

ПРОЯВЛЕНИЕ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В КЛИМАТИЧЕСКИХ ИНДИКАТОРАХ НА ТЕРРИТОРИИ ЯКУТИИ

В.А. Лобанов, К.С. Кириллина, Н.И. Горошкова, А.А. Григорьева
lobanov@EL6309.spb.edu

Российский государственный гидрометеорологический университет, г.Санкт-Петербург, Россия

Для оценки уязвимости различных отраслей экономики к изменению климата и смягчения последствий этого влияния необходимо решить следующую важную задачу: определить, как изменение основных климатических факторов влияет на следующий уровень климатических характеристик, который представляют собой прикладные климатические характеристики или климатические индикаторы [4]. Эти индикаторы в свою очередь оказывают прямое влияние на различные отрасли экономики и учитываются при проектировании и эксплуатации различных систем, сооружений и объектов. Именно такие климатические индикаторы рассматриваются в рабочих группах МГЭИК, исследующих адаптацию, уязвимость и смягчение воздействий на изменение климата [1,2].

В настоящей работе рассматривается динамика четырех основных климатических индикаторов на территории Республики Саха [3]. Это:

- количество и площади пожаров по отдельным лесничествам, которые определяются степенью засушливости климата;
- температура почты на разных глубинах, которая характеризует свойства вечной мерзлоты;
- максимальные расходы и уровни воды, характеризующие интенсивность весеннего половодья;
- характеристики ледового режима рек, такие как максимальная толщина льда на реках, продолжительность периода ледостава, даты его начала и окончания, а также характерных максимальных уровней: начала ледостава, ледохода, заторных.

Каждый из рассматриваемых климатических индикаторов является важным фактором для экономики республики. Так, лесные пожары – это не только опасное природное явление, но и фактор, влияющий на лесное и сельское хозяйство, здоровье людей, инфраструктуру. Температура почвы и ее динамика является важным фактором в сельском хозяйстве, строительстве, транспорте. Максимальные расходы и уровни весеннего половодья определяют, как опасные условия затопления, так и показатели гидроэнергетики, сельского и коммунального хозяйства. Показатели ледового режима рек определяют продолжительность существования «зимников», как основных путей сообщения в зимний период.

1. Для оценки влияния современных изменений климата на лесные пожары в республике были решены следующие задачи:

- исследована динамика таких основных характеристик как число и площадь пожаров;
- установлены статистические взаимосвязи между исторически наблюденной лесопожарной активностью и изменениями климатических параметров на примере температуры воздуха и атмосферных осадков;
- располагая сценарными оценками среднемесячных температур воздуха и осадков на основе установленных взаимосвязей с показателями пожаров даны их перспективные характеристики на будущее.

Анализ многолетних рядов площадей пожаров также свидетельствует, что каких-либо направленных трендов роста или уменьшения в них нет, а есть периоды разной дисперсии, а также период с практическим отсутствием площади пожаров, который разный в разных лесничествах с самым ранним началом – 1965 г. и окончанием – середина, конец 1980-х, а иногда и 1990-е годы. Для восьми лесничеств со статистически значимым ростом дисперсий площадей пожаров были выбраны предполагаемые климатические факторы: температура воздуха и осадки (как за каждый летний месяц, так и средние за сезон) за весь непрерывный совместный период с 1955 по 2014 гг. и только за два квазистационарных полупериода. В результате получены следующие наиболее эффективные регрессионные зависимости за однородные периоды:

$$F_{пож}=26{,}18\ T_6 - 11{,}64T_5 - 0{,}166P_8 - 4{,}438T_7 - 202{,}8$$
(Нерюнгринское, 1999-2013), R=0,93 (1)

$$F_{пож}=10{,}157\ T_{лет} - 7{,}394T_5 - 113{,}33$$
(Вилюйское, 1955-74), R=0,88 (2)

$$F_{пож}=-1{,}322\ P_9 + 20{,}60T_8 - 254{,}2$$
(Якутское, 2000-2013), R=0,68 (3)

$$F_{пож}=25{,}6T_5 + 8{,}62T_6 + 16{,}13T_8 + 12{,}4T_9 - 80{,}57T_{сез} - 0{,}792P_7 - -1{,}02P_9 + 471{,}1,$$
(Усть-Майское, 1987-2013), R=0,65, (4)

где: $F_{пож}$ – площадь пожаров в тыс. га, $T_{лет}$, $T_{сез}$ – средняя температура за лето и весь сезон с мая по сентябрь, T_i – средняя температура за каждый i-ый месяц, P_i – суммы осадков за каждый i-ый месяц, R – коэффициент множественной корреляции.

На основе наилучших уравнений (1) и (2) был проведен расчет того, какие площади пожаров ожидаются в 21 веке на основе, выбранной в [ ] климатической модели и среднего сценария (RCP 4). Результаты проведенной оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Оценка будущих площадей пожаров на территории Якутии, тыс. га

Лесничество	Период		
	2011–2040	2041–2070	2071–2100
Вилюйское	105,9	120,7	126,7
Нерюнгринское	40,6	41,6	49,9

2. Следующим рассматриваемым климатическим индикатором была температура почвы на разных глубинах: 1,6, 2,4 и 3,2 м. Наибольший интерес представляла температура почвы на глубине 3,2 метра, за период возможного оттаивания вечной мерзлоты с апреля по октябрь. На этой глубине залегает вечная мерзлота и было важно выяснить начинает она оттаивать или нет. Для этой цели были выбраны 29 станций и многолетние ряды температур почвы. В рядах наблюдений восстановлены пропуски, что позволило увеличить среднюю продолжительность рядов с 26-28 лет до 42-44 лет и сделать их практически непрерывными и надежными для статистического моделирования.

На основе полученных пространственных распределений норм и СКО температур почвы установлено, что пространственный градиент норм уменьшается с 13°С в апреле до 9°С в июле-октябре, а температура в сентябре-октябре изменяется по территории от -3°С до +6°С. СКО изменяется от 0.3°С до максимума 1.2°С в центре территории.

Выполненный анализ стационарности позволил сделать вывод, что температура второй части рядов на всех станциях оказалась выше, чем первой части в среднем на 0.7°С при максимальной разнице норм температур в 1.5-2.0°С в центре и на севере территории. На основе статистического моделирования установлено, что число нестационарных моделей достигает 70-80% с июля по октябрь и более эффективной является модель ступенчатых изменений, чем линейного тренда. По территории максимум нестационарности приходится на северную и центральную части. Температура почвы в октябре является наиболее нестационарной климатической характеристикой, т.к. число нестационарных моделей ступенчатого роста температур составляет 82,8% от общего числа рядов наблюдений.

На основании проделанной работы были выделены 4 класса опасности по оттаиванию вечной мерзлоты за сентябрь-октябрь, что соответствует переходу температуры почвы на глубине 3,2 м через 0°С.

Карта зон опасности оттаивания мерзлоты приведена на рис.1.

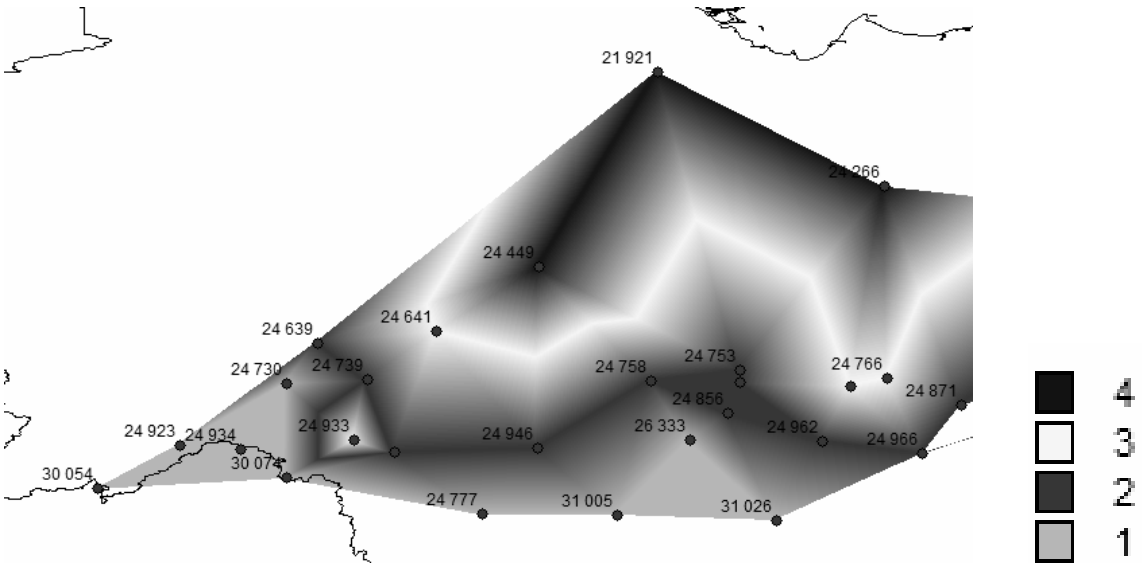


Рис. 1. Карта областей оттаивания вечной мерзлоты на территории Республики Саха (Якутия)

Красным цветом показана наиболее опасная зона для местных сооружений, в которой температура почвы на глубине 3,2 метра в какой-то момент времени уже перешла через отметку 0°С; а жёлтым цветом — область, в которой отмечается тенденция изменения температуры, но отметка 0°С ещё не достигнута. Синий цвет соответствует тем зонам, в которых температура почвы в течение всего летне-осеннего периода не превышает отметку 0°С и превышение не ожидается даже в ближайшем будущем; а зелёный – районам, в которых температура почвы всегда была и остается положительной в течение рассматриваемого сезона.

В результате, был сделан вывод о том, что наиболее «опасная» зона для местных застроек – это центральная часть Якутии, где в начале 1990-х годов наблюдалось изменение температуры почвы, причем, как показал анализ, температура увеличивалась не монотонно, а ступенчато. В северных районах также наблюдается тенденция к потеплению, но температура почвы, пока намного меньше 0°С (среднемесячная температура почвы за сентябрь на станции Кюсюр составляет -3,2°С, а среднемесячная температура на станции Бестяхская Звероферма рассчитывается -3,5 °С). В южной части Республики в августе и в сентябре наблюдаются положительные температуры.

Также было установлено, что температуры почвы выросли ступенчато в среднем на 1,0°С в конце 1970-х–начале 1980-х и, главным образом, в центре и на юге республики, причем, чем ближе к поверхности, тем эти изменения больше, а на глубине 3,2 м температура стала превышать нулевые отметки, что является индикатором оттаивания мерзлоты. Установлены эмпирические зависимости, связывающие температуры почвы на разных глубинах и с температурой воздуха, которые показывают рост температур почвы на 0,1–0,3°С до конца 21 века, что приведет к оттаиванию мерзлоты на глубине 3,2 м;

3. Следующим рассматриваемым климатическим индикатором были максимальные уровни и расходы воды на некоторых реках республики для которых также были рассчитаны различные модели и их характеристики. Из анализа полученных результатов следует, что только в одном случае (р. Индигирка – п. Усть-Мома) нестационарная модель является эффективной и статистически значимой. Близкие к нестационарным моделям по Δ около 10% и статистически значимым R можно считать ряды максимальных уровней и расходов воды на р. Алазея – с. Аргахтак, максимальных уровней на р. Яна – п. Нижнеянск (падение), р. Оленек – с. Усть-Оленек, максимальных расходов воды на р. Лена – п. Солянка.

Тренд роста максимальных уровней воды наиболее выражен на р. Индигирка – п. Усть-Мома, а также на р. Алазея – с. Аргахтак как для уровней, так и расходов воды. На р. Лена – п. Солянка колебания максимальных расходов воды имеют ступенчатый рост в 1990г., а для р. Оленек – с. Усть-Оленек тренд подъема сменился в самые последние годы спадом, а на р. Яна – п. Нижнеянск произошло ступенчатое уменьшение уровня воды в 2000 г.

Несмотря на то, что температура мая является одной из самых нестационарных со средними по всем метеостанциям республики и зона нестационарности охватывает почти половину территории, проявления этих температурных изменений в максимальных уровнях и расходах воды пока практически отсутствуют.

4. Еще одним важным климатическим индикатором являются характеристики ледового режима рек. Ледовый режим рек относится к области криосферных явлений, которые обладают инерционностью и не сразу реагируют на внешние изменения, в том числе и климатические. Поэтому интересно рассмотреть имеет ли место проявление потепления климата для таких характеристиках ледового режима рек, как наибольшая толщина льда, продолжительность периода ледостава, даты начала и окончания ледостава и характерные уровни воды периода ледостава (максимальные уровни начала ледостава, ледохода, заторов льда, максимальные за год уровни), расчетные значения которых имеют большое значение для проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений.

В качестве рассматриваемой территории выбрана центральная и южная части Якутии, где наблюдаемое повышение температуры, особенно в холодный период, наиболее значительно. Продолжительность рядов наблюдений, в основном, составляет 67 лет с началом наблюдений в 1950 г. и окончанием в 2016-17 гг.

На основании установленных нестационарных моделей для характеристик ледового режима были вычислены и количественные изменения продолжительности ледостава и дат его начала и окончания, которые приведены в таблице 2 для модели ступенчатых изменений ($\Delta_{ст}$) и тренда ($\Delta_{тр}$). В той же таблице 2 приводится и среднее квадратическое отклонение (СКО) многолетнего ряда (σ) и жирным выделены ситуации, когда установленные изменения превышают СКО.

Приведенные в таблице 2 результаты свидетельствуют о том, что продолжительность ледостава уменьшается на 5-15 дней в зависимости от реки и выбранной нестационарной модели. При этом, по модели линейного тренда получаются более завышенные значения, в среднем на 2-3 дня, т.к. она учитывает отдельные экстремумы в начале и конце ряда. Превышение СКО имеет место в 4 случаях для модели ступенчатых изменений и в 9 случаях для модели линейного тренда, двойного превышения СКО (2 сигма) не наблюдается ни в одном случае. Дата начала ледостава наступает, в среднем на 3-4 дня позже, хотя вариация существенна и составляет от 0 до 8 дней. Это увеличение практически меньше естественной изменчивости или сопоставимо с ней. Дата окончания ледостава наблюдается раньше на 2-11 дней (в среднем на 5-8 дней), причем превышение СКО имеет место в 3 случаях для модели ступенчатых изменений и 8 случаях для модели линейного тренда. Двойного превышения СКО не было ни в одном случае.

Таблица 2. Климатические изменения основных характеристик ледостава (в днях)

Код поста	$T_{лед}$			$T_{нач}$			$T_{кон}$		
	$\Delta_{ст}$	$\Delta_{тр}$	σ	$\Delta_{ст}$	$\Delta_{тр}$	σ	$\Delta_{ст}$	$\Delta_{тр}$	σ
3035	**-10**	**-14**	8,4	+3	**+5**	4,8	**-7**	**-9**	6,0
3045	**-7**	**-8**	6,7	+3	+3	5,0	-4	**-6**	4,6
3047	-7	**-9**	7,7	+1	0	6,2	**-6**	**-8**	4,7
3168	**-10**	**-15**	8,1	+5	**+6**	5,3	-5	**-9**	5,8
3169	-5	-7	7,7	+1	0	5,8	-4	**-8**	4,7
3172	-6	**-9**	7,9	+4	+5	5,1	-2	-4	5,7
3180	-8	**-11**	9,6	+1	0	7,2	**-7**	**-11**	6,3
3219	-9	**-15**	11,6	+6	+8	9,1	-3	**-8**	5,7
3225	**-10**	**-13**	8,5	**+6**	**+6**	5,2	-4	-7	5,2
3248	-9	-10	11,4	+7	+4	9,1	-2	-6	7,1
3264	**-13**	**-12**	11,8	+7	0	9,8	-6	**-11**	6,8
среднее	8,5	11,2	9,0	4,5	3,4	6,6	4,5	7,9	5,7

Помимо продолжительности и дат рассматривались также и характерные уровни зимнего и весеннего периодов: максимальные уровни начала ледостава ($H_{лдст}$), максимальные уровни ледохода ($H_{лдх}$), максимальные заторные уровни ($H_{зат}$), а также для сравнения с ними – максимальные в году уровни воды ($H_{год}$), которые обычно имеют место в период весеннего половодья. Из проведенного анализа следует, что нестационарность проявляется только в половине многолетних рядов максимальных уровней начала ледостава, которые увеличиваются. Для других максимальных уровней (ледохода и максимальных в году) проявление нестационарности средних практически отсутствует. Средние значения максимальных уровней начала ледостава для нестационарных рядов, возросли на 51-83 см в зависимости от пункта наблюдений, что во всех 6 случаях превышает СКО, но максимум в 1,5 раза (для пункта Чара – Токко).

ЛИТЕРАТУРА

1. Изменение климата, 2014 г. Последствия, адаптация и уязвимость. Часть А: Глобальные и секторальные аспекты. Часть В: Региональные аспекты. Вклад Рабочей группы II в подготовку Пятого оценочного доклада МГЭИК (англ.) – 1785 с.

2. Изменение климата, 2014 г. Смягчение воздействий на изменение климата. Вклад Рабочей группы III в подготовку Пятого оценочного доклада МГЭИК (англ.) – 1435 с.

3. Лобанов В.А., Кириллина К.С. Современные и будущие изменения климата Республики Саха (Якутия). Монография. – Санкт-Петербург: Изд-во РГГМУ, 2019. – 157 с.

4. Climate change indicators in the United States, 2014. Third edition. U.S. Environmental Protection Agency. EPA 430-R-14-004.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА РЕГИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ

В.А. Лобанов, С.А. Маммедов, Ж.К. Наурозбаева, Фань Сяо Цинь, К.С. Кириллина, О.А. Шукри, Г.Г.Тощакова
lobanov@EL6309.spb.edu

Российский государственный гидрометеорологический университет, г.Санкт-Петербург, Россия

Современные физико-математические модели климата достаточно хорошо воспроизводят общие климатические закономерности для всей Земли, но недостаточно эффективны при описании местных региональных климатических особенностей, из-за недостаточно эффективной параметризации подсеточных процессов. Так, в работах [2, 3] при сравнении данных исторического эксперимента проекта CMIP5 [4] с данными наблюдений на станциях получено, что модели завышают нормы температур января для Верхоянска на 10-15°С и занижают нормы летних температур внутренних областей Аравийского полуострова до 4-6°С, что связано с региональными особенностями климата. Поэтому параллельно с физико-математическим моделированием стало развиваться направление статистического моделирования климата в рамках региональной климатологии [1]. Эмпирико-статистический подход к этой проблеме имеет своей целью оценить эффективность нестационарных моделей среднего по отношению к модели стационарной выборки. При этом в качестве нестационарных моделей рассматриваются модели тренда и ступенчатых изменений среднего, которые характеризуют два вида проявлений внешних воздействий в климатической системе: прямое и в виде триггерного механизма. Задачи, решаемые региональной климатологией при оценке изменений климата, сводятся к последовательности следующих:

- формирование региональных баз климатических данных на основе многолетних рядов наблюдений за климатическими характеристиками и оценка их надежности, однородности, восстановление пропусков наблюдений и приведение рядов к практически одинаковому многолетнему периоду;
- определение параметров статистических моделей и показателей эффективности нестационарных моделей временных рядов для каждой станции и каждой климатической характеристики с оценкой их эффективности и устойчивости во времени;
- обобщение показателей нестационарности по территории с целью установления их пространственно-временных закономерностей и выявления областей с существенными климатическими изменениями;
- выбор наиболее подходящей для региона физико-математической модели климата на основе сравнения результатов исторического эксперимента проекта CMIP5 с данными наблюдений на станциях и оценка систематических погрешностей модели;
- оценка будущих региональных проекций климата на основе выбранной эффективной климатической модели и их корректировка с учетом систематических погрешностей модели за счет азональных факторов и динамики будущей тенденции;
- построение региональных взаимосвязей между климатическими индикаторами и климатическими факторами и оценка перспективных значений климатических индикаторов на основе проекций климатических факторов.

Реализация подобного подхода в установлении региональных изменений климата была реализована в нескольких регионов, отличающихся своими климатическими условиями. Это:

- Костромская область как пример небольшого региона в европейской части России с продолжительной и густой сетью наблюдений;
- Республика Саха (Якутия) как пример наиболее холодного по климатическим условиям региона Земли;
- Аравийский полуостров как пример самого жаркого и сухого региона планеты;

- внутренние области азиатского континента, включая территорию внутреннего Ирана, Туркменистана и Узбекистана, как пример, климата формируемого местным влагооборотом во внутренних засушливых областях континентов, находящихся далеко от океанов.

Далее представлены результаты полученных региональных изменений климата в самом холодном и самом жарком регионе планеты.

Природно-климатические условия **Республики Саха (Якутия)** характеризуются как экстремальные. Здесь накоплен уникальный опыт ведения промышленности и сельского хозяйства в экстремальных климатических условиях Севера, применены первые технологии жилищного строительства на вечной мерзлоте. Якутия расположена в северо-восточной части Евразийского материка и является самым большим регионом России. Общая площадь континентальной и островной территории составляет 3,1 млн. кв. км. Свыше 40% территории республики находится за Полярным кругом. Климат Якутии суровый, резко континентальный. На равнинах отчетливо выражена широтная зональность, а в горах – высотная поясность. Продолжительность холодного периода (температура ниже 0 °С) – от 6 до 9 месяцев, с октября по апрель. В это время в виде снега выпадает от 10 до 30% годового количества осадков. Теплое время, хотя и короткое, но действительно теплое, даже жаркое, на него приходится от 70 до 90% годовых осадков Переходные времена года – весна и осень – очень короткие, их продолжительность составляет от 15 до 35 дней. Можно выделить три климатообразующих фактора, влияющих на климат Якутии: географическое положение, рельеф и циркуляция атмосферы. В результате проведенного исследования получены следующие результаты:

1. Сформированы уникальные базы данных географической информации – региональная база данных климатической информации, базы данных лесопожарной динамики и паводковой активности для Якутии.

2. Проведен анализ однородности эмпирических распределений температурных характеристик и характеристик осадков на территории Якутии, который показал практическое отсутствие в них неоднородных экстремумов за исключением отдельных аномальных значений, все случаи которых были детально проверены и выявлены причины установленной неоднородности.

3. Проведена процедура восстановления пропусков наблюдений и приведения непродолжительных рядов к многолетнему периоду, в результате продолжительность рядов температуры воздуха была увеличена практически в два раза до 132 лет в среднем, в свою очередь ряды осадков удалось удлинить в среднем на 17 лет. Для проведения достоверной процедуры статистического моделирования была проведена оценка однородности и стационарности восстановленных рядов температуры и осадков, что позволило сформировать непрерывные многолетние ряды наблюдений за температурой воздуха и атмосферными осадками для Якутии.

4. Выполнено статистическое моделирование многолетних рядов температуры воздуха. В качестве математического инструмента для проведения процедуры моделирования были выбраны три модели временных рядов: базовая модель стационарной выборки и две конкурирующие нестационарные модели линейного тренда и ступенчатых изменений. Результаты моделирования показали, что:

- многолетние ряды среднемесячных температур воздуха на территории Якутии не являются стационарными и процент нестационарных рядов увеличивается в последние годы;

- из двух рассмотренных нестационарных моделей модель ступенчатых изменений является более эффективной для описания межгодовых изменений температуры воздуха по сравнении с широко применяемой в настоящее время моделью линейного тренда, при этом ступенчатый рост относится к 1960-1980-м гг.;

- во внутригодовом распределении нестационарности имеют место два максимума: в переходный период от зимы к лету (апрель-июнь) и в начале зимнего периода (октябрь-ноябрь), при этом территориально весенний и осенний максимумы нестационарности располагаются в разных частях территории Якутии: весенне-летний – на юге, осенне-зимний – на северо-востоке.

5. Аналогичная процедура статистического моделирования временных рядов для осадков показала следующие результаты:

- многолетние ряды среднемесячных атмосферных осадков на территории Якутии также не являются полностью стационарными;

- из двух рассмотренных нестационарных моделей модель ступенчатых изменений является более эффективной (почти в четыре раза) для описания межгодовых изменений атмосферных осадков по сравнении с моделью линейного тренда;

- ступенчатый рост/ ступенчатое снижение атмосферных осадков относится в 1990-м гг.;

- во внутригодовом распределении нестационарности наибольшие значения приходятся на месяцы холодного периода года (декабрь-февраль);

- при сравнении с методами оценки стационарности (критерий Стьюдента и статистическая значимость линейного тренда) получены аналогичные выводы о динамике нестационарности внутри года, что и по модели ступенчатых изменений. В целом можно сделать вывод о том, что атмосферные осадки в Якутии более однородны по сравнению с температурой воздуха в пространстве и времени, но в целом они меняются до противоположных по знаку тенденций в разные сезоны года. В холодный сезон года, особенно за период с декабря по март, наблюдается тенденция к падению осадков, наиболее выраженно себя проявляющая на северо-востоке республики. В теплый период года (с мая по сентябрь) наблюдается противоположная тенденция – к их росту.

6. Применение климатических моделей и сценариев для оценки будущих значений температуры воздуха на территории Якутии позволило сделать следующие выводы.

- Сравнение данных наблюдений и моделирования за совместный период дает невысокие коэффициенты корреляции между ними. Также оно показывает тенденцию к завышению/ занижению значений климатических параметров в зависимости от сезона года для всех станций, выбранных для анализа, что было устранено при помощи введения поправочных коэффициентов.

- В зависимости от метеостанции и сезона года наилучшими являются разные модели климата. Как правило, при применении наиболее эффективных моделей погрешности в нормах температур составляют менее 1-2°С для теплого периода года. Зимой погрешности в нормах могут составлять и по наилучшим моделям до 4-6°С. В целом наиболее эффективной для территории республики можно признать английскую модель HadGEM2 Хэдли Центра, которая показала себя наиболее эффективной в 50% случаев.

- Будущие проекции температуры для Якутии следующие:

• наибольший рост температуры следует ожидать зимой до 4–6°С в последней трети XXI века по среднему сценарию RCP4.5;

• рост весенних (апрель), летних (июль) и осенних (сентябрь) температур будет существенно ниже и в конце XXI века по RCP4.5 может составлять от 1.2°С до 5.1°С (в среднем 2–3°С, то есть в два раза меньше, чем зимних), а наибольшие возможные значения роста по сценарию RCP8.5 могут достигать 6-8°С;

• закономерности будущего потепления по территории (если исключить метеостанцию Верхоянск как аномальную) состоят в том, что в южной, центральной и восточной частях республики следует ожидать меньшего потепления, чем в северной и западной примерно на 4–8°С зимой и на 2–3°С в теплый период года.

7. В целом по всей территории Якутии в будущем произойдет рост осадков. Наибольший рост количества осадков ожидается в летний период, на некоторых станциях количество осадков увеличится в два раза. При этом для станции Вилюйск в Западной Якутии ожидается значительное снижение количества осадков в летний период, что может увеличить риск летных лесных пожаров в данном районе.

8. Конечным результатом проведенного анализа стала подготовка макета региональной климатической стратегии для Якутии, которая оценивает предполагаемые последствия изменения климата на территории республики и возможные меры по адаптации к ним.

Аравийский полуостров (от древнееврейского «араба» - пустыня) является самым большим в мире и одним из самых жарких и засушливых регионов нашей планеты, а его климат даже в современных условиях - одним из наиболее неблагоприятных для че-

ловека: континентальный жаркий сухой, на севере - субтропический, на юге – тропический. Ограниченное увлажнение, экстремально высокие температуры летнего периода и высокая испаряемость делают этот район наиболее непригодным для жизни человека, животных и растительности. В результате выполненного регионального климатического исследования для территории Аравийского полуострова получены следующие основные научные и практические результаты.

1. На основе выполненного статистического моделирования временных рядов при сравнении модели стационарной выборки с нестационарными моделями линейного тренда и ступенчатых изменений для среднемесячных температур воздуха получено, что процент нестационарных моделей по территории изменяется от 0% зимой до 60% в июне-августе. Наиболее эффективной нестационарной моделью является модель ступенчатых изменений, отличие которой от стационарной в среднем достигает 15-18% (с максимумами до 30-32%) в то время как эффективность модели линейного тренда достигает 11-12% (с максимумами также до 30-33%). В теплый период нестационарные модели более характерны для внутренних частей полуострова, а в холодный – в отдельных прибрежных областях юга и запада полуострова. В последние годы число нестационарных моделей увеличивается, как в летние месяцы, так и особенно в марте.

2. Для среднегодовой температуры среднее отклонение модели ступенчатых изменений от стационарной модели составляет 20,6% (с максимумами до 38%) и процент эффективных моделей равен 95,8%. Для модели линейного тренда среднее отклонение от стационарности равно 17,4%, а относительное число эффективных нестационарных моделей составляет 62,5%. Поэтому среднегодовая температура воздуха существенно более нестационарна, чем любая из среднемесячных температур, что обусловлено процедурой осреднения и фильтрации случайных составляющих в каждом из 12 рядов среднемесячных температур и в выделении климатического «сигнала» летних месяцев. Стационарные модели имеют место только вдоль побережья Красного моря и на крайнем востоке полуострова. Вся остальная часть Аравийского полуострова содержит нестационарные модели роста среднегодовой температуры. Причем в центральных областях этот рост обусловлен ростом температур месяцев теплого полугодия, а в южных прибрежных – ростом температур в месяцы холодного полугодия.

3. Проведенное моделирование для параметров функции внутригодовых колебаний температуры воздуха показало, что процент нестационарных рядов составляет для коэффициента *B1* – 12,5% и 4,2% для моделей ступенчатых изменений и линейного тренда, для коэффициента *B0* наименьший и для обеих моделей равен 4,2%, т.е. имеет место только для одной метеостанции и для параметра *Se* процент нестационарности наибольший и составляет соответственно 45,8% и 20,8%. При этом, наибольшая нестационарность интенсивности макросиноптических процессов *Se* имеет место на юге и центральных частях полуострова, а стационарность наблюдается на крайнем юго-востоке и местами вдоль побережья Красного моря.

4. Для рядов месячных сумм осадков средние территориальные отклонения от стационарной модели очень малы и варьируют от 4,5% до 7,7% для модели ступенчатых изменений и от 1,8% до 3,6% для модели линейного тренда. Число нестационарных рядов также мало и изменяется от 0 до 4 для модели ступенчатых изменений и от 0 до 2 для модели линейного тренда, что в процентном отношении дает до 12% и до 7% от общего числа рядов. Поэтому пространственное распределение нестационарных рядов отсутствует, а нестационарность проявляется на отдельных станциях, расположенных в прибрежных районах юга и запада полуострова и обусловлена локальными, а не климатическими причинами.

5. Построены пространственные статистические модели для среднемесячных и среднегодовых температур воздуха, параметров внутригодовых изменений температуры и месячных сумм осадков и осуществлено моделирование временных рядов их коэффициентов. В результате проведенного анализа стабильности параметров пространственных статистических моделей температур получено, что они практически не изменяются во времени за исключением роста пространственного градиента поля температур и уменьшения их средних региональных значений в летние месяцы. Поэтому можно считать, что

для летних месяцев в последние годы градиент пространственного поля температур стал больше. Параметр же *A0* для июля, характеризующий среднюю региональную температуру, наоборот уменьшился с начала 1980 х годов. Нестационарность пространственного градиента осадков (параметр *A1*) имеет место в основном в феврале и ноябре и связано с его уменьшением, т.е. поле осадков в эти месяцы становится более равномерным.

6. Для оценки будущих температур воздуха на метеостанциях Аравийского полуострове была разработана методика, в которой учитываются как зональные, так и азональные факторы и осуществляется выбор наиболее эффективной климатической модели. Для метеостанций Аравийского полуострова такой наиболее эффективной моделью оказалась немецкая модель MPI. Установлены значения поправок в сценарные значения климатических характеристик при их приложении к конкретным метеостанциям, которые в сумме достигают 5-6°С. В результате были получены наиболее обоснованные будущие нормы температур до конца 21 века и установлено, что уже современные высокие летние температуры в среднем могут вырасти еще на 2°С, а зимние - на 1°С до конца этого столетия. Сценарные оценки осадков не рассматривались из-за их практической стационарности в настоящее время и большой неопределенности в выделении «климатического сигнала», связанной с высокой естественной изменчивостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобанов В.А., Тощакова Г.Г. Проявление современных изменений климата на территории Костромской области. Монография. ФГБУ «Костромской центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Кострома. 2013. – 171 с.

2. Шукри О.А.А., Лобанов В.А., Хамид М.С. Современный и будущий климат Аравийского полуострова. Монография - Санкт-Петербург, Изд-во РГГМУ, 2018. – 190 с.

3. Лобанов В.А., Кириллина К.С. Современные и будущие изменения климата Республики Саха (Якутия). Монография. Изд-во РГГМУ, Санкт-Петербург, 2019. – 157 с.

4. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change). 2013. The physical science basis. In *Contribution of Working Group I to the Firth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley (eds). Cambridge University Press: Cambridge, p 1552.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАПАДНОЙ МЕЩЕРЫ

Т.С. Лукьянова, В.А. Широкова, А.О. Хуторова
torf_2011@mail.ru, shirocova @gmail.com, hutorova_alla@mail.ru

Государственный университет по землеустройству, г.Москва, Россия

Климатические условия Западной Мещеры зависят от географического положения, общей циркуляции и местных условий. В целом климат умеренно-континентальный, формирующийся под воздействием западного переноса воздушных масс с Атлантики. Однако летом часто вторгаются теплый тропический воздух, либо зимой – холодные арктические массы.

Температура воздуха обычно меняется в течение года в среднем от -11°С в январе до +18°С – в июле. Самые высокие температуры достигают 33°-35°С, а самые низкие -35°-40°С. Если подобные высокие значения температуры воздуха встречаются часто (в 15-17 годах из 30), то указанные низкие температуры – редкое явление (в 5-6 годах за 30 лет). Для метеостанции Черусти абсолютным максимумом температуры является +38°С, а абсолютным минимумом -45°С.

Иногда летом над Мещерой формируется антициклон, область высокого давления. В течение июля и даже августа он занимает значительные территории Восточно-Европейской равнины. Антициклон распространяется и на весь регион Мещеры. И тогда возникают на рассматриваемой территории пожары торфяников. Впервые в августе 1972 года регион начал гореть. Пламя уничтожало все на своем пути. В 2007, 2008,2010 годах история повторялась. Местное население ждет каждое лето с опасениями прихода такого лета и таких же антициклонов. Проблема заключается, конечно, не только в летних антициклонах, которые приносят жаркую и ветреную погоду. Но особенности климата создают благоприятные условия для формирования пожаров в торфяниках и над ними.

Воды на территории достаточно для тушения. Естественных озер на территории Западной Мещеры около 50, площадь самого крупного озера Святого составляет 13 км^2. Вся речная сеть замыкается на приток Волги – реку Оку.

Территория ограничена тремя крупными реками. На севере граница проходит по реке Клязьме с малыми притоками. На юго-западе протекает река Цна, а на юго-востоке река Пра. Протяженность каждой из рек в пределах района не превышает 10-15км, поэтому основными считаются их притоки-реки Поля и Ялма. Длина реки Поли составляет 50км. Ялма вытекает из Туголесских болот, имеет длину 20км. Их ширина редко превышает несколько метров. Река Поля имеет глубину 4-7 м, у Ялмы глубины меньше. В межень реки теряются в болотах, блуждая среди увлажненных территорий. Питание рек за счет атмосферных осадков, болот и грунтовых вод. Гидрографическая сеть сильно изменена человеком. Водных ресурсов в Мещере стало недостаточно для использования местным населением. К тому же так называемое «обводнение», которое проводилось, не рационально.

В период жаркого лета, очень высокого давления, выливать воду в тлеющие торфяники имеет мало смысла. Из торфяников поднимается пар и уносится с ветрами в другие районы.

Как указывает в своей работе академик ВАСХНИЛ Б.С.Маслов, – «торф даже в воде может годами тлеть» [6]. При таком совмещении легко происходит самовозгорание – то есть низовые пожары.

Ф.Р. Зайдельман, А.П. Шваров в работе «Пирогенная и гидротермическая деградация торфяных почв, их агроэкология, песчаные культуры земледелия, рекультивация» (2002) отмечают, что на таких территориях сформировались следующие почвы: пирогенно-песчаные и песчаные (или супесчаные), пирогенно-торфяные на песках, супесях, пирогенно-древесно-песчаные или супесчаные (рис. 1). Растительный покров чахлый: береза повислая, вейник, иван-чай, осока [2].

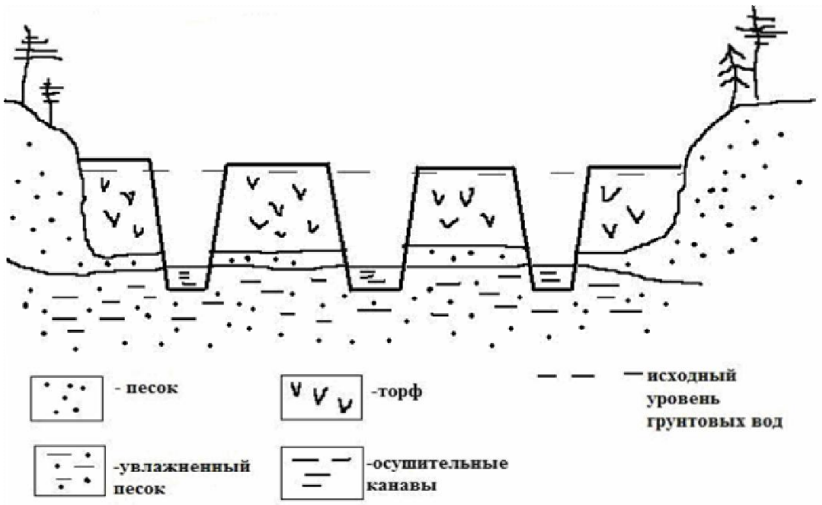


Рис. 1. Изменение уровня верховодки в Мещере [6]

По мнению М.В. Сидоровой, «максимальные снегозапасы на Восточно-Европейской равнине будут повсеместно снижаться, на юге и западных окраинах снегозапасы будут снижаться в 2 раза, снижение весеннего половодья возможно в 3-5 раз (рис.

2). При неблагоприятном варианте потепления здесь весеннее половодье может исчезнуть как фаза водного режима, а холодный период года будет представлять собой последовательность снегодождевых паводков» [7, с. 25].

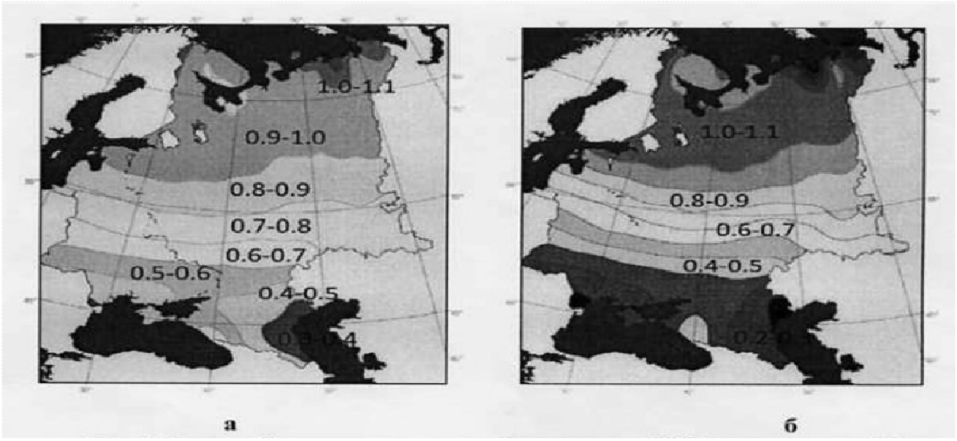


Рис. 2. Фоновый прогноз изменений стока рек на середину (а) и конец (б) XXI века в долях от современных величин (по ансамблю 12 МОЦАО CMIP 3)

Опасность падения запасов воды в регионе:

• Современные воды накопились, благодаря ушедшим ледникам 10 тысяч лет назад, но на увлажненных территориях Западной Мещеры водные ресурсы будут только падать, в связи с потеплением климата).

• Из года в год происходит усиление низовых, аблагодаря им, и верховых пожаров на рассматриваемой территории.

• Происходит уменьшение общих запасов пресной, чистой воды.

• Последние годы почти 1/3 водных ресурсов (по обновленной мелиорации) транспортируется из малых рек и озер в горящие торфяники.

• Большая часть залитой в торфяники воды испаряется в атмосферу.

• Торфяные залежи будут тлеть и после заливания их водой, поскольку их толщина составляет около 6 и более метров (одной из причин тления является болотный газ) [4,5].

Предлагаемый космический снимок региона указывает на повсеместные пожары на увлажненных территориях, переработанных торфопредприятиями, полыхавшие в июле-августе 2008 года, полыхавшие и в 2010 году. В Туголесском Бору уже по одному названию предполагается расти сказочным лесам и прекрасным борам, которые когда-то и росли на рассматриваемой территории.

На космическом снимке видны делянки с водой, блюдца с жижей и пожары (рис. 3).

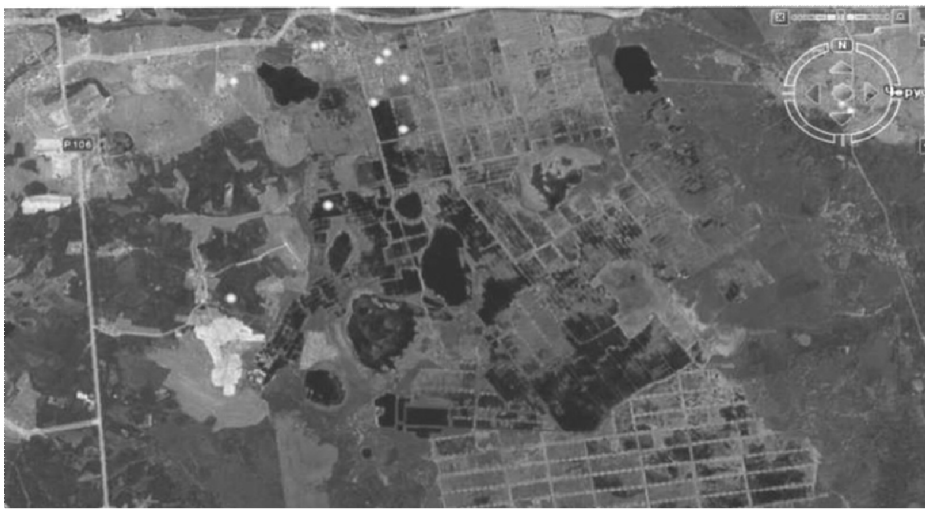


Рис. 3. Шатурский район, Туголесский Бор, июль-август 2008 года (космический снимок указывает на горящие торфяники)

Одним из факторов низовых пожаров могут быть имеющиеся пустоты, заполненные болотным газом под сохранившимися с тридцатых годов двадцатого века пнями в соединении с остатками тлеющего торфа.

Прорытые, в результате мелиорации осушительные каналы привели к переосушенности лесов, где возникают верховые пожары.

Однако не красотой, а торфом стал привлекать этот регион еще в 20-30 годы XX века энергетиков и торфодобытчиков. Начиналась добыча торфа с ручной резки (использующая ручной труд), а к 1980-м гг. оставался доминирующим фрезерный способ (рис. 4). До сегодняшнего времени 90% объема промышленно добытого торфа производится по технологии фрезерного торфа.

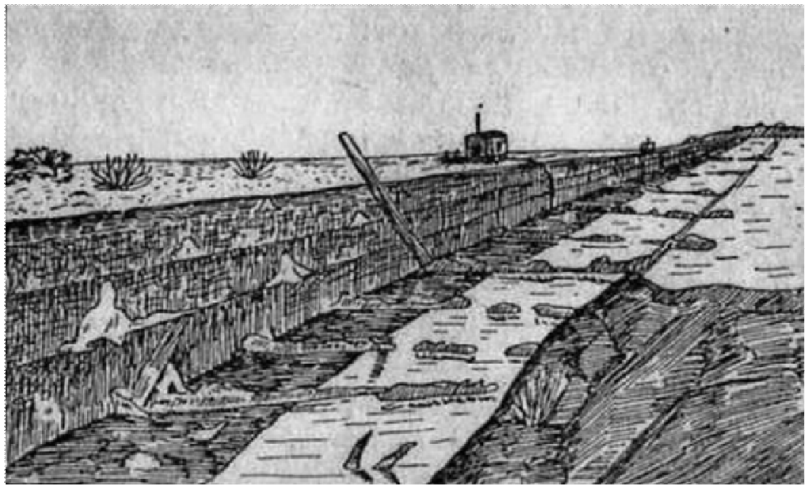


Рис. 4. Карьер верхового болота с пограничным горизонтоми верхними слоями пней [1]

На рисунке 4 видно, что в «пограничном слое», по А.Д. Герасимову, расположены пни сосновых деревьев. Рисунок указывает на то, что в начале первых десятилетий торфа добычи, выкорчевывания пней не предполагалось, и они оставлялись в торфе, который также находился в слое [1, с. 25-27].

В последующие годы пни стали плотным, водонепроницаемым слоем для дождевых и снеговых осадков. Под ними сегодня, возникли «карманы» с накопленным болотным газом и лежащими остатками сухого торфа.

Возможным фактором возникновения пожаров могут быть недостатки технологии добычи торфа фрезерным способом. Фрезерный способ добычи торфа до конца 1980 года оставался доминирующим, то есть более 90% объема промышленно добытого торфа производилось по технологии фрезерного торфа. Как предполагают авторы Косов В.И., Беляков А.С., Белозеров О.В., Гогин Д.Ю. в работе «Торф» (2007), «к недостаткам технологии добычи торфа фрезерным способом следует, в первую очередь, отнести изменение гидрологического режима за счет снижения уровня грунтовых вод на прилегающих к торфяному месторождению территориях, крайне низкий коэффициент использования торфозапасов…загрязнение атмосферного воздуха, что конечным образом изменяет установившееся биологическое, гидрологическое, геологическое, микроклиматическое равновесие на данной территории, резкое возрастание риска пожароопасности, как на полях добычи торфа, так и на местах складирования пней и штабелях торфа; смещение водного и углеродного циклов в сторону снижения и, как следствие, повышение температуры приземного воздуха»[3, с. 219].

Академик Б.С. Маслов отмечал, что «при пожарах земля выступает на стороне воды против огня, препятствуя его распространению. Не зря издревле используют для борьбы с огнем опахивание, окапывание заболоченных земель, включая окрайки болот, создавая заслон продвижению огня. В земледелии на торфяных почвах эффективен прием землевания торфа путем внесения в пахотный слой торфяной почвы» [6].

Главной причиной массовых пожаров является уничтожение болот. Это привело к нарушению экологического баланса, уничтожению целых экосистем и компенсировать количество откаченной из болот влаги чрезвычайно трудно. При средней глубине болот (метр и глубже) в них содержалось не менее тысячи кубометров воды, т.е. в разы больше, чем за год несла в море Волга.

Потушить лесной пожар, когда он уже разгорелся практически невозможно. Их останавливают созданием просек, уничтожением сухостоя и другими мерами, требующими многолетней планомерной работы.

По представлению Ф.Р. Зайдельмана и А.П. Шварова, предлагается ряд мероприятий по рекультивации пирогенных образований при пятнистом и сплошном выгорании осушенных почв [2]:

а) дренаж; б) планировка; в) внесение на поверхность увеличенных масс суглинистого грунта (400-500т/га) в пирогенно-песчаные и песчаные пирогенные (или супесчаные) в пирогенные образования.

Требуется окапывание и внесение на поверхность суглинистого грунта. Такой способ может стать рентабельным и при опахивании с оставшимся торфом и пирогенными образованиями остановит процесс горения торфа.

Мещеру еще можно сохранить для потомков как уникальную, богатую своими водными и природными ресурсами, территорию, кладезь рекреационных возможностей, где, на основе чистейшей ключевой воды, сапропеля и торфа, можно построить грязелечебницы, санаторные корпуса, где смогут лечиться, быть здоровыми и работать жители Московской области.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов Д.А. Торф, его происхождение, залегание и распространение / Д.А. Герасимов. – М.-Л.: Государственное научно-техническое горное издательство,1932. – 67 с.

2. Зейдельман Ф.Р. Пирогенная и гидротермическая деградация торфяных почв, их агроэкология, песчаные культуры земледелия, рекультивация / Ф.Р. Зейдельман, А.П. Шваров. – М.: МГУ, 2002. – 155 с.

3. Косов В.И. Торф. Ресурсы, технологии, геоэкология / В.И. Косов, А.С. Беляков, О.В. Белозеров, Д.Ю. Гогин. – СПб., 2007. – 450 с.

4. Лукьянова Т.С.Целесообразность и возможности дальнейшего существования увлажненных территорий западной части Мещеры / Т.С. Лукьянова // Экологические проблемы Московской области. – М.: Мин-во экологии и природопользования МО, МГОУ, 2010. – С. 111-122.

5. Лукьянова Т.С.Современное состояние заболоченных территорий Подмосковной Мещеры / Т.С. Лукьянова, А.О. Хуторова, Ю.В. Шумилов // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2017 – №4. – С. 73-77.

6. Маслов Б.С. Не надо топить болота! Хрупкий мир природы / Б.С. Маслов // Газета «Советская Россия» – 11/11-2010.

7. Сидорова М.В. Оценка возможных изменений речного стока в XXI веке на территории Восточно-Европейской равнины: автореферат дисс.…канд. геогр. наук: – М.:25.00.27 / М.В. Сидорова. – М.: МГУ, географический ф-т, 2010. – 25 с.

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК В АТЛАНТИКО-ЕВРОПЕЙСКОМ РЕГИОНЕ НА СОБЫТИЯ ЛА-НИНЬЯ ПО ДАННЫМ E-OBS

О.В. Марчукова, А.С. Лубков, Е.Н. Воскресенская
olesjath@mail.ru

Институт природно-технических систем, г.Севастопль, Россия

Ла-Нинья – это холодный эпизод межгодового процесса Эль-Ниньо – Южное колебание, который представляет собой экстремальное понижение поверхностной температуры воды (ТПО), заблаговременное усиление пассатных ветров и рост давления в восточно-экваториальной части Тихого океана, как минимум на протяжении пяти последовательных месяцев. Ла-Нинья вызывает огромный интерес, как ученых, так и специалистов разных областей деятельности из-за своих глобальных климатических воздействий на окружающую среду, сопровождающихся негативными последствиями. В исследованиях статей [2, 3, 5] был сделан акцент на то, что в годы Ла-Нинья происходит большая изменчивость циркуляции атмосферы в Атлантико-Европейском регионе, чем в годы его противоположного аналога Эль-Ниньо.

В последние два десятилетия вырос интерес к классификации и изучению событий Ла-Нинья. В настоящее время большинство авторов отдают предпочтение гипотезе о существовании двух типов событий Ла-Нинья – Восточно-Тихоокеанского (ВТ) и Центрально-Тихоокеанского (ЦТ) [1, 4, 5]. При ЦТ типе Ла-Нинья максимально-отрицательная аномалия в период зрелой фазы события находится в экваториально-центральной части Тихого океана, а при ВТ – в восточно-экваториальной части.

Цель настоящей работы – выявить климатический отклик на два типа событий Ла-Нинья в аномалиях температуры воздуха в Атлантико-Европейском регионе.

Для анализа климатических аномалий в работе привлекались ежесуточные массивы данных о минимальной и средней температуре воздуха из базы данных E-OBS 19.0e с пространственным разрешением 0.1°×0.1° за период с 1950 по 2018гг. включительно. Для анализа откликов на события Ла-Нинья были взяты годы ЦТ типа (1950–1951, 1973–1974, 1975, 1983–1984, 1984–1985, 1988–1989, 1998–1999, 1999–2000, 2010–2011, 2011–2012, 2016–2017) и ВТ типа (1954–1955, 1955–1956, 1964–1965, 1967–1968, 1970–1971, 2005–2006, 2007–2008, 2017–2018) по уточненной классификации работы [3].

Климатические отклики оценивались с помощью метода композитов с учетом статистической значимости по t-критерию Стьюдента на 80% допустимом уровне. Статистическая значимость рассчитывалась относительно климатического среднего с 1950 по 2018 гг. с исключением годов, в которые происходили события Ла-Нинья. Композиты были построены и проанализированы подекадно.

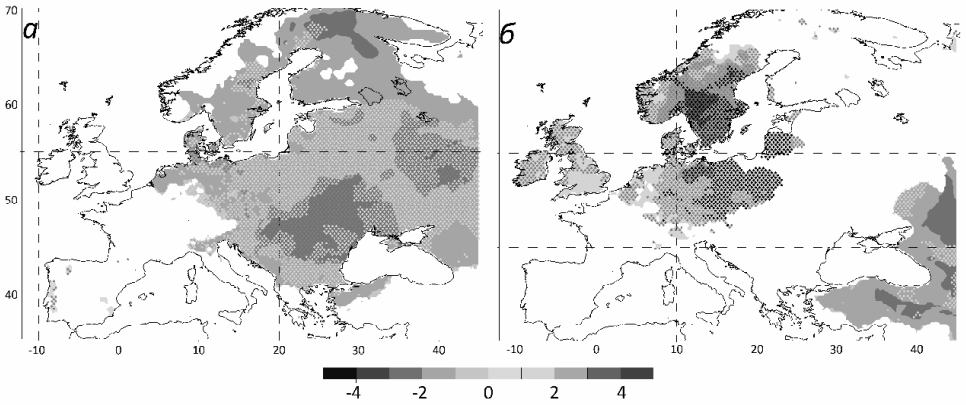


Рис. 1. Композитные поля откликов на ЦТ ЛН аномалий минимальной температуры, °С, во вторую декаду ноября (а) и третью декаду февраля (б). Светлые узловые точками – 66% повторяемость, темные – 80%. Белые незаполненные поля – незначимы результаты.

При ЦТ типе Ла-Нинья во 2 и 3 декаде ноября наблюдается поле отрицательных аномалий температуры до –3°С, которое локализовано в центральной и восточной частях Европы. Однако повторяемость этой аномалии равна 66% (рис 1а). В третьей декаде декабря и первой-второй декадах января отмечается положительные аномалии температуры в Прибалтийском регионе и в Великобритании, значения которых колеблются в районе +2 - +3°С. Такое же поле аномалий наблюдаются и в третью декаду февраля (рис 1б). Для третьей декады марта и первой декады апреля характерны положительные аномалии температуры (в среднем +2°С) в Украине, Польше, Беларуси и странах Прибалтики. В целом для откликов на Ла-Нинья центрального типа не свойственны аномальные холода зимой и весной следующего после максимальной фазы развития Ла-Нинья.

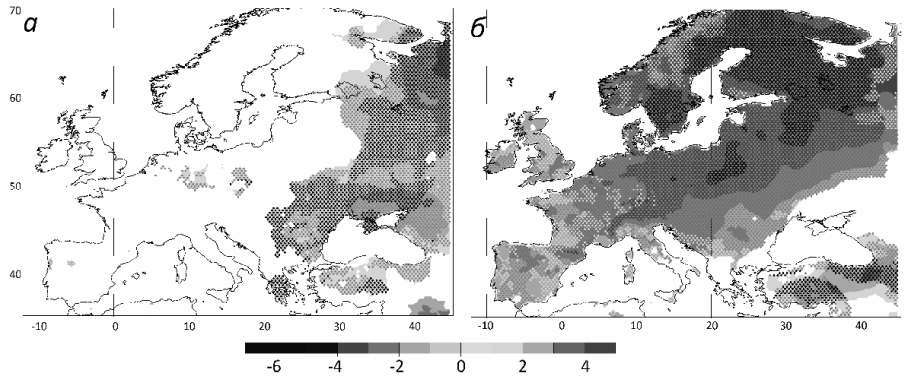


Рис. 2. Композитные поля откликов на ВТ ЛН аномалий минимальной температуры, °С, в третью декаду октября (а) и первую декаду марта (б). Светлые узловые точками – 66% повторяемость, темные – 80%.Белые незаполненные поля – незначимы результаты

Во время ВТ типа Ла-Нинья в первой декаде октября наблюдается положительная аномалия температуры на севере Европы, которая во второй декаде распространяется и в восточную часть. Максимальных значений положительная аномалия достигает к 3 декаде октября, располагается в восточной части Европы и Черноморском регионе и равняется +2 - +3°С (рис. 2а). Подобное поле положительных аномалий температуры отмечается во второй декаде ноября. Ярких значимых откликов нет вплоть до февраля. В третьей декаде февраля и в первой декаде марта наблюдается интенсивная отрицательная аномалия температуры, площадь которой захватывает практически всю Европу (кроме Турции и Грузии – там наблюдаются положительные аномалии температуры). Минимальные значения аномалий температуры ниже –6°С наблюдаются в районе Финляндии (рис. 2б). Так же во второй и третей декаде марта в Скандинавии аномалии продолжают существовать и равняются –4 - –5°С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воскресенская Е.Н. Пространственная классификация Ла-Нинья / О.В. Марчукова // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – М., 2017. – С. 125-134.

2. Нестеров Е.С. Изменчивость характеристик атмосферы и океана в атлантико-европейском регионе в годы событий Эль-Ниньо и Ла-Нинья // Метеорология и гидрология. – М., 2000. – С. 74-83.

3. Voskresenskaya E.N. Interannual climate anomalies in the Atlantic-European region associated with La-Nina types / O.V. Marchukova, V.N. Maslova, A.S. Lubkov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018.

4. Yuan Y. Different types of La Nina events and different responses of the tropical atmosphere / H.M. Yan // Chin. Sci. Bull. – 2013.– P. 406-415

5. Zhang W. Impacts of two types of La Niña on the NAO during boreal winter / L. Wang, B. Xiang, L. Qi, J. He // Climate Dynamics. – 2014. – P. 1351-1366.

РЕЖИМНО-СПРАВОЧНЫЙ БАНК ДАННЫХ (РСБД) «АКТИНОМЕТРИЯ»: ФОРМИРОВАНИЕ, КОНТРОЛЬ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Е.Л. Махоткина, Л.В. Луцько, А.Е. Ерохина, А.Н. Махоткин
alex.makhotkin@gmail.com

Главная геофизическая обсерватория имени А.И. Воейкова, г. Санкт-Петербург, Россия

Актинометрические данные представляют собой важную составную часть гелиогеофизической информации. Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова (ГГО), являющаяся одним из специализированных центров данных (СЦД) Росгидромета, осуществляет полный комплекс работ по сбору, контролю, архивации и хранению актинометрической информации, заключительным этапом которого является передача архивов специализированной базы данных на федеральное хранение в Госфонд (ВНИИГМИ-МЦД).

Наземная актинометрическая сеть обеспечивает получение данных, составляющих информационную основу для исследования радиационных факторов климата. По состоянию на начало 2019 г. она насчитывала 168 пунктов наблюдений, которые распределены по территории неравномерно: на ЕТС сеть более плотная, чем на АТС [4]. Функционирование пунктов наблюдений регламентировано Руководящим документом [6].

Для пунктов актинометрических наблюдений установлены три типа программ (Наставление, 1997):

– срочные наблюдения;

– непрерывные наблюдения (регистрация);

– определение суточных сумм суммарной радиации путем интегрирования (интегрирование).

Программа «регистрация» является наиболее информативной как в плане состава измеряемых параметров, так и по их временному разрешению. В настоящее время регистрация составляющих радиационного баланса ведется автоматизированными комплексами различных типов (УАР, ААК, АИК:

− УАР (установка актинометрическая регистрирующая — устаревший комплекс, требующий замены) — 11 шт.;

− ААК (автоматизированный актинометрический комплекс — установка с датчиками фирмы «Kipp&Zonnen») —18 шт.;

− АИК (актинометрический измерительный комплекс — установка российско-белорусского производства) — 8 шт.

Некоторые пункты актинометрических наблюдений могут работать по сокращенной программе или по двум программам одновременно.

Таблица. Программа наблюдений

Программа	Вид наблюдений	Количество пунктов	Получаемая информация
Регистрация	Непрерывные круглосуточные измерения	39	Часовые, суточные и месячные суммы составляющих радиационного баланса
Срочные наблюдения	Измерения в 6 стандартных сроков	71	Данные о пяти видах радиации в 6 стандартных актинометрических сроков, среднемесячные значения радиации для 6-ти сроков, месячные суммы
Интегрирование	Получение суточных сумм радиации	58	Суточные, месячные суммы суммарной радиации

В международном обмене радиационными данными участвуют 11 станций Росгидромета.

В процессе осуществляемой в последние годы модернизации актинометрической сети (внедрения ААК и АИК) в ряде наблюдательных пунктов произошла замена средств измерений и технологии получения и обработки данных наблюдений. В связи с этим для оценки сохранения однородности рядов были организованы синхронные наблюдения ААК со штатными установками актинометрическими регистрирующими (УАР). Результаты синхронных наблюдений показали, что расхождения между данными ААК и табельными СИ в основном лежат в пределах погрешностей измерений табельных приборов, что говорит об отсутствии необходимости вводить коэффициенты увязки автоматизированных и исторических и рядов актинометрических наблюдений [3].Сравнение результатов, полученных с использованием СИ российско-беларуского производства, работающих в составе АИК, и табельных датчиков, показало, новые актинометрические приборы обеспечивают сохранность рядов наблюдений [1].

Обработка актинометрической информации осуществляется непосредственно в пунктах наблюдений или УГМС с использованием специально разработанных программ. Комплекс программ обработки актинометрической информации для сети станций Российской Федерации «SONE» (в настоящее время используется«SONE.Версия 6»), выполняет обработку данных и формирует типовые таблицы и архивные файлы данных для пополнения режимно-справочного банка данных (РСБД) «Актинометрия» и Госфонда. В соответствии с принятым регламентом материалы актинометрических наблюдений должны поступать в ГГО не позднее, чем через 45 дней после окончании календарного месяца. Но при существующих средствах большинство УГМС (пунктов наблюдений) передает месячные массивы данных по электронной почте значительно раньше установленных сроков.

ГГО осуществляет контроль качества, редактирование и в случае необходимости переработку поступившей информации. При этом оригиналы данных, поступившие из пунктов наблюдений, сохраняются в неизменном виде, объектом хранения являются также данные с исправлениями, внесенными при контроле достоверности в ГГО.

Для контроля данных регистрации используется специализированная программа, которая представляет комплекс измеряемых и расчетных величин в табличной форме, удобной при контроле, а также в виде графиков межэлементных связей составляющих радиационного баланса.

Функционирующий в ГГО режимно-справочный банк данных (РСБД) «Актинометрия», формирование которого было начато в конце 1980-х годов, состоит из трех базовых архивов «Срочные наблюдения», «Регистрация», «Интегрирование», которые содержат информацию с 1976 г. и постоянно пополняются данными текущих наблюдений.

Базовые архивы РСБД «Актинометрия» сформированы автоматизированными системами первичной обработки актинометрической информации, реализованными на ЭВМ различных типов. Принятая методология формирования информационной базы РСБД «Актинометрия» предполагает сохранение базовых архивов, как источника информации. Эти архивы являются источниками подготовки производных массивов данных для последующего использования в научных и прикладных исследованиях.

Архивы РСБД непрерывно пополнятся текущей информацией. РСБД «Актинометрия» предназначен для хранения и распространения актинометрических данных в целях обеспечения потребителей любого уровня режимно-справочной информацией. В настоящее время данные о месячных суммах радиационного баланса и его составляющих, получаемых на станциях, оснащенных ААК, размещаются на сайте ГГО в открытом доступе http://voeikovmgo.ru/?option=com_content&view=article&id=791:dannye-aktinometrii&catid=45:dannye-aktinometrii&lang=ru

На основе базовых архивов в составе РСБД «Актинометрия» сформированы специализированные архивы, предназначенные для проведения климатических исследований. Разработанный для этого пакет программ позволяет выполнять конвертацию одного

типа файлов в другой, осуществлять расчеты по заданному алгоритму (например, расчета суточного хода альбедо), представлять результаты в графической форме.

С 2012 г. в РСБД «Актинометрия» включается новая информация, получаемая на станциях, оснащенных ААК:

- часовые, суточные и месячные суммы ультрафиолетовой радиации (UV_A) – 6 станций,
- часовые, суточные и месячные суммы приходящей (Ed) и уходящей (Eu) длинноволновой радиации в диапазоне длине волн от 4,5 до 42 мкм–18 станций,
- продолжительность солнечного сияния, определяемая по прямой солнечной радиации – 24 станции.

Специализированные архивы характеристик прозрачности атмосферы содержат данные месячного и суточного осреднения и состоят из набора файлов, каждый из которых содержит информацию по одной станции (с координатным номером NNNNNNN) за ряд лет. Внутри файла данные упорядочены по годам, в течение года по месяцам. Архивы содержат характеристики прозрачности атмосферы: коэффициент прозрачности P_2, фактор мутности T_2, индекс мутности N, аэрозольная оптическая толщина атмосферы τ_a. Для расчета указанных характеристик прозрачности используются только случаи наблюдений, при которых диск солнца и околосолнечная зона в радиусе 5^0 не закрывались облаками.

Актинометрические данные представляют собой составную часть гелиогеофизической информации. В мировой практике актинометрическая информация используется при проведении научных исследований для привязки (калибровки) спутниковых данных, валидации и настройке моделей, климатологических обобщений, изучения климатических изменений различных масштабов, при решении различных прикладных задач.

Актинометрическая информация традиционно используется при подготовке климатических справочников и изучении радиационного режима. Так, Справочник по климату СССР, часть 1 (издание завершено в 1967 г.) включает сведения о радиационном режиме отдельных территорий Советского Союза.

Научно-прикладной справочник по климату СССР, вышедший в начале 90-х годов, содержит более широкий перечень характеристик солнечной радиации: для всех станций приведены средние часовые суммы составляющих радиационного баланса за период от 10 до 40 лет (по 1980 г.), отдельные статистические параметры суточных и месячных сумм радиации. Это позволяет оценивать закономерности радиационного режима на более высоком уровне и получать различные специализированные характеристики.

В 2005 г. ГГО совместно с ВНИИГМИ-МЦД и УГМС создан первый вариант электронной версии Научно-прикладного справочника по климату России, включающий раздел по солнечной радиации. В процессе подготовки НПС построены верифицированные ряды данных о характеристиках солнечной радиации различного временного разрешения по 2000 год.

В последние годы существенно возрос интерес к подготовке региональных научно-справочных пособий по отдельным регионам России (например, «Климатические ресурсы Архангельской области», «Климатические ресурсы и погодные риски Ростовской области и Республики Калмыкия и их изменение в условиях меняющегося климата для обеспечения гидрометеорологической безопасности и устойчивого развития территорий», «Климатический справочник по территории Республики Татарстан», «Климат Санкт-Петербурга и его изменения»), которые также содержат разделы и главы с обобщением данных по солнечной радиации.

Актинометрические данные используются не только для оценки средних многолетних значений компонентов радиационного баланса подстилающей поверхности, но и для их картографического обобщения. Среди работ такого рода следует упомянуть «Атлас ветрового и солнечного климатов России» включающий обширный комплект месячных и годовых карт для составляющих радиационного баланса подстилающей поверхности (в т. ч. суммарную и прямую радиацию, альбедо, эффективное излучение, поглощенную радиацию). Серия карт радиационных характеристик, разработанная в ГГО по данным актинометрической сети, включена в Национальный Атлас России (том 2), Москва, 2007 г.

Данные актинометрических наблюдений (в первую очередь данные о радиационном балансе) используются при уточнении некоторых микроклиматических методов расчета специализированных климатических характеристик в сложных условиях подстилающей поверхности и недостаточном метеорологическом освещении местности. Так, с использованием актинометрических данных для Олимпийского комитета России были подготовлены микроклиматические описания района проведения Олимпийских Игр в 2014 г. с учетом особенностей формирования микроклимата в горном рельефе.

Информация РСБД «Актинометрия» по 11 станциям публикуется в ежеквартальных бюллетенях мировой радиационной сети [http://wrdc.mgo.rssi.ru]. Данные станций Росгидромета, участвующих в Международном обмене радиационными данными по линии ВМО проходят дополнительный контроль качества.

Мониторинг радиационных характеристик климата различного масштаба (локального, регионального, глобального) является неотъемлемой частью мониторинга климатической системы в целом. Поскольку солнечная радиация является индикатором состояния атмосферы, большое внимание уделяется изучению аномалий солнечной радиации в отдельные годы и тенденций ее многолетнего изменения.

Для выявления наблюдаемых аномалий и исследования временных и пространственных изменений составляющих радиационного баланса необходимы нормы, полученные по длинным рядам, и достоверные данные наблюдений, равномерно покрывающие всю рассматриваемую территорию. Для решения задач мониторинга климата особую ценность представляют данные наблюдений на так называемых длиннорядных станциях, сохранение которых должно стать одной из приоритетных задач национальной гидрометслужбы.

Начиная с 2009 г. результаты работ по мониторингу радиационного режима входят в качестве самостоятельного разделов («Радиационный режим», «Оптическая плотность и прозрачность атмосферы») в «Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации», подготавливаемый ежегодно (за предшествующий год). Данные об изменениях характеристик солнечной радиации на территории России во второй половине XX и начале XXI века представлены в аналитических обзорах «Оценочный доклад об изменениях климата их последствиях на территории Российской Федерации", том 1. Изменения климата [5] и «Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» [2]. Данные об оптической плотности атмосферного аэрозоля, рассчитанные по данным о прямой солнечной радиации, измеренной на актинометрических станциях, ежегодно включаются в «Обзор фонового состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ» и в «Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в РФ»[http://climatechange.igce].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бычкова А. П., Казеев Ю. И., Кривонощенко В. И., Луцько Л. В., Соколенко С. А. (Новые приборы для актинометрических наблюдений на сети // Труды ГГО. – 2008. – Вып. 557. – С. 133–146.

2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Под ред. В. М. Катцова, С. М. Семенова – М.: Росгидромет. 2014. –1009 с.

3. Гаврилова С. Ю., Иванова Т. А., Луцько Л. В., Мясникова О. А. Итоги состояния и функционирования автоматизированной метеорологической и актинометрической сетей в 2014 г. // Труды ГГО. – 2015. – Вып. 577. – С. 7–33.

4. Луцько Л.В., Ерохина А. Е., Бычкова А. П., Махоткина Е. Л., Махоткин А. Н., Бекенева О. Б. Актинометрическая сеть Росгидромета: текущее состояние // Труды ГГО. – 2018. – Вып. 589. – С. 133–146.

5. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: Т I. – М.: Росгидромет, 2008. –227 с.

6. РД 52.04.562-96. (1997). Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 5. – М.: Росгидромет. – 222 с.

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ В БАССЕЙНЕ РЕКИ СРЕДНИЙ ЕГОРЛЫК

О.В. Назаренко
ovnazarenko@sfedu.ru

Южный федеральный университет, г.Ростов-на-Дону, Россия

Климатические изменения и их воздействие на окружающую среду являются актуальной проблемой настоящего времени, вызывая гидрологические изменения и смену экосистем. В результате формируются экосистемы представляющие меньшую ценность в хозяйственном отношении, низко продуктивные [4]. Поэтому анализ климатических изменений является важной и актуальной задачей. Глобальные изменения климата на юге Европейской части проявились в потеплении зимнего периода и увеличении суммы осадков за холодный сезон [2, 3, 7]. Общие закономерности изменения метеорологических параметров связаны с равнинным характером местности, высоким приходом солнечной радиации и недостаточной влагообеспеченностью [3, 7]. В данной работе анализируются изменения метеорологических условий в поселке Гигант (Ростовская область).

Ростовская область расположена в западной подобласти атлантико-континентальной степной области умеренного пояса. Климат региона умеренный континентальный, формируется под влиянием переноса воздушных масс из Атлантики, меридиональный северный и южный переносы и трансформация воздушных масс. Равнинный рельеф благоприятствует поступлению воздушных масс различного происхождения.

Поселок Гигант расположен на юге Ростовской области, ландшафты степные засушливые. Здесь в 1928 г. был организован первый в СССР зерновой колхоз, который являлся самым крупным в стране.

Анализ изменений метеорологических характеристик выполнен на основе [1]. Были использованы суточные и средние месячные данные наблюдений за температурой воздуха и осадками по метеостанции Гигант за период с 1966 по 2018 гг. из архива ВНИИГМИ-МЦД [1]. Анализируется период с 1966 г. в связи с нарушением однородности рядов данных за более ранний период.

Анализ динамики температуры воздуха показывает, что наблюдается значительное нарастание и увеличение амплитуды годовых значений (рис. 1).

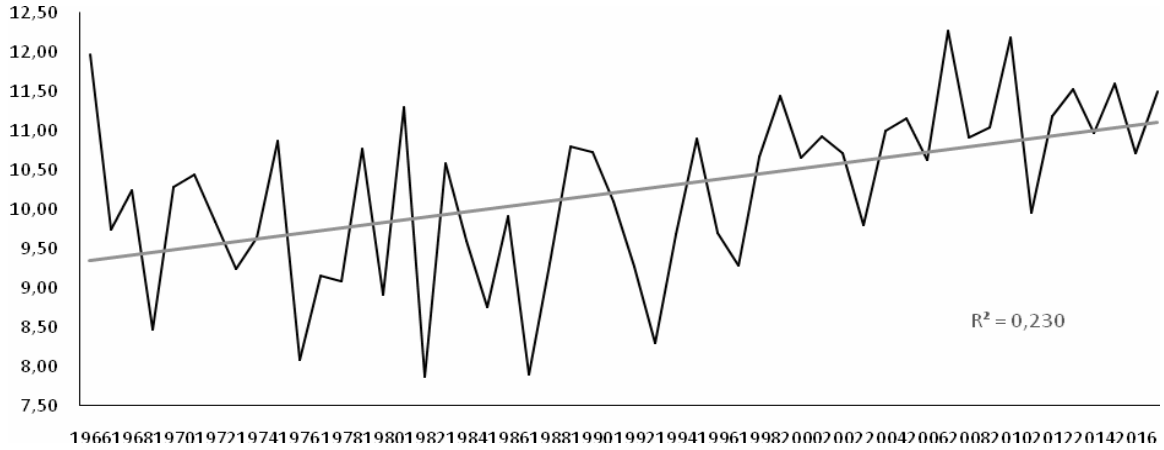


Рис. 1. Изменение температуры за период за 1966 - 2016 гг. м/ст Гигант

Средняя температура воздуха за период 1966-2017 гг. увеличилась на 1°С, при сравнении периодов 1939-1960 и 1966 – 2017 гг. увеличение среднегодовой температуры составило 1,2°С (табл. 1).

Таблица 1. Среднемесячная температура воздуха и количество осадков по м/ст Гигант

Сроки наблюдений	Температура, °С			Осадки, мм		
	год	январь	июль	год	XI-III	IV-X
1939-1960	9,0	-5,5	23,5	450	153	297
1966-2017	10,2	-3,6	24,0	517,4	194,8	322,6
1966-1970	10,1	-4,2	24,1	454,6	229,4	225,2
1971-1980	9,6	-6,6	23,2	518,5	175,5	342,9
1981-1990	9,7	-2,6	23,2	527,7	197,2	330,5
1991-2000	10,0	-2,9	23,8	548,4	188,4	360,1
2001-2010	11,1	-2,7	25,0	528,8	206,7	322,1
2011-2017	11,1	-2,9	25,3	485,3	186,0	299,3

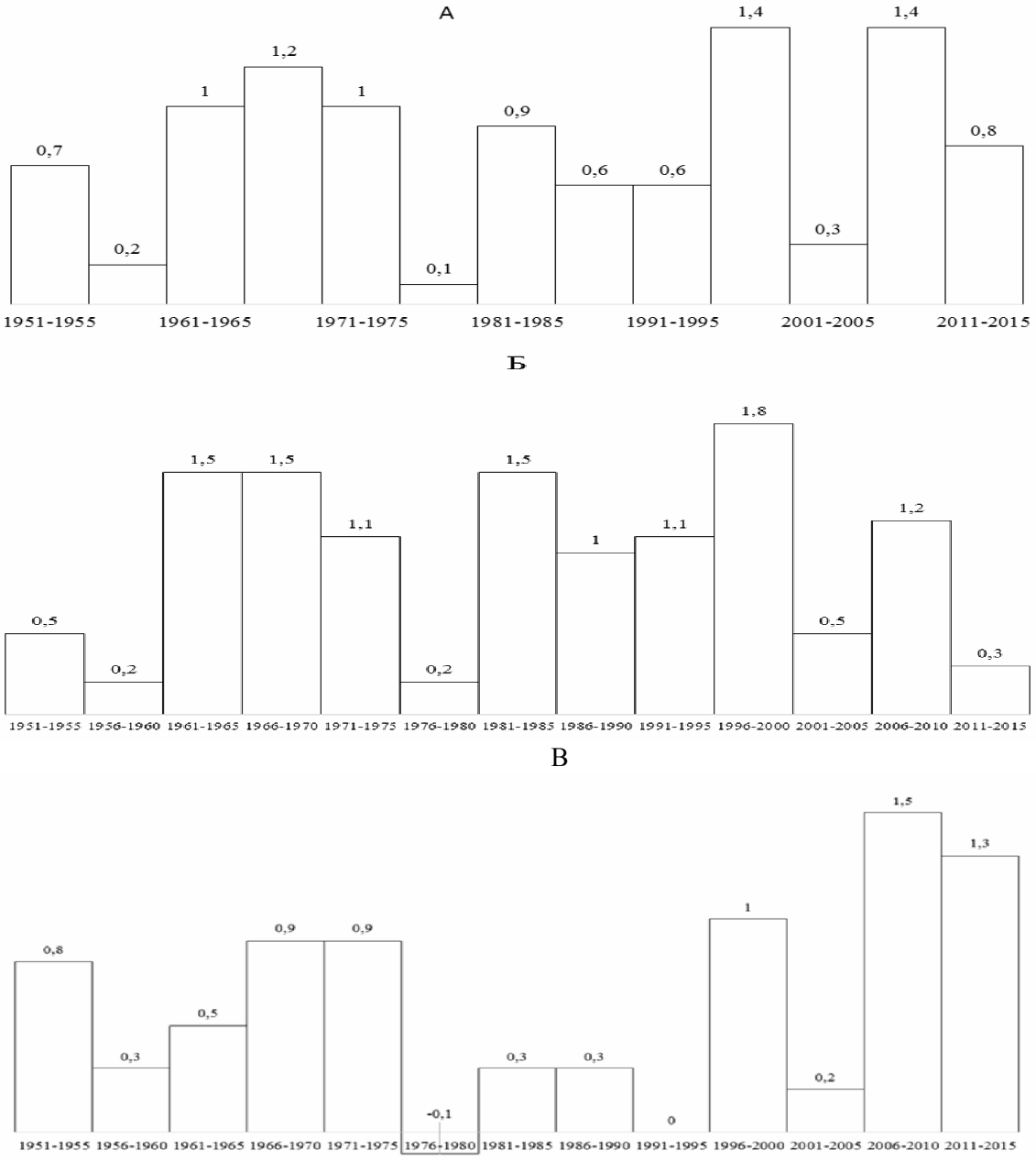


Рис. 2. Отклонение температуры воздуха (°С) за год (А), холодный (октябрь - март) (Б) и теплый (апрель - сентябрь) (В) от средних многолетних на м/ст Гигант в 1951 – 2015 (по данным Панова В.Д. и др.(2006) с дополнениями автора)

Потепление носило постепенный характер [5, 6]. Следует отметить, что произошло уменьшение амплитуды колебания среднегодовой температуры воздуха. В 1981 г. среднегодовая температура составила 11,29°С, в 1982 г. – 7,87°С, разница в среднегодовых значениях температур составила 3,42°С. Для сравнения 2011 г. – 9,96°С, 2010 г. – 12,18°С, амплитуда составила 2,22°С. С 1998 г. среднегодовая температура воздуха превысила значение 10,2°С, что привело к устойчивому тренду повышения температуры воздуха. Исключения составили 2003 и 2011 гг., когда среднегодовая температура воздуха была ниже среднемноголетних значений. Средние температуры января варьировали значительно от -14,2°С (1972) до 1,4°С (2005). Период с 1971 по 1980 гг. является самым холодным в данной выборке. Увеличение средней температуры января носит устойчивый характер и с 1939 по 2017 гг. составило 2,6°С (рис. 2).

Средняя температура июля изменялась от 20,9°С (1982, 1992) до 27,2°С (2010). С 1971 г. наблюдается устойчивый рост средней температуры июля с 23,2 до 25,3°С. С 2007 по 2017 гг. фиксировались температуры июля значительно превышающие многолетние данные.

Атмосферные осадки являются основным источником питания рек, создают ресурсы поверхностного стока и почвенной влаги. Роль осадков возрастает во время зимних оттепелей, которые зависят от неустойчивости температуры зимой.

Неравномерность выпадения осадков в течение года характеризует период наблюдений 1966 – 2017 гг. (рис. 3). Минимальное количество осадков было зафиксировано в 2007 г. и оно составило 314,1 мм. Максимальное – 699,7 мм (2016 г.). Среднегодовая сумма осадков увеличивалась до 1997 г., после чего в 1998 г. отмечается падение на 242 мм. В последующие годы количество атмосферной влаги нарастало.

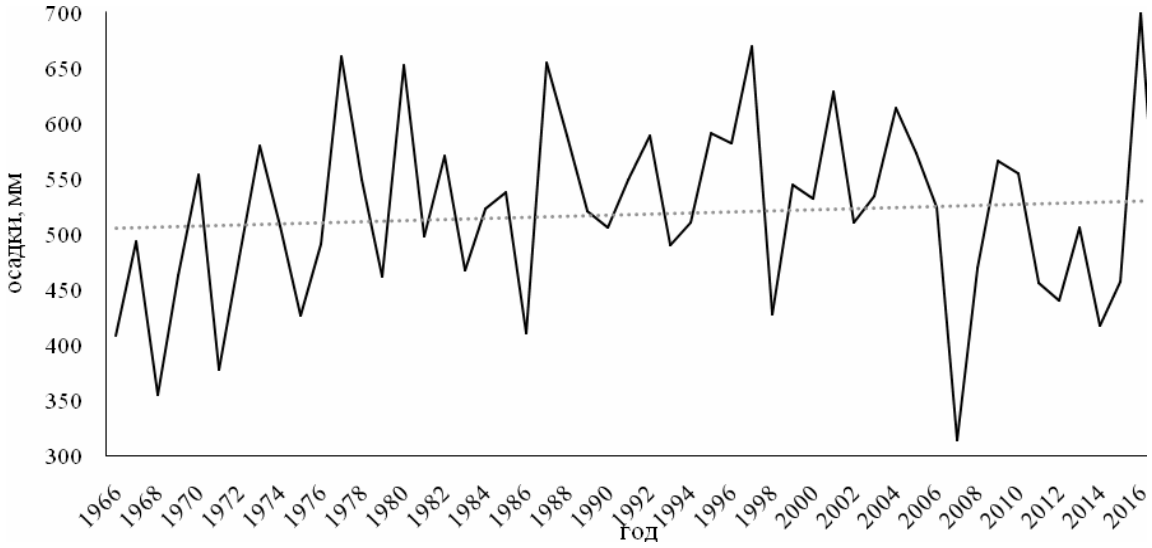


Рис. 3. Распределение сумм осадков по м/ст Гигант (1966 – 2017 гг.)

На теплое время (апрель - октябрь) приходится 61,7% выпадающих осадков, на холодный - 38,3%. Однако, отмечается неравномерность по годам. Например, период 1966-1979 гг. характеризуется практически равным распределением осадков в течении года, на лето приходится 49,5%, выпадающих осадков. Для остальных исследуемых периодов основная масса осадков выпадет в летний период, и ее доля изменяется от 60,9% (2001-2010) до 66% (1991-2000). Увлажнение теплого и холодного полугодий в 1939-1960 гг. и 1966-2017 гг. различаются всего на 4%.

Минимальная сумма осадков в п. Гигант приходится на январь – март (рис. 4). Наибольшее среднее количество осадков отмечается в мае – июле, после чего следует спад.

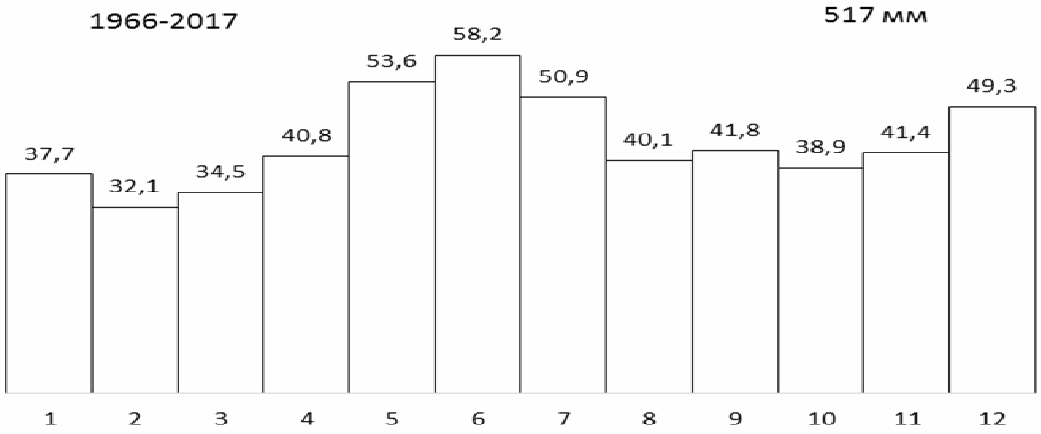


Рис. 4. Годовой ход осадков (мм) на м/ст Гигант

Таким образом, динамика климатических изменений изучалась на основе метеорологической информации (1939-1960, 1966 - 2017). Поселок Гигант расположен на юге Ростовской области в пределах степных засушливых ландшафтов. Данный район является важным сельскохозяйственным районом, природа которого претерпела серьезные изменения. Установлена устойчивая тенденция к потеплению. Увеличение средней температуры воздуха составило на 1,2°С. Анализ изменения осадков е показывает изменений в их режиме, за исключением значительного уменьшения количества осадков за период 2004 - 2015. Минимальное количество осадков составило 314,1 мм (2007), максимальное – 699,7 мм (2016). Нарастающая аридизация климата вызывает обеспокоенность не только в связи с ростом засух и пожаров, но и изменением урожайности зерновых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394. URL:http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных (дата обращения: 15.01.2019).

2. Дмитриева В.А., Маскайкина С.В. Изменчивость водного режима в верховье Донского бассейна в современный климатический период // Вестник ВГУ. География. Геоэкология. – 2013. – № 1. – С. 17 – 21.

3. Лурье П.М., Панов В.Д. Влияние изменений климата на гидрологический режим р. Дон в начале XXI столетия // Метеорология и гидрология. – 1999. – № 4. – С. 90-97.

4. Кузьмина Ж.В. Анализ многолетних метеорологических трендов на юге России и Украины (от лесостепи до пустынь) // Аридные экосистемы. – 2007. – Т.13, № 32. – С. 47-60.

5. Назаренко О. В. К вопросу о влиянии климатических факторов на грунтовые воды Доно-Донецкого бассейна во второй половине XX столетия // Водные ресурсы. – 2006. – Т. 33, № 4. – С. 504 – 510.

6. Назаренко О.В. Оценка региональных изменений метеорологических показателей и их влияния на уровень грунтовых вод (на примере г. Ростова-на-Дону) // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5. – 7 с.

7. Панов В.Д., Лурье П.М., Ларионов Ю.А. Климат Ростовской области: вчера, сегодня, завтра. – Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2006. – 487 с.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В ТРАНСГРАНИЧНОМ БАССЕЙНЕ РЕКИ УРАЛ

В.М. Павлейчик, Ж.Т. Сивохип
pavleychik@rambler.ru, sivohip@mail.ru

Институт степи УрО РАН, г.Оренбург, Россия

Традиционные системы природопользования и водопользования, несмотря на их мнимую устойчивость, в условиях изменяющегося климата могут столкнуться с необходимостью коренной трансформации подходов к использованию водных, земельных и растительных ресурсов. В связи с этой потенциальной проблемой нами предлагается анализ региональных (для территории бассейна р. Урал) особенностей изменения климата. В качестве первого этапа исследований нами рассмотрена многолетняя динамика температуры и осадков, на основе которой в дальнейшем будут сделаны выводы о природной составляющей изменчивости речного стока и о рисках сельскохозяйственного (в первую очередь земледельческого) освоения степных регионов.

Для закономерно повторяющихся изменений гидрологического состояния водного объекта (гидрологический режим) ключевое значение имеет водный режим, определяющий ритмику поступления воды с поверхности речного бассейна [4]. В свою очередь, внутригодовая изменчивость водного режима детерминируется сезонными изменениями роли источников питания и спецификой их пространственно-временного сочетания. Так для рек бассейна р. Урал определяющим типом питания является снеговое, причем роль данного источника в формировании стока не совпадает с календарными сроками вследствие особенностей накопления воды в пределах речного бассейна и его расходования. Кроме того, накопление осадков в виде снега определяет главные черты водного режима рек исследуемого бассейна – наличие весеннего половодья и зимней межени. Соответственно, сезонное изменение элементов водного баланса, аккумуляция и расходование запасов влаги преимущественно будут определяться климатическими условиями [4].

В качестве исходных приняты ряды данных метеонаблюдений за 39-летний период (1977-2015 гг.) по 15 метеостанциям, расположенным в бассейне р. Урал и на прилегающих территориях.

Температурный режим. Общеизвестно, что температура воздуха, в отличие от осадков, относится к косвенным факторам формирования речного стока и соответственно при оценке климатических изменений данные показатели рассматриваются независимо друг от друга [3]. Но вместе с тем, при сопоставлении гидрометеорологических данных по отдельным сезонам наблюдается достаточно тесная связь и прежде всего в холодный период года. Согласно отчету Межправительственной группы экспертов по изменению климата, потепление климатической системы является неоспоримым фактом, и, начиная с 1950-х годов, многие наблюдаемые изменения являются беспрецедентными в масштабах от десятилетий до тысячелетий. Каждое из трех последних десятилетий характеризовалось более высокой температурой у поверхности Земли по сравнению с любым предыдущим десятилетием начиная с 1850 г. В многолетнем ходе глобальной температуры наиболее интенсивное потепление прослеживается в течение последних 30-40 лет, так в пределах территории России скорость потепления составляет более 0,45°С/10 лет, причем интенсивность потепления не одинакова в разных частях страны [1].

На региональном уровне, в пределах территории трансграничного бассейна р. Урал также отмечается тенденция потепления климата. В целом, текущее потепление началось в бассейне р. Урал в 1970-х гг., с максимальным ростом температур воздуха с середины 1990-х годов [5]. Еще одним из распространенных подходов к анализу современных тенденций трансформации климата является расчет показателей аномальности среднегодовой температуры по отношению к нормированным значениям (рис. 1).

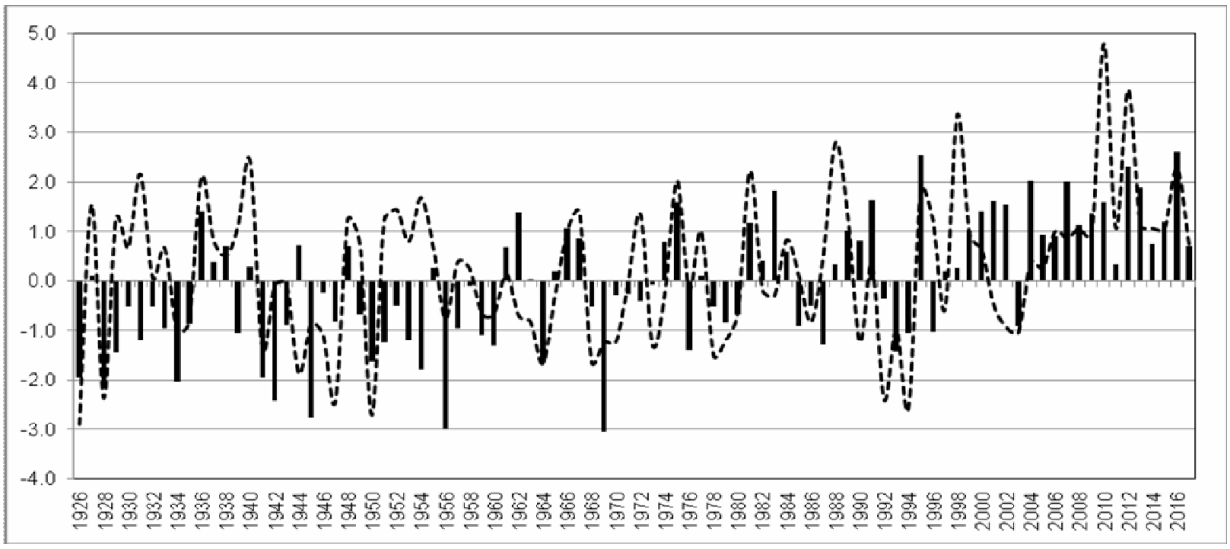


Рис. 1. Изменения аномалий среднегодовой температуры воздуха г. Оренбург

Аномалии рассчитаны как отклонения от средних за 1961-1990 гг. Согласно данным Росгидромета [2], 2016 год стал пятым среди самых теплых с 1936 г. – осредненная по территории России среднегодовая аномалия температуры воздуха (отклонение от среднего за 1961-1990 гг.) составила +1,69°С и соответствует средней тенденции роста за период с 1976 г.

Полученные оценки аномалий среднегодовых температур воздуха в трансграничном бассейне р. Урал (гг. Оренбург и Уральск) свидетельствуют о том, что 2016 г. был самым теплым, начиная с 1926 г. – среднегодовая аномалия (отклонение от среднего за 1961-1990 гг.) составила +2,6°С, даже несмотря на то что, летний экстремум в пределах исследуемой территории отмечается не в 2016 г., а в 2010 г. (Оренбург +4,8°С, Уральск +4,9°С). Для анализа условий стокоформирования существенное значение имеет также определение сезонных тенденций температуры приземного слоя (табл. 1).

Таблица 1. Изменение значений среднегодовых температур (°С) по сезонам в трансграничном бассейне р. Урал

Метео-станции	1926-1960				1961-1990				1990-2017			
	З	В	Л	О	З	В	Л	О	З	В	Л	О
Оренбург	–13,9	3,9	20,7	4,6	–12,2	5,4	20,6	5,0	–11,0	6,2	21,3	6,0
Илек	–13,4	3,9	17,8	3,6	–12,7	4,4	19,2	3,9	–12,3	4,3	19,2	4,3
Актобе	–14,0	4,2	21,3	4,7	–12,5	5,5	21,2	5,2	–11,4	6,1	21,8	5,8
Уральск	–13,1	4,4	21,3	5,1	–11,2	6,2	21,0	5,7	–9,7	7,1	22,0	6,6

Согласно полученным данным, в пределах трансграничного бассейна р. Урал выявлена следующая тенденция – наиболее заметное потепление отмечается в весенний и зимний периоды с максимальными положительными аномалиями в казахстанской части бассейна.

Региональные тенденции изменения температуры воздуха во внутригодовом разрезе подтверждаются расчетом коэффициентов линейного тренда (рис. 2).

В целом, исследуемый регион по росту среднегодовых температур относится к единой с европейской частью России зоне, для которой характерны значения 0,4-0,5°С/10 лет [1]. Обращает внимание определенное снижение скорости увеличения температурных значений по направлению к восточным и юго-восточным районам территории, соответствующим наиболее значимым зонам формирования речного стока р. Урал. Наиболее значительный и повсеместный рост температур происходит в безморозные сезоны года, составляя в среднем 0,4-0,5°С/10 лет. Нарастание температур в весенний период несколько существеннее для

центральной зоны (Оренбург, Беляевка, Акбулак) и некоторых южных районов. Наоборот, более значимое повышение многолетних температур летом и осенью характерно для западных лесостепных и степных районов (Бузулук, Сорочинск, Уральск, Стерлитамак).

Абсолютные максимумы роста среднемесячных температур отмечаются в марте и в августе, достигая 0,80 и 0,86°С/10 лет (соответственно) при средних значениях за месяц в 0,63 и 0,72°С/10 лет. Зимой тенденции нарастания температур не столь однозначны, в среднем скорость составляет 0,18 °С/10 лет. Наименьший рост температур отмечается в юго-восточных районах (Беляевка, Актобе, Айдырля), а по метеостанции Кувандык наблюдается единственное снижение зимних температур –0,06°С/10 лет за декабрь-февраль, с максимумом снижения в феврале –0,25°С/10 лет.

Кроме оценки изменений климатических средних, существенный интерес для выявления региональных тенденций представляет исследование непосредственно измеренных экстремальных значений метеорологических величин. Так, абсолютные минимумы по данным метеостанции Оренбург изменяются от –43,2 до –23,1°С. Анализ повторяемости абсолютных минимумов показал, что интервал максимально низких температур преимущественно изменяется от –30 до –38°С и в редких случаях они опускаются ниже –40°С.

Обращает внимание наблюдаемая тенденция увеличения повторяемости абсолютных максимумов в интервале –23-24°С. Прежде всего, данная тенденция характерна для периода 1976-2006 гг., который характеризуется переходом к современному режиму потепления климата. Абсолютные максимумы температуры воздуха изменяются в диапазоне от 34 до 40°С. В последний 30-летний период повторяемость экстремально высоких температур (выше 38°С) возросла с 10 до 20%, а частота повторяемости абсолютных максимумов в диапазоне 36-37°С наоборот снизилась по отношению к базовому периоду.

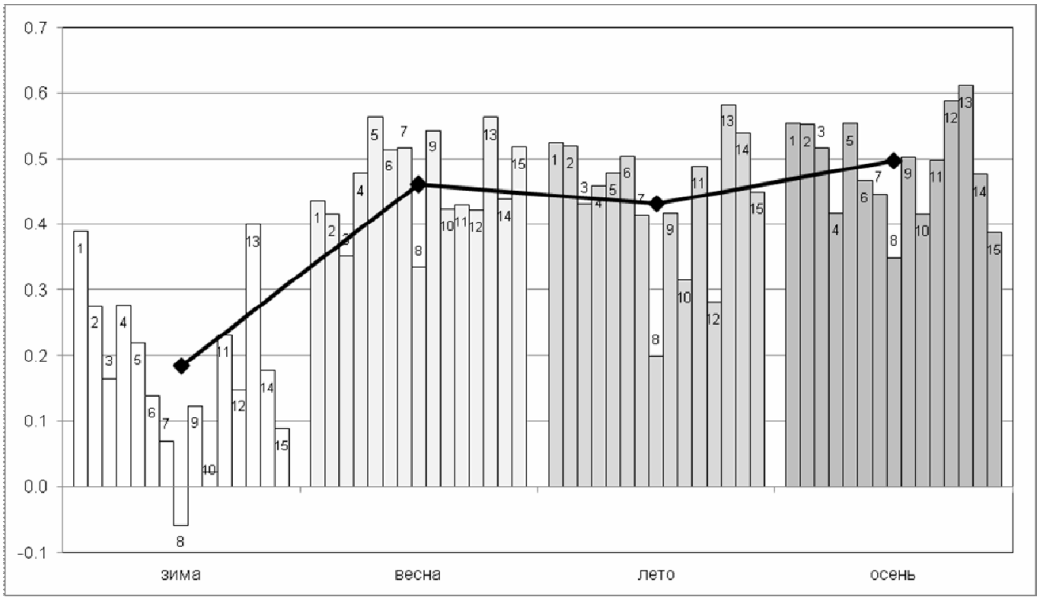


Рис. 2. Сезонное распределение коэффициентов линейного тренда динамики температур за 1977-2015 гг. по метеостанциям (°С/10 лет)

В подписях – номера метеостанций: 1 – Бузулук, 2 – Сорочинск, 3 – Шарлык, 4 – Илек, 5 – Оренбург, 6 – Акбулак, 7 – Беляевка, 8 – Кувандык, 9 – Домбаровка, 10 – Айдырля, 11 – Зилаир, 12 – Троицк, 13 – Стерлитамак, 14 – Уральск, 15 – Актобе.

Еще одним доказательством трансформации региональной климатической системы в трансграничном бассейне р. Урал, непосредственно влияющей на условия формирования речного стока, служит отчетливо выраженный тренд увеличения сумм положительных температур воздуха и продолжительности дней с положительными температурами за зимний период. Данный показатель важен для накопления снежных и водных ресурсов и прохождения весеннего половодья, так и формирования запасов подземных вод, питающих реку в межень [5]. Согласно полученным данным, значительное увеличение

суммы положительных температур отмечается с середины 1990-х гг. – экстремальными по продолжительности оттепели были в 2000, 2002 и 2008 гг.

В целом для территории России отмечается более заметное потепление в зимний и весенний периоды, в остальные сезоны года рост температуры менее выражен [7]. Одним из следствий изменения температурного режима является увеличение водности рек в период зимней межени, преимущественно в пределах Европейской части России, в том числе для бассейна р. Урал [6].

Динамика осадков. Нарастание температур не ведет к однозначному снижению увлажненности территории в связи с тем, что количество выпадающих атмосферных осадков напрямую не связано с ростом температур. Естественно, что количество осадков – более «случайный» климатический параметр, чем ход температуры, тем не менее, в многолетнем разрезе можно проследить основные тенденции в динамике влагообеспеченности рассматриваемого региона.

Годовое количество осадков составляет в верховьях бассейна р.Урал около 500-600 мм, а в низовьях – от 300 до 200 мм и менее. Большая часть осадков выпадает преимущественно в теплое время года, но, как известно, сток рек казахстанского типа формируют осадки холодного периода. Ниже приведены сведения о динамике атмосферных осадков в аспекте сезонов года по 13-ти метеостанциям (рис. 3).

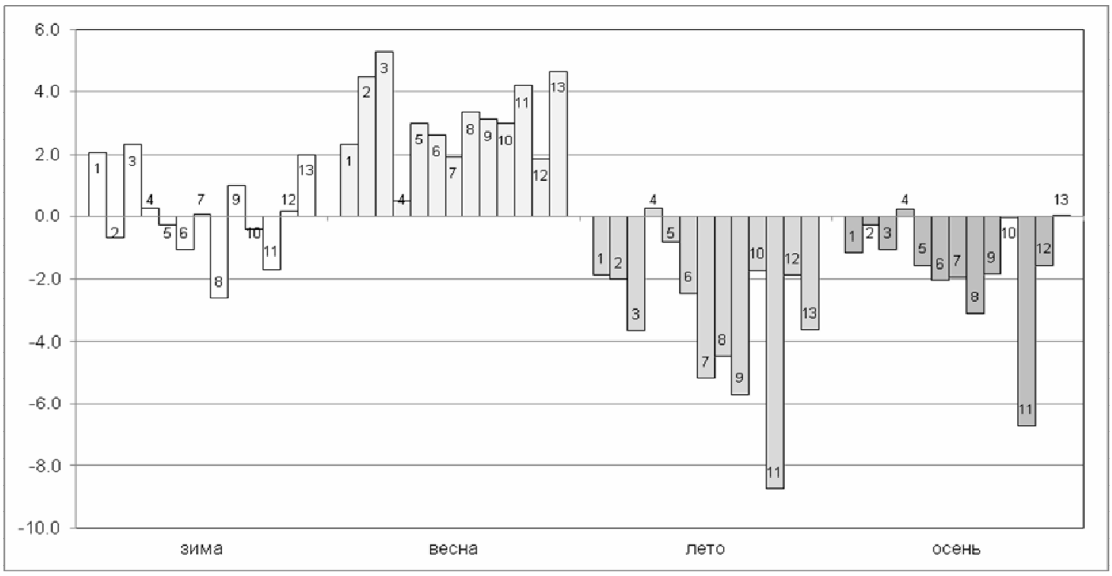


Рис. 3. Сезонное распределение коэффициентов линейного тренда динамики осадков за 1977-2015 гг. (мм/10 лет).
В подписях – номера метеостанций, согласно рис. 2.

Сезонное распределение динамики осадков отчасти имеет сходную с температурой общность – осадки по станциям в теплый период значительно более однотипны, чем зимой. Но, вместе с тем, постоянный рост наблюдается лишь весной, а летом и зимой – практически постоянное снижение осадков. Обобщая полученные данные можно констатировать общее снижение количества атмосферных осадков за год по всему бассейну р. Урал и прилегающим территориям. Увеличение осадков в зимне-весенний период должно было бы привести к увеличению стока в период весеннего половодья, но, как показывают предшествующие исследования, этого не происходит [6].

Осадки теплого периода, хотя и не имеют столь значимую роль (как зимние), в питании степных рек, тем не менее, существенное сокращение их количества не может не отразиться на водности рек. Наиболее заметно это для района южноуральских низкогорий и предгорий (Зилаир, Кувандык, Беляевка), некоторых юго-восточных территорий (Домбаровка), являющихся зоной активного формирования стока р. Урал. Практически абсолютным постоянством отличается динамика осадков по всем сезонам на метеостанции Илек.

Полученные данные по динамике температуры воздуха и количества осадков свидетельствуют о том, что регион испытывает тенденции в изменении климата, присущие для всей европейской части России. Наиболее отчетливо наблюдается повышение среднемесячных показателей температуры, характерное для безморозных сезонов года. В совокупности со снижением количества атмосферных осадков эта тенденция создает риски для традиционного водо- и землепользования. Вместе с тем, линейные тренды не отражают такие важные показатели природных процессов, как цикличность и изменчивость.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-05-0447 «Пространственно-динамическая специфика регионального природопользования в трансграничных бассейновых геосистемах в современных гидроклиматических условиях»

ЛИТЕРАТУРА

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата на территории РФ, 2014. Доступен по ссылке: http: // ww.meteorf.ru

2. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2016 год. – Москва, 2017. – 70 с.

3. Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Особенности реакции рек Русской равнины на изменение температуры воздуха // Известия РАН. Серия Географическая. – 2012. – №6. – С. 55-62.

4. Закономерности гидрологических процессов / Под ред. Н.А. Алексеевского. – М.: ГЕОС, 2012. – 736 с.

5. Магрицкий Д.В., Кенжебаева А.Ж. Закономерности, характеристики и причины изменчивости годового и сезонного стока воды рек в бассейне р. Урал // Отраслевые научные и прикладные исследования: Науки о Земле. – 2017. – С. 39-61.

6. Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилёв А.А., Падалко Ю.А. Проблемы устойчивого водопользования в трансграничном бассейне р. Урал // Водные ресурсы. – 2017. – Т. 44, №4. – С. 504-516.

7. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Современные и перспективные изменения стока рек России под влиянием климатических факторов // Водные ресурсы суши в условиях изменяющегося климата. – СПб: Наука, 2007. – С. 20-32.

ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

С.В. Панков
psv69tmb@mail.ru

Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г.Тамбов, Россия

Ландшафты сельских поселений в течение всего периода своего существования находятся в постоянном взаимодействии с окружающими ландшафтами и испытывают влияние природных условий той местности, где они расположены.

Природные условия воздействуют на население непосредственно (на здоровье и самочувствие человека) и опосредованно – через требования к жилищу, одежде, питанию, планировке поселений, возможности отдыха и т.д. Сами эти природные условия сейчас во все большей степени изменяются человеком, особенно его хозяйственной деятельностью, поэтому следует исследовать уже не столько «чисто природные», сколько частично «очеловеченные» условия жизни [1].

Оценка качества той или иной территории и расположенных на ней сел и деревень сводится к анализу хода основных климатических элементов, существенно влияющих на здоровье и условия жизни населения. С климатическими условиями связаны многие бо-

лезни, в основе которых лежат так называемые метеотропные реакции сердечно-сосудистой системы, органов дыхания и др.

В целом для Тамбовской области характер действия основных климатических показателей (температура, ветер, влажность, солнечная радиация, осадки и др.) имеет относительную равномерность, тем не менее, выявляются различия, обусловленные местоположением селений и особенностями природно-территориальных комплексов, их окружающих.

Нами проводилось сравнительное исследование в четырех сельских поселениях, относящихся к разным ландшафтным типам, и одном контрольном участке по трем климатическим показателям: температура воздуха (t^o), влажность воздуха (h, %) и скорость ветра (v, м/с). Измерения проводились в середине июля в утренние (6 ч), дневные (12 ч) и вечерние (19 ч) часы (табл. 1): (у – утро, д – день, в – вечер).

Результаты исследований показали, что наименьшая суточная амплитуда температуры (5,9^{o}С) отмечена в селах Тулиновке и Заречье, находящихся в лесной местности, наибольшая амплитуда зафиксирована в п. Комсомолец и на контрольном участке – 8,3^{o}С и 8,6^{o}С соответственно. Необходимо отметить, что и с. Тулиновка, и с. Заречье находятся вблизи водных источников, что определяет изменение температурного режима в пределах сотен метров от берега.

Таблица 1. Ход основных климатических показателей

Населенный пункт	Ландшафтный тип	Климатические элементы								
		$t^o_у$	$t^o_д$	$t^o_в$	$h_у$	$h_д$	$h_в$	$v_у$	$v_д$	$v_в$
с. Тулиновка	Лесной придолинно-склоновый	20,6	26,5	24,2	76	65	70	0,1	1,2	0,1
с. Перкино	Полевой придолинно-надпойменно-террасовый	20,2	27,9	23,5	79	67	72	0,4	2,4	0,3
п. Комсомолец	Полевой приводораздельно-плакорный	20,0	28,3	23,7	71	52	65	0,4	2,2	0,2
с. Заречье	Переходный	20,4	26,3	24,0	82	71	77	0,1	1,4	0,2
Контрольный участок	Полевой плакорный	19,9	28,5	23,3	69	47	64	0,5	2,7	0,3

Наибольшие колебания влажности воздуха были отмечены на контрольном участке (22%) и в п. Комсомолец (19%), что вызвано открытым характером местности. Наименьшие колебания – в с. Тулиновка и с. Заречье, по 11%. Максимальные значения приходились на утренние часы: села Заречье и Перкино – 82% и 79%, контрольный участок – 69%.

Ветровой режим исследуемых территорий также имел отличия. В течение суток при южном направлении ветра разница между скоростями достигала 2,4 м/с на контрольном участке и 2,0 м/с в с. Перкино. Последнее объясняется открытостью местности (особенно для северных и южных ветров) и планировочной структурой поселения (линейная), дополняемой прилегающими ландшафтами: западнее села параллельно вытянулись лесопосадки, восточнее вдоль села протекает река Цна. Эти факторы послужили образованию ветрового «коридора» меридионального направления. Минимальные колебания в скорости ветра фиксировались в с Тулиновка (1,1 м/с) и с. Заречье (1,3 м/с), что обусловлено их расположением в лесном массиве.

Обычно влияние ветра на организм человека рассматривают в связи с температурой воздуха. Даже при благоприятной температуре, но больших скоростях ветра может изменяться функция дыхания, особенно в зимний период. Например, усиление ветра на каждые 0,5 м/с субъективно воспринимается как понижение температуры приблизительно на 1^{o}С. Если в летние месяцы такие изменения ощущаются комфортно, то в зимние и межсезонье – негативно.

Хорошо известно влияние зеленых насаждений на санитарно-гигиенические условия поселений: 1 га зеленых насаждений может отфильтровывать из воздуха 50-70 т пыли

в год, снижая содержание пыли на 30-40%. Большие лесопарковые массивы увеличивают интенсивность видимой и ультрафиолетовой радиации на 15-20%, снижают мутность атмосферы на 10-30%, создают и усиливают вертикальные и горизонтальные токи воздуха, что способствует лучшему проветриванию территории.

Тем не менее доля древесно-кустарниковой растительности во многих поселениях остается очень низкой и не превышает 10% от общей площади населенного пункта, при норме озелененности не менее 25%. Эта ситуация особенно остра в поселениях, расположенных на открытых участках (обезлесенные пространства водоразделов, склонов и надпойменных террас), вдоль авто- и железнодорожных магистралей (сс. Покрово-Пригородное, Татаново, Свобода, Селезни и др.), где показатели по шуму, пыли и выхлопным газам достигают городских. Например, интенсивность движения транспортных средств в час через села Донское и Покрово-Пригородное (303 и 287 соответственно) сопоставима со среднегородским – 281.

В некоторых поселениях (Комсомолец, Бондари, Большая Талинка, Дегтянка, Марьевка, Иноземная и Солдатская Духовка и др.) площадь зеленых насаждений общественного значения (парки, скверы, аллеи, посадки вдоль дорог и улиц) составляет не более 1%. Часто такое положение усугубляется бедностью видового состава (береза, клен, осина, много сорных растений) и нерациональностью размещения насаждений, что даже при большой площади посадок является малоэффективным. Игнорирование требований ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства, особенностей и внутренней структуры поселения, близости промышленных, сельскохозяйственных ландшафтов и инженерных сооружений приводит к ухудшению санитарно-экологического состояния населенных мест и нарастанию действия эрозионных процессов (карст, оползни, овражообразование). Наряду с растительностью, животный мир, представленный домашними породами скота и птицы, также оказывает влияние на селитебные ландшафты поселений. Образуется особый биоценоз, практически полностью заменивший естественные сообщества живых организмов, которые за пределами селитебных земель встречаются, но их видовое разнообразие ограничено, в основном, грызунами и птицами.

Часто негативное воздействие животных на ландшафты сел и деревень связано с нарушениями в их содержании и выпасе. Неправильные условия выращивания, несоблюдение элементарных санитарно-гигиенических норм могут привести к опасным последствиям (загрязнение верхних горизонтов грунтовых вод, возникновение очагов инфекционных заболеваний), не говоря уже об эстетике самих поселений. Особенно острой становится ситуация, когда на территории поселения расположены животно- и птицеводческие комплексы (Перкино, Троицкая Вихляйка, Крюково, Челнаво-Покровское, Комсомолец и другие), скотомогильники и скотопрогоны (Стрельцы, Подоскляй, Стежки и др.) или жилые строения находятся в пределах санитарно-защитных разрывов. Необходимо заметить, что, даже при соблюдении санитарных разрывов, воздействие производственных зон не прекращается вследствие расположения их на доминирующих относительно населенных пунктов высотах, когда поверхностный сток и преобладающие ветры направлены от ферм в сторону поселений, в частности, это придолинные села рек Цна, Челновая, Лесной и Польной Воронеж, Ворона. Летние стойла и выпас скота на приречных участках вблизи сельских поселений, расположенных в пойменном и надпойменно-террасовом типах местности (Семикино, Троицкая Дубрава, Куксово, Черняное, Горелое и др.) ведут к загрязнению акватории рек, деградации береговой линии, выбиванию верхнего слоя почв, угнетению травяного покрова, что приводит к развитию эрозионных процессов и ограничению возможностей для рекреационной деятельности населения.

Разнообразием типов почв и грунтов, условиями залегания грунтовых вод, их экологическим потенциалом и санитарным состоянием определяется, в значительной мере, качество жизни сельского населения. Почвы, занятые под поселения, разных ландшафтных типов и испытывающие различную степень антропогенной нагрузки, отличаются по химическому составу (фоновый показатель) и количеству привнесенных загрязняющих веществ[2].

Химическое загрязнение почв и грунтов, оцениваемое по суммарному показателю химического загрязнения (Z_c), является индикатором неблагоприятного воздействия на здоровье населения. Суммарный показатель химического загрязнения (Z_c) характеризует степень химического загрязнения почв и грунтов обследуемых территорий вредными веществами различных классов опасности и определяется как сумма коэффициентов концентрации отдельных компонентов загрязнения по формуле:

$$Z_C=K_{C1}+\ldots+K_{Ci}+\ldots+K_{Cn}-(n-1),$$

где n – число определяемых компонентов, K_{Ci} – коэффициент концентрации i-го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением.

Замеры проводились в почвенном горизонте (черноземы и серые лесные) поселений, расположенных вдоль автотрасс и вне их, с дальнейшим вычислением среднего показателя по каждому типу (табл. 2).

Таблица 2. - Содержание валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах (мг/кг)

Тип почв поселения / Содержание элемента	Черноземы, фон[1]	Черноземы придорожные[2]	К	Черноземы вне дорог[2]	К	Серые лесные, фон[1]	Серые лесные придорожные[2]	К	Серые лесные вне дорог[2]	К
Zn	68	72	1,05	63	0,92	60	64	1,06	55	0,85
Cd	0,24	1,7	7	0,18	0,75	0,2	1,2	6	0,22	1,1
Pb	20	63	3,15	16	0,8	16	45	2,81	15	0,93
Hg	0,2	0,23	1,15	0,21	1,05	0,15	0,17	1,13	0,11	0,73
Cu	25	24	0,96	23	0,92	18	18	1	16	0,88
Co	25	27	1,08	20	0,8	12	11	0,91	9	0,75
Ni	45	49	1,08	39	0,86	35	38	1,08	32	0,91
As	5,6	6,8	1,21	5,9	1,05	2,6	2,7	1,03	2,4	0,92

1. Ориентировочные значения для средней полосы России

2. Данные Государственного санитарно-эпидемиологического надзора по Тамбовской области.

Таким образом, Z_C черноземов придорожных поселений составил 9,86; Z_C черноземов поселений вне дорог – 0,15; Z_C серых лесных почв придорожных поселений – 8,02; Z_C серых лесных почв поселений вне дорог – 0,07. Экологическое состояние почв селитебных территорий следует считать относительно удовлетворительным при значении Z_C не более 16. Приведенные данные свидетельствуют о превышении над фоновыми показателями измерений в придорожных поселениях, как в целом, так и по отдельным элементам, особенно по кадмию и свинцу. Общее для всех поселений несколько повышенное содержание мышьяка связано, по-видимому, с особенностями сельскохозяйственного производства.

Вся совокупность рассмотренных нами процессов и явлений может быть выражена в комплексной оценке комфортности ландшафтов сельских поселений. При этом под комфортностью мы понимаем объективные условия территории и субъективные ощущения людей в отношении их жизнедеятельности, связанной с благоприятностью природной среды, экологической обстановки, благоустроенностью и удобством проживания.

Принцип этого метода заключен в том, что выбираются интересующие факторы и проводится их количественная или качественная градация (в нашем случае трехуровневая) с присвоением определенной интенсивности цвета, которая соответствует степени

благоприятности конкретного фактора, где наименьшая насыщенность – «благоприятно», средняя – «относительно благоприятно» и самая насыщенная – «неблагоприятно». Затем для каждого поселения составляется спектрограмма, в ячейки которой вносится свой оттенок цвета. Таким образом, получается «сигнальная» шкала, где каждый оттенок указывает на состояние того или иного фактора и дает общее представление обо всем сельском селитебном комплексе (степень насыщенности спектрограммы в целом).

Оценка ключевых поселений проводилась по двум составляющим: природно-экологическая и социально-экономическая, совокупность которых определяет уровень комфортности конкретного поселения: «комфортный», «относительно комфортный» и «некомфортный». Суммарный показатель комфортности наиболее благоприятный у сел Саюкино, Столовое, Тулиновка, Подоскляй. По природно-экологической составляющей к категории «комфортный» относятся поселения: Заречье, Перикса, Подоскляй, Саюкино, Столовое, Тулиновка, Заречье; к «относительно комфортным» – Перкино, Троицкая Вихляйка; к «некомфортным» – Комсомолец, Марьевка, Покрово-Пригородное. По социально-экономической составляющей «комфортными» считаются Комсомолец, Перкино, Подоскляй, Покрово-Пригородное, Саюкино, Столовое, Тулиновка; «относительно комфортными» – Заречье, Марьевка; «некомфортные» – Заречье, Перикса, Пихтеляй, Троицкая Вихляйка.

Среди отдельных показателей, снижающих степень комфортности, чаще других встречаются: почвенные условия – в 46% поселений, дальность лесного массива – в 31%, удаленность водноповерхностного источника – в 23%, линейная конфигурация – в 54% поселений, низкая обеспеченность коммунальными услугами – в 38%, высокая плотность застройки – в 35%, наличие дорог без покрытия – в 23%, отсутствие инфраструктуры – в 34%, удаленность от крупных поселений – у 77% населенных пунктов [2].

Необходимо отметить, что в большинстве случаев результаты анализа по спектрограммам совпадали с мнением местных жителей (путем выборочного опроса) и субъективными ощущениями исследователя. Заметим, что относительность применяемого метода может иметь расхождения с методами, использующими математический аппарат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.И. Многоликая деревня: (население и территория). – М.: Мысль, 1990. – 268 с.

2. Панков С.В. Природно-экологические аспекты функционирования и оценка комфортности ландшафтов сельских поселений // Экологические проблемы природных и антропогенных территорий: сб. науч. ст. I междунар. науч.-практ. конф. / под ред. А.В. Димитриева, Е.А. Синичкина. – Чебоксары: типография «Новое время», 2011. – С. 119-121.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ СОВРЕМЕННОГО КЛИМАТА

Ю.П. Переведенцев, К.М. Шанталинский, А.А. Васильев, В.В. Гурьянов, А.А.Николаев
Ypereved@kpfu.ru

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г.Казань, Россия
Гидрометеорологический научно – исследовательский центр РФ, г.Москва, Россия

Современное состояние исследований в области климата отражено в последних оценочных докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и Росгидромета опубликованных в 2013 – 2014 гг. В настоящее время ведется подготовка нового шестого оценочного доклада МГЭИК, авторы которого придерживаются мнения, что основной причиной современного глобального потепления является антропогенное воздействие на климатическую систему. Учитывая тот факт, что потепление

может привести к негативным последствиям для природных и социально – экономических систем, в мировом сообществе возникла идея ограничения антропогенного воздействия на климатическую систему Земли. С этой целью в декабре 2015 г. были подписаны Парижские соглашения, направленные на ограничение выбросов парниковых газов в атмосферу, чтобы избежать повышения средней глобальной температуры воздуха на 2°С по сравнению с доиндустриальными уровнями (в настоящее время произошло повышение поверхностной температуры почти на 1°С, а концентрация углекислого газа превысила 400 млн$^{-1}$). Кроме роста температуры воздуха все чаще стали возникать экстремальные природные явления, наносящие значительный ущерб экономике, здоровью населения. Обсуждение этих проблем было продолжено на Климатическом форуме в декабре 2018 г. в Катовицах (Польша). Здесь шла речь о возможности ограничить глобальное потепление уровнем 1,5°С. В [2] содержится анализ 300 страничного Специального доклада МГЭИК «Глобальное потепление на 1,5°С», принятого 48-й сессией МГЭИК в октябре 2018 г. в Инчхоне (Корея), согласно которому реакция физических и биологических систем будет более умеренная при потеплении на 1,5°С по сравнению с потеплением на 2°С. Однако для решения проблемы смягчения изменения климата потребуется срочное (до 2030 г.) сокращение почти вполовину глобальной нетто – эмиссии CO_2и доведение ее к середине XXI века до нуля, что потребует ежегодных инвестиций сравнимых с 1% мирового ВВП.

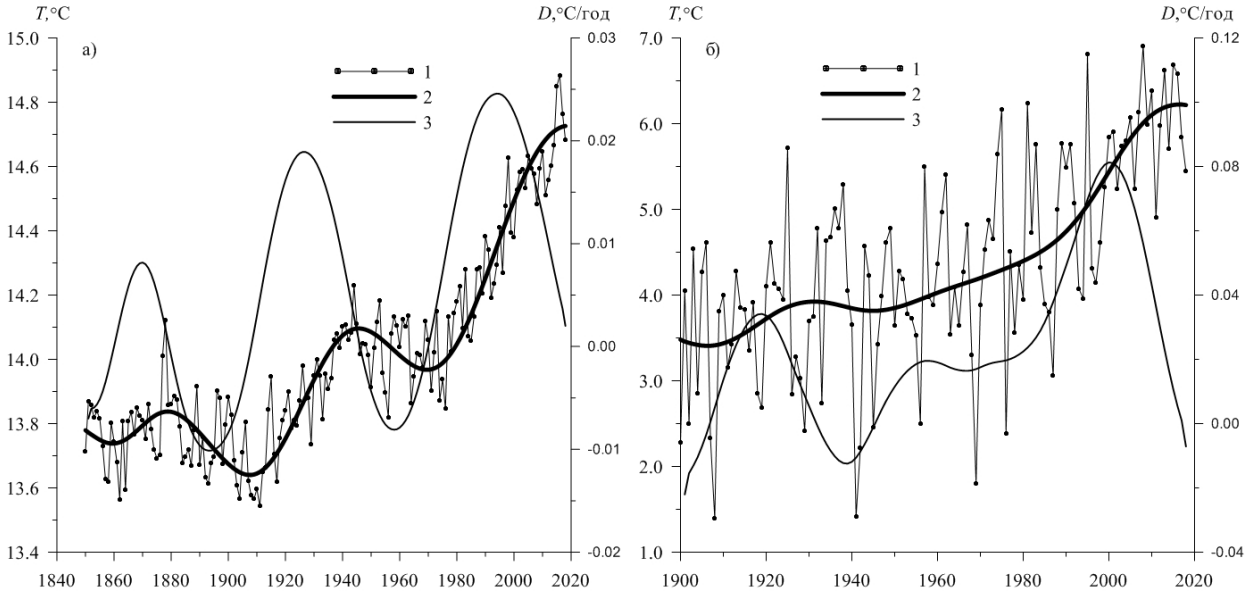


Рис. 1. Изменения температуры воздуха Северного полушария (а) и Казани (б)
1 – исходный ряд, 2 – низкочастотная компонента с периодом более 20 лет, 3 – скорость изменения температуры по низкочастотной компоненте.

Рабочие группы экспертов МГЭИК регулярно собираются на совещания, цель которых состоит как в подготовке оценочных докладов, в которых излагаются факты об изменениях климата, их последствиях, способах адаптации и смягчения негативных воздействий изменений на природу и социум, так и специальных докладов – резюме для политиков. В частности, в марте 2019 г. в Казанском федеральном университете состоялось 4–ое совещание ведущих авторов специального доклада МГЭИК об океане и криосфере в условиях изменяющегося климата.

В настоящем докладе рассматриваются изменения климата в Северном полушарии, на территории Приволжского федерального округа (ПФО) и в Республике Татарстан (РТ) в XIX – XXI веках. Согласно многолетним данным метеорологических наблюдений на станции Казань, университет в период с 1828 по 2018 г. средняя годовая температура воздуха (СГТВ) в Казани повысилась примерно на 4 °С, в отдельных временные периоды и сезоны изменения температуры происходили неравномерно. При этом вклад глобальных процессов в изменчивость температуры зимой составил 37%, а летом – 23%.

Построенный по данным приземной температуры воздуха (ТВ) по всему земному шару (1850 – 2018 гг.) университета Восточной Англии [6] многолетний ход СГТВ имеет хорошо выраженную тенденцию к росту в Северном полушарии (СП) (рис.1). При этом низкочастотная компонента (НЧК) с периодом более 30 лет отражает глобальные долгопериодные колебания. Отмечаются небольшие понижения ТВ в начале и середине XX века, что обусловлено естественными факторами, однако, начиная с конца 1970 – х годов, согласно кривой НЧК, происходит быстрый рост положительной аномалии СГТВ на 0,7°С. Кроме того, четко проявляется квази 60 – летнее колебание скорости роста температуры с нарастающей амплитудой. Ход температуры несколько замедлился в самом конце периода, что видно из квазициклической кривой. Согласно [1], все 18 лет XXI столетия входят в число 20 самых жарких лет в истории регулярных метеонаблюдений на планете (из XX века к ним добавляются 1997 и 1998 гг.). Однако в регионах наблюдается большое разнообразие в изменениях температурного режима.

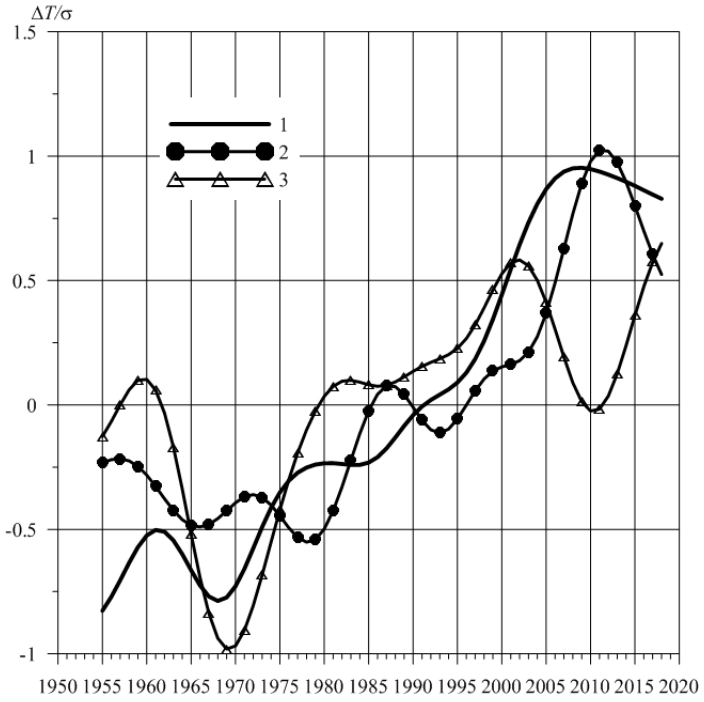


Рис. 2. Динамика низкочастотной компоненты с периодом более 10 лет нормированных аномалий температуры воздуха ПФО 1955 – 2018 гг.
1 – средняя годовая, 2 – средняя летняя, 3 – средняя зимняя аномалии температуры

На рис. 2 представлена динамика низкочастотной компоненты нормированных аномалий ТВ ПФО за 1976 – 2018 гг. в целом за год и по сезонам. В период 1976 – 2002 гг. наблюдалось синхронное повышение ТВ и зимой и летом, однако в период 2002 – 2010 гг. зимой произошло понижение температуры осредненной по территории округа примерно на 0,3°С, после чего она вновь стала расти. Летние температуры с 2013 г. стали несколько снижаться. Однако СГТВ с конца 1960-х годов испытывает тенденцию к росту и это приращение составило ~ 1,7°С, т.е. скорость достигла 0,5°С/10 лет, что заметно превышает глобальную.

С использованием данных реанализа ERA – Interim [5] был получен ход СГТВ осредненной по территории ПФО за период 1955 – 2018 гг. и два подпериода 1955 – 1999 гг., 1999 – 2018 гг. (табл. 1).

Как видно из таблицы 1, в начале XXI в. произошел значительный скачок СГТВ (на 1,2°С, при этом вдвое уменьшилась величина межгодовой изменчивости температуры (СКО), а минимальное значение СГТВ резко повысилось с 0,55 до 3,58°С, что свидетельствует о потеплении климата.

Таблица 1. Распределение средней годовой температуры в ПФО

Период, годы	Среднее значение, °С	СКО, °С	Максимум, °С	Минимум, °С
1955 – 2018	3,49	1,04	5,49 1955 г.	0,55 1969 г.
1955 – 1999	3,14	1,00	5,49 1955 г.	0,55 1969
1999 – 2018	4,34	0,47	5,33 2008 г.	3,58 2011 г.

Примечание: СКО – среднее квадратическое отклонение.

Расчет нормированных аномалий приземной температуры воздуха (средняя величина взята за период с 1955 по 2018 гг., величина нормированной аномалии определялась по формуле $\frac{\Delta t}{\sigma}$, где Δt – отклонение температуры от средней по территории ПФО, σ – среднее квадратическое отклонение) показал, что, начиная с 2000 г. и до конца периода отмечается резкое преобладание положительных аномалий (рис. 3) особенно интенсивных в январе – марте 2000, 2008, 2016 гг., летом 2010 г.

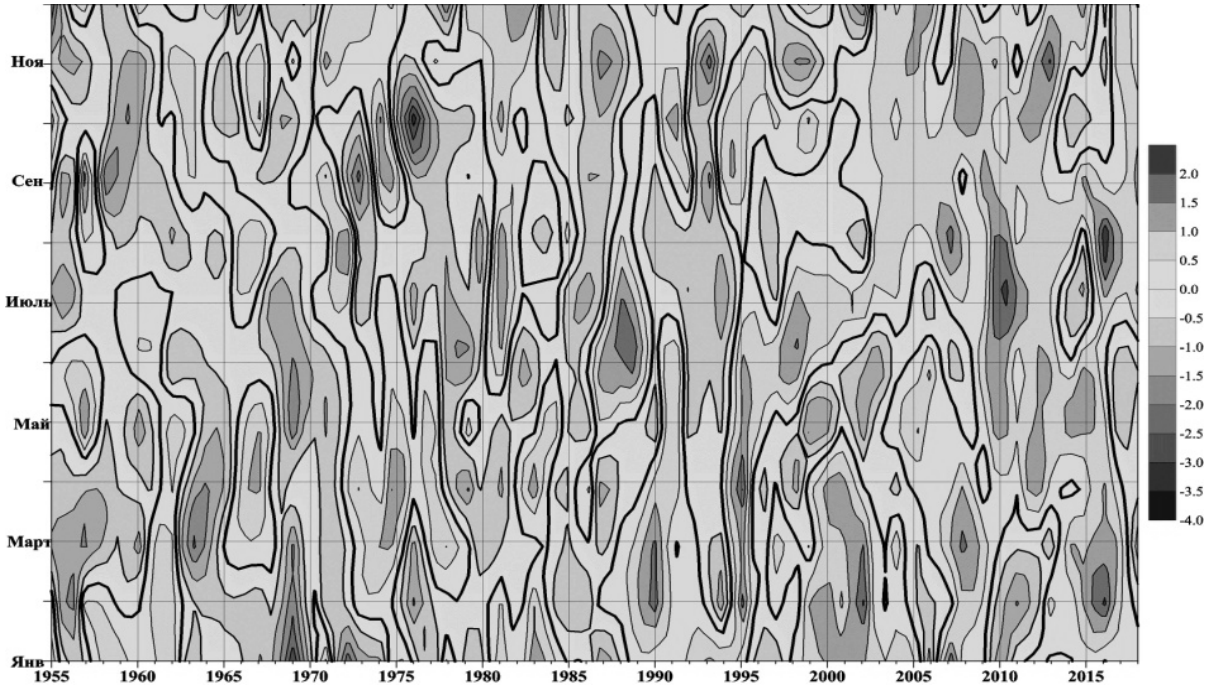


Рис. 3. Нормированные аномалии приземной воздуха, осредненные по территории ПФО в период с 1955 по 2018 гг.

С использованием данных реанализа за 1980 – 2018 гг. для ПФО рассчитывалось распределение экстремальных показателей температурно – влажностного режима. Анализ расчетов выявил существенную пространственно – временную неоднородность в их распределении, зависимость от физико – географических особенностей территории. Так, количество морозных дней, когда минимальная суточная температура ниже -20°С, возрастает с юго – запада (Саратовская область) от 15 на северо – восток округа до 50 (Пермский край). В то же время количество летних дней с максимальной температурой > 25°С достигает на юге округа 110, а на севере – востоке лишь 10. Также отмечена тенденция роста интенсивных осадков (более 22 мм/сутки) в Предуралье из–за влияния Уральских гор на поступающие воздушные массы с запада.

Оценка экстремальности зим в Татарстане за январь и февраль в период 1954 – 2016 гг. производилась по данным 13 метеостанций по методике [3]. Результаты расчетов

интегрального показателя экстремальности α (если α < -0, 9 зима экстремально холодная, если α > 1, 0 – экстремально теплая) представлены в табл. 2, из которой следует, что экстремально холодные зимы (число 5) произошли в период 1954 – 2005 гг., в период потепления климата в РТ [4] в 1989 – 2005 гг. зафиксировано 5 экстремально теплых зим. Лишь в период 2006 – 2011 гг. в регион ненадолго вернулись относительно суровые зимы (число 3), связанные с возникновением блокирующих антициклонов.

Прогноз температуры воздуха и атмосферных осадков по территории ПФО, с использованием результатов модели IPSL-CM5A-LR из проекта CMIP 5 при различных сценариях антропогенных выбросов, свидетельствуют о продолжающемся потеплении климата на территории региона. Особенно ярко это проявляется в теплый период, когда отмечается рост температуры воздуха на всей территории.

Таблица 2. Каталог аномальности зим по Мещерской на территории Республики Татарстан (в период 1954 – 2016 гг.)

Год	*a*	Год	*a*	Год	*a*
1954	-2,22	1975	0,43	1996	-0,70
1955	0,64	1976	-0,87	1997	-0,17
1956	-1,52	1977	-0,81	1998	-0,23
1957	0,49	1978	0,35	1999	1,00
1958	0,68	1979	-0,42	2000	1,22
1959	0,27	1980	-0,27	2001	0,96
1960	0,10	1981	0,84	2002	1,63
1961	0,64	1982	-0,31	2003	0,05
1962	0,69	1983	1,17	2004	0,55
1963	-0,75	1984	-0,04	2005	0,19
1964	-0,18	1985	-0,23	2006	-0,95
1965	-0,55	1986	-0,49	2007	0,72
1966	-0,30	1987	-0,53	2008	0,54
1967	-0,99	1988	-0,09	2009	0,39
1968	-0,67	1989	0,72	2010	-1,03
1969	-2,23	1990	1,02	2011	-0,95
1970	-0,13	1991	0,30	2012	-0,42
1971	0,22	1992	0,42	2013	0,43
1972	-1,27	1993	0,42	2014	-0,04
1973	-0,05	1994	-0,26	2015	0,75
1974	-0,20	1995	1,04	2016	0,98

В заключение отметим, что на фоне продолжающегося потепления в Среднем Поволжье отмечается значительный рост СГТВ, что привело к заметному сокращению случаев с отрицательной аномалией температуры и росту с положительной. Одновременно происходит рост числа опасных явлений в районах Приволжского федерального округа, что отмечается сетью метеорологических станций. Все это обусловливает необходимость изучения происходящих климатических изменений с целью снижения ущерба от негативных последствий и получения выгоды от положительных изменений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 18 – 05 – 00721, 18 – 45 – 160006)

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирман Б.А., Бережная Т.В., Голубев А.Д. Основные погодно – климатические особенности Северного полушария Земли. 2018 г. Аналитический обзор. М., 2019, Гидрометцентр РФ, 68 с.

2. Гладильщикова А.А., Дмитриева Т.М., Семенов С.М. Специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата « Глобальное потепление на 1,5 °С» // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2018, №4. – С. 5-18.

3. Мещерская А.В., Голод М.П. Каталоги аномальности зим на территории России // Труды ГГО. – 2015, вып. 579. – С. 129 – 161.

4. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Шерстюков Б.Г. и др. Климатические изменения в Республике Татарстан в XX – XXI веках // Российский журнал прикладной экологии. – 2018. №4. – С. 5 – 9.

5. Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J. et al. The ERA – Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // Q.J.R. Meteooal. Soc. – 2011, № 137, pp. 552 – 597.

6. Jones P.D. et al. Surface air temperature and its variations over the last 150 years // Rev. Geophys. – 1999. – Vol. 37. – Pp. 173 – 199.

ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ РИСКИ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ: РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Е.Г. Петрова
epgeo@mail.ru

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия

Наблюдаемые на территории России и прогнозируемые к середине и, особенно, к концу текущего столетия климатические изменения повышают важность и актуальность исследования возможных последствий этих изменений и разработки стратегий адаптации к ним. Среди ожидаемых последствий изменения климата прогнозируется значительная интенсификация физических параметров и частоты проявления, а также изменение территориального распространения различных неблагоприятных и опасных природных процессов и явлений, прежде всего – метеорологического и гидрологического характера, а также связанных с ними природных процессов другого генезиса [1]. В свою очередь, изменения в развитии и проявлении природных опасностей могут существенным образом повлиять на повторяемость, тяжесть последствий и пространственное распределение создаваемых ими чрезвычайных ситуаций (ЧС) не только природного, но и природно-техногенного характера. Под природно-техногенными мы понимаем любые аварии и ЧС на объектах техносферы, возникновение которых было спровоцировано теми или иными природными событиями.

В нашей стране более 90% всех природно-техногенных аварий и ЧС (ПТЧС) происходит под воздействием опасных природных процессов и явлений гидрометеорологического характера. Это показал анализ информации, собранной автором в постоянно пополняемой электронной базе данных по чрезвычайным ситуациям и авариям в техносфере, в том числе - вызванным природными факторами [4]. В настоящее время база данных насчитывает около 20 тыс. единиц информации за 1992-2018 годы. Различные типы аварий и ЧС на объектах техносферы, которые были спровоцированы за исследованный период на территории России под воздействием опасных природных процессов и явлений гидрометеорологического характера или связанных с ними природных процессов другого генезиса представлены в таблице 1. В 52% случаев аварии были вызваны сильными ветрами, в 37% – дождями, паводками, подтоплениями и наводнениями, в 30% – снегопадами, снежными заносами и метелями, в 10% – морозами и гололедными явлениями и в 3% – грозами (сумма превышает 100%, поскольку в ряде случаев участвовало несколько перечисленных факторов). Самую большую часть среди ПТЧС составляют аварии в системах электро- и теплоснабжения, возникающие в результате сильных ветров, снегопадов, дождей и подтопле-

ний, сильных морозов, града, гроз, гололедно-изморозевых явлений, снежных лавин, селей или оползней (около 60% всех природно-техногенных ЧС). За рассматриваемый период они происходили на территории практически всех субъектов РФ. Особенно уязвимы к неблагоприятным природным воздействиям воздушные ЛЭП, на долю которых приходится подавляющая часть общей протяженности российских электросетей. Лидерами по повторяемости ПТЧС в системах электроснабжения являются Сахалинская область и Краснодарский край (3 ЧС в среднем за год). Более 1 ЧС в год было зафиксировано в Ставропольском и Приморском краях, Ленинградской, Новгородской, Ростовской, Тверской и Владимирской областях, Республике Татарстан. Велика доля ПТЧС на различных видах транспорта (более 20%), обусловленных снегопадами и метелями, гололедом, дождями, туманами и другими неблагоприятными и опасными природными процессами и явлениями [3, 5]. Более 8% приходится на долю ЧС, связанных с внезапными обрушениями зданий и сооружений под воздействием сильных ветров, снегопадов, дождей, сильных морозов, просадок грунта или подтоплений. За исследуемый период они отмечались в 59 субъектах РФ.

Таблица 1. Природно-техногенные ЧС, обусловленные опасными гидрометеорологическими и связанными с ними процессами

Сильные ветры, бури, ураганы, циклоны	Снегопады, метели, снежные заносы	Дожди, ливни, град	Морозы, гололедные явления	Грозы, молнии	Туманы	Наводнения, паводки, подтопления	Жара, засуха	Сели	Оползни	Просадки грунта	Снежные лавины
Аварии в системах электроснабжения											
+	+	+	+	+		+		+	+		+
Аварии в системах теплоснабжения											
+	+		+						+		
Аварии в системах водоснабжения											
+		+	+							+	
Автомобильные аварии											
+	+	+	+		+			+		+	+
Железнодорожные аварии											
+						+	+	+	+	+	+
Авиакатастрофы											
+	+	+	+	+	+						
Водные аварии											
+	+		+	+	+						
Пожары, взрывы											
				+			+				
Сельскохозяйственные аварии											
+	+	+	+				+				
Порывы трубопроводов											
+								+	+	+	
Внезапные обрушения зданий и сооружений											
+	+	+	+			+		+		+	

По результатам статистического анализа информации базы данных были рассчитаны показатели суммарного природно-техногенного риска на уровне субъектов РФ. Риск был оценен по среднегодовой повторяемости за исследованный период (1992-2018 гг.) природно-техногенных событий всех выделенных типов. Составлена соответствующая картограмма (рис. 1). Наиболее высоким уровнем риска возникновения ПТЧС выделяются Сахалинская область и Краснодарский край (более 5 ЧС в среднем за год). Высок риск ПТЧС в Приморском, Красноярском, Хабаровском и Ставропольском краях, Республике

Дагестан, Ленинградской и Ростовской областях (2-3 ЧС), а также в Камчатском и Алтайском краях, Москве, Нижегородской, Челябинской и Амурской областях, Республиках Дагестан, Северная Осетия-Алания и Татарстан (1,5-2 ЧС).

Отмечаемые за последние десятилетия на территории России климатические изменения характеризуются ростом температуры воздуха в холодный период года, увеличением испаряемости на фоне уменьшения количества осадков в теплый сезон, возрастанием числа засух (прежде всего, в южных районах), а также более частой повторяемостью опасных гидрометеорологических явлений в целом. Наблюдается сокращение ледового покрова северных морей, особенно заметное в теплое время года. Отмечается таяние многолетнемерзлых грунтов. В целом при потеплении увеличивается доля осадков, выпадающих в жидком виде, что может привести к изменению гидрологического режима рек – уменьшению объема половодья и увеличению зимнего стока. Ожидается дальнейший рост интенсивности осадков, которые чаще, чем на современном этапе будут иметь ливневой характер [2].

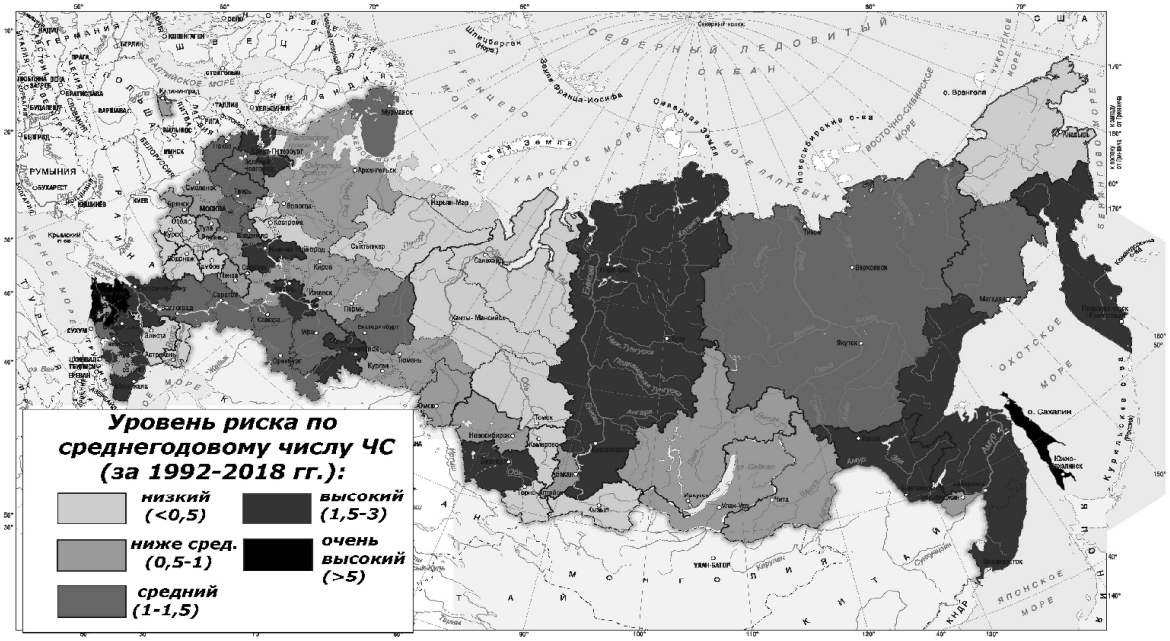


Рис. 1. Суммарный риск возникновения природно-техногенных ЧС

Перечисленные климатические изменения могут привести к увеличению повторяемости различных природных опасностей метеорологического и гидрологического происхождения, а также связанных с ними других опасностей (например, оползней, селей, снежных лавин и других склоновых процессов), возрастанию их интенсивности и разрушительной силы. В свою очередь, это повлечет за собой рост повторяемости и повышение тяжести последствий создаваемых ими ЧС в техносфере. Так, положительная динамика осадков в холодное время года (особенно, жидких при наличии снежного покрова), чередование оттепелей и похолоданий повышает риск обрыва проводов ЛЭП и нарушение других коммуникаций, внезапных обрушений крыш и перекрытий, а также риск транспортных аварий (автомобильных, железнодорожных, авиационных). Таяние вечной мерзлоты создает опасность разрушения дорог, нефте- и газопроводов, других линейных сооружений и объектов, а также внезапного обрушения зданий, построенных в расчете на постоянно мерзлый грунт. По мере таяния вечной мерзлоты особой опасности будут подвергаться те районы на севере России, где находятся хранилища различных опасных отходов, в том числе радиоактивных, поскольку возможны утечки из этих хранилищ. Ситуация обостряется повышающейся степенью износа основных производственных фондов и коммуникаций, достигающей в некоторых случаях предаварийного уровня, недостаточными инвестициями на их обновление, нерациональным размещением

некоторых потенциально опасных объектов, низким качеством их проектирования, строительства и эксплуатации, а также усилением действия человеческого фактора.

Произойдут изменения и в географии природно-техногенных опасностей. Следует ожидать дальнейшего расширения зоны риска в связи с прогнозируемым отодвиганием на север границы умеренного пояса и более интенсивным хозяйственным освоением северных районов; ожидаемым продвижением за пределы современной области действия к северу тропических циклонов, торнадо, смерчей, интенсивных градовых процессов [1]; а также возрастанием сильных и очень сильных засух в районах, относящихся в современных условиях к классам средней засушливости и недостаточного увлажнения [2].

Проблема потенциального воздействия прогнозируемых климатических изменений на пространственное и временное развитие природно-техногенных опасностей чрезвычайно сложна и требует своего дальнейшего исследования. В связи с ее особой важностью и актуальностью необходимо осуществлять постоянный мониторинг развития этих процессов не только на глобальном, но также и, прежде всего, на региональном и локальном уровнях.

ЛИТЕРАТУРА

1. География, общество, окружающая среда. / Коллективная монография. Т.4. Природно-антропогенные процессы и экологический риск. – М.: Изд. дом «Городец», 2004. – 616 с.

2. Кислов А.В., Евстигнеев В.М., Малхазова С.М. и др. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века. – М.: МАКС-Пресс, 2008. – 292 с.

3. Петрова Е.Г. Опасные природные воздействия на транспорт: опыт анализа базы данных. // Экологические системы и приборы. – 2019. – № 1. – С. 8-11.

4. Петрова Е.Г. Природно-техногенные ЧС в России: опыт составления и анализа базы данных. // Снежные лавины, сели и оценка риска. / Под ред. А.Л. Шныпаркова. – М: Университетская книга, 2009. – Вып. 2. – С. 152-162.

5. Petrova E.G., Shiryaeva A.V. Road accidents in Moscow: weather impact. // Advances in Environmental Science. – 2019. – 11 (1). – P. 19-30.

МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВРЕМЕННОГО СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ В ТЕПЛЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Е.В. Пищальникова, А.Д. Крючков
meteo@psu.ru

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г.Пермь, Россия

Глобальное потепление отразилось на ряде климатических показателей, в том числе и на условиях формирования и залегания снежного покрова [1, 3]. В ряде исследований проводилась оценка тенденции изменения южной границы распространения [2], продолжительности залегания и высоты снежного покрова [7]. В последние годы большое число работ посвящено влиянию изменчивости параметров снежного покрова на промерзание грунта и анализу связей с атмосферной циркуляцией [4, 5].

Для территории Уральского региона, не защищенного от вторжений арктического воздуха, характерно такое явление, как резкие похолодания и снегопады в течение вегетационного периода, в конце мая – начале июня. Они могут сопровождаться установлением временного снежного покрова в период, когда норма среднесуточной температуры

воздуха превышает +10°. При вторжениях холодов в конце мая среднесуточная температура может понижаться до –1.. –3°, поэтому они значительно опаснее обычных адвективно-радиационных заморозков. Интенсивные арктические вторжения сопровождаются комплексом неблагоприятных явлений (КНЯ), которые могут иметь характер стихийного бедствия: сильными осадками в виде снега (до 20–50 мм/сутки), установлением временного снежного покрова высотой до 30 см, налипанием мокрого снега, штормовым ветром. В результате полевые работы прекращаются на длительное время, нарушается связь между населенными пунктами, наблюдаются массовые обрывы ЛЭП[6].

В настоящем исследовании приводятся результаты анализа метеорологических условий залегания временного снежного покрова (ВСП) на территории Пермского края в период послезимья за 2013–2017 гг. Предзимье – это период временного весеннего снежного покрова, который образуется после разрушения устойчивого снежного покрова (УСП) за счет снегопадов, формирующихся при возвратах весенних холодов.

Появление снежного покрова в период послезимья в Пермском крае, как правило, связано с выходом южных или ныряющих циклонов, характерной особенностью которых является резкое углубление при сегментации за Уральским хребтом. Циклон становится высоким барическим образованием и стационирует за Уральским хребтом или над севером Западной Сибири, при этом в его тыловой части происходит интенсивный заток холода с арктических морей и дополнительное выхолаживание за счет восходящих движений. Максимальная интенсивность осадков в таких случаях наблюдается в предгорных и горных районах.

Разрушение УСП в Пермском крае происходит в среднем 20 апреля. Отклонения в сроках разрушения снежного покрова не превышают 20 дней, а подавляющее большинство (87%) – 10 дней. Самая поздняя дата образования снежного покрова в послезимье зафиксирована в 28 мая 2017 г. на метеорологической станции Чердынь, что на 38 дней позже полного схода снежного покрова.

Залегание временного снежного покрова на территории Пермского края в среднем составляет 1–4 случаев. За случай приняты сутки, когда на одной или нескольких метеорологических станциях одновременно отмечается установление снежного покрова. Территориальное распределение повторяемости залегания ВСП имеет выраженную закономерность: увеличение частоты случаев с юго-запада на северо-восток (рис. 1, а). Образование ВСП фиксируется на 2–4 метеорологических станциях (МС) одновременно. Максимальная площадь залегания снежного покрова (28,6% площади территории края) отмечена 18.10.2016 г., когда территория Пермского края оказалась под влиянием холодного фронта, связанного с северным углубляющимся циклоном.

Продолжительность залегания временного снежного покрова в среднем по территории составляет от 1 до 4 суток, в отдельные годы достигала 8 суток. Территориальное распределение продолжительности залегания ВСП имеет следующую закономерность: минимальная продолжительность наблюдается на юге и севере территории края и возрастает к центру (рисунок, б).

Высота временного снежного покрова в среднем по территории Пермского края изменяется 1–5 см (рисунок, в). Территориальное распределение высоты ВСП имеет следующие особенности: очаг с максимальной высотой (4,7 см) отмечается на северо-западе региона (МС Кудымкар); очаг с минимальной высотой ВСП (0,3 см) располагается в центре территории Пермского края (МС Пермь).

Образование снежного покрова сопровождается определенным набором метеорологических условий: термическим и атмосферными осадками, особенно их типом.

Анализ пространственного распределения среднесуточной температуры воздуха при формировании ВСП в Пермском крае за теплый период за 2013–2017 гг. позволяет отметить, что температурный фон на юге края значительно ниже, чем на севере. В основном залегание снежного покрова отмечается при среднесуточной температуре воздуха от

0,3 до 1,9°С (рис. 2 а). Продолжительность залегания ВСП слабо зависит от среднесуточной температуры воздуха (величина коэффициента корреляции составляет –0,14 и является незначимой), но тенденция к увеличению продолжительности залегания снежного покрова при уменьшении величины среднесуточной температуры прослеживается (рис. 2 б).

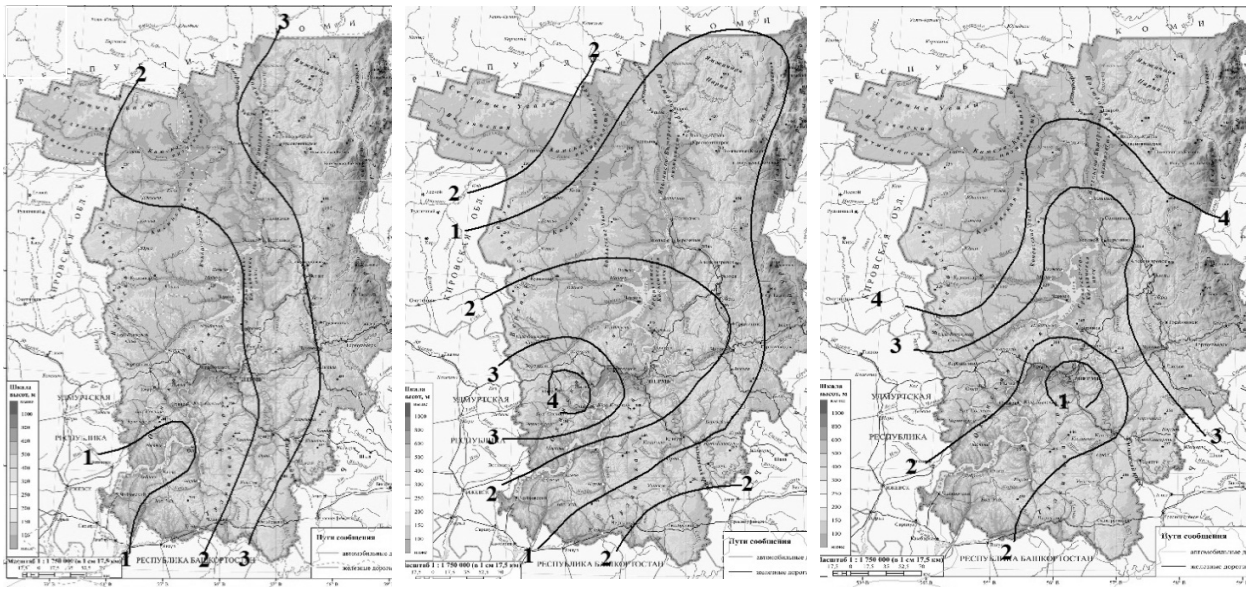


Рис. 1. Пространственное распределение характеристик временного снежного покрова на территории Пермского края за 2013–2017 гг.:
а – число случаев, б – продолжительность залегания (в сутках), в – высота снега (см)

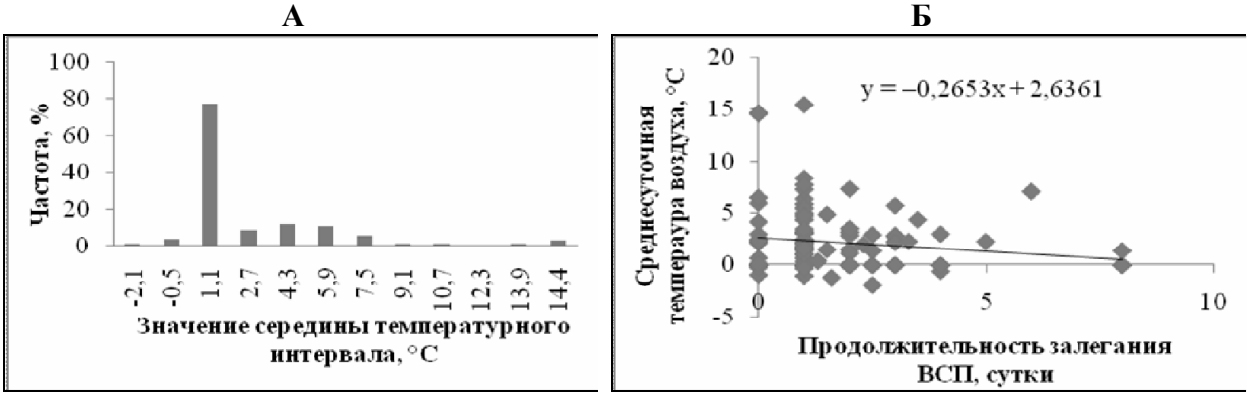


Рис. 2. Температурные условия формирования ВСП в Пермском крае: А – гистограмма среднесуточной температуры при образовании ВСП, Б – зависимость продолжительности залегания ВСП от температурного фона.

Формирование временного снежного покрова на территории Пермского края обуславливают осадки в виде снега (обложного, ливневого) или мокрого снега. Образование ВСП в большинстве случаев обуславливают обложные осадки в виде снега (39,4%), вторыми по значимости являются ливневые осадки (32,6%), доля мокрого снега не превышает 28%. Количество выпавших осадков на территории Пермского края при формировании ВСП составляет в среднем от 1 до 2,1 мм. Абсолютный максимум наблюдался на МС Гайны в 2013 году и достиг 22 мм.

Высота временного снежного покрова зависит от количества выпавших осадков, хотя и слабо (коэффициент корреляции составляет 0,45 и является незначимым), но тенденция к увеличению высоты снега при увеличении суммы осадков явно прослеживается (рис. 3).

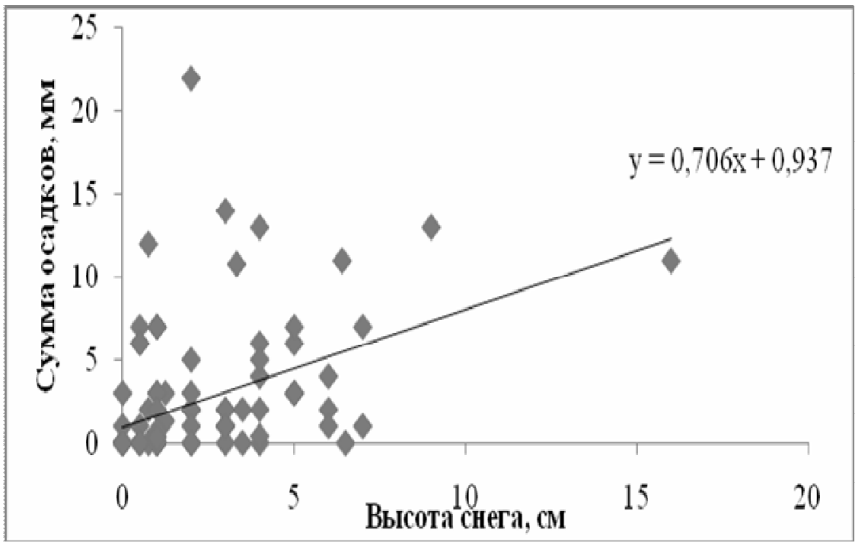


Рис. 3. Зависимость высоты ВСП от количества выпавших осадков на территории Пермского края за теплый период 2013–2017 гг.

Таким образом, пространственно-временное распределение характеристик временного снежного покрова определяется метеорологическими условиями, которые, в свою очередь, зависят от глобальных изменений климата.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (проект № 19-45-590021 р_а)

ЛИТЕРАТУРА

1. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Под ред. В.В. Ясюкевич, В.А. Говорковой, И.А. Корневой, Т.В. Павловой, Е.Н. Поповой. – М.: Изд. Росгидромета, 2014. – 1009 с.

2. Кренке А.Н., Китаев Л.М., Турков Д.В. Климатическая роль изменений снежного покрова в период потепления // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2001. – № 4. – С. 44–51.

3. Осокин Н.И., Сосновский А.В. Пространственная и временная изменчивость толщины и плотности снежного покрова на территории России // Лёд и Снег. – 2014. – № 4 (128). – С. 72–80. doi: 10.15356/20766734-2014-4-72-80.

4. Осокин Н.И., Сосновский А.В., Накалов П.Р. О влиянии изменчивости параметров снежного покрова на промерзание грунта // Лёд и Снег. – 2015. – № 2 (130). – С. 60–68. doi: 10.15356/2076-6734-2015-2-60-68.

5. Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. Сроки установления снежного покрова на севере Евразии: прямые и обратные связи с крупномасштабной атмосферной циркуляцией // Лёд и Снег. – 2014. – № 3 (127). – С. 39–49. doi: 10.15356/2076-6734-2014-3-39-49.

6. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Опасные гидрометеорологические явления: режим, мониторинг, прогноз. – Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2014. – 296 с.

7. Groisman P.Ya., Knight R.W., Razuvaev V.N., Bulygina O.N. Climatology and changes during the past 69 years over northern Eurasia for a rarely used measure of snow cover and frozen land // Journ. of Climate. – 2006. – № 1. – P. 4933–4953.

МОНИТОРИНГ ТАКСОНОМИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ ПО ВОДОЕМАМ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ (БАССЕЙН ВЕРХНЕГО ХОПРА)

Н.И. Русова
nadezhda_minnikova@mail.ru

Военно-морской политехнический институт ВМПИ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г.Санкт-Петербург, Россия

В центре Восточно-европейской равнины, в бассейне верхнего Хопра поверхностные воды испытывают постоянную направленную антропогенную нагрузку. В этих условиях сформировалась определенная структура природно-антропогенных сообществ фитопланктона. Проточно-русловой гидродинамический режим, морфометрические и морфологические параметры озерных акваторий создают широкий диапазон гидрофизических и гидрохимических условий. Речные озера Вороны характеризуются многообразием биотопов, благодаря чему наблюдается чрезвычайное видовое богатство сообществ диатомовых водорослей.

Таксономическое разнообразие свидетельствует об экологическом состоянии водных экосистем. В связи с этим трудно переоценить значение факта обнаружения в экологически благополучных проточно-русловых озерах р. Ворона сообществ диатомовых водорослей, которые отличает чрезвычайное видовое богатство. Количество их таксонов сопоставимо, и даже превосходит видовое богатство сообществ, изученных в разрезах древнеозерных отложений однотипных, то есть эвтрофных, среднеглубоких – мелководных, заросших высшей водной растительностью, межледниковых и голоценовых водоемов региона, а также в водоемах Центрально-Черноземного (Курская область) и Хоперского (Воронежская область) государственных природных заповедников [1, 2, 3].

Мониторинг таксономического разнообразия диатомовых водорослей по водоемам проводился с 2007 по 2014 гг. Тип диатомовые водоросли представляют 458 таксонов, среди которых 309 видов и 149 разновидностей и форм. Они принадлежат 2 классам, 7 порядкам, 19 семействам и 47 родам. Наибольшее количество видов и внутривидовых таксонов насчитывают роды *Navicula* Bory (65), *Nitzschia* Hass. (42), *Cymbella* Ag. (37), *Gomphonema* Ehr. (33), *Synedra* Ehr. (29), *Fragilaria* Lyngb. (22), *Pinnularia* Ehr. (22), *Achnanthes* Bory (18), *Eunotia* Ehr. (17), *Surirella* Turp. (16), *Amphora* Ehr. (14), *Epithemia* Bréb. (12), *Diatoma* Bory (12), *Caloneis* Cl. (11), *Cocconeis* Ehr. (10).

Условия развития сообществ диатомовых водорослей в период 2007-2009 гг. рассматриваются в качестве фоновых, которые сложились на территории исследований при средних многолетних климатических и гидрологических показателях среды обитания.

Сообщества диатомовых водорослей насчитывают 436 таксонов, среди которых 276 видов и 158 внутривидовых таксона. В составе сообществ планктонных диатомовых водорослей в целом широко распространены с оценками обилия «в массе», «очень часто», «часто» такие виды как *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *S. Rotula* (Kütz.) Hendey, *Aulacoseira alpigena* (Grun.) Krammer, *A. Italica* (Ehr.) Grun. et *var. tenuissima* (Grun.) Sim., *A. granulate* (Ehr.) Sim., *A. islandica ssp. helvetica* (O.Müll.) Sim., *Cyclostephanos dubius* (Fricke) Round, *Melosira varians* Ag., *Fragilaria crotonensis* Kitt., *Asterionella gracillis* (Hantzsch.) Heib., *Synedra berolinensis* Lemm [1, 2, 3].

В период 2010-2012 гг. сложилась стрессовая для сообществ микроскопических водорослей ситуация, обусловленная аномально высокими летними температурами воздуха, что соответственно сопровождалось повышенными температурами вод. Систематическое повторение в течение трех лет высоких температур нашло отклик в составе вегетационных сукцессий диатомовых водорослей. Особенно ярко он проявился в акваториях мелководных озер Рамза и Кипец, в которых температуры в приповерхностной части слоя воды в дневное время могли достигать 30^{o}C, иногда более.

Видовое богатство диатомовых водорослей по сравнению с периодом наблюдений 2007-2009 гг. изменилось [1, 2, 3].

Сообщества диатомовых водорослей насчитывают 192 таксона, среди которых 142 вид и 50 внутривидовых таксона. В составе сообществ планктонных диатомовых водорослей в целом широко распространены с оценками обилия «в массе», «очень часто», «часто» такие виды как *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Cyclostephanos dubius* (Fricke) Round., *Cyclotella comensis* Grun., *C. Kützingiana* Thw, *Thalassiosira lacustris* (Grun.) Patrik., *Aulacoseira italica* (Ehr.) Sim, *Melosira varians* Ag.,*Synedra berolinensis* Lemm.

Сообщества диатомовых водорослей несколько снизили свое видовое разнообразие, что в целом характерно для середины вегетационного сезона. Время конец июня – июль, иногда до середины августа, наиболее благоприятно для процветания цианобактерий.

В эти годы в составе сообществ диатомовых водорослей в водоемах заповедника встречены таксоны, ранее в регионе не известные. Например, среди диатомей это *Neidium dubium var. constricta* Hust., *Caloneis ignorata* Skv., *Amphora costulata* Skv., *Gomphonema ventricosum f. Curta* Skv., *Diatoma elongatum var. capitellata* Poretzky, *Pinnularia rangoonensis* Grun., *Stauroneis wislouchii f. Parva* Poretzkyet Anissimova.

По наблюдениям 2012 года общий список представителей диатомовых водорослей пополняют также *Eunotia fallax var. gracillima* Krasske, *Cymbella ventricosa var. ovata* Grun., *Surirella didyma* Kütz.

В период 2013-2014 гг. видовое богатство сообществ диатомовых водорослей по сравнению с периодами 2007-2009 гг. и 2010-2012 гг. наблюдений также изменилось. Сообщества диатомовых водорослей насчитывают 171 таксон, среди которых выделено 129 видов и 42 внутривидовых таксона [1, 2, 3].

В составе сообществ планктонных диатомовых водорослей в целом широко распространены с оценками обилия «в массе», «очень часто», «часто» такие виды как *Thalassiosira lacustris* (Grun.) Hasle., *Cyclotella meneghiniana* Kütz., *Aulacoseira granulate* (Ehr.) Sim., *Aulacoseira distans* (Ehr.) Sim., *A. italica* (Ehr.) Sim., *Melosira varians* Ag., *Synedra berolinensis* Lemm.

Исследования таксономического состава сообществ диатомовых водорослей по временным интервалам позволило проследить динамику их структурных перестроек, обусловленную резкими температурными аномалиями 2010-2012 гг., при этом в 2013-2014 гг. структура сообществ не восстановилась в рамках 2007-2009 гг. Это произошло вследствие изменения структуры сообществ высших водных растений, интенсивного зарастания среднеглубоких-мелководных водоемов [2, 4].

За время проведения исследований, учитывая многообразие местообитаний, фиксировалось появление новых таксонов, или выпадение некоторых из них из состава сообществ диатомовых водорослей. На экстремально высокие летние температуры воздуха и вод диатомовые, в связи с их температурной приуроченностью к умеренно-теплым условиям, отреагировали уменьшением таксономического состава сообществ (в сравнении с 2007-2009 гг.). При этом, вероятно, особое значение для них имело то, что зарастание вызвало изменение местообитаний, не только появились новые экологические ниши, но часть их перестала существовать[1, 2, 3].

Многолетние биомониторинговые исследования позволили проследить реальные трансформации экологического состояния водных экосистем в условиях среднестатистических природных параметров (2007-2009 годы), экстремальных для региона высоких летних температурах воздуха (2010-2012 годы), и затем при восстановлении природных температурных параметров, близких к среднегодовым показателям (2013-2014 годы). Изученная последовательность изменения состояния водных экосистем позволяет прогнозировать возможные пути развития водных экосистем в условиях глобальных климатических изменений, или при радикальном воздействии на них природных и/или антропогенных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анциферова Г.А. Долгосрочные последствия влияния аномально высоких летних температур воздуха 2010-2012 годов на водные экосистемы лесостепной зоны. / Г.А. Анциферова, Н.И. Русова // Вестник Воронежского государственного университета. Серия География. Геоэкология. – 2017. – №2. – С. 5-12.

2. Анциферова Г.А. Проточно-русловые озера реки Ворона / Г.А. Анциферова, С.Л. Шевырев, Н.И. Русова. – Saarbrucken: Изд-во Lambert Academic Publishing, 2017. – 75 с.

3. Анциферова Г.А. Структурные перестройки микросообществ как мера устойчивости природных водных экосистем. / Г.А. Анциферова, Н.И. Русова // Современные вопросы альгологии. – 2013. – 1(13). – С. 5.

4. Шевырев С.Л. Вселение чужеродных видов цианобактерий в водоемы средних широт в условиях высоких летних температурных аномалий воздуха. / С.Л. Шевырев, Г.А. Анциферова, Н.И. Русова // Успехи современного естествознания. – 2018. – №2. – С. 407-412.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

А.Н. Сажин, А.В. Судаков
av_sudakov1960@mail.ru

Волгоградский государственный аграрный университет, г.Волгоград, Россия

Изменения современной погоды и климата привлекают внимание специалистов и обывателей. Это связано с ростом влияния климатических изменений на устойчивость природно-хозяйственных комплексов и продуктивность сельскохозяйственных угодий как условие продовольственной безопасности. Эту безопасность во всём мире обеспечивает, прежде всего, производство зерновых культур – основы кормов для сельскохозяйственных животных и пищевых продуктов для людей. Для Нижнего Поволжья такой культурой является пшеница. Проведённые волгоградскими климатологами исследования доказывают, что опасные погодно-климатические явления (ОПКЯ), к которым, в частности, относятся засухи, «эпизодически охватывают своим негативным воздействием огромный южный степной субрегион Европейской части России резко снижая, а иногда – почти полностью уничтожая урожай сельхозкультур» [1, с. 442].

Циклические изменения климата в Нижнем Поволжье, в современное время происходят на фоне глобального потепления, что обусловливает не только периодическую, но и линейную изменчивость условий зернопроизводства. С одной стороны, «погодные условия середины XXI в. не будут идентичны погодным условиям конца XIX – начала XX в. и второй половины XX в. ... в силу квазипериодичного характера внутривековой цикличности [5, с. 159.]; с другой стороны, эту неидентичность будет усиливать эффект глобального потепления.

Циклические изменения климата известны давно и хорошо изучены. В частности, достоверно установлено на материалах различных секторов Северного полушария наличие внутривековых циклов, связанных с чередованием зональных и меридиональных эпох атмосферной циркуляции. Их временные рамки могут отличаться у разных авторов, в зависимости от того, материалы каких метеостанций привлекаются ими для анализа. Для Нижнего Поволжья А.Н. Сажиным путём комплексного анализа динамики показателей температур, осадков и урожайности выделены с 1880 г. по настоящее время четыре эпохи атмосферной циркуляции [4, с. 92]. В ближайшие десятилетия, до начала 60-х – 70-х гг. XXI в., в условиях постепенно усиливающейся меридиональной составляющей атмосферной циркуляции при умеренном сценарии глобального потепления в Нижнем Поволжье сохранятся благоприятные условия для растениеводства. Однако наступление очередной зональной эпохи во второй половине текущего века усилит негативные климатические тенденции, вследствие которого, по нашим оценкам, среднегодовая температура в Волгоградской области уже к концу текущего века может повыситься на два-четыре градуса по сравнению с серединой прошлого века.

Тревожным предвестником серьёзных климатических изменений является нарастание нестабильности погоды, как в пределах календарных лет, так и по десятилетним периодам. Погода в последние десятилетия отличается высокой изменчивостью, увеличением повторяемости ОПКЯ на всей планете. Наблюдается рост погодных катастроф. Примером таких макрорегиональных эксцессов является очень холодные январь и февраль и сильные зимние пыльные бури 1969 г. в степях Нижнего Поволжья и Северного Кавказа, череда жестоких засух в Северной Африке в 70-е годы XX в., аномально дождливое лето 1976 г. в Восточной Европе и одновременная засуха в Западной Европе, температурные экстремумы 90-х годов, сильные засухи 1998 – 1999 гг. на европейской территории России, исключительно тёплый январь 2007 г. на Восточно-Европейской равнине, и беспрецедентно длительная жара, и жестокая засуха 2010 г. в Восточной Европе. Тревожным фактором является и нарастание повторяемости серий из двух-трёх засушливых лет подряд. Засух в Нижнем Поволжье, продолжавшихся два-три года подряд, было не менее шести: три года подряд в 1890 – 1892 гг. и 2010 – 2012 гг.; два года подряд в 1920 – 1921, 1938 – 1939, 1950 – 1951, 1995 – 1996, 1998 – 1999 гг. [4, с. 87]. Причём уменьшение временного промежутка между ними наблюдается как в предыдущем периоде зональной циркуляции (26, 16, 10 лет), так и в текущем (1 и 10 лет). По мере проявления эффекта глобального потепления, при повышении среднегодовой температуры в регионе ещё на 2-3 градуса, что может произойти в следующем зональном периоде во второй половине текущего века, засушливые и сильно засушливые годы в регионе могут стать, скорее правилом, чем исключением, что поставит под вопрос его зерновую специализацию.

В Нижнем Поволжье отмечается устойчивое нарастание аномальных температурных отклонений. Например, контрастность температурных условий в Волгограде выглядит так.

Приведённая таблица 1 показывает температурный тренд, связанный со сменой меридиональной эпохи атмосферной циркуляции, продолжавшейся в Нижнем Поволжье приблизительно с 1950 г. по 1995 г. на длящуюся зональную эпоху. Наглядно просматривается тенденция к уменьшению отрицательных отклонений в пользу положительных. Для современной зональной эпохи характерны длительные температурные эксцессы, преимущественно с положительными знаками.

Таблица 1. Количество лет с отрицательными и положительными отклонениями месячных температур в течение года более чем на 1°С от среднемесячных температур (за период 1938-2018 гг.) по десятилетиям с 1953 г. по 2018 г.

Десятилетия	С отрицательными отклонениями	С положительными отклонениями	Среднее отклонение за период
6-е XX в. (с фев.1953 г.)	6	0	-1,15
7-е XX в.	2	0	-0,48
8-е XX в. (1-е п. 1971 г. + + с 1973 г.	4	0	-0,77
9-е XX в.	0	1	0,45
10-е XX в.	4	1	-0,20
1-е XXI в.	1	4	0,59
2-е XXI в.	1	2	0,25
За весь период	18	8	-0,19

К их числу относятся серии аномально тёплых январей в Волгограде в последние два десятилетия XX в. За период 1981 – 1986 гг. средняя температура этого месяца превысила норму на 2,2°С. С 1989 г. по 1995 г. семь лет подряд январская температура превышала среднюю температуру за период 1938 – 2018 гг. более чем на 2°С, с максимальным эксцессом в 1994 г. – на 5,1°С выше нормы. В результате январь в Волгограде на два десятилетия с точки зрения фенологии практически перестал быть зимним месяцем. Пер-

вое десятилетие текущего века отмечено резкими температурными аномалиями среднемесячных температур в феврале (до 7,7°С выше нормы в 2002 г. и на 1,27°С за десятилетие) и марте (до 5,5°С в 2008 г. и на 1,88°С за десятилетие).

Приведённые в таблице 1 данные маскируют влияние глобального потепления на климат региона, поскольку в выбранном периоде преобладает отрицательный температурный тренд.

Однако сравнение отклонений среднемесячных и среднегодовых температур со средними значениями за более длительный период наблюдений, охватывающий почти четыре циркуляционные эпохи, показывает рост среднегодовой температуры в Волгограде более чем на 1°С в течение текущего столетия.

Во втором десятилетии XXI в. зимняя ситуация стабилизировалась, но в 2012 – 2014 гг. случились аномальные майские жары с превышением нормы среднемесячной температуры более чем на 3°С три года подряд, на 4°С в 2013 г. С начала века аномально высокими, до 5,4°С в 2008 г., стали превышения среднемесячных августовских температур. За первое десятилетие оно составило 1,66°С, за период с 2011 г. по 2018 г. 1,24°С. Механизмы майских и августовских жар были связаны с формированием блокирующих антициклонов. Жаркие периоды сопровождались длительным, до двух месяцев, бездождьем. Таким образом, резко увеличилось число как поздневесенних, так и позднелетних засух, сопровождавшихся пожарами и августовскими пыльными бурями. Отрицательные среднемесячные температурные аномалии также имели место в текущем столетии. Но их было меньше, чем положительных, и в большинстве случаев они не имели серийного характера. Среднегодовая температура в Волгограде за первые 17 лет текущего века, по сравнению со средним значением за 117 лет, увеличилась на 1,08°С, что свидетельствует о кумуляции эффекта циклического потепления, характерного для зональной эпохи, и эффекта глобального потепления.

Таблица 2. Отклонение среднегодовых температур в Волгограде за период 2001 – 2017 гг. от средних значений за период 1901 – 2017 г. (в °С)

2001	*2002*	*2003*	*2004*	*2005*	*2006*	*2007*	*2008*	*2009*
1,36	1,08	-0,51	1,36	1,43	1,16	2,10	1,16	1,15
2010	*2011*	*2012*	*2013*	*2014*	*2015*	*2016*	*2017*	*Ср. за период*
2,50	-0,08	0,71	1,25	0,01	1,49	1,14	1,12	1,08

Такое же повышение среднегодовых температур за этот период наблюдается в Астрахани.

Таблица 3. Отклонение среднегодовых температур в Астрахани за период 2001 – 2017 гг. от средних значений за период 1901 – 2017 г. (в °С)

2001	*2002*	*2003*	*2004*	*2005*	*2006*	*2007*	*2008*	*2009*
1,03	0,69	0,03	1,42	1,48	0,69	1,59	0,72	0,72
2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Ср. за период
5,1	-0,28	1,65	1,18	-1,15	1,31	0,94	1,06	1,07

При этом положительный тренд в отклонении среднемесячных температур в Волгограде наблюдается в каждом месяце, причём, в семи месяцах это отклонение превышает 1°С, а в марте и августе эти усреднённые по десятилетию отклонения более чем на 2°С можно считать экстремальными.

Таблица 4. Среднемноголетнее отклонение среднемесячных температур в Волгограде за период 2001 – 2017 гг. по сравнению со среднемесячными температурами за период 1901 – 2017 г. (в °С)

I	II	III	IV	V	VI
0,32	1,15	2,08	0,31	1,02	0,52
VII	VIII	IX	X	XI	XII
1,43	2,29	1,43	0,54	1,68	0,61

В Астрахани усреднённые по десятилетию отклонения наиболее жарких месяцев также близки к экстремальным.

Таблица 5. Среднемноголетнее отклонение среднемесячных температур в Астрахани за период 2001 – 2017 гг. по сравнению со среднемесячными температурами за период 1901 – 2017 г. (в °С)

I	II	III	IV	V	VI
0,41	1,05	1,86	-0,05	1,11	0,72
VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,63	1,65	1,8	0,78	0,79	0,35

При этом среднегодовое значение суммы среднемесячных отклонений за 17 лет составило для Волгограда +1,12°С, для Астрахани +0,93°С. Следует заметить, что рост средней температуры летних месяцев связан с увеличением характерных для зональной эпохи периодов антициклональной погоды, что также сопровождается и уменьшением количества атмосферных осадков до критических величин. А формирование на периферии антициклонов барических возмущений циклонального типа увеличивает риск возникновения пыльных бурь, что связано как с общей засушливостью климата, так и с периодическим усилением скорости ветра при характерных для Нижневолжского региона циркуляционных процессах. Описанные климатические тенденции значительно повышают скорость опустынивания ландшафтов региона.

На основе дендро-климатической информации получены данные об увеличении повторяемости засух и засушливости на всём Северном полушарии в последние 300 лет. Повторяемость засух на бывшей территории СССР в 70-80-е годы прошлого столетия возросла почти в 2 раза. Увеличение засушливости на других континентах подтверждается падением уровня воды в озёрах, общим увеличением площади опустыненных территорий и смещением в более высокие широты границ лесной и степной зоны.

Нижнее Поволжье хорошо обеспечено тепловыми ресурсами. Его географическое положение на крайней юго-западной периферии внутриконтинентального сектора Евразии, в южной части умеренного пояса, обусловливает общую засушливость климата. Равнинность и открытость территории способствуют поступлению в регион воздушных масс с различными физическими свойствами (арктического, полярного и тропического воздуха). Подстилающая поверхность летом может нагреваться до +60 … +70°С, а зимой выхолаживаться до -35 … -40°С. Это определяет разнообразие и изменчивость погоды и особенности климата Нижневолжского региона, среди которых следует отметить: высокую степень континентальности, частую повторяемость засух и суховеев, большую изменчивость погодных условий, особенно температуры воздуха и количества выпадающих осадков, от одного года к другому. Эти климатические особенности в значительной степени определяются воздействием воздушных масс различного происхождения и региональными закономерностями динамики атмосферы.

Циркуляция атмосферы в Нижнем Поволжье имеет яркие особенности, присущие юго-востоку европейской части России. Для неё типично взаимодействие тёплых и холодных вторжений при меридиональных процессах, преобладание в разные сезоны года воздействий азорского и азиатского антициклонов. Важную роль в формировании погоды

и климата региона играют циклоны полярного фронта. Часты вторжения арктического воздуха, которые вызывают весенне-осенние заморозки и нередкие сильные летние засухи. Многообразие синоптических процессов, динамика и стационирование воздушных масс с разными свойствами, обуславливают крупные погодно-климатические аномалии, которые продолжаются от отдельных синоптических периодов до месяцев и сезонов года, а иногда длятся на протяжении лет и даже десятилетий. Всего в формировании климата Нижнего Поволжья участвуют восемь типов атмосферных процессов, среди которых превалируют: циклоническая деятельность на полярном фронте (до 1/3 продолжительности года), воздействие арктического антициклона (до 1/6), циклоническая деятельность на арктическом фронте (до 1/6), субтропический (азорский) антициклон (до 1/6), зимний азиатский антициклон (до 1/10), деформационное поле давления и скоростей (до 1/20), выходы южного (каспийского) циклона (1/50) и нетипичные циркуляционные процессы (до 1/13 продолжительности года). В своей совокупности они определяют разнообразие погод в течение сезонов года. Их соотношение варьирует по десятилетиям. В зональную эпоху преобладает широтная циркуляция, в меридиональную – долготная.

Воздействие арктического антициклона наблюдается во все сезоны года. Особо яркие погодные эксцессы возникают при так называемых ультраполярных вторжениях, когда выхоложенные в месте своего формирования над Арктикой до -40°С воздушные массы вторгаются на Русскую равнину со стороны Карского моря, нарушая западный перенос, и в течение 2-3 суток достигают субтропических широт. При таком процессе в январе 1987 г. температура воздуха опускалась в северной половине Восточно-Европейской равнины до -39…-41°С, в Нижнем Поволжье до -19…-23°С, а в Предкавказье до -17…-21°С. В поздневесенний и летний период ультраполярные вторжения могут приводить к резкому кратковременному похолоданию и ночным заморозкам. Эти процессы могут резко менять погоду в позднелетний период, обусловливая похолодания продолжительностью до декады. К примеру, 25 сентября 2017 г. такое вторжение с севера и северо-востока вызвало резкое десятидневное похолодание, при котором наибольшая разница с максимальной температурой предыдущего синоптического периода достигла 17,4°С.

При циклонической деятельности на арктическом фронте во все сезоны наблюдается похолодание, возможны умеренные осадки. Продолжительные зимние похолодания на юго-востоке Европейской части России в зимний период вызывает также и воздействие казахстанского отрога Азиатского антициклона. При этом вследствие радиационного выхолаживания территории над Нижнем Поволжьем может формироваться самостоятельный антициклон, сохраняющийся при регрессии указанного отрога. Таким образом, для зимы характерны радиационные механизмы поддержки отрицательных температурных эксцессов погоды, вызванных адвекцией.

В летнее время важную роль играют трансформационные процессы в воздушных массах. Стабилизация арктических антициклонов над Нижневолжским регионом приводит к постепенному превращению арктического воздуха в местный тропический. При этом бездождный период не прерывается, а формируются предпосылки для засух, которые по мере трансформации воздуха осложняются возникающими суховеями.

Циклоническая деятельность на восточно-европейской ветви полярного фронта – преобладающий динамический атмосферный процесс в Нижнем Поволжье. Она влияет на погоду в течение всего года. Зимой средиземноморские и черноморские циклоны движутся вдоль атмосферного фронта с юго-запада на Нижнее и Среднее Поволжье, Южный Урал. Это сопровождается резкими повышениями температуры вплоть до положительных, снеговыми и дождевыми осадками, гололёдом и гололедицей, порывистым ветром, сильными метелями.

В тёплый период года адвекция в регион морского воздуха из умеренных и субтропических широт Атлантики циклонами полярного фронта приводит к понижению температуры и выпадению осадков. В силу особенностей топологии восточно-европейской ветви полярного фронта, которая «разворачивается» против часовой стрелки и принимает субмеридиональное положение, наиболее интенсивные осадки происходят в

центральной части Русской равнины. При этом зона осадков своей юго-восточной периферией захватывает северо-западные районы Волгоградской области с чернозёмными почвами. А вот в центральной и юго-восточной части Волгоградской области, расположенной в периферийной зоне циклонов, количество выпадающих осадков существенно снижается, и чернозёмные почвы сменяется каштановыми. При такой циркуляции в тёплый период года на европейскую территорию России, вплоть до субарктики, может выноситься тропический воздух температурой до +20…+30°С. Над внутриматериковой сушей, в частности, в Волгоградской области, он дополнительно нагревается до +35…+39°С.

Выходы каспийского циклона достаточно редкий тип атмосферной циркуляции в Нижневолжском регионе. Он преимущественно наблюдаются весной, на фоне возрастающих температурных контрастов и активизации циклонической деятельности на среднеазиатской ветви полярного фронта, и сопровождается обильными осадками. Один-два выхода таких циклонов создают хорошие влагозапасы в почве и позволяют получать высокие урожаи зерновых культур, в Волгоградской области до 5,4 млн. т в наиболее благоприятные годы.

Примером нетипичных циркуляционных процессов является вторжение иссушённого тропического воздуха из пустынь Средней Азии, который распространился на северо-запад в системе высотного антициклона над Северным Казахстаном. Вследствие этого вторжения при дальнейшем радиационном прогреве территории над Юго-Востоком образовался долгоживущий блокирующий антициклон, вызвавший весенне-раннелетнюю засуху 2012 г.

Особое значение в динамике воздушных масс на Юго-Востоке имеют блокирующие процессы, при которых в пределах обширных антициклонов зимой устанавливается длительная бесснежная значительно и сильно морозная погода. По мере деградации таких барических образований при возобновлении циклонической деятельности на полярном фронте в пределах региона и при последующем вторжении в Нижневолжский регион тропического воздуха возникают гололёдные явления, в т.ч. ледяная корка на пашне. Летом блокирующие антициклоны, могут вызывать жесточайшие засухи (примером является катастрофическая засуха 2010 г., охватившая практически всю Восточную Европу). Также они провоцируют пыльные бури, при которых избыточная тепловая энергия воздушной массы рассеивается в кинетических процессах.

Наиболее сильные пыльные бури в южнорусских степях, включая Нижнее Поволжье, бывают в конце зимы и ранней весной, при образовании над юго-востоком европейской территории России и Западным Казахстаном обширного антициклона, блокирующего западный перенос воздушных масс и сохраняющего своё положение в течение нескольких синоптических периодов, иногда до 1,5-3 месяцев. При этом возникает восточный ветер штормовой силы, а его энергия возрастает на 1-2 порядка по отношению к норме, достигая 400-500 млн. Дж/м^2·мес. и более. В таких случаях происходит катастрофически активное выдувание почвенного горизонта. В январе – феврале 1969 г. в Сальских степях Ростовской области замёрзшая почва на посевах озимой пшеницы выдувалась на глубину 5-7 см, а в некоторых местах на глубину всего пахотного слоя.

Для концентрации такой огромной энергии в воздушной массе в разгар весны в пределах одной и той же территории и возникновения пыльных бурь в это время необходимо не менее трёх условий. Первое, термический фактор: наличие контраста температур воздуха над сравнительно тёплой в конце зимы акваторией Чёрного и Средиземного морей и над охлаждённой поверхностью Русской равнины. Второе, орографический фактор: горы Кавказа и другие горные массивы препятствуют смещению на восток циклонов полярного фронта. Третье: поступление холодных воздушных масс на Юго-Восток в тыловой части циклонов арктического фронта, что усиливает и поддерживает высокое атмосферное давление.

В тёплое время года пыльные бури в Нижнем Поволжье случаются обычно во второй половине августа-сентябре. В 1969, 1972, 1975, 1984 гг. на больших площадях во время пыльных бурь был выдут слой почвы до 2-5 см, а общие потери почвы достигали 20-50 т/га

[3, с. 342]. Весной 1984 г. в южных районах области потенциальный вынос мелкозёма при пыльной буре достигал 196 т/га, т.е. был разрушен и выдут почти двухсантиметровый слой почвы [4, с. 88]. Для этого времени характерны транзитные пыльные бури, зарождающиеся в Северной Африке и Иране, подобные той, которая случилась 19-22 августа 2017 г. [2].

Естественные колебания климата репрезентативно оцениваются по температурно-влажностному режиму. Многолетняя динамика этих показателей, выявленная за период инструментальных наблюдений в различных секторах Северного полушария, демонстрирует квазипериодический характер с прямыми и обратными причинно-следственными связями.

Современные изменения климата на крайнем юго-востоке Русской равнины имеют региональные особенности. Резкий рост среднегодовой температуры, отмеченный на глобальном уровне с середины 60-х годов прошлого столетия, в Нижнем Поволжье начался ещё в 30-е гг. XX в. В это время отмечалось быстрое снижение уровня воды в Каспийском море. В настоящее время среднегодовая температура превышает климатическую норму на 0,6-0,7 °С, а в некоторые годы – на 1-1,5°С, преимущественно за счёт очень тёплых зим. Качественная оценка гидрометеорологических условий вегетационного периода позволяет говорить о том, что атмосферное увлажнение является наиболее динамичным звеном этого комплекса показателей, в значительной мере подверженным временным флуктуациям.

Анализ распределения осадков во времени за период инструментальных наблюдений в Нижнем Поволжье показывает, что их распределение имеет циклический характер и связано с разными эпохами циркуляции атмосферы. Таким образом, характер синоптических процессов оказывает прямое влияние на количество выпадающих осадков.

Принято считать, что в меридиональные эпохи, северную или южную, активизируется динамика воздушных масс с разными свойствами, усиливается межширотный обмен и восходящие токи воздуха на атмосферных фронтах, что приводит к увеличению количества осадков по сравнению с менее контрастными зональными процессами при преобладающем воздействии азорского или азиатского антициклонов.

С учётом всех проведённых нами и другими авторами исследований для европейско-приатлантического сектора Евразии можно выделить следующие эпохи атмосферной циркуляции: меридиональную северную (конец XIX – начало XX вв.), зональную (20-е – 40-е гг. XX в.), меридиональную южную (50-е – середина 90-х гг.) В настоящее время длится зональная эпоха, которая, вероятно, закончится в 30-е гг.

Учитывая квазипериодичность природных процессов, можно предполагать, что развитие атмосферной динамики и связанных с ней режимов температур и осадков, а также повторяемость опасных явлений на ближайшую перспективу в 30-40 лет будет происходить по аналогии с зональной эпохой 20-х – 50-х гг. XX в. Два сильно засушливых года подряд, 1998 и 1999, весенние и раннелетние засухи 2000-х годов, термическая катастрофа 2010 г., сильная засуха 2018 г. и многие другие факты, установленные разными исследователями, подтверждают эту версию.

Внутривековые колебания увлажнённости, отчётливо связанные с разными эпохами циркуляции атмосферы, позволяют рассчитывать на возможность использования принципа аналогии при построении долговременного климатического прогноза с заблаговременностью соответствующей фазе снижения или увеличения осадков в очередной цикл увлажнения. Однако поведение погодно-климатических систем скорее соответствует сценарию детерминированного хаоса, нелинейного процесса, который чутко реагирует даже на слабые воздействия. Смещение полярного фронта в летнее время на 2-3° по долготе (150-200 км), выход одного-двух южных циклонов на территорию Волгоградской области определяет характер урожайности в тот или иной год. Состояние и поведение погодно-климатических систем – классическая реализация подобных событий. Функционирование таких систем можно описать только на основе статистического подхода, что исключает возможность построения однозначно достоверного прогноза.

Прогнозируемое повышение среднегодовой температуры Земли будет сопровождаться снижением увлажнения, особенно в степных и лесостепных зонах нашей страны – традиционных регионах производства зерновых культур. Эта проблема является актуаль-

ной и для Нижнего Поволжья. Экологической катастрофы может и не произойти, но и исключить её нельзя. Поэтому к грядущим событиям надо готовиться, исходя из наименее благоприятного прогноза. Прежде всего, необходимо более активное внедрение всего комплекса почвозащитных и влагосберегающих технологий в богарном земледелии в регионах с дефицитом атмосферных осадков, развитие орошаемого земледелия и селекционная работа, направленная на создание засухоустойчивых сортов зерновых культур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулик К.Н. Барабанов А.Т. Панов В.И. Катастрофические засухи в степной Европейской части России, и их дендрохронологическая индикация, и связь с цикличностью солнечной активности // Изв. Самарского научного центра РАН. – 2016. – Т. 18, № 2 (2).

2. Лобойко В.Ф. Судаков А.В. Агишева Н.Р. Пыльная буря в Нижнем Поволжье 22-23 августа 2017 г. // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сб. статей IV Международной научно-практической конференции. В 2 ч. Ч. 1. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2018. – 244 с. – С. 231–236.

3. Сажин А.Н. Рыков Е.Г. Некруткина Ю.А. Судаков А.В. Опасные природные явления как проявление экологического риска в Нижнем Поволжье // Материалы международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, сотрудников и аспирантов кооперативных вузов стран СНГ, посвящённой 175-летию потребительской кооперации России, по итогам научно-исследовательской работы в 2005 г. – М.: Моск. ун-т потребительской кооперации, 2006. – С. 341–342.

4. Сажин А.Н. Судаков А.В. Почвенно-климатический потенциал развития зернопроизводства в Нижнем Поволжье // География и природные ресурсы. – 2013. – № 4. – С. 84–93.

5. Судаков А.В. Опасные погодно-климатические явления в Нижнем Поволжье как фактор экологического риска в зернопроизводстве Волгоградской области. // Эколого-мелиоративные аспекты рационального природопользования. Материалы международной научно-практической конференции 31 января – 03 февраля 2017 г. – Волгоград, Волгоградский ГАУ, 2017. – С. 154–160.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ЭКОСИСТЕМЫ ТУВЫ

А.Д. Самбуу
sambuu@mail.ru

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, г.Кызыл, Россия

По материалам обобщающего доклада об изменениях климата и их последствиях, выполненного созданной Всемирной метеорологической организацией и ООН, Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК, или IPCC, от *Intergovernmental Panelon Climate Change*), факт глобального потепления уже не вызывает сомнений. За период 1906–2005 гг. средняя глобальная температура продолжала увеличиваться и выросла на 0,74±0,18°С. При этом средняя скорость потепления для последних 50 лет (0,13±0,03°С за 10 лет) оказалась даже в два с половиной раза больше, чем та же величина, рассчитанная для последних ста лет [1]. По настоящее время средняя температура планеты меняется с высокой скоростью, что не характерно для естественных циклических процессов. Такое развитие событий не позволяет биологическим видам и экосистемам приспособиться к столь быстрым климатическим изменениям и все это может привести к крупным экономическим потерям, обеднению населения, росту безработицы и социальной напряженности и т.п.

Тува занимает центральную часть Азии между 50-54º с.ш. и 89-99º в.д. Границы республики на западе, севере и востоке проходят в основном по водораздельным горным хребтам высотой 2000-3000 м н.у.м. и лишь на юге – по приподнятым равнинам и предгорьям на высоте 800-1000 м. Протяженность республики с запада на восток составляет более 700 км, с севера на юг – от 100 до 450 км; общая площадь – 168,6 тыс. км^2. Характер подстилающей поверхности Тувы чрезвычайно сложный. Наиболее возвышенные части Тувы располагаются по ее периферии, наиболее пониженные – в межгорных котловинах центральной и южной частях. В целом горные системы занимают более 80% всей территории Тувы, и менее20% приходится на межгорные котловины. Сложный рельеф республики оказывает сильное влияние на режим метеорологических элементов и, особенно на приземную температуру. В условиях сильно расчлененного горного рельефа Тувы – этот фактор приобретает особое значение.

Климат Тувы резко континентальный и характеризуется неравномерном распределением осадков по месяцам, в сезонном и суточном перепадах температур и низкой относительной влажности воздуха, которая в жаркие засушливые дни приближается к нулю. Очень часты сильные ветры континентального циклонического характера, принимающие в летние пожароопасные сезоны признаки суховеев.

Многолетний ход изменения температуры воздуха на территории Средней Сибири по данным Красноярского Гидрометцентра представляет собой чередование периодов потеплений и похолоданий (рис. 1). По диаграмме можно судить о том, насколько изменились температурные условия во временном разрезе от 1936 до 2010 г. [2].

На рисунке видны вариации с положительными отклонениями температуры воздуха (1936-1950 гг. и 1978-2010 гг.) и с отрицательными (1951-1977 гг.). Стадия роста температуры воздуха, начало которой приходится на середину 1970-х годов, где видны по кривой 11-летние скользящие температуры. Вековой ход осредненной по территории температуры воздуха указывает на постепенное повышение температуры воздуха. Причем, в последние 20 лет складывались преимущественно положительные аномалии температуры воздуха (температура выше средней за 1961-1990 гг.).

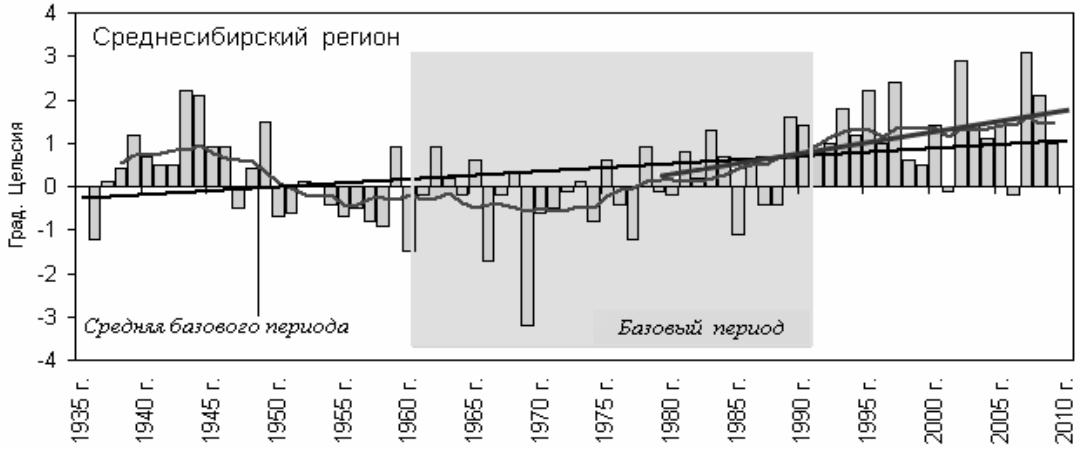


Рис. 1. Средние отклонения температуры воздуха (°С) осредненные по территории Среднесибирского региона за 1936-2010 гг. (кривая: 11-летнее скользящее осреднение; красная прямая: линия тренда за период 1980-2010 гг.; черная прямая: линия тренда за период 1936-2010 гг.)

Линейный тренд, оцененный по временному ряду за период с1936 по 2010 год, составляет +0,18°С/10 лет, а за 1980-2010 гг. +0,51°С/10 лет. Итак, в последние три десятилетия прослеживается более интенсивное потепление температуры приземного воздуха, чем за весь рассматриваемый период в целом. На примере Балгазынского соснового бора в Туве этот тренд показывает прямую связь повышения температуры приземного воздуха и горимостью леса.

Скорость повышения температуры воздуха показывает, что наиболее интенсивно увеличение температуры происходит в Туве и в северо-восточной части полуострова Таймыр, что подтверждают наибольшие по величине коэффициенты линейного тренда, равные соответственно 0,64 и 0,51°С/10 лет. Средние отклонения температуры воздуха (ºС) (1950- 2014 гг.) за весенний и летний сезоны составили 0,6ºС/10 лет и 0,8ºС/10 лет соответственно [2]. Вышеизложенные данные, также материалы Х.Б. Куулар [3] и других исследователей показывают, что на возникновение пожаров на территории Тувы влияет потеплением климата.

Лесные и степные пожары на территории Тувы действовали на протяжении исторического времени. Согласно материалам многих авторов горимость лесов Тувы за последние 50 лет была наиболее сильной, что определяется не только физико-географическими особенностями территории, но и соседством со степями и пустынями Средней Азии, оказывающими мощное воздействие на климат и, в частности, ветровой и температурный режим Тувы [1, 3]. Особенно заметно это воздействие стало проявляться в конце XX столетия в связи с явным потеплением климата северного полушария. Не менее важной причиной возникновения лесных пожаров и высокой горимостью лесов является крайне неблагоприятное распределение лесного фонда Тувы по классам природной пожарной опасности. Также основной причиной лесных и степных пожаров в Туве до 80 % является человеческий фактор.

Для сравнения горимость лесов Тувы с 1955 по 1962 гг. в лесах Тувы показывают данные И.Ю. Коропачинского [4]. Так, за этот период было 700 пожаров (в среднем 88 в год); площадь, пройденная огнем, составила 41 тыс. га, что дает среднегодовую горимость 0,11%, т.е. высокую [5]. Наибольшее количество пожаров (70-90%) возникают весной, поскольку весна в Туве отличается особой сухостью и сильными ветрами. Летом, когда выпадает больше осадков, а травы в преобладающих типах леса находятся в состоянии вегетации (с 10-20.06 по 05.09), пожары случаются редко. На осенний пожарный сезон (с 05.09 по 10.10), который отличается сухой и ясной погодой, приходится 10-30% пожаров.

На территории республики, как по всей Сибири, в настоящее время наблюдается нарастание пожарной опасности, количества и площади действующих лесных пожаров в Туве. Так, всего лишь за короткий период июля по август 2015 г. количество лесных пожаров в Туве, обнаруженных с начала пожароопасного сезона составило 147, а в августе – уже 263. Общая площадь их составила 19631,3 га, из них: лесная – 18289,7, нелесная – 1341,6.

Количество пожаров ликвидированных с начала пожароопасного сезона нарастает – от 116 в июле до 263 в августе, общая площадь – от 13532,8 га до 94085,0 га, в том числе: лесная – от 12674,2 до89394,4, нелесная – от 858,6 до 4690,6 соответственно.

Причинами возникновения являются: от местного населения 89, неконтролируемых степных палов –12, ЛЭП – 1, грозовых разрядов – 45.Пожароопасными месяцами в лесу являются апрель (31% возникающих пожаров) и май (до 49%), в степных экосистемах – март (11%), май (25%) и октябрь (15% от общего числа пожаров) [6].

Степные палы воздействуют на растительность по-разному в зависимости от силы и частоты горения травостоя, интенсивности выпаса. При однократном пале наблюдается быстрое восстановление травостоя. На участке луговой степи количество видов в сообществе за 6 лет повысилось в 2,6 раза, настоящей – в 1,8, сухой – в 2,3. Такой рост числа видов – результат их регенерации из почек или семян. Увеличение роли клональных растений после пала приводит к регенерации видов из подземных органов. При сохранении узлов кущения восстанавливаются такие виды как *Bromopsis inermis, Stipa krylovii, S. capillata, Carex pediformis, Koeleria cristata, Festuca valesiaca* и *Pulsatillapatens.*

В сообществах горевших участков выделяются виды устойчивые к сгоранию: *Bromopsis inermis, Stipa krylovii, S. Capillata Carex pediformis, Pulsatilla patens* и неустойчивые виды – рода *Poa, Dianthus versicolor* и *Helictotrichon altaicum.* Последние сильно повреждаются огнем, т.к. *Dianthus versicolor* имеет тонкие, сухие и быстро сгорающие листья, а *Helictotrichon altaicum* отличается рыхлыми и сухими узлами кущения, которые значительно повреждаются огнем.

В целом после пожара в первое десятилетие отмечается некоторая мезофитизация в растительности. Характерной особенностью пирогенной сукцессии является отсутствие в травостое сорных видов и низших растений. Лишь на участке сухой степи отмечено появление *Parmelia vagans* на 5–6-й год сукцессии. Необходимо отметить, что данные относятся к влиянию однократного сжигания растительности. Если же выжигание производится регулярно, то может произойти смена доминантов. Неоднократное на протяжении многих лет выгорание растительности степей и саванн привело к исчезновению многих видов и в настоящее время они имеют приспособления, предохраняющие их от гибели при пожарах или позволяющие им быстро восстанавливаться.

Основываясь на шестилетнем наблюдении, мы предполагаем, что последействие пожара или пала длится около 10 лет, после чего экосистема возвращается в терминальное состояние. За десятилетие эффект выжигания, по-видимому, теряется, в связи с чем видовой состав фитоценозов и структура растительного вещества полностью восстанавливаются.

Таким образом, пожар или пал воздействует на лесную и степную растительность поразному в зависимости от силы и частоты горения, его интенсивности и последующей погоды. Даже неоднократный пожар или пал в степях приводит к последействию, которое выражается в определенном изменении видового состава сообществ и структуры растительного вещества. В целом одиночный пожар стимулирует продукционный процесс в фитоценозе, что особенно ярко проявилось в подземной сфере и наиболее интенсивно в сухой степи.

Для организации охраны лесов от пожаров в Туве и повышения её эффективности в лесах предлагается: повысить противопожарные профилактические мероприятия; разделить площадь лесхоза на три лесопожарные зоны с учётом транспортной доступности территории. В первой зоне охрана должна строиться на базе автомобильного транспорта с организацией пожарно-химических станций, во второй – на базе конно-вьючного транспорта с созданием конно-пожарных пунктов, в третьей – на базе авиации; для обнаружения пожаров в первой и второй зонах следует создавать сеть наблюдательных пунктов, сохраняя при этом патрулирование; на первой лесопожарной зонепроводит весь комплекс мероприятий: создание противопожарных разрывов и заслонов, проведение профилактических палов, очистка лесосек и т.д.; во второй зоне – расчистка и содержание в проезжем состоянии лесных дорог, особенно к наиболее пожароопасным южным и западным склонам сопок; в третьей зоне – изыскание, строительство и нанесение на патрульную карту вертолётных площадок и мест для приземления парашютистов, расчистка и содержание в хорошем состоянии лесных троп и дорог; разработать и снабдить работников лесной охраны пожарными картами.

Исследования выполнены при поддержке грантов РФФИ
№№ 18-44-170001-«р_а», 19-29-05208

ЛИТЕРАТУРА

1. IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. –Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA (http://www.ipcc.ch).

2. Climate change and climatic features of the 2010 review of the status and trends of climate change Krasnoyarsk region, republics of Khakassia and Tyva in 2010. – Red-Arsk. Krasnoyarsk Hydrometeorological Centre. – 17 s.

3. Куулар Х.Б. Оценка гарей Уюкского хребта на основе данных Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2013. – Т. 10, № 4. – С. 239–244.

4. Коропачинский И.Ю. Влияние пожаров на возрастную структуру и особенности лесовозобновления лиственничных лесов на юге Тувы // Лесной журнал. – 1958.– №5. – С. 110-115.

5. Изменения климата и климатические особенности 2010 г. Обзор состояния и тенденций изменения климата Красноярского края, республик Хакасия и Тыва за 2010 год. – Красноярск: Красноярский Гидрометцентр, 2010. – 17 с.

6. Фуряев В.В., Плешиков Ф.И., Злобина Л.П., Фуряев Е.А. Трансформация структуры и экологических функций лесов Средней Сибири под воздействием пожаров // Лесоведение. – 2004. – № 6. – С. 50-56.

7. Spasojevic M.J., Aicher R.J., Koch G.R and et al. Fire and grazing in a mesic tallgrass prairie impacts on plant species and functional traits // Ecology, 91(6). – 2010. – P. 1651–1659.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ГЕОСИСТЕМ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА ПОД ВЛИЯНИЕМ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Г.П. Скрыльник
skrylnik@tigdvo.ru

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г.Владивосток, Россия

Антропогенные и естественные факторы и процессы по воздействию на геосистемы являются чужеродными, т.е. по своей природе – антагонистами.

Современное глобальное потепление климата достигло пика (по исследованиям Н.В. Ловелиуса и А.Ю. Ретеюма) и начало замедляться и снижаться [1]. Так, «по аналогии с событиями двух закончившихся циклов солнечной активности можно заключить, что сохранение высоких темпов потепления Арктики в обозримой перспективе маловероятно» [7, с. 129]. С этим совпадают и выводы международных экспертов, показывающих, что сейчас идет общее похолодание [2]. Начавшееся похолодание на всей территории Дальнего Востока подтверждается нашими исследованиями [3, 4].

Выполненные теоретические и практические разработки позволили выяснить различные аспекты устойчивости и пластичности дальневосточных геосистем (ГС) на фоне меняющихся климатических изменений, в обстановках противоборствующих взаимодействий континентальности и океаничности. Особое внимание нами было уделено тщательному исследованию морфолитогенетических эфффектов со стороны типичных и аномальных (экстремальных – критических и кризисных, а также реже катастрофических) процессов и факторов.

По данным исследований автора на Чукотке и, в соответствии с опубликованными источниками [3], термокарстовые озера, как индикаторы динамики состояния мерзлотных ландшафтов (но не потепления климата), свидетельствуют о начавшемся сокращении их площадей. На Севере это согласуется также с возрастанием континентальности климата и, соответственно, активизацией физического выветривания и морозобойного трещинообразования.

Облик формирующихся в этих напряженных гидротермодинамических обстановках полярных ландшафтов характеризуется уникальными и неповторимыми чертами – относительно простой организацией, неустойчиво-подвижным функционированием и изменчивой во времени (пониженной-повышенной) устойчивостью геосистем. Именно структурные простые, но жесткие связи обеспечивают устойчивость полярных ландшафтов по отношению к обычным для характерных обстановок естественным воздействиям (типичным, критическим и, реже, кризисным). Полярные геосистемы не выдерживают только катастрофических воздействий (в частности, резких и значительных потеплений и повышенных выпадений атмосферных осадков). В то же время эти ландшафты сильно уязвимы со стороны антропогенных воздействий (механических площадных нарушений

почвенно-растительного покрова, пирогенных воздействий, масштабных обводнений территории, и других), чуждых для полярных средоформирующих обстановок.

Установлено, что в ходе хозяйственного освоения северных территорий и усиливающегося вмешательства в их естественную природную обстановку активизируются все мерзлотные процессы, при ведущей роли термокарста. Особым вкладом в исследовании темы является то, что на Восточной Чукотке, в частности, в обстановке намечающейся континентализации климата и предполагаемой заповедности территории, прослеживаемые природные риски снижаются и геосистемы здесь, как правило, сохраняют свою изначальную устойчивость.

Геэкологически неустойчивыми территориями на Дальнем Востоке являются побережье Японского и Охотского морей, Камчатка, вершинный пояс гор, глубоко врезанные и крутосклонные речные долины материковой суши, и островные территории.

Аномальные явления в континентальных районах Дальнего Востока – ливни и наводнения, обвалы и оползни, пожары и эрозия и т.д.; в прибрежных районах – ливни и наводнения, шторма и штормовые нагоны, абразия и цунами, обвалы и оползни. Максимальные геоэкологические риски связаны с наводнениями и прохождением цунами.

На юге Дальнего Востока усиление и смещение к востоку области континентальности фиксируется многими ее признаками: возрождением древних курумов, где еще недавно они присутствовали только в реликтовых формах [4]; расширением ареала черной березы (яркого индикатора континентальности) к востоку – с Приамурья до главного водораздела хребта Сихотэ-Алинь [5] и далее с выходом на его восточный мегасклон.

Общая тенденция развития ландшафтов юга Дальнего Востока в ближайшем будущем (меллоцене) находится в прямой связи с наметившимся похолоданием и направленно усиливающимся возрастанием континентальности климата и регрессией моря [6]. Направленное усиление континентальности (К) и относительное ослабление океаничности (О), особенно явно со 2-й половины прошлого столетия, протекающие одновременно и сложно переплетающиеся, предопределяют на ближайшее будущее возрастание роли катастроф (в частности, из-за относительного разреживания растительности – т.е. естественных природно-климатических перестроек на высоких уровнях организации геосистем, а также в связи с масштабными антропогенными воздействиями, выходящими за локальные и региональные уровни) в развитии общих и компонентных геосистем. Одновременно с этим, при общем анализе прослеживается, что максимальные морфогенетические эффекты сопоставимых континентальных аномальных явлений и аномальных процессов отмечаются в океанических обстановках, а океанических – в континентальных условиях, но четко фиксируемых по максимальному разнообразию в окраинно-материковой зоне их взаимопроникновения.

Тематические исследования отличаются новизной, в прослеживании устойчивого развития территории, на учете сложного и сквозного комплексирования живого и косного.

В целом, геоэкологические риски на всей территории Дальнего Востока будут возрастать по ходу усиливающейся континентальности и криотизации зимой и аридизации летом всей природной обстановки. Прогноз кризисных ситуаций чаще возможен, что позволяет вносить коррективы в практику оптимального природопользования [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Циклы солнечной активности в Арктике / Н. В. Ловелиус, А. Ю. Ретеюм // Общество. Среда. Развитие. – 2018. – № 1. – С. 128–130.

2. Глобальная служба атмосферы (ГСА) – Global Atmosphere Watch Programme [Электронный ресурс]. URL: https://public.wmo.int/.../programmes/global-atmosphere-watch programme (дата обращения: 16.06.2018).

3. Исследование динамики площади и количества термокарстовых озер в различных районах криолитозоны России по космическим снимкам / В.И. Кравцова, Т.В. Родионова // Криосфера Земли. – 2016. – Т. XX, № 1. – С. 81–89.

4. Скрыльник Г.П. Курумообразование и общая теденция развития рельефа Дальнего Востока / Г.П. Скрыльник // Геоморфология и неотектоника горных областей Дальнего Востока. – Владивосток: ИТиГ ДВНЦ, 1977. – С. 86-88.

5. Куренцова Г.Э. Естественные и антропогенные смены растительности Приморья и Южного Приамурья / Г.Э. Куренцова. – Новосибирск: Наука. 1973. – 231 с.

6. Никольская В. В. О естественных тенденциях развития физико-географических провинций юга Дальнего Востока / В. В. Никольская. – Новосибирск: Наука, 1974. – 127 с.

7. Скрыльник Г.П. Пространство-время в развитии геосистем и природные риски // Арктика и Антарктика. – 2019. – №1. – С. 1-14.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ И ЗНАЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТИХООКЕАНСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ РОССИИ

П.С. Сорокин
paveleco@tigdvo.ru

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г.Владивосток, Россия

Функционирование хозяйственной деятельности, а также комфортность проживания населения в прибрежной зоне Дальнего Востока России существенно ограничивается климатическими характеристиками. Тихоокеанское побережье России отличается от своей континентальной части значительными перепадами температур и ветровой нагрузкой, особенно в зимний период. На побережье исследуемого района расположены крупные населенные пункты, где сосредоточена основная часть населения и производственные центры, которые в различной степени находятся под воздействием низких температур воздуха как природного фактора неблагоприятного для проживания населения и ограничивающего функционирование отдельных видов природопользования.

В работе были использованы данные многолетних наблюдений за температурой по метеостанциям дальневосточного региона, размещенные в базе ВНИИГМИ-МЦД [2]. Показания температуры воздуха были представлены за период с 1900 по 2015 гг. Информация по влиянию отрицательных температур воздуха, воздействующих на физические свойства материалов, определялась путём поиска из научно-периодических, справочных и нормативных документов, используемых при строительстве. Интерпретация полученных данных осуществлялась посредством сравнительно-описательного метода с последующим анализом.

На основании выборки показаний температуры по метеостанциям, расположенным на Тихоокеанском побережье России были определены средние значения температур и составлены графики (рис. 1, 2).

Из приведенных рисунков 1 и 2 можно отметить, что наблюдается тенденция понижения температуры воздуха, как за январь, так и за год в широтном направлении (с юга на север). Отчетливо это прослеживается для материкового побережья Японского моря. В Охотском море более низкие температуры воздуха характерны для северо-восточных прибрежных районов (Каменское - Гижига). Для побережья Берингова моря наиболее холодным (по показаниям температуры воздуха) является прибрежный район Анадырского залива.

Для общего представления об отрицательных температурах воздуха, можно рассмотреть охлаждающее влияние погодных условий как фактор комфортности проживания населения и функционирования различных видов природопользования [1]. Здесь будет уместно выделить диапазоны температур воздуха отрицательно сказывающиеся на организации хозяйственной деятельности и эксплуатации транспортных систем. Напри-

мер, для характерных температурных изменений (-17 до -23 °С) в рассматриваемый временной период на побережье Охотского моря будет существенно затруднено проведение строительно-монтажных работ и наблюдаться удорожание транспортных перевозок. А в некоторых районах, например в северных районах побережья Берингова моря, даже возможно исключение использования наземного транспорта.

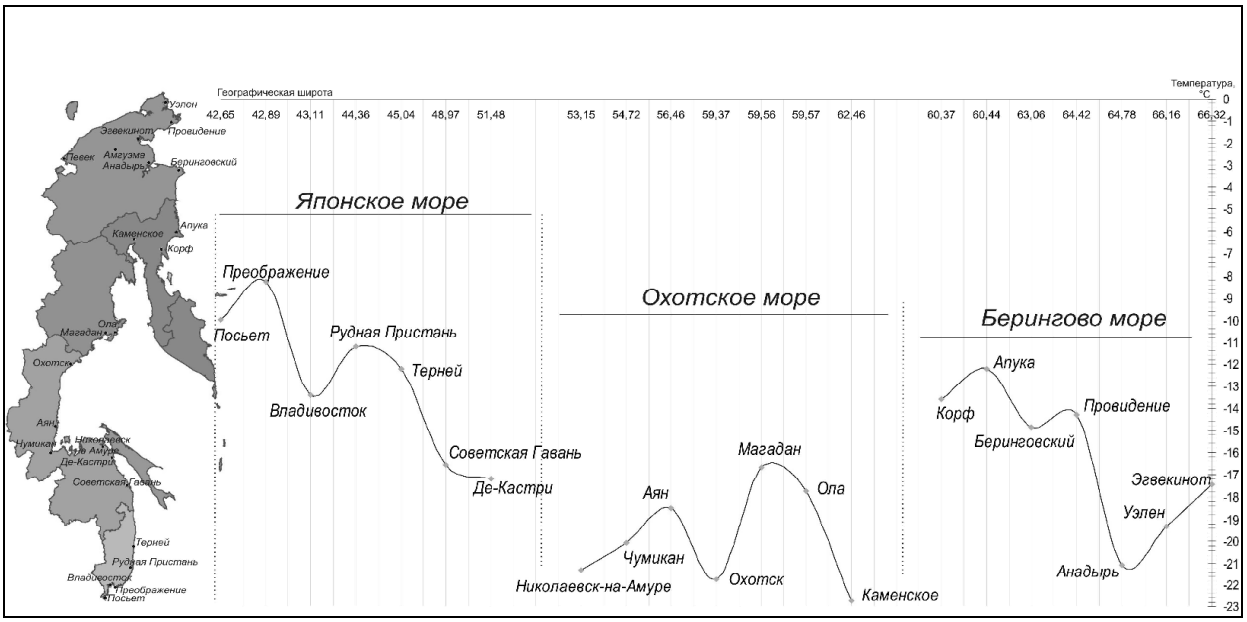


Рис. 1. Среднегодовая температура на Тихоокеанском побережье за январь

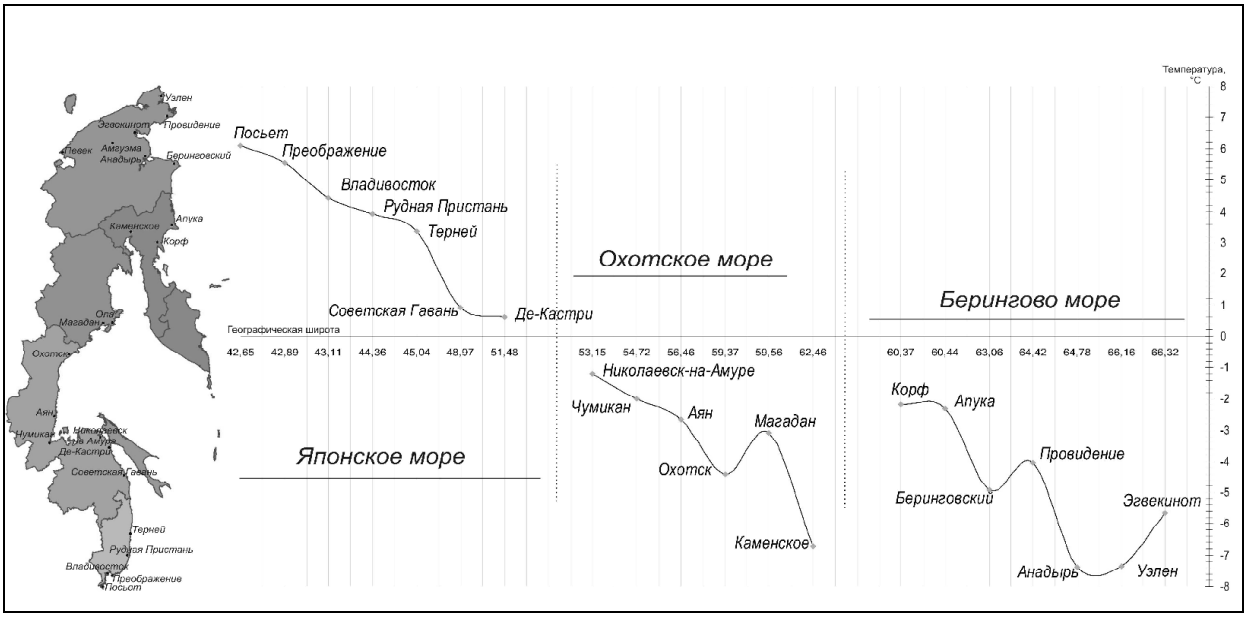


Рис. 2. Среднегодовая температура на Тихоокеанском побережье

В широтном направлении на север параллельно с уменьшением температуры воздуха сокращается и продолжительность безморозного периода (рис. 3). Эти показатели наряду с ограничениями навигационных (ледовых) условий для судоходства сказываются на работе портовых комплексов, наземном транспорте и комфортности условий для проживания.

С продвижением на Север осложняется течение многих заболеваний человека, например органов дыхания, особенно среди детей. Кроме того, низкие температуры воздуха являются причиной для сокращения рабочего графика дня занятых на открытом воздухе в различных производствах и коммунальных службах [3], увеличению количества сжигае-

мого топлива автотранспортом и отопительных системах. Выполнение ряда строительно-монтажных работ при низких температурах также затруднено вследствие опасения причинения вреда не только здоровью работников и выхода из строя техники, но и серьёзных нарушений технологии производства. Например, при температуре воздуха от -5 до +5°С исключается проведение антикоррозийной обработки металлических элементов на объектах строительства. При такой температуре воздуха на поверхности металла образуется конденсат, препятствующий сцеплению краски с металлом.

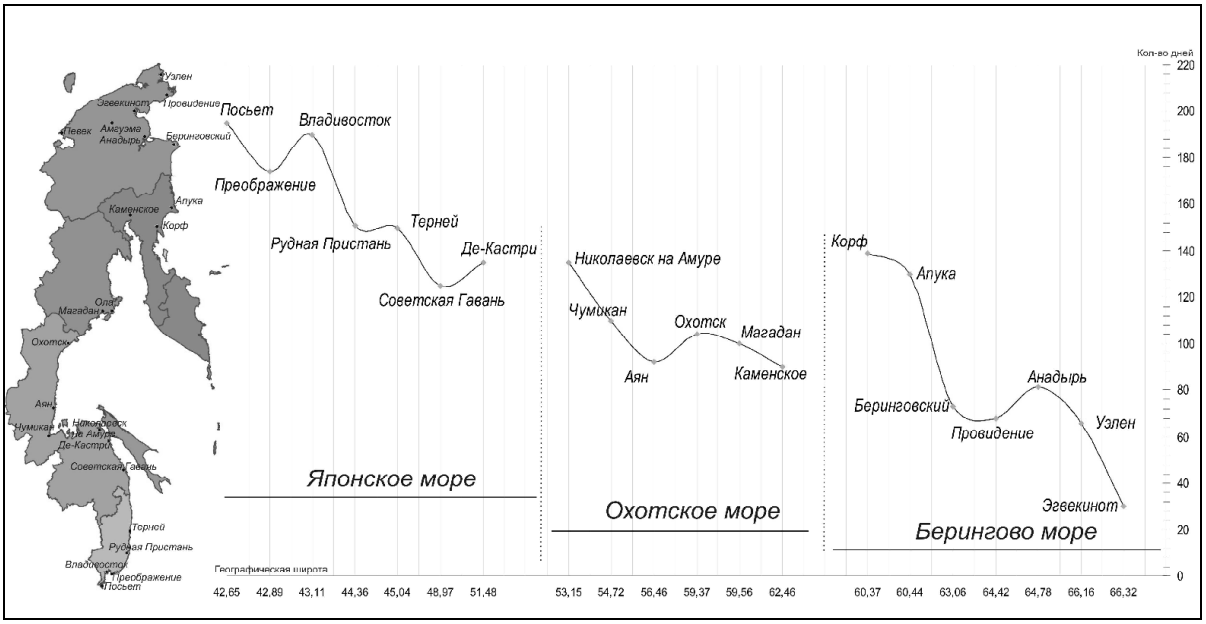


Рис. 3. Продолжительность безморозного периода на Тихоокеанском побережье

Общеизвестно, что при продолжительной низкой температуре обычные материалы, используемые в строительстве и быту, теряют свои свойства и в конечном итоге становятся непригодными для дальнейшего использования (табл. 1.). Поэтому происходит удорожание их себестоимости из-за технологических приёмов защиты от низких температур окружающего воздуха или замена этих обычных материалов на более дорогостоящие, специально предназначенные для использования в северных и арктических районах. Экстремальные температуры некоторых материалов, широко используемых в строительстве, промышленности и быту, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Влияние низкой температуры воздуха на некоторые материалы, топливо и технические устройства

Наименование материала, топлива / устройство	Экстремальная температура, ^{o}C	Примечание
Металл (сталь)	-40	Металл становится хрупким, вследствие изменения однородной структуры
Пластик	-40	Изделия из пластика становятся хрупкими
Силикон	-40	Силиконовый эластомер (компонент электротехнических схем и изделий) теряет эластичность
Дизельное топливо (зимнее)	-35	Температура помутнения для умеренной климатической зоны
Металл (сталь)	-30	Разрушаются металлические конструкции техники
Резинотехнические изделия	-25	Резина теряет эластичность и становится хрупкой

Наименование материала, топлива / устройство	Экстремальная температура, ^{o}C	Примечание
Искусственная кожа	-25	Теряет первоначальные качества (портится)
Термопласт (ПА6)	-20	Разрушается
Аккумуляторная батарея	-15	Разряжается
Двигатель внутреннего сгорания	-15	Пуск двигателя приводит износу соответствующему в 18-26 км пробега
Дизельное топливо (летнее)	-5	Температура помутнения для умеренной климатической зоны
Аккумуляторная батарея	-5	Работает нестабильно, требуется постоянная подзарядка
Двигатель внутреннего сгорания	0	На 25% увеличивается нагрузка на работу агрегатов двигателя
Резиновые изделия	0	Становятся жесткими
ПВХ	0	Становятся жесткими и ломкими
Дисковые и магнитные носители	17	Оптимальные условия хранения
Бумага	18	Оптимальные условия хранения

Для использования автомобильной техники экстремальной температурой принято считать отметку -25 °С. Строительные краны предназначены в большинстве своих модификаций на работу при температуре воздуха от -40 до +40°С, но их условия использования ограничивается правилами труда для машинистов. По условиям труда в холодное время, принимаются показатели климатической зоны и погодные условия (скорость ветра и т.п.). При температуре воздуха ниже -10°С технологический цикл не постоянен, т.к. предусматриваются регулярные перерывы работников в теплых помещениях [3].

Температура воздуха оказывает влияние на функционирование автодорожного покрытия и железнодорожных путей. Наряду с другими климатическими условиями (промерзание почвы, глубина залегания подземных вод и др.) резкое изменение температуры воздуха сказывается на качестве и сроке службы транспортных путей. В зависимости от климатических условий применяются специальные технологии строительства для северных территорий и специальные композитные материалы для конструктивных элементов транспортного полотна.

Частые изменения температуры воздуха приводят к существенным затратам при возведении и эксплуатации жилых и производственных строений. Согласно нормативных требований, в северных районах увеличивается толщина стенового материала, применяется гидроизоляция фундамента и производится утепление. Если строения возводятся из влагопоглощающего материала (кирпич, бетон и др.) требуется гидрофобизирующая обработка поверхности, например кремний-органической жидкостью или применение специальных фасадных систем.

При температуре воздуха ниже +5 °С строительные работы принимаются как проводимые в зимний период. По строительным документам побережьем принято считать полосу суши шириной до 10 км. В соответствии сметных норм дополнительных затрат при производстве строительно-монтажных работ для Тихоокеанского побережья России, зимний период в строительстве начинается с ноября (южная часть) и оканчивается в середине мая (северные районы побережья). Он же и начинается в северных районах (северо-запад п-ова Камчатка и побережье Тауйской губы) значительно раньше – в конце сентября.

На основании анализа динамики показаний температуры за наиболее холодный зимний месяц, можно сделать некоторые выводы, конечно требующие дополнительных подтверждений и вычислений биоклиматических показателей:

1. Наибольшие отрицательные значения температуры воздуха за январь отмечены на западном и восточном материковом побережье Охотского моря, а также в его срединной части, что вероятно обусловлено охлаждающим влиянием и ледовитостью бассейна этого моря.

2. Продолжительность безморозного периода резко снижается в направлении на Север на отметке 52° с.ш., и соответствует менее 140 дней в год.

3. Наиболее суровые условия по температуре воздуха и очень короткому безморозному периоду отмечаются на побережье Берингова моря севернее от 64 ° с.ш.

4. Согласно действующих норм охраны труда, низкие температуры воздуха оказывают негативное влияние на организацию различных видов хозяйственной деятельности на открытом пространстве, сокращая производительность, а наряду с этим приводя к удорожанию услуг и продукции района исследования.

5. Для некоторых видов строительства и транспортной инфраструктуры, температура воздуха в зимний период является исключающим фактором осуществления деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев С.С. Интегральная оценка климатической комфортности на примере территории Южного Федерального округа России. – СПб. РГГМУ, 2011. – 304 с.

2. Веселов В.М., Прибыльская И.Р., Мирзеабасов О.А. Специализированные массивы для климатических исследований ВНИИГМИ-МЦД http://aisori-m.meteo.ru/waisori/

3. МР 2.2.7.2129-06 Режимы труда и отдыха работающих в холодное время на открытой территории или в неотапливаемых помещениях. Дата введения 2006-11-01.

ИЗУЧЕНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ДИНАМИКИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СЕВЕР МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

А.Б. Спиридонова, О.В. Анисимова
naspiri@yandex.ru

Университет «Дубна», г.Дубна Московской обл., Россия

Дистанционные методы являются комплексным источником информации, позволяющим консолидировать информацию и решать природные, ресурсные и экологические проблемы территорий с любым уровнем генерализации. Использование космических снимков дает возможность специалистам увидеть, понять и более достоверно отразить на тематических картах, происходящие процессы на территории, связанные с повышением антропогенной нагрузки [1].

Для получения комплексной тематической информации необходимо интегрировать визуальное и компьютерное дешифрирование, каждое из которых имеет свои достоинства и ограничения. Так, визуальное дешифрирование снимков на экране компьютера с успехом дополняется автоматизированной обработкой, при этом позволяет улучшить дешифровочные свойства снимков, либо быстро и детально выделить четко изобразившиеся объекты [4].

Эталон дешифрирования представляет собой дешифрированный в поле на ключевом участке ландшафта КС (или его часть). Он служит образцом для камерального дешифрирования других КС данного ландшафта путем экстраполяции дешифровочных признаков.

Таким образом, был создан набор обучающих эталонов для всех необходимых классов объектов, встречающихся на изображении (рис. 1).

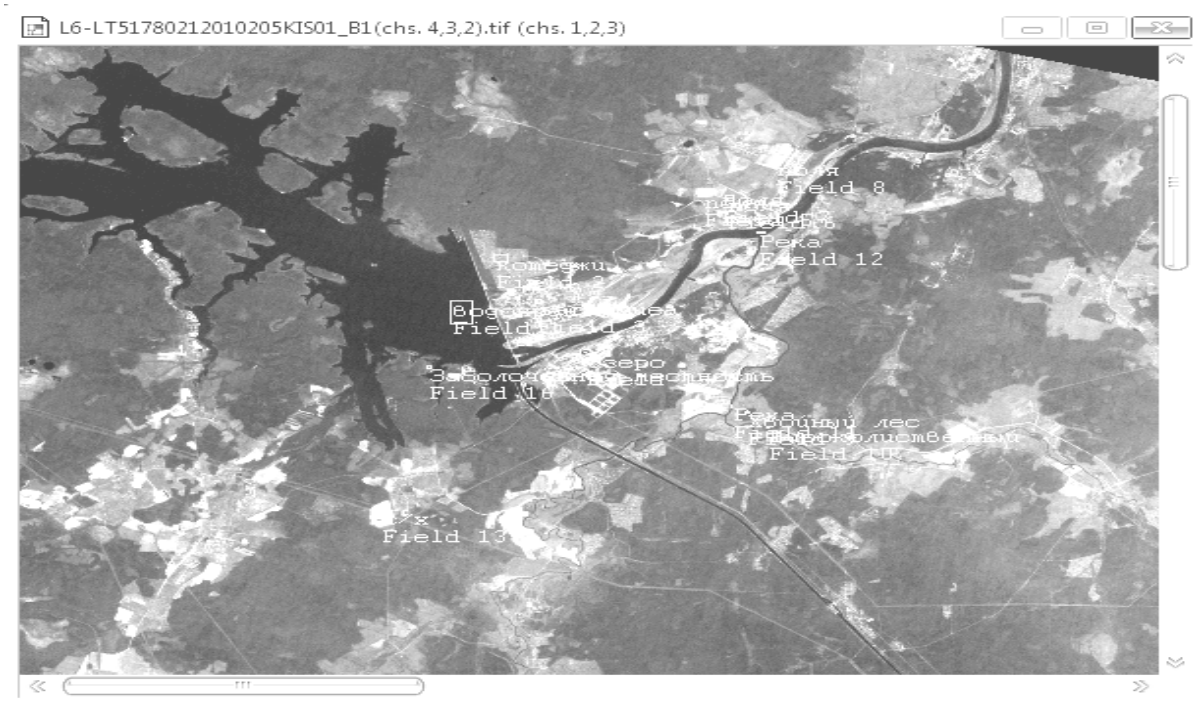
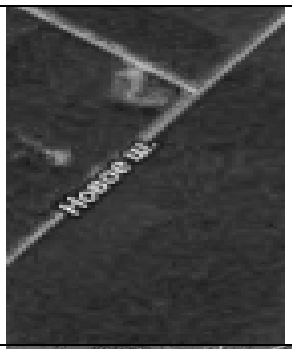
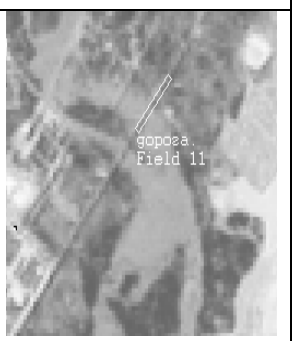
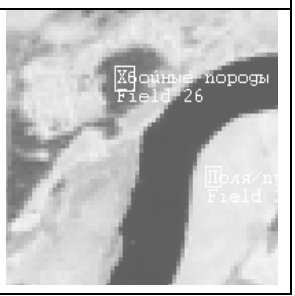


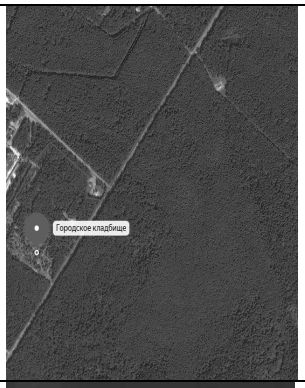
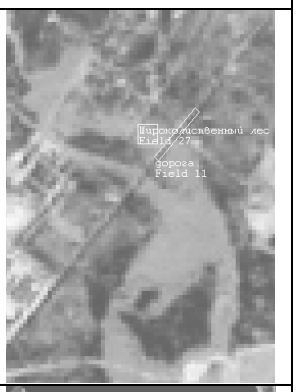
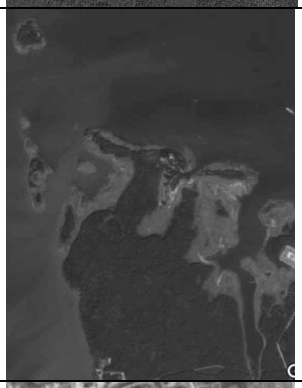
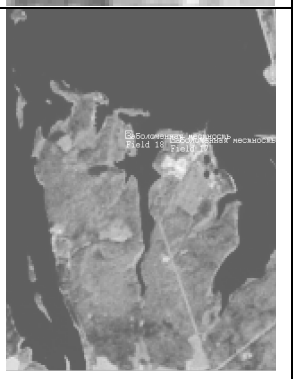
Рис. 1. Результат создания набора обучающих эталонов

Для некоторых классов было определено несколько эталонов, что позволило повысить вероятность более точного автоматического дешифрирование. тк такие объекты как озеро, река и водохранилище имеют разную отражательную способность и при синтезе каналов это было выявлено.

На основе выбранных эталонных участков был построен дешифровочный атлас, отражающий все необходимые характеристики (табл. 1). Данный атлас состоит из 11 объектов, которые будут служить экстраполяцией дешифровочных признаков для дешифрирования аналогичных объектов, расположенных в пределах участка съемки.

Таблица 1. Дешифровочный атлас эталонных участков (частично представлен)

Объект	Координаты	Описание участка	Пример1	Пример 2
Дороги	56.721096 – 56.721358; 37.169927 –37.170430	Новое шоссе – региональная дорога в городе Дубна.		
Хвойный лес	56.914424 – 56.914681, 35.955824 – 35.956338	Хвойный лес рядом с деревней Крева. Кимрский район, Тверская область.		

Объект	Координаты	Описание участка	Пример1	Пример 2
Широколиственный лес	56.914424 – 56.914681, 35.955824 – 35.956338	Широколиственный лес рядом с городским кладбищем г. Дубны.		
Заболоченная территория	56.732354 – 56.733768, 37.083546 – 37.084959	Алешинский залив Конаковский район, Тверская область.		
Антропогенная деятельность	56.914424, 56.914681; 35.955824 – 35.956338	За эталонный участок антропогенной деятельности была принята территория правого берега г.Дубны имеющий разные виды застройки и антропогенную нагрузку		
с/х угодия	56.9146811 421442 – 56.914681; 35.955824 –35.956316	Сельхоз поля неподалёку от деревни Демидовка. Кимрский район, Тверская область.		

После того, как набор эталонных участков разных классов подготовлен, можно приступать к выполнению самой классификации. При окончании вычислений можно посмотреть результаты классификации (табл. 2).

Таблица 2. Результатов классификации

Project Class Name	*Reference Class Number*	*Accuracy, %*	*Number Samples*
Крупные водные объекты (более 19 м)	1	99.9	888
Коттеджи	2	89.7	195
Антропогенная деятельность	3	91.7	72
Поля/пустынная местность	4	85.6	167
Хвойный лес	5	100.0	30
Широколиственный	6	100.0	20
Средние водные объекты (от 10 до 19 м)	7	100.0	46
с/х	8	100.0	165
Мелкие водные объекты (от 1 до 10 м)	9	87.5	8
Заболоченная местность	10	86.7	30

Таблица, напечатанная в текстовом окне, содержит информацию о том, насколько качественно были классифицированы пиксели каждого класса. Параметр Accuracy (Точность) должен быть около 100% для всех обучающих эталонов. Если же этот параметр имеет низкое значение, меньше 50% у какого-то класса, то это значит, что для него надо переназначить эталонные участки [2].

В связи с тем, что результаты классификации являются удовлетворительными, то было произведено классификация всего изображения по эталонным участкам. В связи с чем была произведена корректировка эталонов и ввод других участков. После получения автоматически отдешифрированной карты, соответствующей местности изучаемой территории, были скорректированы цвета и надписи. Полученный результат можно видеть на рисунке 3.

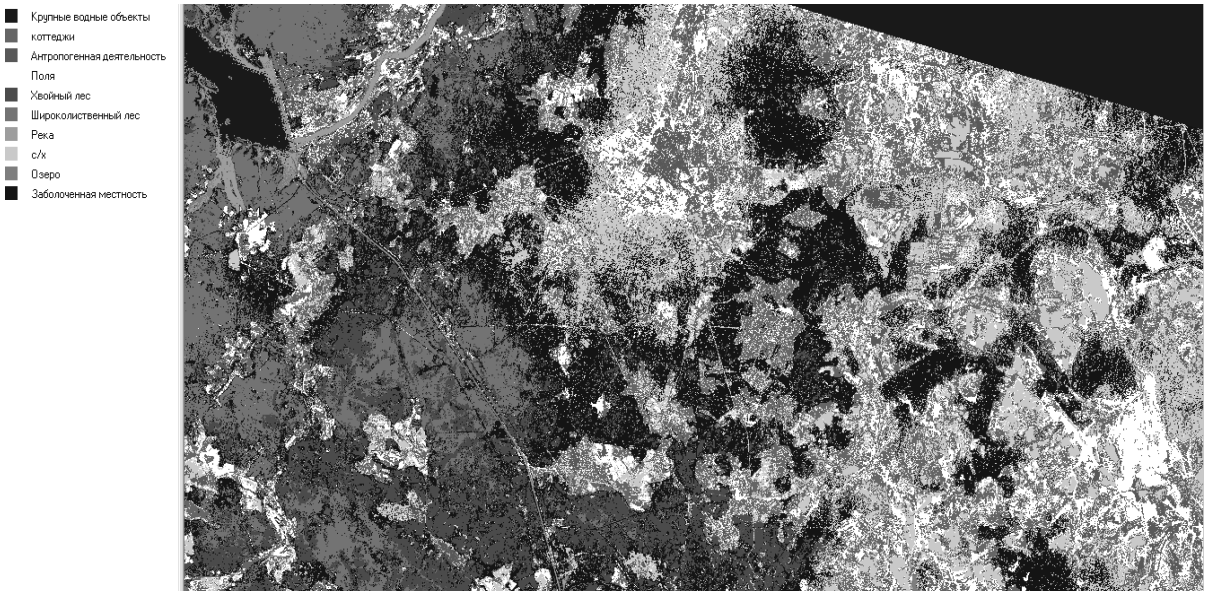


Рис. 3. Графический результат классификации

Таким образом, была произведена классификация снимков по разным годам: 1989, 1995, 2001, 2007, 2010, 2018. В связи с чем, была исследована динамики изменения территории по следующим характеристикам: городская застройка, коттеджи и дачные участки, поля различного назначения, растительный покров в пределах городской застройки или дачных участков (рис. 4).

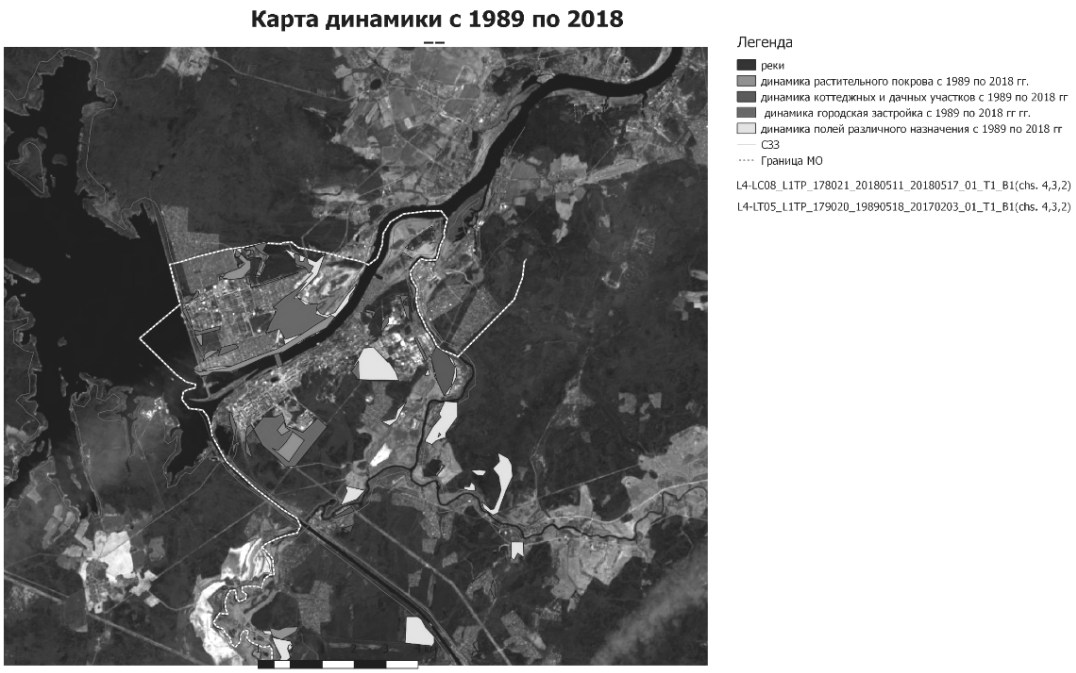


Рис. 4. Карта динамики города Дубны за период с 1989 по 2018 гг.

Также была произведена оценка антропогенного воздействия на изучаемую территорию, где общее изменение динамики за 30 лет не превышает 5% в количественном соотношении и 7% в качественном (табл. 3).

Таблица 3. Оценка антропогенного воздействия

Факторы воздействия	1989 май	1995 май	2001 май	2007 май	2010 май	2018 май
Изменение состояния дорог (%)	0	2	0	1	2	1
Застройка (%)	0	4	1	1	3	1
Изменение лесного массива (%)	0	Умен. на 2	Умен. на 2	0	0	Увелич. на 2
Подтопление (%)	0	Умен. на 3	Увелич. на 1	0	Умен. на 2	Увелич. на 1

Данные системы позволяют улучшить дешифровочные свойства снимков, быстро и детально выделить отобразившиеся объекты. Идеально подходят для разделения объектов разного типа, определения границ между ними. При работе имелись некие недостатки, которые выявились в ходе дешифрирования Талдомского района, в связи с чем, было увеличено количество эталонных участков и расширены их границы, что в итоге привело к удовлетворяющему результату.

ЛИТЕРАТУРА

1. Губин В.Н. Дистанционные методы зондирования. — Мн.: Учеб. Пособие. 2006. 127 с.

2. GIS-Lab: Обработка многозональных космоснимков в MultiSpec.— Электронный ресурс: http://gis-lab.info/qa/multispec-sat.html#cite_note-Ref01-0. Режим доступа: Свободный. Дата обращения 15.12.2018.

3. An introduction and reference for MultiSpec. — Электронный ресурс: https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/MultiSpec_Intro_9_11.pdf. Режим доступа: Свободный. Дата обращения 19.12.2018.

4. MultiSpec exercise: Supervised classification. — Электронный ресурс: https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/tutorials/MultiSpec_Exercise_4.pdf. Режим доступа: Свободный. Дата обращения 20.12.2018.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЯПОНИИ НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА ХОККАЙДО

Ю.В. Ставропольский
abcdoc@yandex.ru

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г.Саратов, Россия

Климат в Японии меняется. Наблюдаемые увеличения температур суши и моря в сочетании с изменением режима осадков преобразуют окружающую среду и в перспективе ведут к далеко идущим социально-экономическим и природным последствиям. Температурное потепление, повышение уровня моря, изменившиеся режимы выпадения снега и дождя, и природные катаклизмы угрожают оказать на Японию многостороннее воздействие, в частности, затронув сельское хозяйство, здравоохранение, инфраструктуру, туризм, лесоводство, миграции в дикой природе, рыболовство, отражаясь даже на национальной культурной идентичности.

Глобальный подъём уровня моря в XX веке оценивается в 0,17 м. В настоящее время ежегодно вдоль азиатского побережья уровень моря поднимается на 1 – 3 мм. С середины 1980х гг. уровень моря вдоль японской береговой линии поднимается ускоренным темпом 3,3 мм в год, а после 1993 года – 5,0 мм. Максимум подъёма уровня моря зафиксирован в порту Кусиро на острове Хоккайдо, где ежегодно в период с 1970 по 2003 год уровень моря повышался на 9,3 мм.

Перспективы климатических изменений предвещают к 2100 году дополнительный подъём уровня моря по разным оценкам на 0,18 – 0,58 м. Эти оценки представляются преуменьшенными. На протяжении XXI столетия ожидается ежегодное повышение уровня моря в восточной Азии на 5 мм. Такой масштабный подъём уровня моря угрожает 34 тыс. км японской береговой линии, вдоль которой располагается значительная доля японского населения и хозяйственной деятельности. Среди стран, имеющих выход к морю, Япония находится на шестом месте по густонаселённости регионов, располагающихся в 10 км вблизи моря. В Японии в данной зоне проживают более 30 млн. чел.

Приморские муниципалитеты занимают 32% территории Японии, но в них проживают 46% населения страны, располагается 47% промышленного производства, 77% доходов розничного бизнеса приходятся на приморские регионы. К сожалению, уровень моря повышается не изолированно. Повышение уровня моря сопровождается усилением штормовых приливов, тайфунов, цунами, эрозией прибрежной зоны Японии, угрожающими приморским поселениям и хозяйственной продуктивности.

Повышение уровня моря чревато паводками и затоплениями, усилением наводнений, проникновением солёных вод в реки и подземные водоносные горизонты. От последствий повышения уровня штормовых приливов, паводков и наводнений, а также от проникновения приливных вод в эстуарии и речные системы страдают люди и дикая природа. Достаточно среднего повышения уровня моря на 0,3 м, чтобы уничтожить более половины японских песчаных взморий. Повышение уровня моря на 1 м повлечёт за собой исчезновения 90% отлогих морских берегов вместе с большинством приливных болот, в которых кормятся перелетные птицы. Мероприятия по предотвращению повышения уровня моря на 1 м будут стоить японскому правительству 115 млрд. долл. США. Ресур-

сы, которые оказываются подвержены риску при повышении уровня моря на 1 м, оцениваются более, чем в 1 трлн. долл. США.

Климатические изменения окажут на человечество многоаспектное воздействие, как непосредственное, например, периоды сильной жары, наводнения и штормы, так и опосредованное, в частности, изменится качество воздуха и воды, прекратится обслуживание экосистем, а также произойдёт общественный и хозяйственный упадок. Прогностическое моделирование регионального климата сулит усиление интенсивности периодов сильной жары в Японии. Повышение температуры воздуха способно спровоцировать ускоренное старение населения вследствие теплового стресса и распространения инфекционных заболеваний. Кроме этого, повышение температуры способно вызвать распространение трансмиссивных заболеваний и заболеваний, передаваемых через воду.

В Японии наблюдается расширение естественной среды обитания комаров, что угрожает распространить тропическую лихорадку на остров Хоккайдо. Также повышение температуры улучшит условия роста болезнетворных организмов и паразитов. В Японии уже сегодня наблюдаются повышенные уровни чрезвычайных ситуаций, связанных с теплом, учащение случаев аллергии на пыльцу японского кедра и связанных с аллергией заболеваний.

В условиях погодных и климатических изменений возрастает вероятность более интенсивных и учащающихся погодных катаклизмов, таких как штормы, засухи и наводнения, почти всегда серьёзно воздействующие на японское народное хозяйство вследствие повышенной плотности населения и концентрации экономических активов. Соответственно, стоимость жизни в Японии дорожает, ибо сопряжена с усиленной потребностью в защите от природных катастроф. Азия в особенности уязвима для природных катаклизмов, и Япония далеко не исключение.

Изменения климата усугубляют и без того существенную уязвимость Японии перед такими экстремальными погодными явлениями, как тайфуны и прибрежные штормы, ибо потенциальная скорость ветра при тайфунах в Японии усилится на 6%. Потери страховых организаций из-за сильнейших японских тайфунов сегодня оцениваются 15 – 20 млрд. долл. США, обещая увеличиться ещё на 10 – 14 млрд. долл. США, вдвое превысив издержки, вызванные сезоном тайфунов в 2004 году, который оказался наиболее разорительном за последние сто лет. За последние сорок лет хозяйственные потери Японии, связанные с погодными причинами, выросли десятикратно. Тайфуны опустошительно воздействуют на японский рынок страховых услуг. Потери японского страхового сектора из-за тайфунов оцениваются в среднем в 4 млрд. долл. США. В 2004 году три тайфуна причинили ущерб на 14 млрд. долл. США.

От климатических перемен в Азии в первую очередь страдают водный и аграрный секторы. Увеличение температуры и изменение режима выпадения осадков пагубно воздействуют на водосборные площади, на обслуживаемые экосистемы, в частности, на фильтрацию воды и на сельскохозяйственные культуры. Изменившиеся количество и распределение осадков в сочетании с повышенными температурами значительно воздействуют на доступность и качество воды. Более тёплые температуры и уменьшившиеся объёмы воды оказывают вредоносное влияние на японские пресноводные озёра, ибо ухудшается качество воды, увеличивается концентрация химических соединений, от которых страдают рыба и посевы.

Изменения в водных ресурсах способны влиять на социально-хозяйственный и природоохранный секторы, прежде всего, на здравоохранение, государственную безопасность, биоразнообразие, сельское хозяйство и промышленность. Воздействие более тёплых температур на японское сельское хозяйство проявляется в том, что климат острова Хоккайдо, изменившись, стал благоприятен для рисоводства, перестав быть благоприятным для плодоводства. Температурное потепление негативно отразилось на ряде плодовых культур. По всей Японии отмечаются случаи, когда виноград не краснеет, а у персиков образуется коричневая мякоть.

Вызванное изменением климата температурное потепление воды отражается на протекании экологических процессов, в первую очередь на географическом распространении морской фауны, приводя к сокращению, а подчас – к вымиранию отдельно взятых биологических видов. Остров Хоккайдо считается наиболее северным рисоводческим регионом в Азии, образуя границу распространения рисовой культуры. Температурное повышение на 1°C способно вызвать увеличение урожайности риса на 6%. С другой стороны, с учётом таких факторов, как скорость ветра и солнечная радиация, при удвоении содержания углекислого газа в атмосфере, ожидается падение урожайности риса в орошаемых долинах центральной и южной Японии на 40%. При этом урожайность риса на острове Хоккайдо возрастёт. Учитывая изменения в режиме осадков и влажности почвы, это продлится недолго, а может и вовсе не произойти.

Климатические изменения отразятся и на морской, и на пресной воде во всей Японии, что приведёт к переменам в режиме питания японцев. Изменится распределение рыбных популяций. Наибольшие рыбные запасы образуются в северной части Берингова моря. Тихоокеанская сайра мигрирует от японского побережья на север. Воздействие температуры на метаболизм и размножение рыб может изменить пищевые эффекты баланса хищник-добыча, ибо уровни содержания питательных веществ в водах изменятся.

В силу того, что дрейфующий лёд создаёт богатую океаническую среду, которая способствует ледяным водорослям, тем самым образуя первичное звено в океанской пищевой цепочке, то изменение сроков отступления льда повлияет на добычу рыбы, а затем и на рыбную промышленность Японии. Сегодня морские воды, омывающие Японские острова, представляются одними из богатейших рыбными запасами в мире, в первую очередь, благодаря слиянию субтропического Японского течения Куросио и субарктического Курильского течения Оясио. В XXI веке Япония может столкнуться со значительным сокращением уловов.

Сокращение морского льда и снежного покрова, вероятно, вызовет решительные изменения зимнего туризма, негативно сказавшись на горнолыжных курортах Нисэко на острове Хоккайдо, без которых Хоккайдо утратит свой очарование. Сокращение морского льда и снежного покрова возникает вследствие сочетанного эффекта температурного повышения и изменений океанских течений. Город Абасири на острове Хоккайдо – самый южный регион мира, куда достигают дрейфующие льды. Есть риск того, что он окажется первым в мире регионом, где плавучие льдины исчезнут.

На острове Хоккайдо располагаются самые обширные в Японии территории, покрытые дикорастущими растениями, от прохладных лесов в умеренном климате на юге до субарктических экосистем на севере. В равнинных лиственных лесах обитают свыше 200 видов птиц. Кроме того, Хоккайдо – единственный регион в Японии, где существует популяция бурых медведей. Климатические изменения ставят под угрозу данные природные ареалы. Наиболее сильное негативное воздействие климатические изменения произведут на прибрежные и морские экосистемы, на леса и на горные районы.

Сегодня более 20% млекопитающих, амфибий, солоноводных и пресноводных рыб, а также сосудистых растений, обитающих либо произрастающих в Японии, уже находятся под угрозой вымирания. Среди них 20% видов рептилий и 10% видов птиц. Климатические изменения усугубляют положение. Температура продолжает повышаться, что создаёт наибольшую угрозу в первую очередь для тех видов, которые обитают на высокогорных возвышенностях острова Хоккайдо. Например, пищуха – горный вид под угрозой вымирания. В Японии пищухи занесены в Красную книгу. В некоторых регионах мира пищухи уже полностью вымерли.

В процессе температурного потепления отдельные виды лесных деревьев мигрировали в более возвышенные районы и ныне вторгаются в альпийские луга. В последнее время на острове Хоккайдо наблюдается сокращение распространения альпийских растений. Если эта тенденция не прекратится, то Япония может лишиться большей части своих ставших такими символичными альпийских лугов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Duan W., He B., Takara K. et al. Changes of precipitation amounts and extremes over Japan between 1901 and 2012 and their connection to climate indices // Climate Dynamics. – 2015. – No. 45 (7–8). – P. 2273 – 2292.

2. Kishodai T. K. The Climate of Japan. – New York: Sagwan Press, 2018. – 184 p.

3. Takahashi K., Sato M., Hijioka Y. Trends and Issues of Climate Change Education in Japan // Implementing Climate Change Adaptation in Cities and Communities. Climate Change Management. Ed. by W. Leal Filho, K. Adamson, R. Dunk, U. Azeiteiro, S. Illingworth, F. Alves. – Cham: Springer, 2016. – P. 303 – 320.

4. Tsurita I., Prabhakar S. V. R. K., Sano D. Approaches to Climate Change Adaptation: A Case Study of Agricultural Initiatives in Japan // Governance Approaches to Mitigation of and Adaptation to Climate Change in Asia. Ed. by H. Ha, T. N. Dhakal. – London: Palgrave Macmillan, 2013. – P. 87 – 102.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО АЛТАЯ

М.Г. Сухова, Е.О. Чернова, О.В. Журавлева, М.А. Лукашева
mar_gs@ngs.ru, garms@ngs.ru, Chuch2@mail.ru

Горно-Алтайский государственный университет, г.Горно-Алтайск, Россия
Институт водных и экологических проблем СО РАН, г.Барнаул, Россия
Алтайский государственный природный биосферный заповедник, г.Горно-Алтайск, Россия

Актуальность. Климатические изменения входят в число острейших проблем, стоящих перед человечеством. Мировое сообщество всерьез обеспокоено ростом числа стихийных бедствий, огромными ущербами от наводнений засух и пожаров, которые являются следствием происходящих изменений в окружающей среде [3-6]. Согласно докладу об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год, на всей территории РФ в целом за год и во все сезоны продолжается потепление. Средняя скорость роста среднегодовой температуры воздуха на территории России в 1976-2017 гг. составила 0,46 °С /10 лет. Это в 2,5 раза больше скорости роста глобальной температуры за тот же период: 0,18 °С /10 лет [2].

В заявлении Всемирной метеорологической организации о состоянии глобального климата в 2015 году отмечается, что «одним из самых действенных средств для адаптации к последствиям изменения климата является укрепление систем заблаговременных предупреждений о бедствиях и климатического обслуживания» [3]. Для Алтая в целом отмечается повышение среднегодовой и среднесезонной температуры воздуха, незначительные, но разнонаправленные изменения в режиме увлажнения [1,7]. Изучение региональных проявлений изменений климата в горных территориях необходимо для того, чтобы детализировать общую картину.

Объект и методы. Динамика климатических изменений изучалась на основе использования многолетней метеорологической информации (52-летний период). Для корректного анализа временного распределения основных метеорологических показателей были использованы ежедневные данные наблюдений оперативно-наблюдательных подразделений Горно-Алтайского ЦГМС – филиала ФГБУ «Западо-Сибирского УГМС» по метеостанции Яйлю и Турочак, а также данные, размещенные на официальном сайте ВНИИГМИ МЦД (URL: http: www.meteo.ru.climate.sp_clim.php).

Результаты исследования и их обсуждение. Проведенные расчеты годовой температуры воздуха в календарных рамках позволили установить значительный положи-

тельный линейный тренд. Так, по данным метеостанции Яйлю (479 м), величина повышения среднегодовой температуры воздуха за 52 года (1967-2018 гг.) на основе линейных трендов составила 1,5 °С (рис. 1).

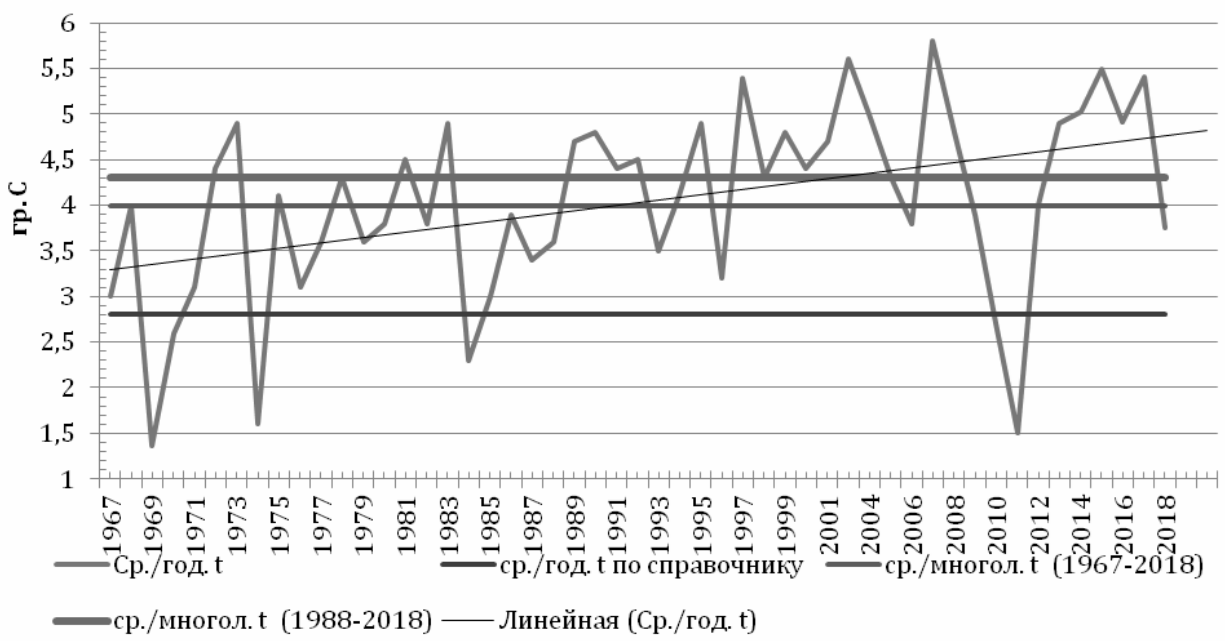


Рис. 1. Динамика среднегодовой температуры воздуха, МС Яйлю

Средняя многолетняя температура этого периода 4 °С, что на 1,2 °С выше климатической нормы по справочным данным, однако на 0,3°С ниже аналогичного показателя за последние 30 лет. Это объясняется увеличившимися темпами потепления, начиная с 1997 года. Однако отклонения температуры от нормы в средних годовых показателях не отражают полную динамику термического режима в течение годового цикла. По сезонам года местные циркуляционные условия могут изменяться довольно значительно: от преобладания антициклональной, малооблачной и сухой погоды зимой до неустойчивой циклональной погоды с чередованием волн тепла и холода, осадками весной и осенью.

В условиях горной территории погодные (и климатические) характеристики еще более дифференцируются под влиянием рельефа, что находит отражение и в особенностях термического режима. Таким образом, наиболее объективная картина отклонения температуры воздуха он нормы раскрывается при сезонном анализе. Анализ динамики среднесезонных изменений температуры воздуха показал неоднородность изменений в течение года (рис. 2).

Наибольшая положительная тенденция наблюдается в летний период и составляет 2,5 °С. Хотя за последние 52 года средняя температура лета повысилась, изменение ее далеко не однородно, можно констатировать значительные флуктуации. Так, в 1982 году в Яйлю средняя температура лета составляла 10,2 °С, в 2013 – 19,7 °С. За текущее десятилетие она изменялась в пределах от 14,4 °С до 19,5 °С.

Для весеннего сезона характерна большая изменчивость температур: на графике линии имеют изрезанный вид. Относительно теплые весны сменяются более холодными. В целом за 52-летний период весной отклонение температуры воздуха от нормы в сторону повышения температур составило 1,3 °С.

Динамика изменения средних осенних температур также имеет на графике много пиков, находящихся по большей части в противофазе весенним. Отклонения температуры в сторону понижения не столь глубокие и продолжительные как зимой. Самая низкая средне осенняя температура отмечена в 1971 году, она составила 2,6°С. Самая высокая - 11,6°С в 1998 году.

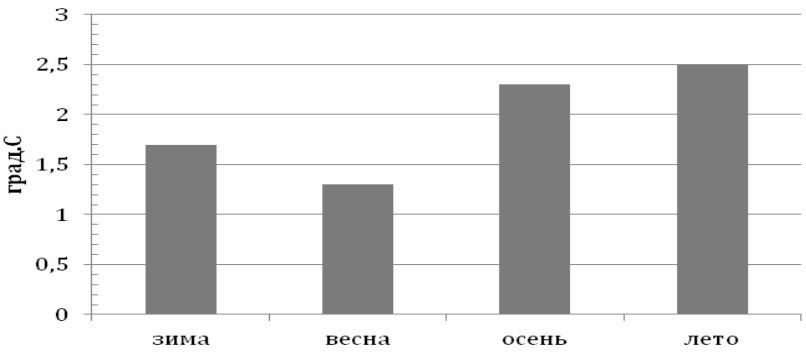


Рис. 2. Величина повышения среднесезонной температуры воздуха за период 1967–2018 гг. на основе линейных трендов, МС Яйлю

Повышение средней температуры зимы за период 1967-2018 гг. составило 1,7 °С.

Однако, выявленная тенденция к потеплению на исследуемой территории, не столь велика как в Юго-Восточном Алтае, где величина повышения среднегодовой температуры воздуха в 2 раза больше и составляет 3°С. В отличие от северо-востока, наибольшая положительная тенденция наблюдается в зимний период и составляет 3,2 °С [6, 7].

Анализ изменения годового количества осадков за период с 1967 по 2018 г. показал значительную межгодовую изменчивость: от 665 мм в 2011 году до 1150 мм в 2008 (рис. 3). За 52-летний период годовое количество осадков на МС Яйлю увеличилось на 38 мм.

При рассмотрении сезонной специфики на основе линейных трендов выявились некоторые отличия. Так, величина повышения сумм осадков за теплый период составила 58 мм. За холодный период сумма осадков также возросла на 49 мм. Примечательно, что средняя многолетняя сумма осадков холодного периода за последние 30 лет (1989-2018 гг.) совпадает со справочной нормой: 138,2 мм и 138 мм, соответственно, за последние 10 лет (2009-2018 гг.) – превышает её: 151,7 мм и 138 мм, соответственно (рис. 4).

На климатические условия и показатели МС Яйлю большое влияние оказывает акватория Телецкого озера. Поэтому для характеристики климатических изменений Северо-Восточного Алтая авторы проанализировали также данные МС Турочак (320 м), где также установлен положительный линейный тренд годовой температуры воздуха. Величина повышения среднегодовой температуры воздуха за 52 года (1967-2018 гг.) на МС Турочак значительнее, чем на МС Яйлю, она составила 2,1 °С (рис. 5).

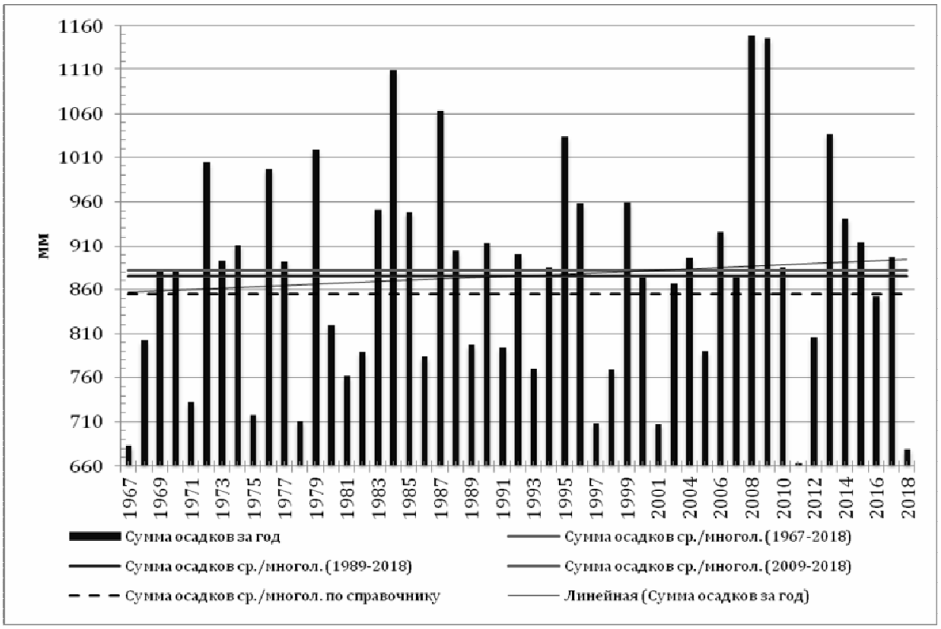


Рис. 3. Динамика годового количества атмосферных осадков, МС Яйлю

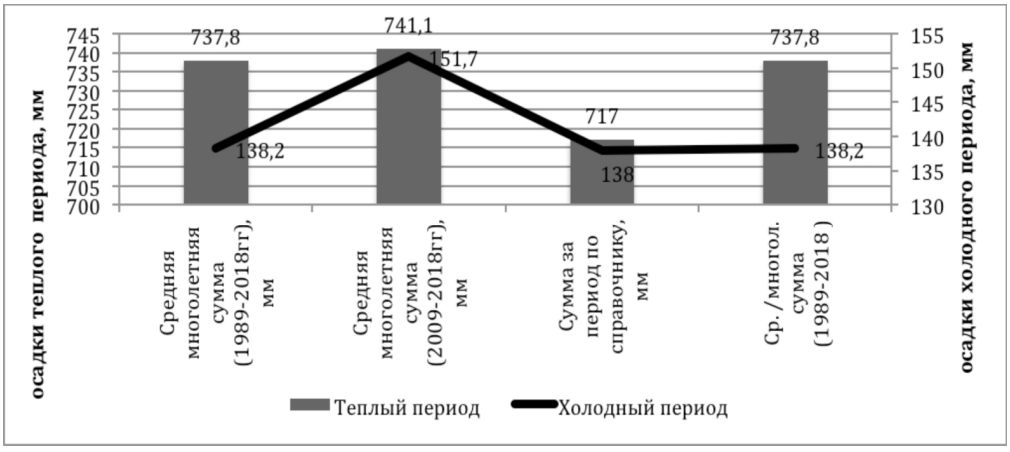


Рис. 4. Динамика сумм осадков холодного и теплого периодов, МС Яйлю

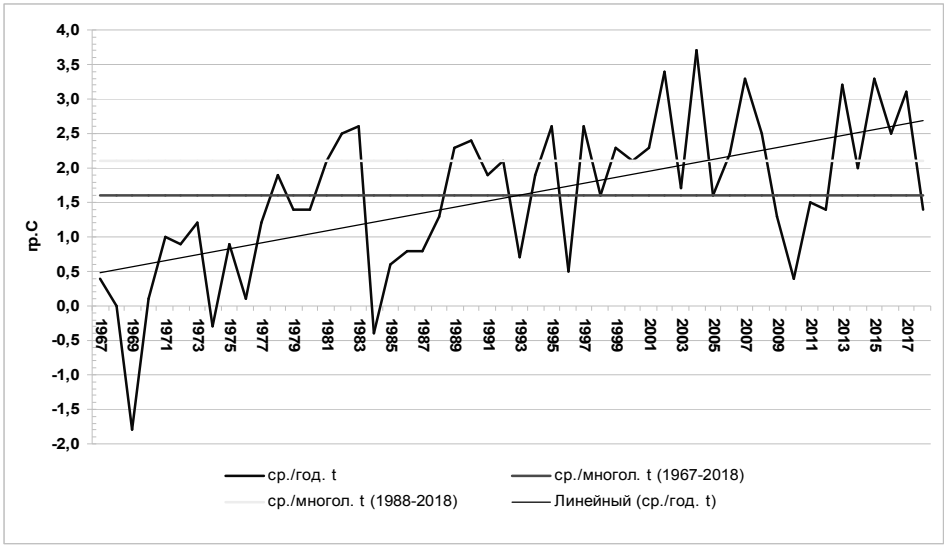


Рис. 5. Динамика среднегодовой температуры воздуха, МС Турочак

Средняя многолетняя температура этого периода 1,6 °С, а за последние 30 лет этот же показатель равен 2,1 °С. Это объясняется увеличившимися темпами потепления, начиная с 1997 года.

Анализ динамики среднесезонных изменений температуры воздуха, показал неоднородность изменений в течение года (рис. 6).

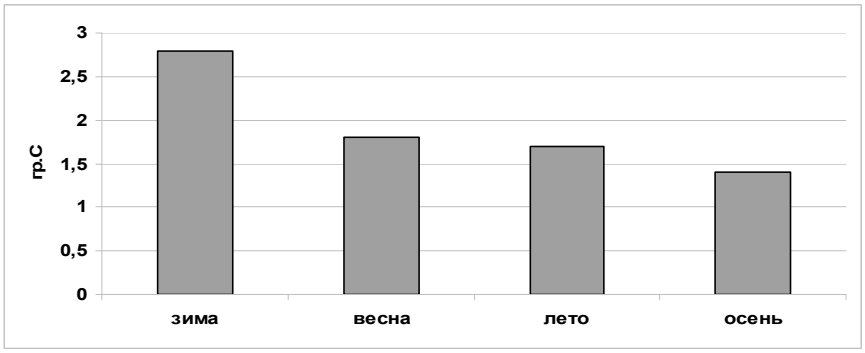


Рис. 6. Величина повышения среднесезонной температуры воздуха за период 1967–2018 на основе линейных трендов, МС Турочак

Наибольшая положительная тенденция наблюдается в зимний период и составляет 2,8°С. Среднесезонная температура воздуха весны и лета повысилась примерно одинако-

во: на 1,8 и 1,7°С, соответственно. Осенью эта величина ниже остальных сезонов и составляет 1,4°С. На МС Яйлю распределение величин повышения среднесезонных температур получилось обратным.

Анализ изменения годового количества осадков на МС Турочак за период с 1967 по 2018 г. не выявил значительных изменений (рис. 7).

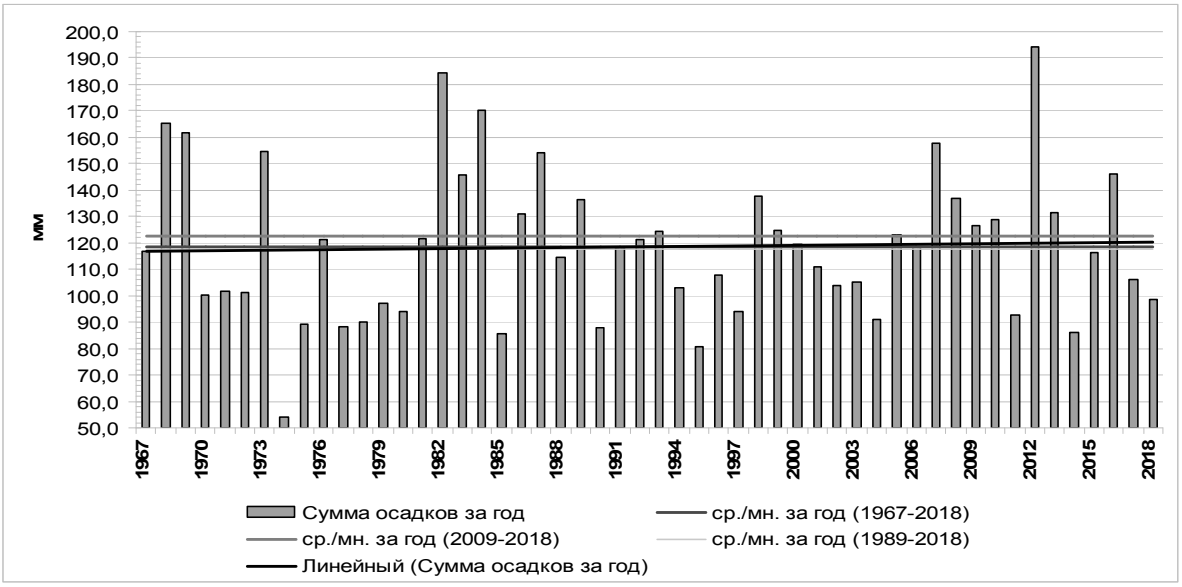


Рис. 7. Динамика годового количества атмосферных осадков, МС Турочак

За 52-летний период годовое количество осадков на МС Турочак увеличилось на 4 мм. Это статистически не значимо. Тогда как на МС Яйлю – на 38 мм. При рассмотрении сезонной специфики на основе линейных трендов также не выявились статистически значимые изменения.

Выводы. Таким образом, анализ динамики изменения температуры воздуха и осадков Северо-Восточного Алтая показал устойчивую тенденцию к потеплению. Величина повышения среднегодовой температуры воздуха за период 1967-2018 гг. на основе линейных трендов составила 1,5 °С по данным МС Яйлю и 2,1 °С на МС Турочак.

В режиме осадков значимых изменений выявлено не было, однако при рассмотрении сезонной специфики МС Яйлю выявились некоторые отличия. Фиксируется увеличение сумм осадков за теплый период – на 58 мм (1967-2018 гг.). Количество осадков холодного периода также увеличивается, оно возросло на 49 мм. На МС Турочак статистически значимых изменений в режиме осадков не выявлено. Вместе с тем, величина повышения среднегодовой температуры воздуха здесь больше. Происходящие изменения свидетельствует о четкой тенденции усиления аридизации территории, поскольку наблюдаемый прирост температур воздуха не сопровождается соответствующим увеличением атмосферных осадков.

Исследование выполнено в рамках госзадания Минобрнауки РФ 5.5702.2017/8.9

ЛИТЕРАТУРА

1. Артемов И.А., Бляхарчук Т.А., Быков Н.И., Васильченко А.А., Виноградов В.В., Власенко В.И., Гуров А.В., Инсаров Г.Э., Карякин И.В., Кноре А.А., Кошкаров А.Д., Кошкарова В.Л., Куприянов А.Н., Ларин С.И., Лысанова Г.И., Михайлов А.Ю., Михайлов Н.Н., Останин О.В., Пальцын М.Ю., Парфенова Е.И. и др. Изменение климата и биоразнообразие российской части Алтае-Саянского экорегиона. – Красноярск, 2013.

2. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год. – Москва, 2018. – 69 с.

3. Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2015 году http://www.meteorf.ru/press/news/11547/

4. Изменение климата // Ежемесячный информационный бюллетень. – М.: Росгидромет, 2016. http://www.global-climate-change.ru/index.php/ru/bul-izmenenie-klimata/archive-of-bullet

5. Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона. Оценочный доклад / Т.А. Бляхарчук, И.В. Герасимчук, Г.В. Груза [и др.]. – Москва, 2011. – 168 с.

6. Ротанова И.Н., Харламова Н. Ф., Останин О. В. Изменения климата Алтая за период инструментальных исследований // Известия АлтГУ. – 2012. – №3. – С. 105-109.

7. Сухова М.Г., Журавлева О.В. Изменения температуры воздуха и осадков в межгорных котловинах Юго-Восточного и Центрального Алтая/ Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2018. – № 6. – С. 93-101.

ВЛИЯНИЕ ФЛУКТУАЦИЙ КЛИМАТА НА ГЛУБИНУ СЕЗОННОГО ПРОТАИВАНИЯ ТУНДРОВЫХ ПОЧВ

О.Д. Трегубов, М.В. Ушаков
tregubov2@yandex.ru

Северо-восточный комплексный научно-исследовательский институт имени Н.А. Шило, г.Анадырь, Россия

Международная программа CALM(Circumpolar Active Layer Monitoring Network-CALM:Long-Term Observations of the Climate-Active Layer-Permafrost System) объединила исследователей из стран Евразии и Северной Америки, занятых проблемами изменений климата и деятельного слоя многолетней мерзлоты[1] [7]. Первоначально наблюдения CALMпланировались с целью оценки и прогнозирования скорости деградации многолетней мерзлоты в условиях глобального потепления климата. Однако по мере накопления данных наблюдения стали источником разнообразной информации, характеризующей динамику сезонного протаивания, ее связи с климатическими флуктуациями, микрорельефом, почвенно-растительным покровом и криогенными процессами [2]. В Анадырской низменности Чукотки расположено три площадки CALM, наблюдения деятельного слоя на которых начаты в 1994 ("Рогожный"), 1996 ("Дионисий"), 2011 ("Круглая") годах[2].

С позиций климатического районирования Анадырская низменность расположена на рубежах морского и умеренного континентального субарктического климата. Всего 350 км севернее проходит южная граница морского арктического климата. С точки зрения природного районирования территория низменности относится к подзоне южных кустарниковых тундр. Известный исследователь Северо-Востока А.П. Васьковский выделял здесь специфичные кустарниковые тундры – «ольхотундры» по доминирующему распространению кустарниковой ольхи и отсутствию кедрового стланика[5].

Анадырская низменность практически полностью находится в пределах зоны сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП). Мощность ММП изменяется от 300 до 100 м, температура на глубине нулевых амплитуд сезонных колебаний от -7,5 до -1 ^{0}C [1]. Лишь на юге в подножьях Корякского нагорья с утонением толщи мерзлых пород до 80-50 м сплошная мерзлота сменяется прерывистой [4]. Сквозные таликовые зоны приурочены к руслам рек Анадырь, Великая, Канчалан, реже, к глубинным разломам, дренируемым малыми реками и ручьями. Существенное распространение в пределах Анадырской низменности имеют надмерзлотные озерные талики мощностью в пер-

[1]В англоязычной литературе слой сезонного протаивания многолетней мерзлоты именуют деятельным слоем (Active Layer Permafrost)

[2]URL: http://www.gwu.edu/~calm/data/

вые десятки метров. Для большей части территории низменности характерен мелкий тип сезонного протаивания глубиной от 40 до 70 см.

Выбор местоположения площадок определялся их транспортной доступностью, отсутствием техногенного воздействия и типичностью ландшафтных условий для Анадырской низменности Чукотки, занимающей площадь порядка 35 тыс. км^2 (рис. 1). Площадки разбиты в пределах ненарушенных мерзлотных ландшафтов в ранге фаций и урочищ:

• уплощенная вершина тундрового увала с пологими склонами и абсолютными отметками высот 18-20 м покрытая климаксовой кочкарной кустарничковой мохово-пушицевой растительностью ("Рогожный");

• горное подножье южной экспозиции с уклоном рельефа до 0,05 и абсолютными отметками высот 145-150 м, западинами, торфяными буграми пучения и пятнами медальонами, травяными полосами стока и мохово-разнотравно-кустарничковыми крупными кочкарниками ("Дионисий").

• днище озерно-болотной котловины с абсолютными отметками высот 3-4 мзанятое полигональными бугорковатыми кустарничковыми мохово-осоковыми, кочкарными мохово-пушицевыми тундрами и заболоченными зарослями низкого ивняка со сфагнум-осоковым нижним ярусом ("Круглая").

Ежегодно в период с конца августа по начало сентябряглубина сезонного протаивания наблюдается на площадках размером 100х100 м по сети 10х10 м. Измерения производятся металлическим щупом с помощью мерного шнура. Результаты наблюдений интерпретируются с привлечением данных метеостанции "Анадырь", равноудаленной от места расположения площадок (рис. 1).

Увеличение глубины сезонного протаивания за 22 года наблюдений в среднем составило 7 см на площадке "Дионисий" и 15 см на площадке "Рогожный" при достоверности линейных трендов 0,33 и 0,55, соответственно.

Общий вид графиков сезонного протаивания (рис. 2) обращает внимание на короткие колебания с периодом 2-3 года и, менее отчетливо, колебания продолжительностью 10 лет (экстремумы кривых: 1996-97, 2004-07, 2014-17 годы).

В среднем для площадок по данным графического анализа период коротких колебаний мощности СТС составил 2,4 года при увеличении протаивания в экстремумах на 3-5,5 см. Выяснение природы этих колебаний необходимо для определения пределов устойчивости кровли мерзлоты к внешнему деструктивному воздействию, в том числе к глобальным изменениям климата.

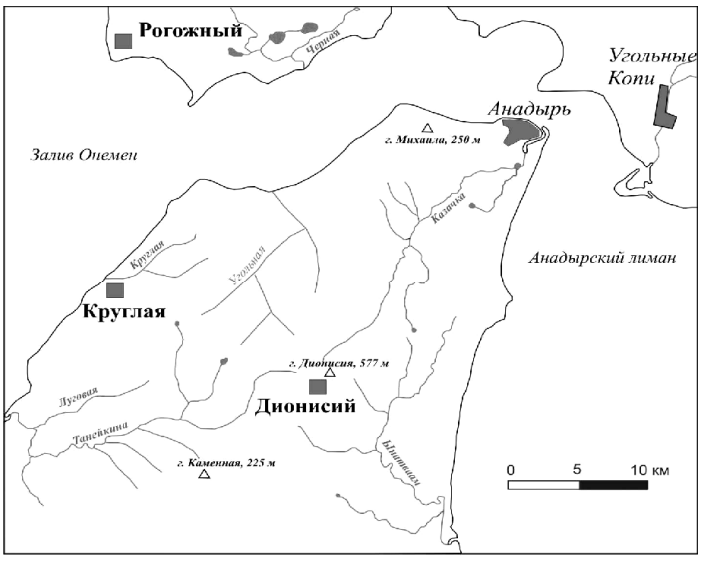


Рис. 1. Схема расположения площадок мониторинга сезонноталого слоя в окрестностях Анадыря

Средние значения мощности сезонноталого слоя (СТС) в разные годы изменяются: "Рогожный" 38-58 см; "Дионисий" 45-67 см; "Круглая" 42-49 см (рис. 2).

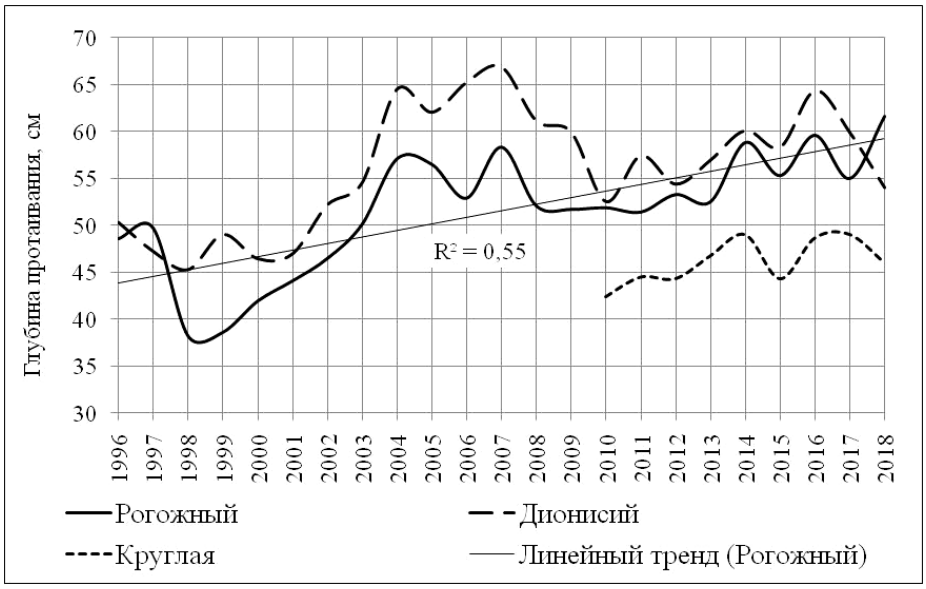


Рис. 2. Динамика мощности СТС в Анадырской низменности на площадках CALM

Для расчетных оценок глубины протаивания в различных климатических областях криолитозоны широко используют "индекс протаивания" (DDT), равный сумме положительных среднесуточных температур теплого периода года [6]. Известны работы, в которых отмечена значимая положительная корреляция мощности СТС с высотой снежного покрова [3]. В условиях Анадырской низменности максимально значимыми для оттаивания деятельного слоя являются температура воздуха и продолжительность теплого периода года (теплого периода года со среднесуточной температурой выше 0^0С и отсутствием ночных заморозков менее -3^0С). Причем температуры зимнего периода и высота снежного покрова на момент полного промерзания СТС не дают значимых корреляций, а осадки как твердые, так и жидкие даже проявляют отрицательные связи (табл. 1).

Таблица 1. Коэффициенты парной корреляции мощности СТС и климатических характеристик по данным метеостанции Анадырь

Площадка CALM	Температура среднегодовая	Температура средняя теплого периода	Температура средняя холодного периода	Сумма часов светового дня теплого периода	Летние осадки	Зимние осадки	Высота снежного покрова на 01.01
Рогожный	0,6	0,58	0,35	0,72	-0,2	-0,45	0,21
Дионисий	0,35	0,55	0,08	0,66	-0,43	-0,5	0,34

Критическое значение коэффициента корреляции 5% уровня значимости для выборки - 0,423

Для того, что бы выяснить какой климатический параметр вызывает вариации глубины протаивания рассмотрим временные ряды изменений их значений. На диаграммах представлены ряды температуры воздуха и продолжительности теплого периода (рис. 3-4).

Как видно на графиках значимые линейные тренды изменений температуры воздуха в Анадырской низменности отсутствуют. В разной степени достоверности на кривых температурных временных рядов наблюдаются колебания с периодичностью 2-4 года. Положительные и отрицательные экстремумы колебаний температуры совпадают с максимумами и минимумами сезонного протаивания, реже смещены на 1 год (1996, 2000, 2004, 2007, 2011, 2014, 2017).

На графике продолжительности теплого периода выделяются периоды 2-3 года и 9-12 лет (см. рис. 3). Экстремумы коротких колебаний продолжительности теплой погоды совпадают с максимумами и минимумами летней температуры или смещены на 1-2 года. В целом форма кривой колебаний продолжительности теплого периода, благодаря максимумам с интервалом 9-12 лет (1997, 2005, 2007), проявляет заметное морфологическое сходство с графиками сезонного протаивания площадок "Рогожный" и "Дионисий" (см. рис. 2, 4).

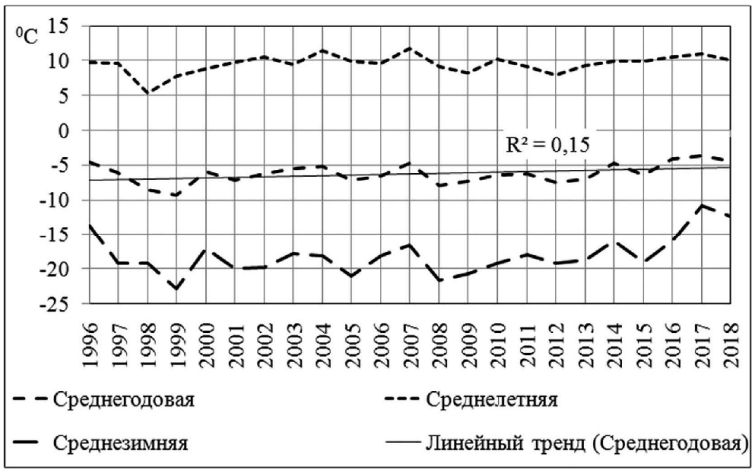


Рис. 3. Динамика температуры воздуха по данным метеостанции Анадырь

Рис. 4. Динамика продолжительности теплого периода года по данным метеостанции Анадырь

Таким образом, очевидно, что колебания мощности СТС связаны с флуктуациями температуры воздуха и продолжительности летнего протаивания. Короткие колебания сезонного протаивания 2,4 года являются результатом колебаний температуры воздуха, в том числе температур холодного времени года, предшествующего протаиванию. Более продолжительные колебания глубины протаивания с периодом 10 лет –результат 9-12 летних вариаций продолжительности теплого периода года. Следует отметить, что за 2-3 года потепления и увеличения глубины протаивания на 3-5 см каких-либо значимых изменений активности экзогенно-криогенных процессов не наблюдается. И, наоборот, 10-летние колебания мощности СТС с увеличением глубины протаивания на 10-15 см сопровождаются усилением, термокарста, термоэрозии и термоабразии по подземным пластовым и повторно-жильным льдам в природных и техногенных ландшафтах. Деструктивные процессы длятся 3-4 года после чего "затухают" приблизительно на 6-7 лет.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60036

ЛИТЕРАТУРА

1. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 515 с.

2. Григоревская А.В., Оленченко В.В., Шеин А.Н., Камнев Я.К. Изучение глубины сезонного оттаивания на площадке циркумполярного мониторинга деятельного слоя // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 2, № 3. – С. 94-98.

3. Константинов П.Я., Аргунов Р.Н., Герасимов Е.Ю., Угаров И.С. О связи глубины сезонного протаивания с межгодовой изменчивостью средней годовой температуры грунтов // Криосфера Земли. – 2006. – Т. X, №3. – С. 15-22.

4. Котов А.Н., Бражник С.Н., Маслов В.Я., Рябчун В.К. Геокриологические условия Верхнетелекайского нефтегазоконденсатного месторождения (южная часть Нижнеанадырской впадины). – М.: ГЕОС, 1999. – 70 с.

5.Трегубов О.Д. Об устойчивости тундр к техногенному воздействию и глобальным изменениям среды // Вестник ДВО РАН. – 2010. – № 4. – С. 79-89. (16

6. Тумель Н.В. Современное состояние мерзлых пород и их изменения в XXI веке // Инженерная геология. – 2010. – №2. – С. 12-16.

7. Brown J., Hinkel K. M., Nelson F. E. The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) program: Research designs and initial results, Polar Geography. – 2000. – Vol. 24, No. 3. – P. 165–258.

МОДЕЛИ КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ТИПОВ СТУКТУРЫ ЗИМНЕГО СЕЗОНА ГОДА И ИХ ДИНАМИКА В ПОДТАЙГЕ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ

Л.Б. Филандышева, Т.В. Ромашова
filandysh@vtomske.ru, romtvtom@rambler.ru

Национальный исследовательский Томский государственный университет, г.Томск, Россия

Проблема глобального изменения климата и зависящей от него природной среды является в настоящее время чрезвычайно актуальной. За последние 130 лет температура воздуха в мире выросла, примерно, на 0,85°С, а за последнюю четверть века темпы глобального потепления ускорились, особенно в России [1, 6, 7].

В условиях умеренного климата, преобладающего на территории страны, четко обозначены все четыре климатических сезона. Основным же сезоном годового цикла сибирских регионов остаётся зима, погодные условия которой, в значительной степени, определяют, как особенности функционирования природных геосистем, так и организацию различных сфер хозяйственной деятельности человека.

Данная работа посвящена исследованию динамики типов структуры зимнего сезона года в в подтаёжной зоне юго-востока Западно-Сибирской равнины на фоне глобального изменения климата. Под сезонной структурой годового цикла понимается количество сезонов, из которых состоит год, а под структурой сезона – количество фаз (структурных единиц), входящих в него. Отклонения в структуре сезонов в конкретные годы от зональной модели, обусловленные аномалиями в развитии циркуляционных процессов, приводят к нарушению ритма природно-территориального комплекса. Как правило, в таких случаях наблюдаются значительные отклонения от нормы погодных условий, учёт и изучение которых имеет значение и в теоретическом, и практическом отношениях.

Климатические режимы структурных единиц данного сезона года рассматривались нами в их естественных границах, обоснованных комплексно-генетическим методом с использованием структурно-динамического подхода [4]. Этот подход предполагает изучение не только сезонов года, но и более однородных в климатическом и природном от-

ношении внутрисезонных периодов (фаз), в пределах которых и отмечаются наибольшие изменения климатических условий [2, 3, 5].

Средняя многолетняя структура зимы в подтайге исследуемого региона трехфазная. Она включает в себя следующие структурные единицы: умеренно-морозную зиму (УМ), значительно-морозную зиму (ЗМ) и предвесенье (ПВ). Для определения границ зимнего сезона за каждый год периода с 1936 по 2015 гг. принимаются даты образования устойчивого снежного покрова и начала устойчивых морозов в его начале и даты разрушения устойчивого снежного покрова и конца устойчивых морозов в конце [4]. Центральная фаза зимы (значительно-морозная зима) с обеих сторон ограничивается устойчивым переходом средней суточной температуры воздуха через -16°С [2, 3]. С наступлением зимы вследствие изменения фазового состояния воды, осадки выпадают в твердом виде; формируется устойчивый снежный покров, который делает подстилающую поверхность однородной.

Материалом для анализа изменения климатических характеристик зимнего сезонов года послужили значения температуры (среднесуточной, минимальной и максимальной) приземного слоя воздуха и осадков суточного разрешения из базы данных ВНИИГМИ – МЦД за период с 1936 г. по 2015 г. по метеостанции Томск (подтайга). На основе последних были рассчитаны климатические характеристики данного сезона года и его структурных единиц в их естественных границах и сгруппированы в три периода: первый – с 1936 по 1970 гг., второй – с 1971 по 2006 гг., третий – с 2001 по 2015 годы. За границу между первым и вторым периодами взят 1971 год, так как именно с этого времени изменения климата стали наиболее выраженными. Третий период (2001–2015 гг.) был выделен в связи с тем, что имеются работы, в которых отмечается о начале понижения температуры приземного слоя воздуха в Сибири с начала 2000-х годов.

За период с 1936 по 2015 гг. в пределах исследуемой территории встречались различные по структуре типы зимнего сезона (табл. 1).

По повторяемости во все рассматриваемые периоды преобладают трёхфазные типы зим (3ф), на втором месте идут зимы с неустойчивым термическим режимом (нтр), далее следуют безъядерные по структуре зима (б/я) и двухфазные зимы без первой (2фб1) или без третьей фазы (2фб1) (табл. 1).

Для выявления особенностей типов зимнего сезона и их динамических составляющих, нами для каждого из них были рассчитаны основные климатические характеристики (модели климатических режимов) (табл. 1).

Таблица 1. Повторяемость (%) типов структуры зимнего сезона года на ст. Томск

Периоды	Типы структуры зимнего сезона				
	3ф	2ф без:		б/я	нтр
		1	3		
1936-1970	78	0	3	14	5
1971-2006	58	3	5	9	25
2001-2015	73	0	7	7	13
1936-2015	75	1	5	8	11

Условные обозначения к табл. 1: 3ф – трёхфазная по структуре зима, 2фб1 – двухфазная без первой фазы (умеренно-морозная зима), 2фб3 – двухфазная без третьей фазы (предвесенье), б/я – безъядерная зима, нтр – зима с неустойчивым термическим режимом

Примечание: Зимы без холодного ядра (б/я) – это зимы, в которых фаза значительно-морозная зима выпадает из-за сравнительно теплой погоды центральных месяцев сезона; зимы с неустойчивым термическим режимом (нтр) – это зимы, в течение которых неоднократно сменяются волны тепла волнами холода, продолжительностью меньше месяца [4].

С этой же целью была проведена типизация временных показателей и характеристик гидротермического режима по степени аномальности. Аномальность устанавливалась путём сопоставления величины отклонения рассматриваемого показателя в конкретный год от его средней многолетней нормы (норма рассчитывалась за период с 1936 по 2015 гг.) со значением среднего квадратического отклонения (σ). За нормальный случай принимался такой, когда полученное отклонение не превышало среднее квадратическое отклонение, в другом варианте тип рассматривался как аномальный. В соответствие с вышесказанным, зимние сезоны года нами были разделены на следующие типы: по датам начала и конца сезона – на нормальные, поздние, ранние, очень поздние, очень ранние; по продолжительности – на нормальные, короткие, длинные, очень короткие, очень длинные: по термическому режиму – на нормальные, теплые, холодные, очень теплые и очень холодные; по сумме осадков – на нормальные, с большой суммой осадков, с недостаточной суммой осадков, очень большим и очень малым количеством осадков. При характеристике каждого типа структуры зимнего сезона в работе были рассмотрены все возможные сочетания указанных типов климатических режимов, что, в свою очередь позволило установить их разнообразие, выявить отличительные черты и рассмотреть вероятностные комбинации между ними, последнее может иметь прогностическое значение.

Как следует из таблицы 2, в первом периоде трехфазные по структуре зимы в среднем многолетнем начинались 29.10 и заканчивались 22.03. Во втором периоде дата начала смещается на более поздние сроки – 6.11, а дата конца на ранние – 14.03 и сокращается продолжительность зимы до 129 дней. Это приводит к уменьшению суммы накопленных отрицательных температур с -2354,3 °С первого периода до -1873,6 °С второго и росту средней суточной температуры воздуха за сезон на 1,7 °С (с -16,2 °С до -14,5 °С) (табл. 2).

От второго периода к третьему продолжительности зимы трехфазного типа также сокращается (на 14 дней), однако суммы накопленных отрицательных температур практически не меняются. Следует отметить, что, несмотря на заметное уменьшение продолжительности трехфазных типов зим от первого периода к двум последующим, отмечается увеличение сумм выпавших осадков за сезон (от первого ко второму периоду почти на 30% и к третьему на 18,7%) (табл. 2). Наиболее часто трехфазные по структуре зимы повторялись в первый период(78%), во втором их доля уменьшилась до 58%, а в третьем вновь увеличилась до 73% (табл. 1).

Среди трёхфазных зим преобладали случаи с датами начала и конца сезона близкими к нормальному типу. Так, на ст. Томск в период с 1936 по 1970 гг. зимы с нормальным началом и концом встречались в 55,5% случаев. По продолжительности почти все зимы данного типа были нормальными, исключение составили сезоны 1936/37 и 1963/64 гг. Указанные зимы были длинными – соответственно 151 и 165 дней против 134дней по норме. Тем не менее, по уровню средней суточной температуры воздуха – теплыми (-11,8 ºС и -12,2 ºС против -15,3 ºС по норме). Пять трехфазных зим первого периода были холодными (1937/38 гг., 1944/45 гг., 1946/47гг, 1950/51гг, 1954/55 гг.), остальные –по температурным условиям в пределах нормы. В период с 1971 по 2006 гг. зимы с нормальным началом и концом встречаются в 43,5% случаев, по продолжительности эти зимы были нормальными, лишь одна длинной – 1981/82 гг. (151 день). Из них по величине средней температуры воздуха за зиму только температурные условия в 1984/85 гг. и 2005/06 гг. были холоднее обычного (-18,9 ºС и -18,0 ºС при норме -15,3 ºС). В период с 2001 по 2015 гг. зимы с нормальным началом и концом встречались чаще, чем в двух первых – 60,5% случаев.

Трёхфазные зимы с ранним началом и нормальным концом отмечались на ст. Томск в период с 1936 г. по 1970 г. в 11% случаев. По продолжительности одна из них (1940/41 гг.)была длинной (152 дня), другие (1938/39 гг., 1952/53 гг.) –нормальными, как и по уровню средней температуре за зиму. С 1971 по 2006 гг. данный тип зимы встречался в 7,4% (1976/77 гг. и 1986/87 гг.), по продолжительности эти зимы оказались длинными (152 и 160 дней), по термическому режиму и количеству осадков в пределах нормы.

Таблица 2. Модели климатических режимов разных типов по структуре зимних сезонов года за период с 1936 по 2015 гг. на ст. Томск

Период 1936-1970 гг.						
Тип зимнего сезона	Тн	Тк	Δl зимы	ΣТ	Тср	Σос, мм
1	2	3	4	5	6	7
3ф	29.10	22.03	145	-2354,3	-16,2	114,7
2фб1	-	-	-	-	-	-
2фб3	11.11	11.03	121	-2160,3	-17,9	121,9
б/я	28.10	23.03	147	-1853,4	-12,6	134,3
нтр	5.11	22.03	138	-1957,5	-14,2	104,5
Период 1971-2006 гг.						
3ф	6.11	14.03	129	-1873,6	-14,5	149,2
2фб1	14.11	7.03	114	-2018,2	-17,7	139,9
2фб3	29.10	4.03	127	-1815,2	-14,2	183,6
б/я	10.11	7.03	118	-1442,2	-12,2	174,1
нтр	12.11	10.03	119	-1588,7	-13,3	166,0
Период 2001-2015 гг.						
3ф	15.11	9.03	115	-1824,9	-15,8	136,2
2фб1	-	-	-	-	-	-
2фб3	4.11	9.03	126	-2573,2	-20,4	145,9
б/я	17.11	11.03	115	-1440,3	-12,6	183,6
нтр	12.11	5.03	115	-1448,1	-12,5	172,6
1936-2015						
3ф	4.11	17.03	134	-2051,4	-15,3	134,6
2фб1	14.11	7.03	114	-2018,2	-17,7	139,9
2фб3	2.11	7.03	126	-2091,0	-16,5	148,4
б/я	2.11	19.03	138	-1834,5	-13,2	148,4
нтр	7.11	18.03	132	-1834,5	-13,9	125,0

Условные обозначения к табл.2: Тн – дата начала, Тк – дата конца, Δl – продолжительность, ΣТ – сумма температур, Тср – средняя температура, Σос – сумма осадков; типы структуры см. табл.1.

Трёхфазная зима с поздним началом и нормальным концом на ст. Томск с 1936 по 1970 гг. отмечалась только единожды(1956/57 гг.), она была нормальной и по продолжительности, и по термическому режиму. С 1971 г. по 2006 г. зимы с такой структурой встречаются в 22% случаев, из них по продолжительности зимы 1973/74 и 2002/03 гг. были короткими (111 и 112 дней) и нормальными по температурным условиям. В третий период данный тип зимы отмечался в 2010/11 гг., по продолжительности сезон был коротким (110 дней), по температурным условиям – холодным (-18,4 ºС), по сумме осадков – нормальным.

Зимы нормальные по началу и поздние по концу на ст. Томск в первом периоде были в следующие годы: 1942/43, 1949/50, 1959/60, 1968/69 гг. Первые две зимы по продолжительности оказались длинными (152 и162 дня) с количеством осадков почти в 2 раза меньше нормы (64,6 мм и 66,8 мм соответственно). Средняя температура воздуха была в пределах нормы, кроме зимы 1959/60 гг., которая была суровой(-19,2ºС). Зима 1968/69 гг. по всем климатическим параметрам оказалась аномальной: длинной по продолжительности (156 дней), очень холодной по термическому режиму (-21,9 2ºС) и с

очень большим количеством осадков (196,6 мм). В период с 1971 г. по 2006 г. зимы с такими особенностями климатического режима больше не встречалась.

Трёхфазная зима с нормальным началом и ранним концом в период 1936-1970 гг. не наблюдалась. В период с 1971-2006 гг. был только один случай (в 1974/75 гг.) с показателями гидротермического режима в пределах нормы. Трёхфазная зима с ранним началом и ранним концом отмечалась также только во втором периоде в 1996/97 гг. и имела такие характеристики климатического режима: по продолжительности– нормальная, по средней температуре – теплая (-12,1ºС)и с большой суммой осадков (190 мм при норме 134,6 мм).Трёхфазная зима с очень ранним началом и нормальным концом отмечалась только в 1964/65 году за период с 1936 по 1970 гг. По продолжительности эта зима была нормальной, по уровню средней температуры – теплой (-11,8 ºС), по сумме осадков – в пределах нормы. Трёхфазная зима с ранним началом и поздним концом была выявлена в период с 1936 по 1970 гг. в 1935/36 гг. Она была длинной (162 дней при норме 134 дня), по средней температуре – нормальной и по сумме осадков – меньше нормы (82,4 мм при норме 134,6 мм). С 2001 по 2015 г. на ст. Томск дважды встречалась трехфазная зима с очень поздним началом и нормальным концом – 2008/09 гг. и 2013/14 гг. В эти годы обе зимы по продолжительности были короткими (113 и 110 дней), по температурным условиям и увлажнению – нормальные. Трёхфазная зима с очень поздним началом и ранним концом была только во втором периоде в 2004/05 гг., по продолжительности она была очень короткой (92 дня), по средней температуре и сумме осадков – нормального типа. В период с 1936 по 1970 гг. был отмечен трёхфазный тип зимы с нормальным началом и очень поздним концом сезона. Эта зима 1951/52 гг. была продолжительной (163 дня) и закончилась она только 11 апреля, хотя по уровню средней температуры из-за растянутости окончания сезона она оказалась теплой и по количеству осадков нормальной. Во втором периоде, с похожим набором климатических характеристик, была зима 1978/79 гг. – по продолжительности нормальная, по уровню температуры – теплая (-12,5.ºС), по увлажнению– нормальная.

За трехфазными по структуре типами зим по повторяемости идут зимы с неустойчивым термическим режимом и безъядерные зимы: их суммарная доля в первом периоде составляла 19%, во втором она увеличилась до 34%. в третьем уменьшилась до20% случаев (табл.1).

Безъядерные зимы в первом периоде в среднем имели продолжительность 147 дней, начинались 28 октября и, заканчивались 23 марта. Во втором периоде дата начала данного типа зимы смещается на более поздние сроки – 10 ноября, а дата конца на ранние – 7 марта, уменьшается, соответственно, продолжительность сезона со 147 дней до 128 дней. В третьем периоде их длительность стала еще меньше (115 дней) в связи с еще более заметными изменениями дат начала – 17 ноября и конца – 11 марта. Значение средней суточной температуры за зиму осталось практически неизменным, а сумма накопленных температур от первого периода к третьему сократилась на 413,1°С.Сумма осадков, накопленных за зиму, увеличивается от 134,3 мм в первом периоде до 183,6 мм (или на 38%)– в третьем (табл. 2).

Дата начала зимы с неустойчивым термическим режимом (НТР) изменяется с 5 ноября в первый период на 12 ноября– во второй. Дата конца смещается во втором периоде на более ранний срок: 11 марта против 22 марта, за счет чего продолжительность сезона с неустойчивым термическим режимом уменьшается на 19 дней. Значение средней суточной температуры повышается во втором периоде на 0,9 ºС, сумма осадков увеличилась на 61,5 мм (почти на 60% по сравнению с первым периодом). В третьем периоде в сравнение со вторым происходит сокращение сезона до 115 дней, за счет смещения даты начала на более ранний срок –5.03, уровень среднесуточных температур воздуха повышается до -12,5ºС, количество осадков увеличивается до 172,6 мм (более, чем на 65% по сравнению с первым периодом) (табл. 2).

В целом для безъядерных зим и зим с НТР третьего периода характерно сдвиг дат начала на более поздние сроки, а дат конца на более ранние, уменьшение продолжительности сезона, значительное увеличение сумм осадков..

Безъядерные зимы с нормальным началом и нормальным концом в первом периоде отмечались в 1943/44, 1948/49, 1960/61, 1962/63 гг., по продолжительности и по средней температуре зимы были нормальными. В двух случаях (1943/44 и 1948/49 гг.)осадков выпало меньше нормы (81,7 мм и 73,6 мм, соответственно), в двух других (1960/61, 1962/63 гг.) в пределах нормы. С 1971 по 2006 гг. аналогичные зимы отмечались в 1977/78 гг. и 2006/07 гг. Все они по продолжительности нормальные, но, при этом, зима 2006/07 года была теплой (-11,0 °С) с очень большой суммой осадков (215,9 мм).Б/Я зима с нормальным началом и ранним концом в период с 1971 по 2006 гг. была в 1982/83 гг., по продолжительности она короткая (107 дней), по температуре – теплая (-10,3 °С). Безъядерные зимы с поздним началом и ранним концом в первый период не наблюдалась, во втором – это зима 1999/2000 гг. (по продолжительности короткая, по гидротермическому режиму в пределах нормы). Безъядерная зима с ранним началом и нормальным концом за период с 1936 по 1970 гг. отмечалась в 1960/61 году, продолжительность её была длинной (155 дней), температурные условия в пределах нормы. Позднее такой тип зимы не наблюдался.

Зима с НТР с нормальным началом и концом наблюдалась в период с1936 по 1970 гг. на ст. Томск только в 1958/59 гг., по продолжительности она была нормальной, по средней температуре – теплой (-12,4 °С). В период с 1971 по 2006 гг. к зимам с таким климатическими особенностями относятся следующие: 1975/76, 1988/89, 1990/91, 1992/93, 1994/95 и 1998/99 гг. Все указанные сезоны, кроме 1990/91 гг., по продолжительности и средней температуре были в пределах нормы. Зима 1990/91 гг. была длинной. Из перечисленных лет очень большая сумма осадков отмечалась в 1990/91 гг. и 1994/95 гг. (207 мм и 209,3 мм), в остальных случаях их количество было в пределах нормы. Зимы НТР с нормальным началом и ранним концом в период с 1936 по 1970 гг. не встречались. В 1971 по 2006 гг. к такому типу отнесена зима 1989/90 гг. Все ее климатическими показателями были близки к норме. К следующему типу зимы НТР с поздней датой начала и очень ранним концом относится сезон 2001/02 года: очень короткий (82 дня) и теплый (-12,4°С) с нормальной суммой выпавших осадков. Последний тип зима НТР с нормальным началом и поздним концом сезона встречался и в первом, и во втором периодах. В 1957/58 гг. зима была нормальной по продолжительности и теплой по температурным условиям (-12,4°С), нормальной по сумме выпавших осадков. Зима такого типа 2003/04 года по продолжительности и средней температуре была нормальной, но с аномально большим количеством выпавших осадков (204 мм).

Двухфазные по структуре типы зим во все сравниваемые периоды повторяются реже, чем вышеописанные типы, но в их временной динамике можно отметить следующие особенности. Так, от первого периода ко второму повторяемость двухфазных по структуре зим увеличилось на 8%, от первого к третьему – на 3% (табл.1).

Двухфазный по структуре тип зимы без фазы умеренно-морозная зима встречался в единичном случае – в 1997/98 гг. (второй период).Климатические характеристики указанной зимы следующие: по дате начала и конца зима нормального типа, по продолжительности короткая (114 дней), по гидротермическим показателям – нормальная. На ст. Томск двухфазная зима без третьей фазы (предвесенья) в первом периоде была в 1970/71 гг. (по всем показателям – нормальная). Во второй период данный тип зимы (2фб3) с нормальным началом и ранним концом отмечался в 1980/81 гг. и 1987/88 гг., которые по продолжительности и уровню температур характеризуются как нормальные, но с очень большим количеством выпавших осадков в зиму 1987/88 гг. (202,6 мм). В третьем периоде к данному типу зимы (2фб3) был отнесен сезон 2009/10 гг. (по температуре зима была холодной (-20,4 ºС), по остальным показателям в пределах нормы).

Обобщая результаты проведенного исследования, следует отметить, что накопленный за 80 лет банк данных о климатических режимах зимнего сезона и его фаз (в естественных, а не календарных границах) по ст. Томск (зона подтайги) позволил нам провести временной анализ особенностей динамики зимних ритмов, составить для установленных типов структуры сезона модели их климатических режимов, которые от типа к типу существенно меняются. Полученные материалы также дали возможность сравнить между собой климатические

показатели зимнего сезона года трех периодов – с 1936 года по 1970 гг., 1971 по 2006 гг., 2001 по 2015гг. и выявить тем самым тенденции в изменении полученных характеристик.

Анализ ежегодных данных о структуре зимнего сезона за 80-летний период показал, что преобладают в данном временном ряду трёхфазные зимы, за ними по повторяемости следуют зимы с неустойчивым термическим режимом, затем – безъядерные. Зимы без первой или третьей фаз встречаются значительно реже. Также было установлено, что сравниваемые временные отрезки заметно различаются по повторяемости, так называемых «мягких зим» – безъядерных зим и зим с неустойчивым термическим режимом. Суммарная частота случаев с такими типами зим от первого периода ко второму заметно выросла (от 19% до 34%) (табл. 1). Как показали наши исследования, типы зим с НТР и безъядерные по термическому режиму чаще всего бывают либо близки к среднему многолетнему уровню, либо его выше.

Кроме этого, нами было установлено, что временные характеристики разных типов структуры зимнего сезона трех рассматриваемых периодов существенно отличаются между собой (табл. 2). Однако общим для них является смещение в двух последних периодах по сравнению с первым дат начала зимнего сезона на более поздние срока, а дат конца – на более ранние и уменьшение продолжительности зимы не зависимо от типа её структуры. Показатели термического режима, хоть и не так заметно, как временные характеристики, но тоже от первого к последующим периодам меняются, отражая своими величинами тенденцию к уменьшению суровости зим. Характерной чертой для всех типов по структуре зим от первого сравниваемого периода к двум последующим является увеличение сумм осадков за сезон.

Таким образом, проведенное нами исследование динамических вариантов структуры зимних сезонов года и их климатических режимов, свидетельствует о том, что с 1970-х годов в подтайге юго-востока Западно-Сибирской равнины наблюдается потепление климата, что происходит в основном за счет уменьшения продолжительности зимы (особенно центральной фазы – холодного ядра сезона) и её суровости, а также увеличение количества выпадающих осадков за сезон (увеличение снежности).Эти обстоятельства имеют положительное значение для экономики региона (энергетики, сельского хозяйства, рекреации и т.д.) и делают климат более благоприятным для проживания населения.

Климатические характеристики (временные данные, показатели гидротермического режима и др.), полученные для каждой структурной единицы годового цикла в рамках естественных границ, в отличие от таковых, рассчитанных в традиционных формальных календарных сроках, отражают реальные условия функционирования и сохранения устойчивости ландшафтной структуры природных зон. Они позволяют комплексно оценить региональные особенности современных тенденций естественных климатических ритмов в условиях меняющегося на глобальном уровне климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. 21-я климатическая конференция ООН в Париже [Электронный ресурс]: Росгидромет. – URL: http://www.meteorf.ru/activity/international/rkik/ (дата обращения: 06.06.2016).

2. Окишева Л.Н., Филандышева Л. Б.Временная динамика и функционирование ландшафтов Западной Сибири: моногр. / Л.Н. Окишева, Л.Б. Филандышева. – Томск: Изд-во Томского университета, 2015. – 316 с.

3. Ромашова Т.В. Климатические изменения на юге Томской области в глобальном контексте: сборник статей в двух частях// Актуальные проблемы экологии и природопользования Сибири в глобальном контексте: Материалы Межд. форум-школы – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – Ч.2. – С. 334-337.

4. Рутковская Н.В. Климатическая характеристика сезонов года Томской области / Н.В. Рутковская. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1979. – 116 с.

5. Филандышева Л.Б., Ромашова Т.В. Тенденции изменения сезонных ритмов климата и условий функционирования ландшафтов в подтайге Западно-Сибирской равнины // Ландшафтная география в XXI веке. Материалы Международной научной конференции

«Третьи ландшафтно-экологические чтения, посвящённые 100-летию со дня рождения Г.Е.Гришанкова», Симферополь, 11-14 сентября 2018 г. – Симферополь: ООО «Издательство типографии «Ариал», 2018. – С. 189-192.

6. Шерстюков Б.Г. Пространственные и сезонные особенности изменений климата в период интенсивного глобального потепления : автореферат дис. ... доктора географических наук: 25.00.30 / Шерстюков Борис Георгиевич; [Место защиты: Казан. гос. ун-т]. – Казань, 2008. – 36 с.

7. WMO Statement on the State of the Global Climate in 2018. – Geneva: WMO-No. 1233. – 44 p.

ДИНАМИКА ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ТЕРРИТОРИИ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.М. Хаванская
khavanskaya@mail.ru

Волгоградский государственный университет, г.Волгоград, Россия

Климатические условия региона определяются положением в умеренном климатическом поясе. Для определения динамики климатических характеристик были проанализированы многолетние данные среднемесячных температур воздуха [1] и месячные суммы осадков [2] на метеостанциях Волгоградской области собранные в базу данных Всероссийским научно-исследовательским институтом гидрометеорологической информации – мировой центр данных (ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД). На сервере ВНИИГМИ-МЦД открыт доступ к массиву данных, выборка данных по интересующим станциям, их просмотр и копирование, что обеспечивается специализированной технологией Web Аисори.

Исследование динамики климатических характеристик основано на статистическом анализ данных средних годовых температур, средних температур января и июля, годовых сумм осадков, распределение годового хода осадков.

Из каталога метеостанций, представленных на сервере ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД, были выбраны станции Волгоградской области, для которых приводятся интересующие нас данные: Урюпинск, Фролово, Волгоград, Эльтон. Отметим, что такая география станций охватывает все природные зоны области (лесостепь, степь, полупустыню). Данные по среднемесячным температурам для разных метеостанций охватывают разные периоды. Например, для Волгограда представлены данные, начиная с 1860 года, Фролово и Урюпинска с 1940, Эльтона с 1961-го. Поскольку в данных средних месячных температур по Волгограду есть пропуски по годам, началом для статистического анализа выбран 1900 год. Данные месячных сумм осадков для всех станций представлены начиная с 1966 года. Окончанием срока анализа для всех станций выбран 2015 год. Предоставленные массивы данных были импортированы в программу MS Excel, где были рассчитаны средние многолетние годовые температуры, средние многолетние температуры января и июля, средние многолетние суммы осадков (табл. 1).

При анализе данных четко видна тенденция увеличения количества случаев теплых лет после 1989 года. Однако коэффициенты достоверности аппроксимации линейной и полиноминальной линий тренда слишком малы, соответственно, для первого случая R2= 0,1145 и R2= 0,268 – для второго. Средняя температура января зафиксирована в пределах от -18,3°С до +0,4. Наблюдается увеличение количества теплых январей после 1972 года. Начиная с 1973 года средняя январская температура не опускалась ниже -15,9°С. За последние 42 года средняя температура января ниже -10,0°С была зарегистрирована только девять раз.

Таблица 1. Основные климатические характеристики Волгоградской области, рассчитанные по данным ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД

№ п/п	Метеостанция	Ср. многолетняя годовая t°C	Ср. многолетняя t°C января	Ср. многолетняя t°C июля	Ср. многолетнее количество осадков, мм
1.	Урюпинск	+6,6	-8,5	+21,3	441,4
2.	Фролово	+7,1	-8,4	+22,4	446,5
3.	Волгоград	+8,1	-7,9	+24,1	400,3
4.	Эльтон	+8,5	-8,2	+25,1	268,7

Рассмотрим подробнее полученные значения климатических характеристик по каждой станции.

На станции *Урюпинск* средняя годовая температура воздуха за последние 75 лет изменялась в диапазоне от +3,7°C до +8,5°C (рис. 1).

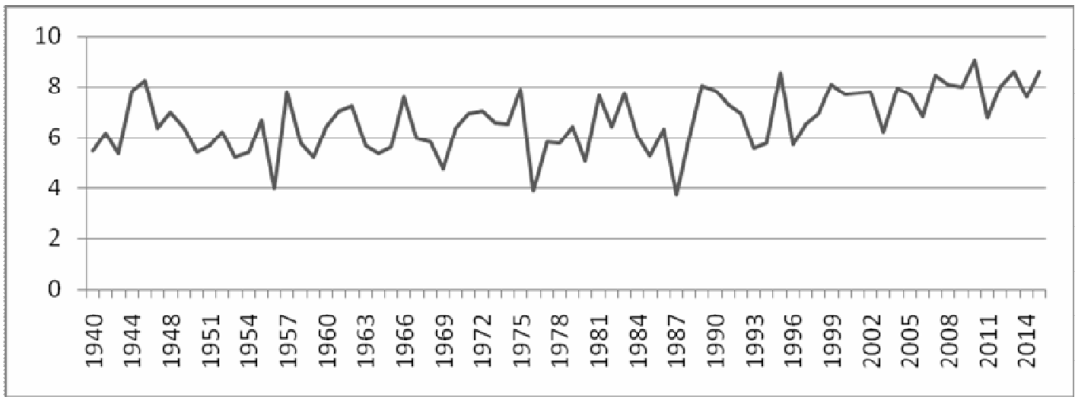


Рис. 1. Изменение средней годовой температуры, Урюпинск

Средняя температура июля за последние 75 изменялась в диапазоне от +17,2°C до +27,4°C. Самый жаркий июль был в 2010 году, когда его средняя температура составила +27,4°C. График хода июльских температур изменяется не так резко, как январских, но здесь четко выделяются пятилетний (1998-2002 гг.) и шестилетний (2007-2012 гг.) периоды, на протяжении которых средняя июльская температура превышала рассчитанное среднее многолетнее значение.

В общем плане график годового хода осадков за 1966-2015 гг. имеет вид сменяющих друг друга положительных и отрицательных экстремумов, т.е. годы с обильными осадками сменяются более сухими (рис 2).

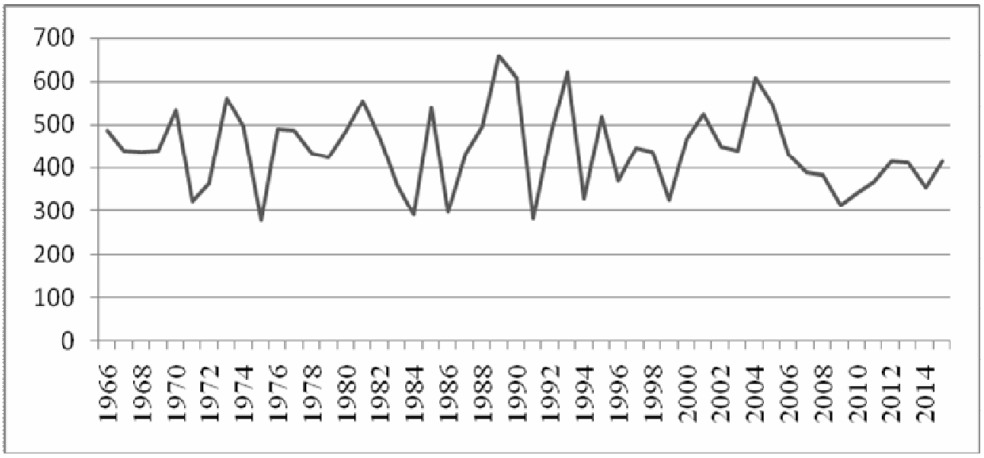


Рис. 2. Изменение годового количества осадков, Урюпинск

В графике можно выделить 4 периода с более ровным ходом осадков, без резких пиков: 1966-1970 гг., 1975-1984 гг., 1986-1991 гг., 1999-2009 гг. Начиная с 2009 года, отмечается общее снижение годовых значений осадков, которые до 2015 года не превысили 416 мм. Годовой ход осадков на станции в Урюпинске отражает преобладание осадков выпадающих в летнее время. В период 1966-1970 гг. максимум осадков приходился на период август-декабрь, с 1972 по 2009 г. преобладали осадки в июне-июле, но при этом увеличивалась роль сентябрьских. С 2010 г. по 2014 г. преобладали осадки в августе-сентябре, с 2013 г. по 2015 г. максимум вновь пришёлся на июнь-июль. С 2007г. по 2015 г. годовое количество осадков ниже рассчитанного среднего многолетнего значения.

Фролово. Средняя годовая температура с 1940 г. по 2015 г. варьировалась в пределах от +4,2°С до +9,6°С (рис. 3).

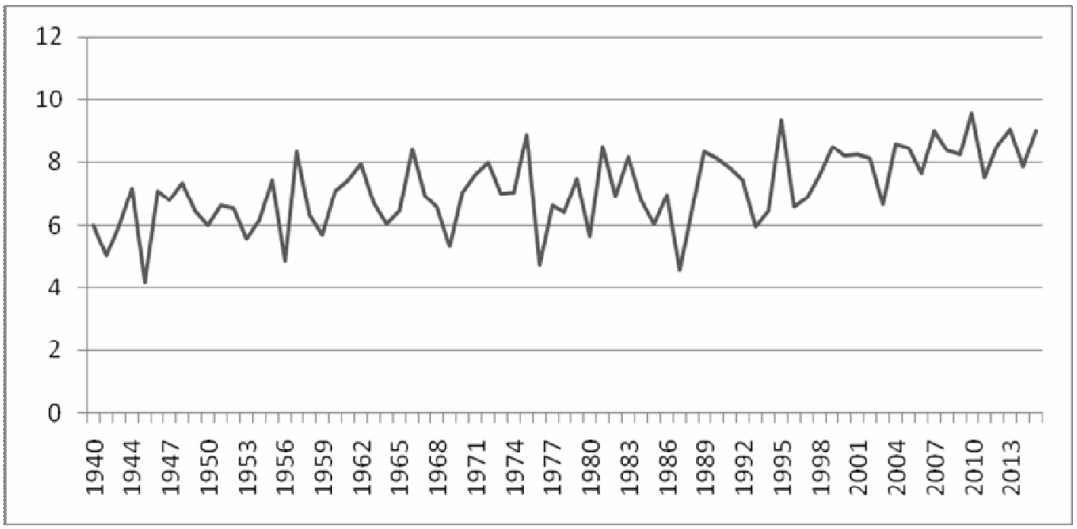


Рис. 3. Изменение средней годовой температуры, Фролово

На графике изменения средней годовой температуры выделяются 2 этапа: 1940-1987 гг., более холодный, на который приходятся самые низкие температуры и относительно теплый – 1988-2015 гг., когда средняя годовая температура не опускалась ниже +5,6°С, именно на этот период пришлись самые теплые годы. Аппроксимирующая функция графика – полиноминальная линия тренда, однако коэффициент достоверности аппроксимации R^2=0,3692, что не позволяет строить прогноз изменения средней годовой температуры.

По значению средней температуры января в период 1940-1980 гг. отмечается 24 года со средней температурой января ниже рассчитанного значения (табл. 1), а с 1981 г. по 2015 г. только 8 лет, что говорит о череде более теплых зим во второй половине рассматриваемого периода.

Средняя температура июля за рассматриваемый период изменяется в пределах +18,1°С…+28,0°С. Выделяются два пятилетних периода 1998-2002 гг. и 2008-2012 г.г., на протяжении которых средняя температура июля была выше рассчитанного среднего многолетнего значения (табл. 1).

По сравнению с Урюпинском во Фролово более выражены периоды с ровным ходом осадков (рис. 4).

Проведя анализ годовых сумм осадков, можно говорить об увеличении длительности периодов без резкого снижения количества осадков. На периоды с годовыми осадками больше 400 мм приходится 32 года, т.е. 1966-1970 гг., 1976-1983 гг., 1987-1990 гг., 1997-2007 гг. Тем не менее, стоит отметить и более засушливый период, приходящийся на 2008-2012 годы, когда значения годовых осадков не превысило 390,6 мм, а минимум составил 308,5 мм. В отличие от Урюпинска максимум осадков приходится на сентябрь-декабрь и только в 1973 г. яркий был в июне, когда выпало 163,2 мм.

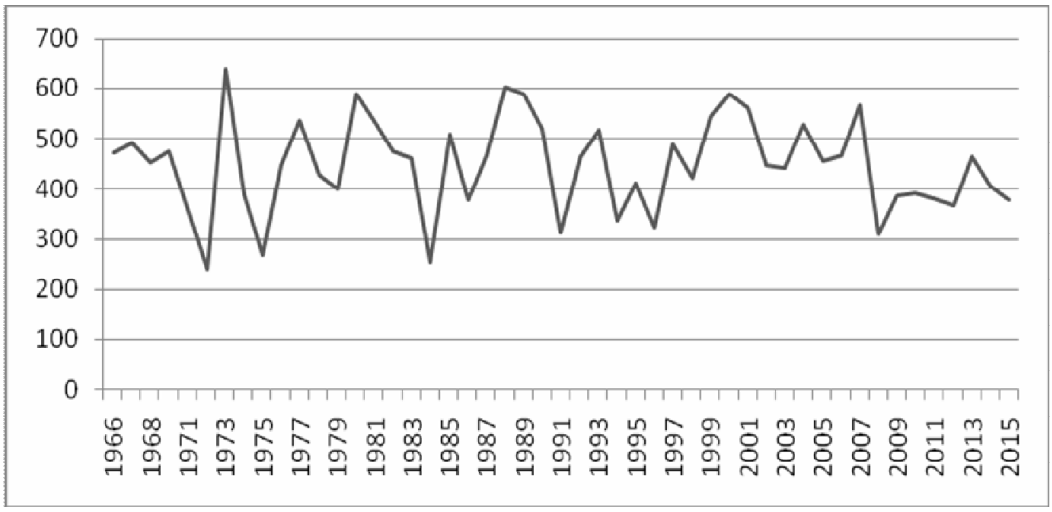


Рис. 4. Изменение годового количества осадков, Фролово

Для станции в *Волгограде* срок анализа температурных изменений охватил 1900-2015 гг. (отметим что, в массиве отсутствует информация о температурах за 1942-1944 годы), в течение которых средняя годовая температура изменялась в пределах от +5,4°С до +10,65°С (рис. 5).

Среднегодовая температура превышала +9,0°С в периоды 1989-1991 гг., 1999-2002 гг., 2004-2010 гг., 2012-2015 гг., а в целом с 1998 г. по 2015 г. она была выше рассчитанной средней годовой температуры +8,1°С (табл. 1.). Приведенное распределение годовых температур демонстрирует повышение средней годовой температуры с конца 1980-х годов. Тем не менее, прогнозировать дальнейшее повышение температуры невозможно, т.к. коэффициент достоверности аппроксимирующей функции (в данном случае полиноминальная 6-ой степени) всего R^2=0,3329.

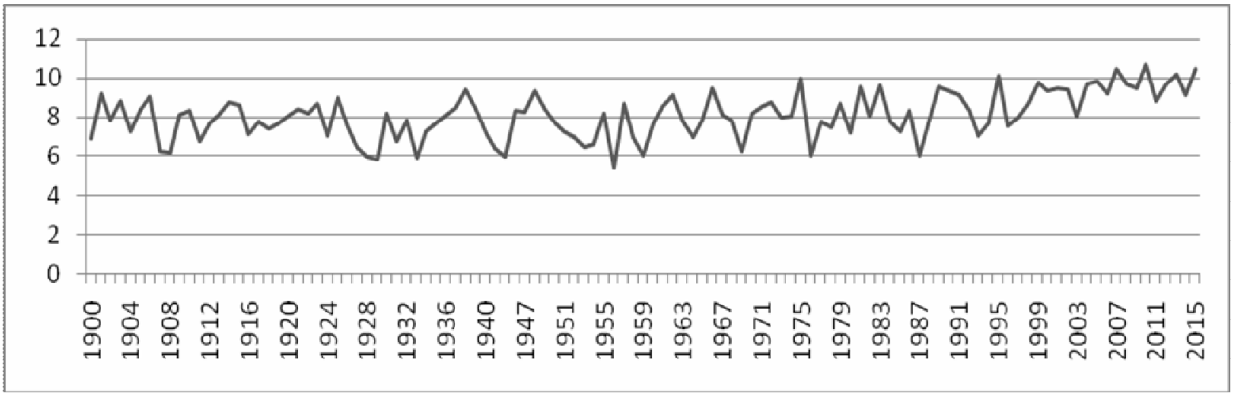


Рис. 5. Изменение средней годовой температуры, Волгоград

Подобные закономерности выявляются при анализе изменения средней температуры января, где также с конца 1980-х годов наблюдается сокращение числа отрицательных пиковых значений. Проведя анализ периодов лет, в течение которых средняя температура не опускалась ниже расчетной многолетней, а именно: 1912-1916 гг. (5 лет), 1958-1962 гг. (5 лет), 1981-1986 гг. (6 лет), 1989-1995 (7 лет), 1999-2005 гг. (7 лет), 2011-2015 гг. (5 лет), можно говорить, что с 1980-х годов резко увеличилась частота и продолжительность периодов, в которых средняя температура января была выше нормы.

Минимальная температура июля, за рассматриваемый период, в Волгограде составила +19,8°С (1976 г.), максимальная +28,9°С (2011 г.), в 2010 г. +28,8°С. При анализе распределения средних июльских температур можно констатировать, что с 1998 г. увеличивается частота и продолжительность периодов, в течение которых средняя температура июля превышает рассчитанное среднее многолетнее значение (табл. 1).

Среднее годовое количество осадков за рассматриваемый период составило 400,362 мм (табл. 1). В годовом ходе осадков четко выделяются осенне-зимний и весенне-летний периоды максимума (рис. 6).

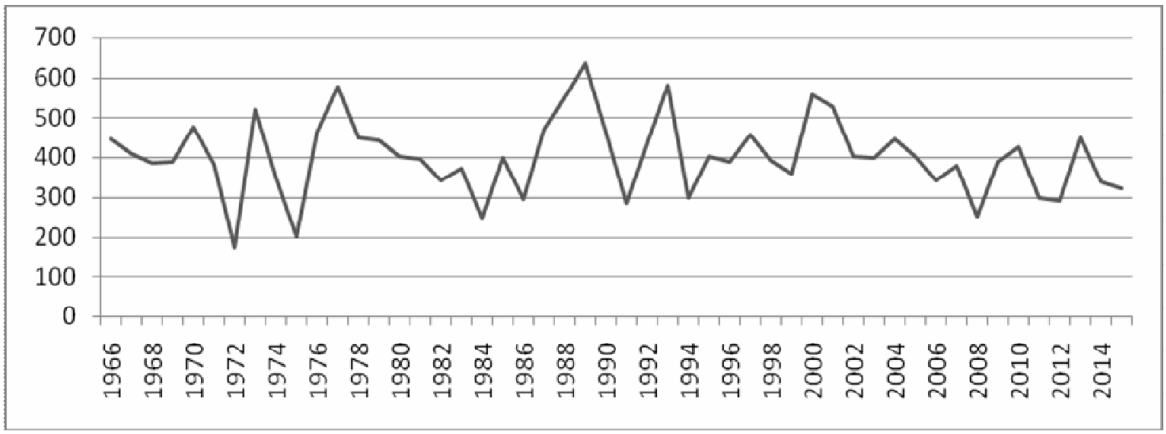


Рис. 6. Изменение годового количества осадков, Волгоград

С 1966 по 1980 год максимум осадков приходится на ноябрь – декабрь, 1980-1988 гг. – на май-июль, 1988-2015 год – сентябрь-январь, с двумя майскими пиками в 2005 и 2010 годах.

По метеостанции *Эльтон* данные средних месячных температур представлены только с 1961 года (рис. 7).

Максимальное значение средней годовой температуры зафиксировано в 1995 г. (+10,6°С), минимальное в 1969 г. (+5,65°С). Данные значений средней годовой температуры четко делятся на два периода. Первый, с 1966 г. по 1994 г., в течение которого насчитывается четыре трехлетних периода (1963-1965 гг., 1986-1970 гг., 1976-1978 гг., 1992-1994 гг.) и пятилетний 1984-1988 гг., когда средняя годовая температура была ниже рассчитанной среднемноголетней. Второй период охватывает 1995-2015 гг., в котором на протяжении 19 лет (1995 г., 1998-2002 гг., 2004-2015 гг.), средняя годовая температура была выше средней многолетней.

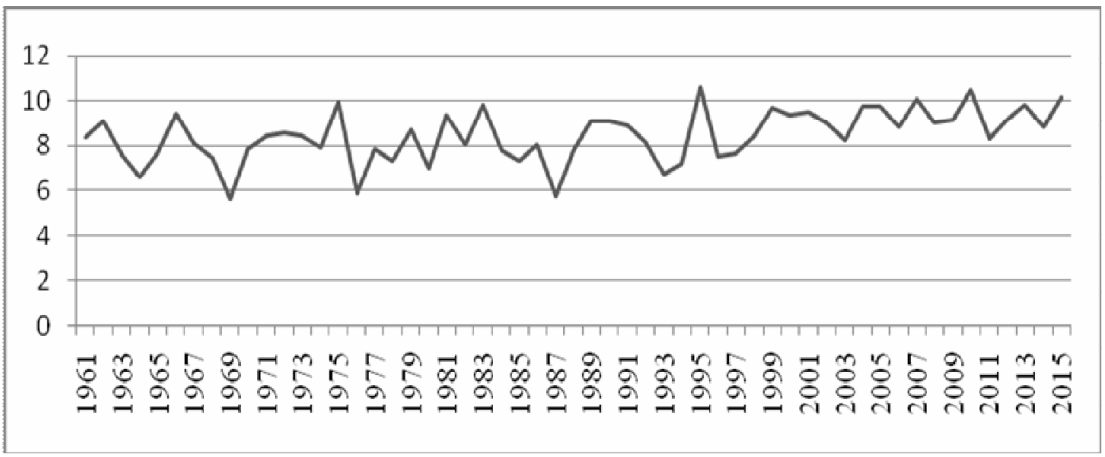


Рис. 7. Изменение средней годовой температуры, Эльтон

Средняя температура января изменялась в пределах от -19,0°С (1969 г.) до +1,6°С (2007 г). Самыми длительными периодами с теплыми январями были в 1981-1984 гг., 1989-1995 гг. и 1999-2005 гг., когда средняя температура января была заметно выше среднего многолетнего значения и варьировалась в пределах от -6,8°С до -2,5°С. С 2011 по 2015 гг. значения средних январских температур приближаются к среднему многолетнему.

Средние июльские температуры поднимались от +20,8°С (1976 г.) до +30,5°С (2011 г.), 30,3°С (2010 г.). Самые жаркие периоды охватывают 1970-1972 гг., 1998-2002

гг., 2007-2012 гг., 2012-2015 гг., когда средняя температура июля превышала рассчитанную среднюю многолетнюю (табл. 1). Таким образом, прослеживается увеличения частоты и продолжительности жарких июлей.

Минимальное годовое количество осадков отмечено в 1975 г. – 141,4 мм, максимальное в 1989 г. – 441,9 мм (рис. 8).

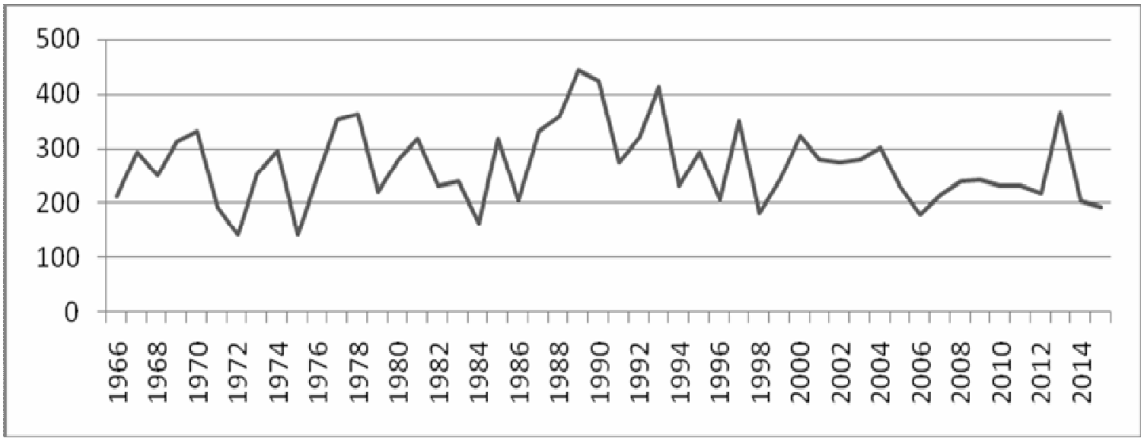


Рис. 8. Изменение годового количества осадков, Эльтон

С 2005 г. по 2015 г. длился засушливый период, годовая сумма осадков в течение которого, находилась в интервале 180,4-242,5 мм, за исключением 2013 года, когда она составляла 365,6 мм. В основном большая часть выпадающих осадков приходится на теплый период (апрель-октябрь).

При анализе данных среднемесячных температур за указанные выше периоды отмечается повышение средней годовой температуры примерно с 1980-х годов. С этого же времени увеличивается частота и продолжительность периодов с январскими и июльскими температурами выше климатической нормы. Значения годового количества осадков соответствуют чередованию влажных и более засушливых периодов. Однако с середины 2000-х годов наблюдается тенденция к снижению годового количества осадков, при этом увеличивается средняя годовая температура воздуха, что особенно выражено на Эльтоне.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Волгоградской области (проекты № 18-45-342004р_мк, № 19-45-340006 р_а)

ЛИТЕРАТУРА

1. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Трофименко Л.Т., Швец Н.В. «Описание массива данных среднемесячной температуры воздуха на станциях России» Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621485. Режим доступа: URL: http://meteo.ru/data/156-temperature#описание-массива-данных (дата обращения 01.11.2018).

2. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В. «Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394. Режим доступа: URL:http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#описание-массива-данных (дата обращения 01.11.2018).

О НЕКОТОРЫХ ВОЗМОЖНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЯХ КЛИМАТИЧЕСКОГО ОПТИМУМА СРЕДНИХ ВЕКОВ

А.М. Харитонов
mavr@tig.dvo.ru

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г.Владивосток, Россия

Современное состояние климата Земли и тенденции его развития вызывают многочисленные споры не только у ученых-климатологов. Глобальное потепление, которое часто сменяется региональными похолоданиями, позволяет на этом основании политикам и бизнесменам игнорировать основные положения климатологии и метеорологии в отношении углекислого газа, увеличение содержания которого в результате деятельности человека принимает все более угрожающие размеры и ведет также к перегреву Мирового океана.

Действительно, прошедшая зима была одной из самых суровых в Северной Америке за время наблюдений – ведь и Ниагарский водопад замерзает там далеко не каждый год. Впрочем, сегодняшние сообщения информагенств о таянии и росте ледников в Гренландии взывают скорее подспудное ощущение их заказного характера, которое вряд ли можно связать с настоящей наукой. Тем не менее, снег несколько раз в последние годы выпадал даже в пустыне Сахара и по местным меркам держался даже довольно долго.

Любопытно, что в южном полушарии при общей тенденции к потеплению порой наблюдаются также более суровые зимы, чем обычно, что заметили еще на чемпионате мира по футболу в Южной Африке в 2010 г.Однако само лето 2010 года выдалось необычайно жарким в Европе, а высыхание болот в европейской России способствовало распространению торфяных пожаров, которые своими едкими дымами весьма затрудняли нормальное дыхание жителей Москвы.

При этом мало кто обратил внимание на совершенно противоположные примеры из южного полушария за этот год. Здесь, наоборот, наблюдалось явное похолодание: снег покрыл значительные территории на юге Южной Америки. Даже обычно безморозная Австралия пережила ужас 10 – градусных холодов ниже нуля! Участились также случаи затирания льдами судов вблизи берегов Антарктиды. Вслед за этим ранние снега покрыли ряд территорий Европы. Но опять же при этом в Греции и на Сицилии температура держалась на уровне 25 градусов[6].

Но как обстояло дело в иные времена, считающимися близкими по температурным характеристикам современности? Попробуем рассмотреть это на примере климатического оптимума средних веков. Обычно считается, что данный климатический оптимум в средние века (в X-XIII вв. или примерно с 950 по 1250 гг.) наблюдался по всей Земле и предшествовал малому ледниковому периоду XIV-XVIII вв.

Однако Южное полушарие в этот момент могла уже охватить волна холода [5]. Вообще-то по южному полушарию у нас нет достаточно надежных источников по истории местного климата из-за отсутствия здесь письменных народов в средневековье, хотя климат здесь мог быть более влажным. Считается, что даже в пустыне Намиб по данным Википедии тогда могли быть поселения.

Но эта волна холода особенно заметна на ряде мировых карт средних веков и нового времени, на которых показан Антарктический континент, заметно превышающий по размерам современную Антарктиду. Ранее эти карты не принимались во внимание, т.к. считалось, что в воды Антарктики человек проник значительно позднее, и они являются выдумкой. Но так считают историки, чью точку зрения по исторической географии без малейшей критики обычно перенимает география.

Однако в 2002 г. появился дилетант, который своими работами по истории географических открытий привлек внимание наших коллег из Британского Королевского общества. Г. Мензис [4] показал, что данные «фантастические» карты вполне могут быть приняты во внимание географической наукой, чтобы там о них не говорила наука историческая.

Дело в том, что в начале XV века сильнейшей державой нашей планеты был …Китай. Организованные тогда же в Китае 7 крупных морских экспедиций по изучению географии Земли, по мнению Мензиса, не ограничивались только Индийским океаном, как было принято в исторической науке, а распространялись и на неизвестные средневековой географии территории Австралии, Америки, Антарктики и Сибири. Этими сведениями затем воспользовались европейские мореплаватели в эпоху, получившую название эры Великих географических открытий. Наши коллеги внимательно выслушали доводы Г. Мензиса и признали их достаточно обоснованными.

Сам Мензис заметил, что изображение береговой линии Антарктиды на старых «невозможных» картах оказалось примерно на 500 км севернее современной. Более того, это могло привести к понижению уровня Мирового океана на 2-3 метра в эту эпоху. «Фантастические» же карты вполне могли быть получены с несохранившихся картографических изображений китайских экспедиций и должны отражать ситуацию первой четверти XV века. При этом получается, что представление о некоторой стабильности оледенения в современной и древней Антарктиде нуждается в серьезном пересмотре.

Естественно, что растаявшие льды Арктики тогда должны были существенно повысить уровень моря, но т.к. этого явно не наблюдалось, то объяснение этому нужно искать только в сильно увеличенной ледовитости южного полушария. Действительно, в Антарктиде сегодня сосредоточена значительно большая замерзшая масса воды, чем в северном полушарии.

Подсчитано, что при таянии всего массива антарктических льдов уровень океана поднимется примерно на 60 метров, тогда как все растаявшие льды Арктики вызовут эффект подъема уровня моря примерно в 10 раз меньший. Так что малейшее изменения ледовитости в южном полушарии даже более значимы, чем в северном. В таком случае водный баланс океана явно сходится, что подтверждает выводы Мензиса. Об этом не стоит забывать, рассматривая колебания уровня моря в исторический период.

Известно, что в период с IV по X века уже н.э. уровень моря был несколько выше современного (примерно на 1 м). В Арктике в это время еще не отмечается потепление – норманны еще не проникают в Гренландию, не плавают к берегам Северной Америки, не осваивают Скандинавию. Вероятно, в южном полушарии должно быть зафиксировано небольшое потепление в это время. Иначе уровень океана не поднялся бы.

Любопытно, что Магеллан искал проход в Тихий океан, совершенно не подозревая о возможности существования пролива Дрейка. Между тем на карте Пири Рейса, признанной историками подделкой, его тоже нет. Но если эта карта все же подлинная и использует данные одного из моряков Колумба, который сам мог знать об открытиях китайских мореходов, то получается, что во времена китайских экспедиций пролив Дрейка был забит льдами и непроходим и только позднее освободился ото льда, когда в Европе наступал уже малый ледниковый период.

Между тем как отмечают отечественные историко-географы [3, с.308] уже в 1526 г. о существовании пролива между Антарктидой и Огненной землей сообщал Франсиско Осес. Значит уже тогда пролив был свободен ото льда. В 1578 г. этим проливом прошел знаменитый пират Дрейк, что позднее и дало имя новому водному пути.

Кстати, изображение Арктики на известной карте Г. Меркатора, где арктический бассейн занят некой «землей», можно трактовать и как то, что на ней изображены расколотые на несколько частей льды Северного Ледовитого океана. В первой четверти XV века даже китайские парусные суда, похоже, могли пройти весь его бассейн за одну навигацию и обогнуть Гренландию с севера.

Так, имеется ряд европейских карт, на которых правильно нанесен Северо - Западный проход по 75 градусу с. ш. Видимо по этой причине Г.Ф. Миллер поместил на карте Чукотский Святой нос под той же широтой. Именно здесь располагается сегодня забитый льдами выход из Атлантики в Тихий океан, который был свободен в начале XV века в эпоху окончания периода климатического оптимума.

Не китайские ли мореходы снабдили ряд здешних народов в Сибири и Северной Америке картографическими знаниями, которые удивляли потом европейских мореплавателей [1] Не они ли поспособствовали появлению там же народов, относимых сегодня лингвистами к сино-тибетской языковой семье (кеты, индейцы на-дене)?

Как видим, теория Г. Мензиса помогает решить не только ряд сложных географических, но и этнографических и иных проблем, если принять ее к сведению, что автор данной работы показал в ряде своих исследований [7] и др.? Это, пусть и косвенно, свидетельствует о работоспособности теории британского моряка-подводника.

Опираясь на сведения Мензиса, можно констатировать, что представления о периоде климатического оптимума как о стабильном периоде высоких температур и влажности может быть несколько преувеличено. В южном полушарии тенденция к общему повышению температуры могла быть обратной в это время. Не исключены и значительные перепады температурного режима в отдельные годы оптимума, которые могли вызывать климатические катаклизмы в разных регионах планеты. Во всяком случае, некоторые современные специалисты лесного хозяйства утверждают, что сегодня каждые 10 лет вероятность увеличения числа лесных пожаров на Дальнем Востоке и в мире в целом возрастает примерно на 10% [2].

Таким образом, опора только на региональные климатические особенности и распространение их на всю территорию земного шара может порой приводить к ошибочным выводам. Кроме того, если опираться только на увеличение содержания углекислоты в атмосфере, то эта попытка списать на нее все связанные с климатом перемены может быть не совсем состоятельной. Учет только одного этого фактора без учета действия всех остальных может иначе привести к заведомо ложным выводам.

Вполне вероятно, что причины самого резкого изменения содержания углекислого газа лишь ускорены промышленностью, но не стоит сбрасывать со счетов и природные факторы, связанные, например, с астрономией и т.п., которые еще требуют специальных междисциплинарных расчетов и согласования позиций по отдельным вопросам.

Видимо, периоды повышения и понижения уровня моря повторяются через примерно 600 лет, но данный вопрос явно нуждается в дальнейших исследованиях. Во всяком случае, это может повлиять и на некоторые явно ошибочные представления исторической науки, перенятые от нее исторической географией без должной критической проверки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багров Л. История картографии. – М.: ЗАО Центрполиграф, 2004. – 320 с.

2. Лесной план Приморского края на 2009-2018 гг. – Владивосток-Хабаровск, 2012. – Кн. I. – 307 с.

3. Магидович В.И., Магидович И.П. Очерки по истории географических открытий. Эпоха великих открытий. – М.: ЗАО Центрполиграф, 2003. - 639 с.

4. Мензис Г. 1421 – год, когда Китай открыл мир. – М.: Эксмо, Яуза, 2006. – 640 с.

5. Харитонов А.М. Картографический материал средневековья как источник информации о состоянии климата // Современные геофизические и географические исследования на Дальнем Востоке России. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2010. – С. 143-146.

6. Харитонов А.М. Климатический оптимум средних веков и проблема современного глобального потепления // Материалы XIV научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока. – Владивосток, 2011. – С. 276-278.

7. Харитонов А.М. Новая теория Великих географических открытий и ее возможное влияние на развитие других наук // География и смежные науки. LXI Герценовские чтения. – СПб.: Тесса, 2008. – С.170-181.

ВТОРЖЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ВОЗДУХА И ПОТЕПЛЕНИЕ КЛИМАТА НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ В ЛЕТНИЕ МЕСЯЦЫ

А. В. Холопцев
kholoptsev@mail.ru

Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова,
Севастопольский государственный университет, г.Севастополь, Россия

Происходящее в современном периоде потепление климата существенно влияет на жизнедеятельность населения многих регионов мира, функционирование экономики и развитие их ландшафтных комплексов. Поэтому развитие современных представлений об особенностях влиянии на них различных природных факторов является актуальной проблемой физической географии, метеорологии и климатологии.

Наибольший интерес решение данной проблемы представляет в отношении регионов, где этот процесс проявляется наиболее ощутимо. В России одним из них является Дальний Восток, где это явление характерно для любых месяцев, но в летний сезон способно причинять наибольший ущерб его природе. В данное время года оно активизирует здесь термическое разрушение многолетнемерзлых пород (Вечной мерзлоты), и связанные с ним экзогенные геологические процессы, способствует повышению пожароопасности в природных экосистемах и внедрению в них инвазивных видов живых существ, а также вызывает многие другие опасные последствия [1]. Поэтому решение рассматриваемой проблемы для указанного региона и летних месяцев имело бы не только теоретическое, но и немалое практическое значение.

Одним из природных процессов, способных влиять на потепление климата различных районов Дальнего Востока России, являются проходящие через них вторжения арктического воздуха (ВАВ). ВАВ представляют собой одну из основных разновидностей меридиональных составляющих атмосферной циркуляции над Северным полушарием нашей планеты, которая в значительной мере определяет интенсивность воздухообмена между его высокими и низкими широтами [2].

ВАВ это быстрые воздушные течения с северных румбов, которые образуются при сближении входящего в высокие широты южного циклона, с встречающимся на его пути сегментом Арктического антициклона, и увлекают арктический воздух в умеренные широты и даже в субтропики. Они возникают потому, что при взаимодействии такого циклона с Арктическим антициклоном, в его тыловом секторе увеличивается модуль барического градиента, что и вызывает усиление наблюдающегося здесь ветра. В результате ВАВ возникает полоса повышенного атмосферного давления (Рат) и пониженной температуры воздуха ($Т_в$), соединяющая Арктический и некоторый Субтропический антициклон, что вызывает блокинг [3]. Влияние ВАВ, проходящих над некоторым регионом, на характерные для него средние температуры того или иного месяца, при прочих равных условиях, сказывается тем ощутимей, чем больше в нем их суммарная продолжительность (СП). Увеличение СП ВАВ, как правило, приводит к их снижению.

В летние месяцы принесенный ВАВ сухой арктический воздух, над сушей быстро прогревается. Это способствует образованию через некоторое время над континентальными регионами умеренных широт, в которые проник такой воздух, малоподвижных антициклонов, и может создавать предпосылки к возникновению засухи. Если ВАВ проходит над районами метановой дегазации земной коры, весьма распространенными на шельфе арктических морей, омывающих Дальний Восток России, так и на его территориях [4], оно захватывает выделившийся в воздух метан и разносит по всему пути своего распространения. Последнее служит фактором потепления климата во всех регионах, где ощущается данный процесс.

Как видим, возникновение летом ВАВ, пересекающего территории Дальнего Востока России, способно вызывать на них как похолодание, так и потепление. Значимость и

особенности влияния данного фактора на динамику характеристик климатаразличных частей данного региона изучена недостаточно, вследствие чего при ее моделировании оно не учитывается. Это, в какой-то мере, снижает адекватность получаемых результатов. Следовательно, заслуживает рассмотрения гипотеза:- межгодовые изменения СП ВАВ в летние месяцы, которые проходят над участками земной поверхности, где происходит интенсивная метановая дегазация недр и пересекают территории Дальнего Востока России, являются значимыми факторами повышения среднемесячных значений характерных для них $T_в$.

Несмотря на то, что систематические метеорологические наблюдения в рассматриваемом регионе осуществляются уже многие десятилетия, проверка адекватности выдвинутой гипотезы ранее не производилось. Следовательно, подобное исследование могло бы принести немалую пользу.

Причиной недостаточной изученности особенностей влияния ВАВ на изменения регионального климата Дальнего Востока России является несовершенство применяемой методики их обнаружения. Упомянутая методика разработана в 1946 г. Б.Л. Дзердзеевским для обнаружения блокирующих процессов в Северном полушарии [2]. В соответствии с ней, решение об обнаружении этих процессов принимают, при обнаружении полосы, связывающей Арктический антициклон с соответствующим Субтропическим антициклоном, где $P_{ат}$>1015 гПа.

Поскольку аналогичные барические неоднородности могут возникать и при других блокирующих процессах, при использовании упомянутой методики для обнаружения ВАВ могут нередко возникать ложные тревоги. При обнаружении с ее помощью ВАВ, пересекающих глубокие барические депрессии, могут также иметь место и их пропуски. В результате этого достоверность оценок СП ВАВ, полученных при использовании упомянутой методики, а значит и выявленные связи их изменений с другими природными процессами, могут вызывать естественные сомнения. Тем не менее, упомянутая методика (за неимением другой) применяется многими современными авторами.

Целью данной работы является проверка выдвинутой гипотезы, а также выявление условий, при которых она является адекватной. Для ее достижения решены следующие задачи:

1. Разработка методики обнаружения ВАВ, частично свободной от недостатков методики [2].

2. Проверка выдвинутой гипотезы, а также выявление условий, при которых она является адекватной.

Информация о расположений участков земной поверхности в Дальневосточном регионе, где происходит метановая дегазация земных недр получена из [4], а также CAMS Reanalysis [5].

Упомянутый реанализ содержит данные об изменениях распределения метоана.

CAMS Reanalysis является новейшим глобальным каталогом данных об изменениях за период с января 2003 г. по декабрь 2016 г. распределений среднесуточных и среднемесячных концентраций парниковых газов, аэрозолей в атмосференад всей земной поверхностью. Он создан Службой мониторинга атмосферы Copernicus.

CAMS Reanalysis произведен с использованием ассимиляции данных 4DVar в CY42R1 Интегрированной системы прогноза ECMWF(IFS) с 60 гибридными уровнями по вертикали. Верхний уровень соответствует абсолютной высоте геопотенциала 0,1 гПа. Данные о среднесуточных и ежемесячных концентрациях метана и других веществ этих уровнях содержатся в архиве ECMWF(MARS) и могут быть получены с использованием службы открытых данных ECMWF через WebAPI.

Как показал анализ результатов CAMS Reanalysis, наибольшие концентрации метана в воздухе над Дальневосточным регионом приходятся на прибрежные районы восточной части Восточно-Сибирского моря и Чукотского моря, расположенные в секторе 160°E-160°W. Потоки метана в атмосферу здесь достигают 30–190 г/м^2 в сутки. Поэтому проверка выдвинутой гипотезы осуществлялась для указанного сектора.

При выборе применяемого для этого фактического материала учитывалось, что наиболее отчетливые и устойчивые отклики на ВАВ возникают в полях $P_{ат}$, $T_в$, абсолютных высот $H_р$ некоторых значений геопотенциала р, а также скорости ветра V[2]. Поэтому рассматривались результаты реанализа NCEP/NCAR среднесуточных значений в мае-октябре (включая и все летние месяцы):

- приведенного к уровню моря $P_{ат}$; $H_р$, соответствующих различным значениям геопотенциала р: 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100 гПа; $T_в$ на $H_{1000,}$ а также данные о среднесуточных V, которые получены из реанализа ERA-Interim [6]. ERA-Interim является глобальным атмосферным реанализом, который разработан и поддерживается Европейским центром среднесрочных прогнозов (ECMWF). Данный реанализ содержит информацию о V в узлах координатной сетки с шагом 0,75×0,75°. (~79 км) и с разрешением по времени 6 часов, за период с 1979 г. по настоящий момент. Он основан на интегрированной системе прогнозирования (IFS) с изменениями цикла 31*r*2. Для системы ассимиляции данных используется 4D вариационный анализ с 12-часовыми циклами. Анализ выполнен на 60 вертикальных уровнях со спектральным разрешением T255.

Для тестирования методики применялся реанализ ASR (Arctic Sistem Reanalis) [7], который поддерживается группой полярной метеорологии Университета штата Огайо (США). Он разработан с использованием модели: - Polar Weather Research and Forecasting (Polar WRF) версии 3.3.1.

В данной работе использован вариант ASR.2, в котором информация о значениях компонентов скорости приводного ветра, в том числе в любом пункте Арктики, представлена с горизонтальным разрешением 15 км. В свободном доступе упомянутая информация с дискретностью 3 ч представлена за период 1.01.2000 - 31.12. 2012 гг.

Методика решения первой задачи предполагала ее осуществление в два этапа.

На первом этапе рассматривались причины ошибок, возникающих при обнаружении ВАВ с использованием методики [2].На втором этапе разрабатывалась и тестировалась новая методика обнаружения ВАВ, пригодная для применения в области Исландского минимума. При этом учитывались представления об откликах на ВАВ, которые могут возникать в полях $P_{ат}H_р$, $T_в$ и V. Выявлялись отклики, устойчиво проявляющиеся в Северной Атлантике за период с 1.01.2000 по 31.12.2012 гг.

Методика решения второй задачи состояла в корреляционном анализе связей между временными рядами среднемесячных значений $T_в$, в том или ином пункте земной поверхности, а также совпадающими с ними по времени рядами СП ВАВ, происходивших в том или ином секторе шириной 5^o из интервала долгот 160^oE-160^oW. Временные ряды указанных показателей рассматривались за период 01.1979-12.2018 гг. При осуществлении анализа в каждом ряду выявлен и скомпенсирован линейный тренд.

Значимость связей между теми или иными рядами оценивалась с применением критерия Стьюдента. Выявлялись связи между изучаемыми процессами, вывод о значимости которых обладает достоверностью не ниже 95% (уровень значимости модуля коэффициента корреляции – 0,34). Результаты анализа отображались на контурных картах Дальневосточного региона с применением метода триангуляции Делоне. Значимость вариаций СП ВАВ в некотором секторе, как фактора изменений среднемесячных $T_в$, оценивалась по количеству узлов координатной сетки реанализа NCEP/NCAR ($2,5^o$), для которых установлена значимость связей между упомянутыми временными рядами.

В соответствии с методикой обнаружения блокирующих процессов [2], как фактический материал при решении этой задачи применяются карты погоды для Северного полушария, соответствующие 9 часам по Московскому времени. Решение о выявлении ВАВ принимается, если на такой карте обнаружена полоса повышенного $P_{ат,}$, которая соединяет Арктический и некоторый Субтропический антициклон. Значение $P_{ат}$ рассматривается как повышенное, если оно выше 1015 гПа.

Одним из недостатков данной методики являются систематические пропуски ВАВ, пересекающих глубокие барические депрессии, поскольку в них повышенное $P_{ат}$, уровня 1015 гПа, как правило, не достигает. Еще одним видом ошибок, возникающих при ее

применении, являются также ложные тревоги, возникающие потому, что превышение значениями $P_{ат}$ уровня 1015гПа, может быть результатом действия процессов, не связанных с ВАВ. Нельзя не отметить и такой недостаток рассматриваемой методики как возможность ее реализация лишь с участием человека, обладающего достаточным опытом работы с картами погоды. В итоге, ее применение весьма трудоемко, результаты, полученные при обнаружении ВАВ, не защищены от возникновения «антропогенных» ошибок, а их достоверность вызывает естественные сомнения.

Для того, чтобы достичь поставленную цель необходима методика, свободная от указанных недостатков. При ее разработке учитывалось, что главное отличие ВАВ от других блокирующих процессов состоит в том, что это быстрое воздушное течение с северных румбов, которое доставляет воздух из Арктики, как минимум до умеренных широт, а во многих случаях и до субтропиков. Поэтому для обнаружения этих процессов было бы логично учитывать отклики на образование ВАВ, возникающие в поле скорости ветра.

Вполне адекватно описывает особенности поля Vв приполярных, умеренных и субтропических широтах реанализ ERA-Interim. Тем не менее, применение его при поиске ВАВ, основанном на последовательном осуществлении попыток их обнаружения во всем изучаемом регионе, весьма проблематично. Причиной этого является особенность данного реанализа, которую принято рассматривать как его преимущество: - разрешение по пространству79 км и по времени -6 часов. В итоге объем образующей его информации за каждые сутки с 1.01.1979 г. по 31.12.2018 гг. столь велик, что разместить ее в оперативной памяти современных компьютеров невозможно, а его обработка по частям, предполагающая многократное выполнение «долгих» операций загрузки и выгрузки информации, занимает слишком большое время.

Поэтому предложена методика выявления ВАВ, включающая два этапа. На первом, по данным реанализа NCEP/NCAR осуществляется предварительное обнаружение полос, соединяющих Арктический и Субтропический антициклон, в которых повышенными являются $P_{ат}$иH_p, а также пониженными $T_в$. На втором этапе, окончательное решение об обнаружении ВАВ принимается с использованием реанализа ERA-Interim. Такое решение принимается, если в пределах выявленной на первом этапе полосы существует, как минимум, одна субмеридиональная воздушная струя, шириной по долготе не менее 79км, в которой вектор скорости среднего за сутки ветра на всех широтах от Арктического до Субтропического антициклона направлена с северных румбов (от ССЗ до ССВ).На первом этапе решение о предварительном обнаружении полосы принимается, если для каждого узла координатной сетки реанализа NCEP/NCAR (с разрешением $2{,}5^o$) выполнялся критерий:

$$P_{ат}(\lambda,\varphi, t)>P_{атср}(\varphi, t);\ H_p(\lambda,\varphi, t)>H_{pср}(\varphi, t);\ \text{и}\ T_в(\lambda,\varphi, t)<T_{вср}(\varphi, t), \qquad (1)$$

где λ – долгота,φ – широта, t – дата, p =700гПа и 300гПа, $X_{ср}(\varphi, t)$ – среднее $X(\lambda,\varphi, t)$, по всем узлам координатной сетки реанализа, расположенным на широте φ, в дату t.

Так как предлагаемая методика обнаружения ВАВ, должна полностью исключать участие в ее реализации человека, в ней учтено, что возникающая при этом полоса повышенного $P_{ат}$ может иметь произвольную конфигурацию. Для выявления такой полосы предложена процедура, основанная на полном переборе возможных ее конфигураций.

С использованием данной методики выявлены все ВАВ, существовавшие в летние месяцы над рассматриваемым регионом в период с 1979 по 2018 гг. Для каждого сектора шириной $2{,}5^o$ и каждого года определены значения СП ВАВ, а по ним рассчитаны значения углового коэффициента линейного тренда (характеризующую тенденцию), а также средние значения. Установлено, что в период с 1979 по 2018 гг. СП ВАВ, во всех секторах изучаемого региона значимо возрастали (наиболее быстро в восточной части Восточно-Сибирского моря и в районе Берингова пролива). Средние значения СП ВАВ увеличивались с запада на восток, достигая максимальных уровней в секторе, соответствующем Берингову проливу ($\lambda=165^oW$). Среднемесячные $T_в$ здесь всюду повышались. Скорости

этого процесса были максимальны (до 6^{o}C за 37 лет!) в районе острова Карагинский (Берингово море) и к востоку от него, над Чукотским морем, а также в районе залива Нортон (полуостров Аляска). В то время как причиной повышения среднемесячных $T_в$ в августе на суше могут являться и другие факторы, их повышение над акваториями Берингова моря и Тихого океана может быть вызвано либо повышением их поверхностных температур, либо увеличением содержания в воздухе над ними метана (усиливающего парниковый эффект).

Корреляционный анализ связей межгодовых изменений августовских значений доставляющих метан СП ВАВ в том или ином секторе, а также среднемесячных $T_в$ во всех секторах изучаемого региона позволил выявить сектор, где вариации СП ВАВ являются наиболее значимым фактором происходящего в регионе потепления.

Установлено, что таким сектором является участок побережья полуострова Чукотка от Колючинской губы до мыса Сердце-камень (175-172,5^{o}W). Область значимой положительной корреляции СП в августе ВАВ в секторе (175-172,5^{o}W), а также среднемесячных $T_в$ в Дальневосточном регионе простирается между параллелями 50 и 69^{o}N и меридианами 172,5^{o}E и 167,5^{o}W. Данная область включает значительную часть территории Дальнего Востока России, а также Берингова моря и Тихого океана. Наиболее сильная корреляция рассматриваемых процессов имеет место в районе полуострова Чукотка, включающем и Анадырский залив Берингова моря, а также в районе Алеутских островов (Ближних, Крысьих и Андреяновских), с прилегающими к ним акваториями Берингова моря и Тихого океана. Здесь среднемесячные значения $T_в$ повысились за 37 лет на 3-4^{o}C. Температуры поверхностей указанных океанических акваторий за этот период на 3-4^{o}C, к счастью, не повысились. Следовательно, данный результат указывает на то, что повышение среднемесячных $T_в$ над такими акваториями, есть результат повышения над ними среднесуточных $T_в$ непосредственно в те сутки, когда здесь повышалась концентрация в воздухе метана, доставляемого ВАВ. Последнее приводило к локальному и временному усилению парникового эффекта, которое прекращалось, после завершения ВАВ.

Таким образом, полученный результат соответствует представлениям о возможных последствиях увеличения над указанными регионами содержания в воздухе метана, при возрастании СП ВАВ, проходящих над участками земной поверхности, где происходит его выделение в атмосферу. Тем не менее, для более надежного подтверждения адекватности выдвинутой гипотезы, осуществлен корреляционный анализ связей изменений СП ВАВ в тех или иных секторах Дальневосточного региона, а также среднемесячных значений общего содержания метана (ОСМ) в каждом его секторе для каждого месяца с мая по октябрь, в период с 2000 по 2016 гг.

При вычислении значений ОСМ (с использованием CAMS Reanalysis) предполагалось, что в промежутках между соседними уровнями, для которых в данном реанализе указаны концентрации метана, значения данного показателя постоянны и равны их средним арифметическим.

Установлено, что расположения и конфигурация областей, где корреляция изучаемых процессов значима и положительна, в июле и августе близки к расположениям таких же областей для СП ВАВ и среднемесячных $T_в$. В июне, а также мае, сентябре и октябре подобного явления не выявлено. Полученный результат свидетельствует о том, что выдвинутая гипотеза адекватна.

Поскольку существенной причиной выделения метана на шельфе арктических морей, является термическое разложение метаногидратных залежей, сформировавшихся в недрах земли в период, предшествующий современной трансгрессии, представляется вероятным, что дальнейшее повышение уровня их водной поверхности может привести к повышению интенсивности этих выделений.

Учитывая выявленную тенденцию к увеличению СП ВАВ, проходящих над участками метановой дегазации, а также выводы [4], изложенное позволяет предположить, что в результате повышения уровня водной поверхности Восточно-Сибирского и Чукотского моря, возрастать будут и $T_в$.

Единственным способом частично предотвратить это потепление, во всем Дальневосточном регионе России, по-видимому, является строительство дамб, защищающих территорий, на которых расположены метаногидратные залежи, от затопления.

Выводы. Таким образом, установлено, что выдвинутая гипотеза адекватна лишь для таких летних месяцев как июль и август. В мае июне, а также сентябре и октябре рассматриваемый эффект не выявлен.

Характер статистических связей межгодовых изменений СП ВАВ, которые проходят над участками земной поверхности Дальневосточного региона, где происходит интенсивная метановая дегазация, с вариациями среднемесячных значений Тв, а также ОСМ, соответствует представлениям о том, каким он должны были бы быть, если бы эти связи были причинными.

Чем больше СП ВАВ, тем, при прочих равных условиях, больше среднемесячные значения ОСМ, а также $T_в$. Подобная закономерность наблюдается как над континентальными регионами, так и над океаническими, где темпы повышения температур поверхности в рассматриваемый период были на порядок ниже.

Грандиозные темпы потепления (до 6^oC за 37 лет!) в выявленных районах свидетельствует о том, что рассматриваемый процесс может вносить ощутимый вклад в происходящее потепление глобального климата и представляет опасность не только для Дальнего Востока России, но и для всего мира.

Поскольку значения СП ВАВ над районом наиболее интенсивной метановой дегазации в современном периоде возрастают, единственным способом приостановить темпы этого процесса является строительство дамб, предотвращающих затопление территорий, на которых расположены метаногидратные залежи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме/ Федеральная служба по гидрометерологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – М., 2014. – 60 с.

2. Дзердзеевский Б.Л., Курганская В.М., Витвицкая З.М. Типизация циркуляционных механизмов в северном полушарии и характеристика синоптических сезонов // Труды н.-и. учреждений Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Центральный институт прогнозов. – Сер. 2. Синоптическая метеорология. – Вып. 21. – М., Л.: Гидрометиздат, 1946. – 80 с.

3. Мохов И.И., Акперов М.Г., Прокофьева М.А. Блокинги в Северном полушарии и Евро-Атлантическом регионе: оценки изменений по данным реанализа и модельным расчетам // Доклады Академии наук. – 2013.– Том 449, №5. – С.1-5.

4. Лобковский Л.И. О механизмах деградации подводных многолетнемерзлых пород на восточном арктическом шельфе России / Л.И. Лобковский [и др.] // Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 449, № 2. – С. 185-188.

5. Boy M. and ather, Interactions between the atmosphere, cryosphere, and ecosystems at northern high latitudes // Atmos. Chem. Phys. – 2019. – 19. – P. 2015-2061, https://doi.org/10.5194/acp-19-2015-2019,https://doi.org/10.5194/acp-19-2015-2019,

6. Dee D.P. et al. The ERA–Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2011. – Vol. 137. – № 656. – P. 553–597. doi:10.1002/qj.828

7. Bromwich D.H., Wilson A.B., Bai L.S., Moore G.W., Bauer P. A comparison of the regional Arctic System Reanalysis and the global ERA–Interim Reanalysis for the Arctic // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2016. – Vol. 142. – P. 644–658.

ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ

Александр В. Чередниченко, Алексей В. Чередниченко, В.С. Чередниченко, А.Ж. Жексенбаева
geliograf@mail.ru

НИИ проблем биологии и биотехнологий Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан

Территория северного Казахстана относится к зоне рискованного земледелия (рис. 1), здесь из пяти лет урожайными бывают в среднем только три. Зоны поливного земледелия, расположенные по югу Республики, удовлетворяют в основном местные потребности. Поэтому, несмотря на проблемы, Северный Казахстан является основным земледельческим регионом, здесь же сосредоточено производство зерновых, обеспечивающих продовольственную безопасность Республики.

Зоны рискованного земледелия особенно чувствительны к изменению климата, поскольку системы окружающей среды находятся в неустойчивом равновесии и небольшие, но продолжительные изменения количества осадков или рост температуры могут привести к необратимым последствиям. Понятно поэтому, что анализ возможных изменений климата в регионе Северного Казахстана имеет не только научный, но и практический интерес.

Рис. 1. Территория Северного Казахстана

Территория расположена в центре Евразии, и этим обуславливаются большие амплитуды годового хода температуры и относительно малое количество осадков из-за большой удалённости от океанов, в первую очередь от Атлантического океана.

Авторы отказались от линейной экстраполяции временных рядов температуры и осадков из-за того, что линейные тренды обладают большой инерцией. Так, для перехода от положительного тренда к отрицательному, требуется до 10 лет или больше, поскольку необходимо время, чтобы компенсировать накопленную положительную сумму отклонений и достичь нейтрального тренда. Только после этого возможен переход к отрицательному тренду. Поэтому мы аппроксимировали наши ряды, полиномом шестой степени, обеспечивая значительное сглаживание ряда, при котором, однако, сохраняются климатические экстремумы. Такая полиномиальная аппроксимация достаточно чувствительна к общей тенденции ряда и улавливает её по данным всего за несколько лет. Недостатком такого метода аппроксимации является то, что мы не знаем, как долго появившаяся тенденция в изучаемом параметре сохранится. Поэтому кроме полиномиальной аппроксимации мы широко используем гармонический анализ временных рядов. Гармонический анализ, как известно, представляет временной ряд в виде некоторой суммы тригономет-

рических функций, каждая из которых выбирает свою долю дисперсии изучаемого параметра. Чем быстрее сходится временной ряд, тем меньшим числом гармоник выбирается основная часть дисперсии. В нашем исследовании до 95% дисперсии во временных рядах температуры выбирается тремя гармониками, а в рядах осадков – четырьмя. Следовательно, временные ряды осадков сходятся медленнее, чем ряды температуры. Мы, однако, в данной работе оцениваем вклад гармоник не в долях дисперсии, а через их амплитуду. Это позволяет нам измерять вклад каждой из гармоник в градусах и миллиметрах соответственно, что очень удобно и физически наглядно.

Если аппроксимация полиномом шестой степени сглаживает временной ряд, быстро реагируя на изменение тренда в динамике ряда, то гармоники характеризуют внутреннюю структуру ряда. Каждую гармонику принято интерпретировать как результат воздействия группы факторов. Нет оснований считать, что факторы, которые участвовали в формировании временного ряда ранее, затем исчезнут. Это даёт нам возможность, во-первых, проверить, подтверждается ли полиномиальная тенденция на конце временного ряда соответствующим ходом основных гармоник, а, во- вторых, построить сценарий изменения временного ряда на 20-40 лет вперёд, как сумму продолженных основных гармоник на перспективу в каждой временной точке ряда. При этом основные гармоники, как основу прогноза, тоже можно аппроксимировать полиномом шестой степени, чтобы получить ожидаемый ход прогнозируемого параметра.

Климатические колебания в регионе мы объясняем исключительно колебаниями общей циркуляции атмосферы. Для описания которой в работе использованы широко известные индексы Вагенгейма для первого естественного синоптического района, простирающегося от средины Атлантики примерно до меридиана 100°в.д. [2]. Вся территория Казахстана находится в пределах этого района. Количественных характеристик интенсивности процесса типизация Вангенгейма не содержит.

Вариации температуры и осадков

Рассмотрим, особенности распределения температуры и осадков по территории Северного Казахстана, как основу для их последующей трансформации под влиянием изменяющегося климата. В таблице 1 на основе [1] приведено распределение температуры по станциям региона.

Можно видеть, что для региона характерны суровая зима (средние месячные температуры января минус 16 … минус 18 °С) и жаркое лето (средние месячные температуры июля 19.0…21°С). Зимние температуры понижаются к северу и к востоку территории. Соответственно, самая низкая температура в январе имеет место в Петропавловске, и Щербакты (-17.9 °С). Кроме февраля и марта во все остальные месяцы в Петропавловске имеют место самые низкие месячные температуры для региона. Как следствие, здесь же отмечается и самая низкая среднегодовая температура воздуха (1°С).

Таблица 1. Средняя месячная и годовая температура воздуха в Северном Казахстане

	месяцы												
Станции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	год
Кокшетау	-15.7	-15.1	-9.0	3.4	12.1	17.8	19.8	17.1	11.4	3.1	-6.8	-13.2	2.1
Костанай	-16.1	-15.3	-8.4	5.3	13.5	19.4	20.8	18.0	12.1	3.8	-6.0	-12.7	2.9
Астана	-16.8	-16.3	-9.9	3.2	12.8	18.2	20.4	17.8	11.5	2.8	-7.1	-13.9	1.9
Павлодар	-17.1	-16.6	-9.1	4.8	13.4	19.4	21.5	18.4	12.3	3.6	-7.3	-14.1	2.4
Щербакты	-17.9	-17.1	-10.1	4.0	13.1	19.3	21.3	18.3	11.9	3.2	-7.8	-14.7	2.0
Явленка	-17.2	-16.4	-9.6	3.4	12.2	17.9	19.5	16.7	11.0	2.6	-7.6	-14.4	1.5
Петропавловск	-17.9	-16.6	-10.0	2.8	11.6	17.3	19.2	16.4	10.6	2.1	-8.0	-15.0	1.0
Δt_{max}	2.2	2.0	1.7	2.5	1.9	2.1	2.3	2.0	1.7	1.7	2.0	2.3	1.9

В холодное полугодие (январь, февраль) самые высокие температуры наблюдаются в Кокшетау, что обусловлено более высоким его положением над уровнем моря. Затем

в течение марта – июня область самых высоких температур смещается на запад в район Костаная, а. начиная с мая - на северо-восток в район Павлодара. Особенности такого перемещения областей низких и высоких температур хорошо объяснимы особенностями общей циркуляции атмосферы согласно, например, [2-4] и др. Однако это не является объектом данного исследования. Отметим, что пространственная изменчивость средних месячных температур не превышает 2.5 °С, а в большинстве месяцев она остаётся в пределах 2 °С, т.е. регион Северного Казахстана характеризуется достаточно высокой температурной однородностью во все месяцы года.

Среднее годовое количество осадков по территории региона согласно тому же [1] находится в пределах 350 мм (в Петропавловске 356 мм) при испаряемости 800 – 900 мм. Территория Северного Казахстана находится, таким образом, в зоне рискованного земледелия, в зоне, где испаряемость более чем в два раза больше количества выпадающих осадков (табл. 2).

Таблица 2. Количество осадков на некоторых станциях Северного Казахстана и их распределение в течение года

Станции	месяцы												год	за период V-VIII
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Кокшетау	13	11	10	18	31	44	65	42	27	22	18	13	314	182
Костанай	19	13	13	23	30	41	54	36	28	28	24	22	331	164
Астана	23	19	20	21	30	40	50	38	27	27	24	23	342	158
Павлодар	16	12	11	15	25	31	46	29	21	24	20	18	268	131
Щербакты	15	15	10	11	16	25	57	47	22	25	19	17	279	145
Явленка	13	11	10	20	31	49	68	49	30	30	20	16	347	197
Петропавловск	16	12	11	20	31	49	61	50	32	30	24	20	356	191
ΔQ_{max}	10	8	10	12	15	24	19	21	11	8	6	10	88	51

Однако земледелие в регионе возможно, и данный регион является основным районом земледелия, обеспечивающим стране продовольственную безопасность. Земледелие здесь возможно не потому, что осадков выпадает достаточно, а потому, что основное их количество выпадает в вегетационный период. Действительно, из таблицы 2 видно, что в течение мая-августа выпадает половина или несколько больше половины годового количества осадков. Этот факт и обеспечивает возможность земледелия в регионе.

Наибольшее годовое количество осадков имеет место в северной части региона (Петропавловск, 356 мм), медленно снижаясь к югу (Астана, 342 мм). Значительное количество осадков выпадает также на северо-западе территории (Костанай, 331 мм). К востоку количество осадков быстро снижется до 268 мм в Павлодаре. В вегетационный период распределение выпадающих осадков по территории и в общих чертах сохраняется, но в северной части, где имеет место максимум, количество выпадающих осадков составляет больше половины, а на остальной части территории - около половины. В целом по территории, несмотря на годовые различия в количестве осадков, до 88 мм, годовой режим их изменения очень сходен. Таким образом, в целом в среднем статистическом на рассматриваемой территории распределение температуры, определяющей испаряемость, и количества осадков с максимумом в годовом ходе в вегетационный период и определяют средние условия земледелия в регионе. Отклонения от этих условий, в первую очередь в сторону понижения количества осадков в вегетационный период в отдельные годы, ведут к потере урожая. Климатические изменения в этом направлении, т.е. рост температуры или уменьшение количества осадков или то и другое одновременно, могут привести вообще к невозможности заниматься в этом регионе земледелием.

Климатический прогноз. Авторы метода динамической климатологии и вероятностно-статистического метода климатического прогноза [5] вводят понятие группы аналогов или группы «ближайших соседей». Ближайшими соседями являются те, у кого режимы температуры и осадков близки. Выше мы показали, что температурный режим региона мало различается по территории, а режим осадков, несмотря на их большую изменчивость, тоже сходен. Следовательно, к нашему региону мы можем применить понятие «ближайших соседей».

Сценарий изменения температуры. Построение сценария на перспективу выполним на основе гармонического анализа временного ряда температуры станции Щербакты, содержащегося выше. В предположении, что гармоники, обнаруженные во временном ряде температуры в Щербакты, сохранятся, продлим их на перспективу до 2050 г. В этом случае можно ожидать, что температура в течение ближайших 50 лет за счёт вековой гармоники будет понижаться в пределах её амплитуды, около 2 °С к концу периода. На фоне понижения климатической температуры, обусловленного понижениям амплитуды вековой гармоники, возможны колебания температуры за счёт второй и третьей гармоник, которые, как и на анализируемом временном отрезке, не превысят 0.8 °С. В северо-восточной и северной частях региона понижение температуры наступит раньше, чем в центральной и южной. Климатическая разность температур по территории не будет превышать 2 °С.

Сценарий изменения осадков. При построении сценариев динамики осадков на перспективу мы не посчитали возможным воспользоваться результатами гармонического анализа временных рядов осадков по аналогии с построением сценария температуры. Гармоники во временных рядах осадков, в отличие от рядов температуры, сходятся медленно. Каждый случай осадков (импульс) характеризуется очень малым отношением длительности импульсов к периоду их повторения. Большая по сравнению с длительностью импульса величина периода повторения приводит медленной сходимости ряда и к необходимости учитывать большое число гармоник, поскольку амплитуды соседних гармоник близки по величине, что имеет место и в нашем случае. Согласно теории гармонического анализа [5] «ряды Фурье <в таком случае> пригодны скорее для анализа временных рядов, чем для синтеза» и построения прогностических сценариев.

Поэтому для построения сценариев динамики осадков на перспективу воспользуемся связью между временными рядами осадков и компонентами общей циркуляции атмосферы (типами макропроцессов), чтобы построить сценарии динамики осадков на перспективу. Для начала, однако, выполним гармонический анализ самих типов макропроцессов. Результаты такого анализа типов макросиноптических процессов E, C и W приведены в таблице 3.

Из таблицы 3 можно видеть, что у всех типов более 90 % дисперсии выбирается первыми тремя гармониками, а у макротипа W – по сути двумя. У всех типов с увеличением номера гармоники ее амплитуда, быстро понижается, т.е. ряды быстро сходятся, что говорит о высокой внутренней и физической взаимообусловленности, связности рядов [5] на это же указывает и соотношение длин гармоник.

Таблица 3. Результаты гармонического анализа временных рядов типов циркуляции

Номера гармоник	типы					
	E		C		W	
	длина, годы	амплитуда, дни	длина, годы	амплитуда, дни	длина, годы	амплитуда, дни
1	98	60	58	40	103	65
2	43	40	28	25	38	40
3	23	20	18	20	23	5

Во временном ряде повторяемости типа E имеются вековые гармоники (98 лет) с амплитудой 60 суток, вторая гармоника продолжительностью 43 года и амплитудой 40 суток и третья гармоника продолжительностью 23 года и амплитудой 20 суток.

Вековая гармоника имеется также, в типе W (103 года), максимальная из всех гармоник, с амплитудой до 65 суток. Вторая гармоника продолжительностью 38 лет имеет амплитуду 40 дней, а третья – продолжительностью 23 года имеет амплитуду всего около 5 суток. В анализе третья гармоника в типе W по сути может не учитываться.

Во временном ряде типа С вековая гармоника отсутствует. Самой длинной является гармоника 58 лет с амплитудой 40 суток. Вторая гармоника продолжительностью 28 лет имеет амплитуду 25 суток. Третья гармоника продолжительностью 18 лет имеет амплитуду 20 суток.

Из трех макротипов циркуляции гармоники типа С имеют самые минимальные амплитуды (в два раза по сравнению с соответствующими гармониками других типов), а сами гармоники – наименьшую продолжительность.

Из выполненного анализа гармоник всех трёх типов циркуляции следует, что все они быстро сходятся, что предполагает наличие в них высокой внутренней и физической взаимообусловленности, связность рядов. Это позволяет нам использовать их для построения сценария изменения осадков на перспективу.

Временной ряд осадков по станции Астана, как самый продолжительный в регионе, возьмем за основу для всей группы «ближайших соседей» для анализа и построения прогностического сценария.

Анализируя временной ряд осадков, отмечено, что в начале XX века имел максимум осадков. Этот климатический максимум (до 500 мм в отдельные годы) был настолько выраженным, что на остаток XX века он обеспечил отрицательный линейный тренд, и ряд исследователей, начиная от этого времени, начали считать, что в регионе началось климатическое понижение осадков, обусловленное глобальным потеплением [5].

Результаты: В результате выполненных исследований мы получили следующее.

1. Временные ряды температуры при гармоническом анализе первые три гармоники, как правило, выбирают около 90% дисперсии. Благодаря этому возможно построение сценариев на перспективу в предположении сохранности первых гармоник разложения.

2. Гармоники временных рядов метеорологических станций в пределах региона Северного Казахстана очень сходны. Это позволяет применить метод «ближайших соседей», взяв для анализа одну станцию из группы.

3. Температура в Северном Казахстане в течение ближайших 50 лет будет понижаться в пределахамплитуды вековой гармоники, около 2°С к концу периода. На фоне понижения климатической температуры, обусловленного понижениям амплитуды вековой гармоники, возможны колебания температуры за счёт второй и третьей гармоник, которые, как и на анализируемом временном отрезке, не превысят 0.8 °С.

4. На период до 2050г. в Северном Казахстане наиболее вероятен ход осадков с небольшими климатическими колебаниями с максимумами в настоящее время и в тридцатые годы XXI века и с минимумом около 2020-25 гг., амплитуда колебаний ±20мм от нормы.

5. Несмотря на то, что в ближайшие десятилетия ожидается понижение температуры в регионе, способствующее понижению испарения, а осадки ожидаются около нормы, адаптационные мероприятия в сельском хозяйстве необходимы ввиду большой межгодовой изменчивости количества осадков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы / А.А. Гирс. – Л: Гидрометеоиздат, 1971. – 488 с.

2. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Вероятностные метеорологические прогнозы / Г.В. Груза, Э.Я. Ранькова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 270 с.

3. Синоптические процессы Средней Азии / В.А. Бугаев, В.А. Джорджио [и др.]. – Ташкент: Изд. АН Узбекской ССР, 1957. – 447 с.

4. Справочник по климату Казахстана // Многолетние данные. Атмосферные осадки.– Алматы: Казгидромет. 2005. – Вып.1-14. – 415 с.

5. Чередниченко А.В. Динамика климата Казахстана. Начало эпохи похолодания / А.В. Чередниченко. – Алматы: Изд-во КазНУ, 2015. – 208 с.

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ КОНТИНЕНТАЛЬНОСТИ КЛИМАТА НА ТЕРРИТОРИИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

А.А. Чуйкова
bocharova-ann@mail.ru

Воронежский государственный университет, г.Воронеж, Россия

Одним из факторов, который обуславливает формирование климата на Земле, является взаимодействие суши и океана. Данная взаимосвязь выражается через континентальность климата. С течением времени, колебания климатических характеристик увеличились. В связи с этим актуальными являются работы по уточнению климатических характеристик.

Для оценки динамики континентальности климата проанализированы изменения температурного режимаи осадков Воронежской области за последние тридцать лет. Исходным материалом послужили метеорологические данные температуры воздуха и осадков станций Богучар, Борисоглебск, Воронеж и Лиски ежесуточной размерности за период 1988-2017 гг. [2].

Годовая амплитуда температур зависит от удаленности территории от океанов и географической широты местности. В низких широтах амплитуда меньше, чем в высоких. Удаленность территории от океанов оказывает влияние на увлажнение территории. Чем дальше от океанов, тем меньше осадков, что приводит к увеличению амплитуды. Следовательно, чем больше удаленность от океанов и выше широта местности, тем больше амплитуда.

С континентальностью климата во внутренних районах Евразии связано формирование оси Воейкова. Часть полосы высокого атмосферного давления (ось Воейкова) проходит по территории Воронежской области. В связи с этим на юге области формируется антициклональный тип циркуляции атмосферы, а на севере и западе – циклональный.

Зимой к северу от оси Воейкова, в пределах Воронежа, преобладают западные и юго-западные ветры. Они несут с собой влажные и относительно теплые воздушные массы. Летом влияние оси Воейкова заметно ослабевает, так как Сибирский антициклон исчезает. Но при этом направление преобладающих ветров сохраняются из-за влияния Азорского максимума.

На рисунках 1 и 2 приведен годовой ход амплитуды температур ст. Воронеж и ст. Богучар с 1988 по 2017 год. Для расчета амплитуды применялись максимальные и минимальные значения среднесуточной температуры января и июля.

Анализ графика на рисунке 1 показывает положительную динамику годовой амплитуды температуры воздуха. Она проявляется за счет увеличения температур теплого и холодного периодов. Максимальные значения амплитуды в 2010 году свидетельствуют о продолжительном влиянии блокирующих антициклонов в январе и июле.

Однако линия тренда на данном графике выражена сильнее, чем на графике станции Воронеж. Это объясняется расположением ст. Богучар в зоне антициклональной циркуляции атмосферы, где больше проявляются колебания температур, а осадков выпадает меньше. Территория ст. Богучар, находится южнее оси Воейкова, где преобладают ветры восточного и северо-восточного направления. Они сопровождаются сухим и холодным континентальным воздухом Сибирского антициклона зимой и жарким воздухом Азорского максимума летом.

Для более точной оценки континентальности климата нужно исключить влияние широты местности на годовую амплитуду температуры. Для этого существует ряд способов вычисления показателя континентальности климата по температурным показателям, которые являются функцией годовой амплитуды и широты местности. В данной работе используются индексы континентальности климата Л.А. Горчинского и С.П. Хромова.

Рис. 1. Динамика годовой амплитуды температуры ст. Воронеж, осредненная за период с 1988 по 2017 г.

На графике годового хода амплитуды температуры ст. Богучар (рис. 2) проявляется тенденция в сторону увеличения данного показателя.

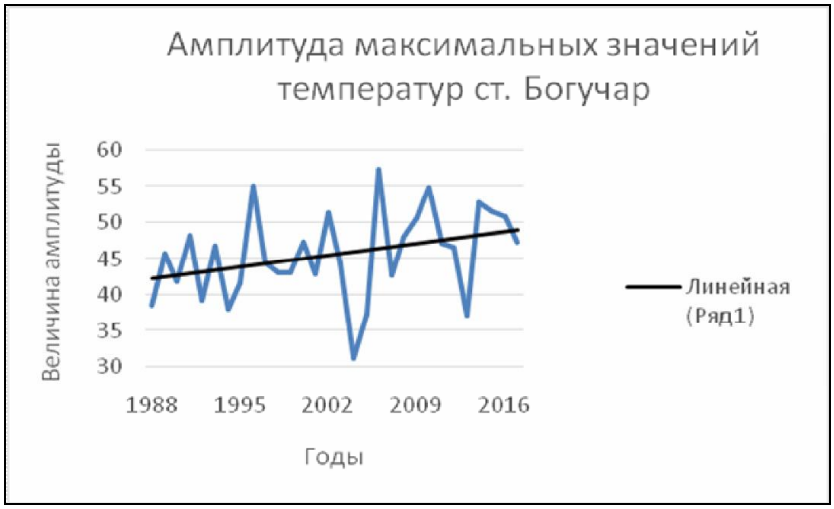


Рис. 2. Динамика годовой амплитуды температуры ст. Богучар, осредненная за период с 1988 по 2017 г.

Расчетная формула индекса континентальности климата Л.А. Горчинского:

$$K = \frac{1{,}7A}{\sin\varphi - 20{,}4},$$

где А – годовая амплитуда температуры воздуха;
sinφ – синус широты места φ.

При К ≤ 33% климат является морским, при 34≥ К≥ 66% континентальным, при 67 ≥ К ≥100% резко континентальным.

Расчетная формула С.П. Хромова имеет вид:

$$K = \frac{A - 5{,}4\sin\varphi}{A},$$

где А – годовая амплитуда температуры воздуха;
5,4 sinφ – годовая амплитуда в океаническом типе климата, где материковое влияние практически отсутствует.

Индекс континентальности С.П. Хромова показывает, какая доля годовой амплитуды температуры создается за счет влияния суши. С.П. Хромов приводит следующие градации индекса континентальности климата:

< 10% - внутренние части океанов Южного полушария;

>25% - северные части Атлантического океана;
50-75% - крайний запад Европы;
>90% - Центральная и Северо-Восточная Азия [3].

В таблицах 1 и 2 приведены значения индекса континентальности климата по данным максимальных среднесуточных и среднемесячных температур.

Таблица 1. Индекс континентальности климата по данным среднемесячных температур воздуха Воронежской области (1988-2017гг.)

Название метеостанции	Географическая широта	Среднемесячные значения температуры		Амплитуда температуры воздуха	$К_{гор}$	$К_{хр}$
		январь	июль			
Борисоглебск	51° 37′	-7,0	21,7	28,7	42,2	0,85
Лиски	51° 00′	-5,9	21,9	27,8	40,9	0,85
Воронеж	51°80′	-6,1	21,0	27,2	38,1	0,84
Богучар	49° 93′	-5,4	22,5	27,9	42	0,85

Таблица 2. Индекс континентальности климата по данным максимальных среднесуточных температур воздуха Воронежской области (1988-2017гг.)

Название метеостанции	Географическая широта	Максимальные значения температуры		Амплитуда температуры воздуха	$К_{гор}$	$К_{хр.}$
		январь	июль			
Борисоглебск	51° 37′	-19,94	27,07	47,3	82,7	0,9
Лиски	51° 00′	-19,64	27,63	47,3	84	0,9
Воронеж	51°80′	-19,05	26,53	45,6	77,7	0,9
Богучар	49° 93′	-17,76	27,84	45,6	81,6	0,9

На многолетнем ходе индекса континентальности климата (рис. 3) наблюдаются значительные колебания, а линейный тренд свидетельствует об усилении континентальности воздуха.

Рис. 3. Временной ход индекса континентальности климата Л.А. Горчинского ст. Воронеж с 1988 по 2017 г.

На степень континентальности климата помимо разности амплитуды колебания температуры воздуха оказывает годовой ход осадков. Преобладание осадков в осенне-зимний период характерно для морского типа климата. Чем больше осадков выпадает в весенне-летний период, тем больше выражена континентальность климата. Равенство сумм осадков в указанные периоды или их небольшое преобладание в теплый период (менее чем в два раза) свидетельствует о полуконтинентальном (промежуточному) типе климата. В зависимости от отношения осадков в весенне-летний (март — август) и осенне-зимний (сентябрь — февраль) периоды выделяются четыре типа континентальности климата.

Континентальность климата по отношению осадков теплого и холодного периодов выражается следующей формулой:

$$k = \frac{R(III - VIII)}{R(IX - II)},$$

где $R(III - VIII)$ – среднее количество осадков в весенне-летний период, $R(IX - II)$ – среднее количество осадков в осенне-зимний период.

При $k \leq 1$ климат считается морским (неконтинентальным), при $1{,}75 \geq k \geq 1$ полуконтинентальным, при $3{,}5 \geq k \geq 1{,}75$ континентальным, при $k > 3{,}5$ резкоконтинентальным [1].

Таблица 3. Среднее количество осадков (мм) Воронежской области по периодам с 1988 по 2017 гг.

Метеостанция	R(III-VIII)	R (IX-II)	k
Богучар	255	261	1
Лиски	273	252	1
Борисоглебск	263	269	1
Воронеж	309	284	1

Полученные данные отношения осадков теплого и холодного периодов свидетельствуют о небольшое преобладании осадков в весенне-летнее полугодие. На основании этого можно сделать вывод о том, что исследуемая территория находится в пределах полуконтинентального (промежуточного) типа климата.

Таким образом, анализ индексов континентальности за исследуемый период по выбранным методам показал, что в годы максимальных показателей индекса континентальности, как правило, зимы были более холодными, а лето жаркое, соответственно, годовые амплитуды были большими. Также, годы с большой амплитудой колебания температуры отличались наибольшей засушливостью. В годы минимальных значений индексов континентальности зимы были теплые, а лето прохладнее, что и приводило к уменьшению годовой амплитуды температуры, соответственно, уменьшались и индексы континентальности. Осадков в это время выпадало больше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Швер Ц.А. Атмосферные осадки на территории СССР. – Л., Гидрометеоиздат, 1976. – 302 с.

2. Фондовые материалы Воронежского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

3. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. Учебник 5-е изд., перераб. и доп. – М., МГУ, 2001. – 528 с.

ОПАСНЫЕ ВЕТРЫ В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ: ГЕНЕЗИС, ПОВТОРЯЕМОСТЬ, ТРЕНДЫ

А.А. Шестакова, Д.Г. Чечин, И.А. Репина
shestakova.aa.92@gmail.com

Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН, г.Москва, Россия

Согласно критериям опасных явлений погоды [3], очень сильным (опасным) ветром на побережьях морей называют ветер, средняя скорость которого превышает 30 м/с. Совместный анализ данных наблюдений, реанализа ASR v.2 и спутниковых данных, с привлечением результатов мезомасштабного моделирования с помощью модели WRF-ARW, позволил выявить все районы в российской Арктике, где наблюдаются экстремально сильные ветры, а также генезис этих ветров. С особым вниманием анализировались подветренные бури (ветры типа боры и фёна), которые представляют опасность, даже если ветер не достигает ураганной силы (из-за порывистости, опасности обледенения, турбулентности ясного неба и резких температурных скачков).

Анализ данных наблюдений на метеостанциях Российской Арктики показал, что высокая скорость ветра достаточно часто (99 перцентиль скорости ветра превышает 17 м/с) отмечается на станциях севера Кольского полуострова, полуострове Канин Нос, на Новой Земле, о. Вайгач, Земле Франца-Иосифа, на северо-западе Таймыра (Диксон, мыс Стерлегова), в бухтах Тикси и Амбарчик, в Певеке, на о. Врангеля, в Беринговом проливе (станция Уэлен), на побережье Берингова моря (от Анадыря до бухты Гавриила) (рис. 1). При этом на некоторых станциях сильный ветер дует не только часто, но и скорость его достигает почти ураганных значений – это станции Териберка (повторяемость скорости ветра более 30 м/с составляет 0.013%, т.е. такая скорость наблюдается раз в 2.5 года), Малые Кармакулы (0.4%, т. е. примерно 11 раз в год), Тикси (0.011%, раз в 3 года), Певек и Анадырь (0.1%, 3 раза в год), Беринговская (0.3%, 9 раз в год) (рис. 1). На станции Эгвекинот на побережье Берингова моря ураганный ветер возникает нередко, в среднем раз в 2.5 года, хотя в 99% случаев скорость ветра менее 17 м/с.

Реанализ ASR v.2 (Arctic System Reanalysis [5]), с разрешением 15 км, временным охватом 2000-2016 гг и временным разрешением 3 ч был также использован для расчета повторяемости очень сильного ветра. Сравнение с данными наблюдений показало, что реанализ серьезно недооценивает повторяемость сильного ветра. К примеру, на станции Териберка повторяемость очень сильного ветра составляет по данным реанализа 0.005%, что примерно в 2.5 раза меньше, чем по данным наблюдений. Вблизи станции Эгвекинот повторяемость согласно реанализу составляет менее 0.002%, т.е. более чем в 4 раза меньше, чем по данным наблюдений. Для станции Малые Кармакулы повторяемость очень сильного ветра достигает 0.028% по данным реанализа, что в 14 раз меньше, чем по данным наблюдений. При этом локализация сильных ветров на Новой Земле, связанных с борой и другими орографическими струями, воспроизводится в целом верно.

Некоторые районы с сильным ветром не воспроизводятся в реанализе (бухта Тикси, участок побережья Берингова моря от Анадыря до бухты Гавриила), но проявляются новые районы побережий, где по данным наблюдений такие значения скорости ветра отсутствуют вовсе - это, например, о. Колгуев (повторяемость до 0.01%, примерно раз в 3 года), а также районы, где нет станций наблюдений, - Оленёкский залив, область к востоку от о. Большой Ляховский (Новосибирские острова) и вблизи устья Индигирки, участок побережья Берингова моря на северо-востоке Анадырского залива (между заливом Креста и бухтой Провидения).

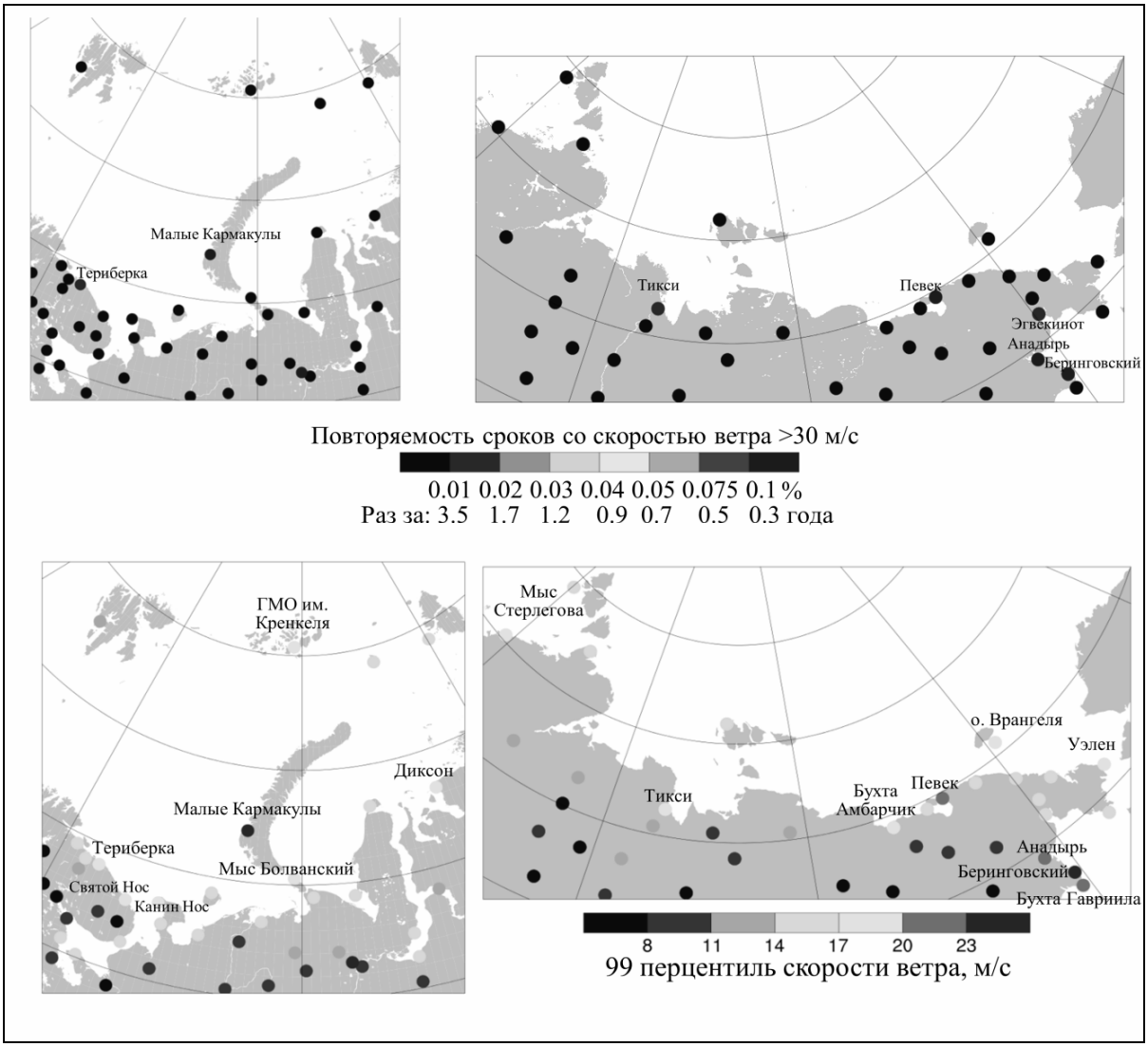


Рис. 1. Повторяемость (% от всей выборки) скорости ветра более 30 м/с (вверху) и 99 перцентиль скорости ветра (внизу) на станциях Российской Арктики. Для расчетов статистики использовался период 1979-2017 гг.

Разрешение реанализа оказывается достаточным для воспроизведения значительной части крупных мезомасштабных эффектов (например, новоземельской боры), но недостаточным - для средних и мелких мезомасштабных эффектов. Тем не менее, реанализ ASR значительно лучше воспроизводит экстремальную скорость ветра, чем реанализ CFSR, разрешение которого составляет 0.3°. Среди всех выделенных по реанализу ASR районов с экстремальным ветром (рис. 2) реанализ CFSR воспроизводит очень сильный ветер лишь на севере Новой Земли, при этом недооценивая его повторяемость более чем в 2 раза.

Реанализы имеют известное свойство переоценивать скорость ветра на суше (в районах, где отсутствуют сильные местные эффекты) и недооценивать ее над морем. Однако на большинстве станций ошибка реанализа ASR не превышает ±1.5 м/с. Высокие же скорости ветра недооцениваются реанализом почти повсеместно, что также характерно для реанализов и является следствием недостаточного разрешения. Минимальная ошибка экстремальной скорости ветра – на островах (за исключением о. Врангеля и Новой Земли, где дует бора).

Теперь рассмотрим генезис выявленных по данным наблюдений и реанализа очень сильных ветров в различных районах российской Арктики, а также статистические характеристики подветренных бурь по данным наблюдений и качество их воспроизведения реанализом.

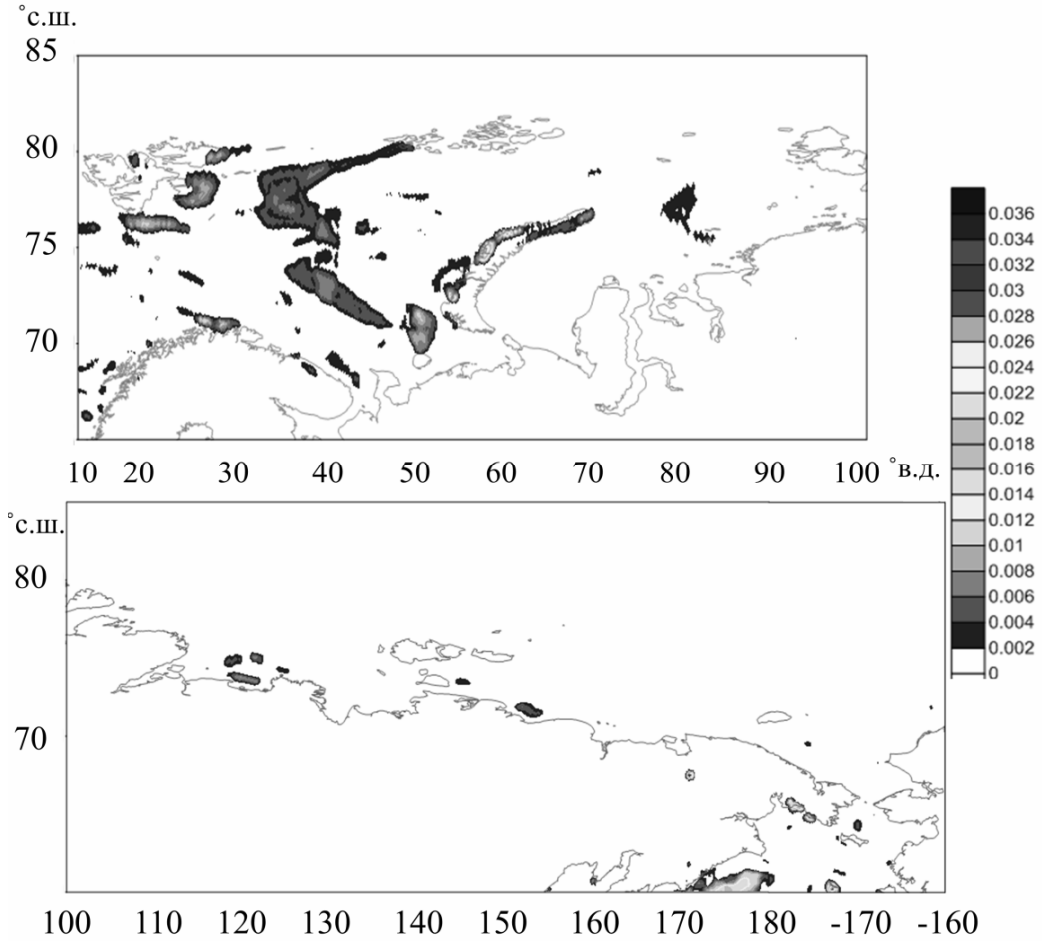


Рис. 2. Повторяемость сроков со скоростью ветра более 30 м/с (в%, цветом), рассчитанная по данным реанализа ASR за 2000-2016 гг.

Экстремальные ветры на Новой Земле. Сильный ветер на Новой Земле известен как новоземельская бора. При этом анализ различных эпизодов боры по спутниковым данным и результатам мезомасштабного моделирования позволяет выявить и другие сопутствующие боре ветра. Во-первых, это ветры перевалов (или каньонов, т.н. gap flows), возникающие за счет сгущения линий тока в узких горных перевалах и проливах. Также часто наблюдается усиление скорости ветра к югу или к северу от Новой Земли за счет бокового обтекания. Мысовые струи возникают при боковом обтекании хребтов, за счет сгущения линий тока при конвергенции потоков у оконечности препятствия. Такие мысовые струи известны в Гренландии, на Шпицбергене и во многих других районах. Так же, как и ветры перевалов, мысовые струи редко бывают очень сильными (и потому формально не могут быть классифицированы как опасное явление), но повторяются достаточно часто, поэтому оба этих явления можно классифицировать скорее как неблагоприятное явление [3].

Как уже упоминалось, реанализ недооценивает повторяемость сильного ветра на станции Малые Кармакулы. При этом реанализ воспроизводит около 75% сроков с борой (т.е. когда наблюдается восточный ветер со скоростью более 8 м/с), средняя ошибка воспроизведения скорости ветра при боре реанализом составляет -2.2 м/с, а коэффициент корреляции с данными наблюдений составляет 0.9.

В среднем на станции Малые Кармакулы наблюдается 60 эпизодов восточной боры в год. Длительность боры в среднем составляет 1-2 суток, но может достигать 402 ч (почти 17 суток). Процент сроков с борой от общего количества сроков составляет в среднем 23%, а в январе достигает 40%. Максимум осредненной за 10 мин скорости вет-

ра, отмечавшейся при боре, составляет 48 м/с, а порывы достигали 50 м/с. Сильная бора чаще всего отмечается в холодное время года (с пиком в январе), хотя слабая и умеренная бора даже летом наблюдается достаточно часто. За период 1977-2016 гг. по данным наблюдений отмечается уменьшение количества сроков с борой (на 24 ч за 10 лет) и средней продолжительности боры (на 4.2 ч за декаду) в сентябре. Согласно данным реанализа NCEP/NCAR, давление на уровне моря в конце периода сильно уменьшилось по сравнению с таковым в начале периода к северу и востоку от Новой Земли, и южный, юго-восточный ветер в Карском море, преобладающий в сентябре, стал западным, юго-западным. Так как наибольшие изменения поля давления произошли в сентябре в тех районах, где отмечаются наибольшие тренды сокращения морского льда, можно предположить, что именно резкое сокращение морского льда стало причиной изменения циркуляции атмосферы в сентябре и как следствие уменьшение повторяемости боры. Если проводить сравнение по периодам 1977-1989, 1990-2002 и 2003-2016, то можно отметить увеличение повторяемости очень сильного ветра при боре (с 3.3% до 5%).

Экстремальные ветры на Шпицбергене. В данных реанализа ярко проявляется мысовая струя у южной оконечности Шпицбергена (рис. 2), повторяемость очень сильного ветра достигает 0.013%. Также на Шпицбергене часто наблюдаются восточные фёновые ветры, однако станции наблюдений расположены таким образом, что усиление ветра при фёне не отражается в полной мере. Результаты мезомасштабного моделирования с высоким разрешением показывают, что области высоких скоростей локализованы непосредственно на подветренных склонах и практически не распространяются ниже по течению, над морем.

Одной из наиболее репрезентативных станций для изучения подветренной бури является станция Ню-Олесунн. Фён в Ню-Олесунне (где доступны данные за 1994-2018 гг) никогда не превышает скорости 25 м/с, скорость ветра 20-25 м/с наблюдается в 1.2% случаев, а более чем в половине случаев не достигает 12 м/с. В среднем наблюдается 40 эпизодов подветренной бури в год. Относительно сильные фёны (со скоростью более 20 м/с) наблюдаются только в холодное время года, с пиком в феврале-марте. В 50% случаев продолжительность не превышает 12 ч. Повторяемость эпизодов шпицбергенского фёна растет год от года (в среднем на 4 эпизода за декаду), значимые тренды отмечаются в октябре и декабре. При внимательном анализе изменчивости повторяемости боры можно заметить, что рост повторяемости отмечается только в период с 1994 до начала 2000-х гг. Реанализ ASR воспроизводит 74% сроков с фёном, средняя ошибка скорости ветра 0.2 м/с, а коэффициент корреляции скорости ветра при фёне по данным реанализа и наблюдений составляет 0.8.

Экстремальные ветры побережье Кольского полуострова. В районе Териберки очень сильный ветер северо-западного направления подтверждается как данными наблюдений, так и данными реанализа. Согласно лоции Баренцева моря, зимой сильный северо-западный ветер в этом районе может дуть непрерывно продолжительное время. Случаи экстремального ветра связаны в большинстве случаев с интенсивным градиентом давления в южной или тыловой частях циклонов, перемещающихся над акваторией Баренцева моря с северо-запада на юго-восток. При этом во всех случаях циклоны формировались в Гренландском море и быстро углублялись над Баренцевым морем. Среди случаев с ураганным ветром не выявлено ни одного, который был бы связан с мезоциклоном, по крайней мере за период 2002-2011 гг, когда доступна база мезоциклонов STARS-DAT (http://polarlow.met.no/STARS-DAT/). Штормовой ветер ($\geq$ 20 м/с) северо-западного направления в большинстве случаев был связан с крупномасштабным усилением ветра в циклонах или с холодными вторжениями с севера и северо-востока и лишь несколько раз отмечался во время мезоциклонов.Повторяемость северо-западного штормового и ураганного ветра в период 1967-2016 гг. значимо уменьшается, в среднем на 3.8 срока за декаду (при среднегодовой величине 20.3 срока).

Экстремальные ветры в Тикси. Направление ураганного ветра в Тикси строго юго-западное, то есть усиление ветра должно быть связано с обтеканием Верхоянского

хребта. Реанализ ASR воспроизводит значительное усиление ветра, но недооценивает его величину. А вертикальный разрез скорости ветра и температуры (рис. 3) прямо свидетельствуют о возникновении подветренной бури в Тикси.

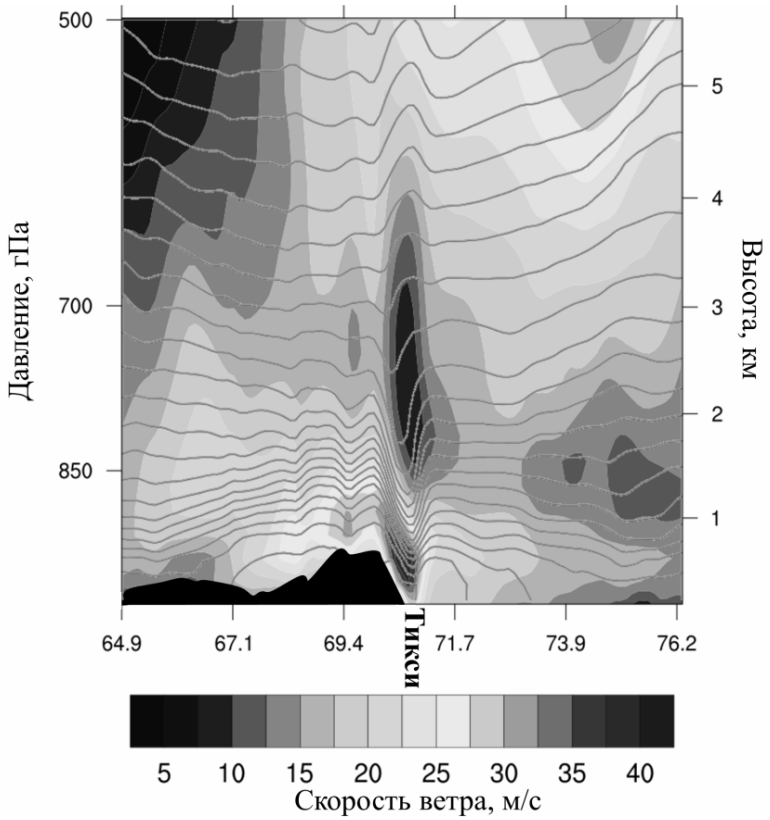


Рис. 3. Вертикальный разрез скорости ветра (цветом) и потенциальной температуры (изолиниями, через 2 К) в районе Тикси (с юго-запада на северо-восток) при сильном юго-западном ветре (поток направлен слева направо) в 12 ВСВ 25 октября 2002 г.

Реанализ воспроизводит 71% сроков с подветренной бурей, средняя ошибка скорости ветра -1.2 м/с, а коэффициент корреляции с данными наблюдений 0.8. О возникновении фёнов в этом районе упоминается в лоции моря Лаптевых [2]. В среднем в Тикси наблюдается 36 эпизодов подветренной бури в год. Сильная подветренная буря (со скоростью ветра > 30 м/с) в среднем бывает раз в 5 лет (только в холодное время года). Однако большая часть сильных эпизодов наблюдалась в период 1966-1982 гг., а в последующие годы повторяемость штормовой и ураганной скорости ветра сократилась (с 12% до 5%). Средняя продолжительность подветренной бури составляет около суток, но может достигать 12 суток. Наибольшая повторяемость бурь отмечается в декабре-январе. Средний максимум скорости ветра при подветренной буре уменьшается в среднем на 0.3 м/с за декаду (наиболее интенсивно в феврале). Согласно реанализу NCEP/NCAR, градиент давления в районе Тикси уменьшился в 2 раза в 2000-2016 гг. по сравнению с периодом 1966-1982 гг., а фоновая скорость ветра уменьшилась на 0.8-1 м/с. Ослабление градиента давления в феврале происходит в первую очередь за счет ослабления центра высокого давления над континентальной Сибирью.

Экстремальные ветры в море Лаптевых и Восточно-Сибирском море. В бухте Амбарчик не бывает ураганных ветров, однако там, согласно лоциям, так же, как и в Певеке, возникает фён при юго-восточном ветре. Однако анализ данных наблюдений на этой станции показал, что штормовой ветер возникает при юго-западном (220°) направлении ветра, а не юго-восточном, как в Певеке. Скорость ветра при таком направлении всего один раз достигала 30 м/с. Вероятнее всего, причиной усиления ветра является не подветренная буря, а боковое обтекание хребтов воздушным потоком.

Ураганный ветер в районе Оленёкского залива и устья Индигирки отмечался согласно данным реанализа всего несколько сроков, и все эти сроки относятся к одному и тому же случаю. Причина усиления ветра в этом районе – прохождение интенсивных циклонов.

Экстремальные ветры на побережье Берингова моря. Ураганный ветер, часто повторяющийся на некоторых станциях побережья Берингова моря (рис. 1), вероятнее всего обусловлен крупномасштабным низкотропосферным струйным течением, описанным в работе [4]. Преобладание сильных северо-восточных ветров в зимнее полугодие на западе Берингова моря авторы связывают с взаимодействием циклонов и рельефа Корякского нагорья, что приводит к возникновению резких градиентов давления у побережья.

В Анадыре преобладающее направление ураганных ветров восточное, что связано с конвергенцией потоков в вытянутом с запада на восток устье реки Анадырь. Дополнительная конвергенция потоков при восточном фоновом ветре может возникать за счет бокового обтекания Золотого хребта, расположенного к северо-востоку от города. Реанализ в целом воспроизводит штормовой ветер в Анадырском заливе и его небольшое усиление (по сравнению с фоновым ветром) в самом Анадыре, однако величина этого усиления значительно недооценивается.

В поселке Эгвекинот, расположенном в узкой одноименной бухте, вытянутой с севера на юг и ограниченной с запада и востока крутыми хребтами, наблюдающиеся ураганы –проявление каньонных ветров, которые достигают такой силы при северном направлении и высокой скорости фонового потока. В реанализе ASR из-за недостаточного разрешения рельеф вокруг залива Креста, в котором расположена станция Эгвекинот, воспроизводится неточно и каньонный ветер не возникает. Отмечается очень значимое уменьшение количества сроков со штормовым и ураганным каньонным ветром, в среднем на 13.5 срока за декаду, при средней величине повторяемости 13 сроков в год.

В то же время между заливом Креста и бухтой Провидения реанализ демонстрирует высокую повторяемость экстремальных северных ветров (рис. 2). Наличие усиления ветра в этом районе подтверждают спутниковые данные. Судя по характеру рельефа и структурам на спутниковых снимках, ветры перевалов сочетаются здесь с подветренными бурями. К сожалению, в данном районе нет ни одной станции наблюдений.

Экстремальный ветер в Певеке. Экстремальные ветры в Певеке связаны с так называемым певекским южаком, юго-восточной подветренной бурей. В Певеке хребет имеет небольшие масштабы - около 6 км в ширину и 12 км в длину - т. е. оказывается подсеточным для реанализов. Усиление ветра при подветренной буре может совпадать с крупномасштабным усилением ветра в реанализе ASR (примерно в 50% случаев), однако само явление не воспроизводится. За период 1985-2018 гг. максимальная зафиксированная скорость при южаке составляет 38 м/с. Самая продолжительная бора длилась 7 суток, средняя продолжительность боры – около суток. Примерно в 20% случаев скорость ветра при южаке превышает 20 м/с, а доля ураганных скоростей (более 33 м/с) составляет 1-2%. По данным климатического исследования южака в работе П.И. Зимича [1] в среднем это явление наблюдается 62 дня в году, при этом чаще южаки возникают в теплый период года, но ураганные скорости наблюдаются наиболее часто в холодный период (в ноябре-декабре). Самые продолжительные эпизоды происходят в ноябре, на этот же месяц приходится максимум количества эпизодов сильной боры.

Экстремальный ветер на о. Врангеля. На о. Врангеля очень сильный ветер практически не наблюдается, но здесь высока повторяемость северного штормового ветра – боры, которая упоминается в лоции Чукотского моря. Реанализ воспроизводит 70% сроков с борой на о. Врангеля, средняя ошибка скорости ветра -1.5 м/с, а коэффициент корреляции составляет 0.9.

В среднем на станции наблюдается 44 эпизода боры в год. Лишь в двух эпизодах скорость ветра превышала 30 м/с (в 1972 и 1973 гг.). Скорость ветра более 25 м/с отмечается примерно раз в 1.5 года. Как и при подветренной буре в Тикси, штормовая скорость ветра более часто наблюдалась в 1966-1982 гг. и стала реже наблюдаться в последующие

годы. Средняя продолжительность боры составляет около суток, но один раз бора продолжалась 2 недели. В июне-июле процент сроков с борой составляет около 4%, чаще всего бора отмечается в октябре-ноябре (20-25% сроков). Наиболее сильная бора отмечается в ноябре-марте. В среднем за декаду повторяемость боры сокращается на 2.2 эпизода, количество сроков с борой – на 29, а средний максимум скорости ветра – на 0.24 м/с. Причина таких изменений состоит в особеностях региональной циркуляции, при которой фоновый ветер северного направления на наветренной стороне острова становится более редким. Например, северо-восточный фоновый поток в нижней тропосфере, преобладавший в марте и октябре к северу от острова Врангеля, сменился восточным, а в сентября северо-западный ветер был замещен западным.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проекты № 18-05-80065 (изучение экстремальных ветров в Артике) № 18-35-00252 (изучение подветренных бурь), 18-05-60083 (изменения ветровых условий в Баренцевом море)

ЛИТЕРАТУРА

1. Зимич П. И. Певекский южак. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 120 с.

2. Лоция моря Лаптевых. – СПб.: Изд-во ГУНиО МОРФ, 2009. – 278 с.

3. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения (2002). РД 52.88.629 – 2002: утв. Росгидромет 19.03.2002

4. Moore, G. W. K., Pickart, R. S. (2012). Northern Bering Sea tip jets.Geophysical Research Letters, 39(8).

5. National Center for Atmospheric Research/University Corporation for Atmospheric Research, and Polar Meterology Group/Byrd Polar and Climate Research Center/The Ohio State University. 2017. Arctic System Reanalysis version 2. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. https://doi.org/10.5065/D6X9291B. Accessed 10Apr2019.

РАЗДЕЛ 3. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ АЗЕРБАЙДЖАНА

М.А. Абдуев
abduyevm@gmail.com

Азербайджанский государственный педагогический университет,
Институт Географии им. Г.А. Алиева Национальной Академии Наук Азербайджана,
г.Баку, Азербайджан

Большая часть (около 60%) территории Азербайджана расположена в аридной (сухой) климатической зоне, что определяет важность наличия необходимых объемов воды для различных отраслей экономики страны. Водные ресурсы республики формируются за счет местных рек, сток которых формируется полностью в пределах республики, и они целиком протекают по ее территории и транзитных рек, основной сток которых формируется вне пределов республики, и в определенной части они протекают за пределами ее территории. Речная сеть по территории Азербайджана распределена неравномерно. Несмотря на то, что общее количество рек составляет более 8350, большинство из них маленькие. Следует отметить, что 80% водных ресурсов страны составляет водный бассейн р. Куры и ее притоки, 70% которых формируются на территориях соседних государств. Бассейн р. Куры представляет собой территорию, обширную по площади и разнообразную по физико-географическим характеристикам. Это один из крупнейших бассейнов на Кавказе, объединяет территории с различной орографией (низменности, плато и возвышенности, горные системы) и широким биоклиматическим диапазоном - от горы до полупустыни. Территориально этот бассейн почти полностью охватывает территорию Южного Кавказа, за исключением прикаспийских частей (северо-восточного склона Большого Кавказа и Ленкоранской природной области). Это крупнейшая водосборная территория, площадь которой составляет 188 тыс. км^2. На территории бассейна расположено 5 государств (Турция, Армения, Иран, Грузия, Азербайджан). 92% водные ресурсы Азербайджана относится к бассейнам Куры, только 8% непосредственно впадающие в Каспийское море. Многолетний средний объем водных ресурсов бассейна р. Куры равен 26,6 км^3. Общий объем водопотребления в странах бассейна реки составляет около 23 км^3, т. е. 86% водных ресурсов используются для нужд населения и экономики. В бассейне реки проживает около 20 млн чел. Такое изъятие воды приводит к истощению рек бассейна и к уменьшению стока на их устьевой части. За последние 70 лет наблюдается явный тренд в сторону уменьшения водности р. Куры (рис. 1).

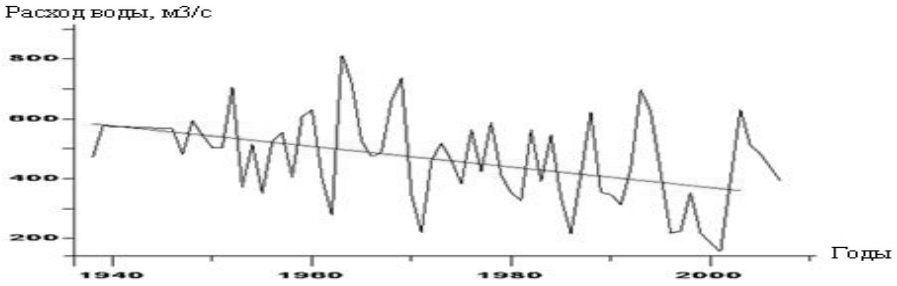


Рис. 1. Изменение годового стока р. Кура

Ресурсы речных вод Азербайджана составляют 30,9 км^3. Значительная доля стока поступает в переделы Азербайджана из сопредельных территорий по транзитным рекам. Величина этого притока для среднего по водности года составляет 20,6 км^3. Сток рек, непосредственно формирующихся в пределах страны (местный сток), равен 10,3 км^3. В целом из местных ресурсов речных вод на долю поверхностного стока приходится 58%, подземного – 42%. Суммарный ресурс речных вод Азербайджана для многоводного года равен 23,2 км^3, для маловодного года – 7,2 км^3[4]. Водные ресурсы республики до предела ограничены. По сравнению с соседними государствами их удельный вес на единицу территории и на человека меньше Грузии в 7,7 и 8,3 раза соответственно, Армении в 2,2 и 1,7 раза.

Водопользование в стране не увеличивается, а потери воды растут (табл. 1).

Таблица 1. Динамика водопользования в Азербайджане, млн м^3 [5]

Сектор экономики		Год							
		1990	1995	2000	2005	2010	2011	2012	2016
Общий объем водозабора		16176	13971	11110	12050	11566	11779	12484	12509
Объем водопользования:		12477	10223	6588	8607	7715	8012	8249	8229
– сельское хозяйство		8627	7720	3819	5710	5497	5746	5772	5746
– промышленность		3418	2173	2316	2360	1742	1760	2098	2056
– коммунально-бытовые воды		402	327	449	521	405	397	279	311
Потери воды	млн м^3	4206	3747	3053	3462	3852	3767	4236	4280
	%	26,0	26,8	27,5	28,7	33,3	32,0	33,9	34,2

В настоящее время на территории Азербайджана, естественно, развиваются и процессы, происходящие в связи с климатическими изменениями. По данным Института географии НАНА повышение температуры наблюдается повсеместно, но с разными значениями – от 0,2 °С до на 1,5 °С. По регионам страны повышение температуры следующее: Кура-Аразской 0,4–0,9 °С; Казах-Гядждинской 0,6–1,1 °С; Южный склон Большого Кавказа 0,5–0,8 °С; северный склон Малого Кавказа 0,4–0,6 °С; северо-западные территории 0,6–1,5 °С.

Основной вывод международного симпозиума «Антропогенное потепление климата и перераспределение водных ресурсов», который проходил в 1998 г. в Хельсинки [3], заключался в следующем: в аридных регионах планеты в будущем количество влаги уменьшится, а испарения увеличится, во влажных регионах – наоборот. К сожалению, этот прогноз уже постепенно начинает оправдать себя в отношении влаги и испарения. Во многих регионах Азербайджана наблюдается понижение количества атмосферных осадков от 3 до 15%. Изменение количества осадков зависит от региона и времени года. По данным Института географии НАНА, в районах Гедабек, Нахичевань, Ленкорань, Шуша и Акстафа количество осадков уменьшилось на 70, 24, 160, 30 и 20 мм/год [2].

В последние годы естественный сток сократился на 25–30% [3]. Объемы малой воды уменьшаются как по антропогенным, так и по природным причинам. С учетом того, что 60% территории Азербайджана расположено в аридной зоне и здесь же сегодня наблюдается острая нехватка воды, нетрудно представить, какие проблемы водного дефицита ожидают страну в будущем.

Изменение глобального климата и аридность территории Азербайджана вызывают острую необходимость в эффективном управлении водными ресурсами страны. В этом отношении водохранилища имеют огромное значение. Природные условия позволяют проводить различные водохозяйственные мероприятия. Так, к примеру, малоувлажненные территории выступают как продолжение влажных территорий. Это в свою очередь

создает благоприятные условия для регулирования и управления водными ресурсами страны. В Азербайджане построено около 140 водохранилищ с общим объемом 21,4 км^3, проекты 17 новых водохранилищ готовы и ожидают своего воплощения. Последнее водохранилище было построено на р. Шамкирчай и сдано в эксплуатацию в 2015 г. Это уникальное гидротехническое сооружение, предназначенное как для орошения сельскохозяйственных угодий, так и для обеспечения водоснабжения населения данного региона.

Главный приток Кура р. Араз – одна из трансграничных рек Азербайджана - испытывает тяжелый антропогенный пресс из-за загрязнения сточными водами промышленных комплексов республики Армении и Нахичеванской АР и зарегулирования водохранилищ - Араз, Худаферин и Гызгаласы. Поскольку долина Араз издавна является территорией интенсивного земледелия, огромное влияние на экосистему реки оказывают стоки с сельскохозяйственных угодий, животноводческих комплексов, продукты эрозии почв и неочищенные сточные воды населенных пунктов. До 1990 г. водопотребление и контроль над качеством водных ресурсов в бассейне р. Араз осуществлялся на основе законодательных актов бывшего СССР и ранее заключенных договоров между Турцией и Ираном. Также действовала государственная система постоянных наблюдений, контроля качества вод и система (хотя и не совершенная) очистки и отвода сточных и дренажных вод. Отдельными научно-исследовательскими учреждениями страны проводились научно-исследовательские работы по вопросам рационального использования водных ресурсов. В настоящее время из-за экономических проблем и отсутствия межгосударственных программ и актов по рациональному использованию водных ресурсов остро назрела необходимость понимания закономерностей формирования объема и качества вод, водопотребления и распределения водных ресурсов в регионе. Отсутствие региональной системы сбора и обмена данных по объемам и качеству вод существенно затрудняет принятие управленческими органами объективных и своевременных решений. Так, в период 1999–2000 гг. из-за отсутствия информации из Грузии и Армении невозможно было своевременно запланировать работу таких крупных водохранилищ как Мингечаурское, Шамкирское и Нахичеванское, расположенных на азербайджанской части рек Кура и Араз. Уровень воды на этих водохранилищах большую часть года находился ниже мертвого объема. Соответственно, в нижнем течении рек Кура и Араз сток был в два раза ниже санитарного пропуска, а степень загрязнения по отдельным элементам выше ПДК. Подача воды в русло рек ниже санитарного уровня привела к увеличению объема поступления в русло рек подземных вод, загрязненных пестицидами сельскохозяйственных земель. Объективно существовала угроза полной гибели Куринской экосистемы.

Еще более экстремальным был май 2010 г., когда сток р. Куры в своем нижнем течении увеличился в несколько раз по сравнению со средними значениями и затопил огромные территории, около 300 тыс. чел. остались без крова, экономический ущерб составил около миллиарда долларов. Одной из главных причин чрезвычайной ситуации также стало отсутствие региональной системы раннего предупреждения и межгосударственного сотрудничества.

Основы управления трансграничными водами определены Хельсинским договором о трансграничных реках и водотоках 1992 г. К великому сожалению, кроме Азербайджана ни одна страна, по территории которой протекает р. Кура, этот договор не подписала, что создает определенные трудности во взаимодействии международных водных организаций.

Экологическая обстановка в бассейнах рек Кура и Араз характеризуется как крайне напряженная. Негативное воздействие оказывают промышленно развитые районы Грузии, Армении и Азербайджан. Кроме того, в бассейнах рек на территории Армении функционирует предприятий атомного профиля (Метцаморский АЭС), сбрасывающих загрязненные радионуклидами сточные воды в речные экосистемы региона [1]. Протекая по территории Турции и Грузии, р. Кура, значительно меняет свою водность и качественный состав. Так как во многих районах (особенно в низовьях реки) ее воду используют для питья, то это отражается на здоровье местного населения, приводя к увеличению инфек-

ционных и других заболеваний. Река Кура подвергается органическому и бактериологическому загрязнению в результате сброса в нее плохоочищенных или вообще неочищенных сточных вод из расположенных в водосборе населенных пунктов, в которых проживают 11 млн чел. Еще одной проблемой, которая также повышает вероятность возникновения связанных с водой заболеваний, является сброс сточных вод в поверхностные водоемы и подземные воды домохозяйствами, не имеющими канализационных систем.

Таким образом, в результате климатических изменений в бассейне рек Азербайджана наблюдается понижение годового стока и водных ресурсов страны. Вместе с тем в связи с климатическими изменениями отмечается увеличение частоты и амплитуды экстремальных событий на нижнем течении рек, ярким примером этому является засуха 2000 г. и наводнение 2003 и 2010 г. на р. Кура. Учитывая трансграничный характер рек необходимо, чтобы все государства Южного Кавказа подписали Хельсинское соглашение 1992 г. о трансграничных реках и водотоках. Необходимо международное соглашение по ресурсам вод Южного Кавказа для оперативного и рационального управления количеством и качеством вод рек Кура и Араз в их нижнем течении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуев М.А. Сток сульфатов с основными реками Азербайджана. // Вода: химия и экология. – 2017. – № 3. – С. 3–8.

2. Мамедов Р.М., Сафаров С.Г., Сафаров Э.С. Современные изменения атмосферных осадков на территории Азербайджана // География и природные ресурсы. – 2009. – № 4. – С. 170–176.

3. Мамедов Р.М., Абдуев М.А. Формирование ресурсов речных вод Азербайджана, их гидрохимический анализ с целью оценки экологической пригодности. // Водное хозяйство России, 2018 – №2. – С.19-34.

4. Рустамов С.Г., Кашкай Р.М. Водные ресурсы Азербайджанской ССР. Баку. – 1989. – 180 с.

5. Государственный Комитет статистики Азербайджана. Режим доступа: www.stat.gov.az.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЙМЕННЫХ ОЗЕР СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ДОН В ПРЕДЕЛАХ БЛИЖНЕГО ПОДВОРОНЕЖЬЯ

А.В. Белик, М.В. Скородумова
belik@bio.vsu.ru

Воронежский государственный университет, г.Воронеж, Россия

Пойменные ландшафты отличаются сравнительно малой устойчивостью к антропогенному воздействию. Особенности микроклимата в сочетании с периодическим затоплением территории поймы создают условия для аккумуляции биогенных элементов и загрязняющих веществ, т.е. фактически для интенсивного загрязнения. В этой связи проблема изучения экологического состояния речных пойм приобретает высокую актуальность [4].

Одним из индикаторов, по которым можно делать определенные выводы об экологическом состоянии пойменного ландшафта является наличие в нем пойменных и старичных водоемов. По интенсивности зарастания этих водных объектов можно судить о процессах аккумуляции загрязняющих веществ и биогенных элементов. Функционирование и эволюция этих объектов тесно связано с эволюцией речного русла и развитием пойменных процессов. Пойменные и старичные озера в значительной степени влияют на

микроклиматические условия, гидрологический баланс территории, в пределах которой они располагаются и грунтовые воды. Одновременно само существование пойменных и старичных озер сильно зависит от особенностей залегания грунтовых вод и конкретных метеорологических условий года, являющихся во многом производными климата и его динамики [2] .

Целью данной работы является изучение особенностей гидрохимического состояния озер среднего течения р. Дон Рамонского района Воронежской области.

Объектами исследования являются пойменные и старичные озера среднего течения р. Дон: Стрелецкое, Кужное, Круглое. Озеро Стрелецкое находится на западе Рамонского района, вблизи села Медовка. Длина озера около 780м, площадь - 14598 м^2. Озеро имеет вытянутую форму.

Озеро Кужное расположено на юго-западе Рамонского района вблизи села Новоподклетное. Длина озера – 853 м, площадь - 45530 м^2. Озеро имеет форму узкой дуги, к югу оно сужается из-за большой степени зарастания.

Озеро Круглое расположено в микрорайоне Подгорное Рамонского района. Длина – 766 м, Площадь - 30472 м^2. Озеро имеет вытянутую форму, схожую с озером Стрелецким.

Отборы проб воды производился в 2014-2015 году осенью и весной. Это позволило рассмотреть динамику показателей экологического состояния водоемов и выявить факторы, на них влияющие. Отбор проб и последующий лабораторный анализ гидрохимических показателей осуществлялся по общепринятым методикам [1,3]

Результаты химического анализа за весь период исследования приведен в таблице 1.

В основном, превышение нормативов ПДК наблюдается на озере Кужное (общая жесткость, магний, сульфаты, общее железо, ионы аммония и нитрат-ионы). Повышенные значения общей жесткости, магния и сульфатов в значительной степени связаны с колебаниями уровня грунтовых вод, вследствие изменения метеорологических условий. Высокое значение перманганатной окисляемости в сочетании с превышением ПДК по аммонийному и нитратному азоту, свидетельствует об интенсивном окислении органических соединений, поступающих в воду при отмирании водной растительности, и представляет собой результат интенсивного зарастания водоема.

На озере Стрелецкое также наблюдаются превышения по жесткости, перманганатной окисляемости (максимальные значения в осенний и весенний период), железу и иону аммония. Концентрация аммонийного азота однако в 2 раза меньше, чем на озере Кужное, а содержание нитрат-ионов ПДК не превышает. В значительной степени это связано с тем, что в отличие от озера Кужного, озеро Стрелецкое находится на начальной стадии зарастания. Соотношение между ионами кальция и магния, в сочетании со значением общей жесткости, свидетельствует о стабильном питании озера от грунтовых вод и относительно устойчивой динамики их уровня залегания.

Таблица 1. Гидрохимическая характеристика исследуемых пойменных озер

Показатели	Круглое		Стрелецкое		Кужное		ПДК, мг/л
	весна	осень	весна	осень	весна	осень	
PH	6,7	7,0	7,3	7,1	6,7	6,5	6,0-9,0
Общая жесткость, мг-экв/л	6,8	6,6	8,0	7,9	8,4	8,2	7,0*
Кальций	119,0	103,6	92,6	135,7	83,4	65,1	180,0
Магний	10,9	17,0	21,5	13,9	52,0	60,7	40,0
Перманганатная окисляемость	4,8	4,1	19,9	19,5	10,8	9,2	3,0
Сухой остаток	100,2	100,1	101,7	101,3	102,1	102,0	1000
Хлориды	29,4	25,0	12,1	11,4	15,7	14,2	300,0
Сульфаты	82,0	74,0	82,0	81,6	120,0	112,0	100,0

Показатели	Круглое		Стрелецкое		Кужное		ПДК, мг/л
	весна	осень	весна	осень	весна	осень	
Железо	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,1
Ионы аммония	0,3	0,3	0,9	1,0	2,1	2,2	0,5
Нитрат-ионы	3,5	3,3	5,5	5,4	10,8	10,2	10,0

Наименьшие значения основных гидрохимических показателей характерны для озера Круглое. В значительной степени на благоприятную экологическую обстановку влияет деятельность человека: озеро используется в рекреационных целях, регулярно чистится и зарыбливается. В результате не смотря на повышенные значения перманганатной окисляемости и содержания общего железа, по другим параметрам превышений ПДК не отмечено. Таким образом, эвтрофикация в значительной степени снижена.

При анализе сезонной динамики гидрохимических показателей на всех объектах проявляется тенденция к незначительному снижению их. В первую очередь это связано с таянием снега, половодьем и выпадением осадков. Метеорологические условия весны 2015 года в Воронежской области способствовали процессу снижения концентрации основных ионов и органических соединений. Зима 2015 года отличалась теплыми условиями и большим количеством выпадавших осадков. Частые оттепели способствовали раннему снеготаянию, завершившегося к моменту отбора проб. Март 2015 года характеризовался очень малым количеством осадков, в то время как апрель характеризовался заметным превышением норм выпадения осадков в первую декаду, с последующим падением к моменту отбора проб.

Таким образом, озера Стрелецкое, Круглое и Кужное, располагаясь в пойме среднего течения реки Дон, характеризуются различной степенью зарастания и различным использованием. В целом для этих водоемов характерно удовлетворительное состояние, так как по большинству показателей превышения нормативных значений не наблюдается. В то же время для них, характерен заметный рост перманганатной окисляемости, что свидетельствует об интенсификации процессов зарастания. Наиболее неблагоприятная экологическая ситуация складывается на озере Кужное, которое отличается наиболее интенсивным зарастанием. Наиболее чистым является озеро Круглое.

На сезонную динамику свойств в значительной степени повлияли колебания уровня грунтовых вод и особенности метеорологических условий 2015 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боголюбов А. С. Методы гидрологических исследований: проведение измерений и описание озер: Метод. пособие / А. С. Боголюбов. – Москва: Экосистема, 1996. – 21 с.

2. Дмитриева В.А. Гидрологическая роль озер и болот Воронежской области / Дмитриева В.А. // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. – 2010. – №1. – С. 98-101.

3. Петин А.Н. Анализ и оценка качества поверхностных вод / А.Н. Петин, М.Г. Лебедева, О.В. Крымская. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2006. – 252 с.

4. Яблонских Л. А. Роль аллювиальных почв в сохранении биоразнообразия пойменных ландшафтов Хоперского государственного природного заповедника / Л.А. Яблонских, С.В. Салманова // Агроэкологический Вестник. Воронеж, 2017. – Вып. 8. – Ч. 2. – С. 198-206.

ГИДРОХИМИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА БОГУЧАРСКОГО ПОДОНЬЯ (ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ) В СВЯЗИ С ИСКУССТВЕННЫМ ПОПОЛНЕНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В.Л. Бочаров, О.А. Бабкина, В.М. Смольянинов
gidrogeol@mail.ru

Воронежский государственный университет, г.Воронеж, Россия

Введение. Богучарское Подонье занимает юго-восточную часть Воронежской области. Его площадь – 15350 км^2, что составляет около 30% площади области; средняя высота поверхности – 175 м (абс. отм.). Кроме главной артерии района - р. Дон по территории данного гидрологического района протекают следующие малые реки бассейна реки Дона: Богучарка и его приток Левая Богучарка, Мамоновка и ее притока Гнилуша, Толучеевка с притоками Козынка и Криуша, Матюшина [2]. Густота речной сети этого гидрогеологического района не превышает 0,1 км/км^2, а длина рек более 10 км составляет 0,08 км/км^2 [5]. В административном отношении территория Богучарского Подонья включает Богучарский, Верхнемамонский и Петропавловский районы.

В 60-70 годы на территории Богучарского Подонья проводились интенсивные геологоразведочные работы на никель и сопутствующие металлы [7]. В результате были выявлены два месторождения – Нижне-Мамонское в Верхнемамонском районе, Подколодновское в Богучарском районе, а также рудопроявления наиболее значимыми из которых оказались Юбилейное (Богучарский район) и Северо-Бычковское (Петропавловский район). Кроме того, установлены перспективные участки: Русская Журавка и Мамоновка в Верхнемамонском районе, Замостье, Новобогородицкое и Новый Лиман в Петропавловском районе, не получившие до настоящего времени должную перспективную оценку.

В связи с открытием и разведкой крупных месторождений сульфидного никеля в Новохоперском районе – Еланского и Ёлкинского, интерес к месторождениям и рудопроявлениям Богучарского Подонья вновь возрос. Поэтому актуальной становится проблема оценки ресурсов и качества природной водной среды этой крупной, по преимуществу сельскохозяйственной территории.

Богучарский гидрологический район отличается самой высокой температурой воздуха в Воронежской области [3]. Так средняя годовая температура воздуха составляет +7^{o}С, при этом среднемесячная температура июля находятся в пределах +22^{o}С. В отдельные годы она превышает среднемноголетний уровень, максимально увеличивает обмеление рек. Так, в июле 1938 года были зафиксированы следующие высокие значения температуры: если в г. Воронеже зафиксировано +24,7^{o}С, то в г. Богучаре +27,4^{o}С. В 1981году максимумы среднемесячных температур отмечены в июле. В г. Богучаре в конце месяца они доходили до +36^{o}С. Отрицательные температуры в зимний период здесь по абсолютной величине уступают другим гидрологическим районам области.

Ледостав на реках Богучарского Подонья наступает на севере этого гидрологического района в среднем 30 ноября, на юге – 5 декабря. Максимальная толщина льда составляет 40-45 см и наблюдается в первой декаде марта.

Поверхностный и подземный стоки рек района низкие. Запасы снега составляют 65 мм, количество годовых осадков – около 590 мм, в июле не превышает 62 мм. Среднегодовой сток равен 55 мм, при этом весенний сток не превышает 50 мм, летне-осенний – 7 мм, зимний – 8 мм. Мутность речной воды достаточно высокая – 350 мг/дм^3. Почвы представлены обыкновенными, маломощными и южными черноземами [1].

Годовое испарение с водной поверхности рек высокое – около 770 мм. В июле оно составляет в среднем 150 мм. Дефицит влажности воздуха за июнь – 9 мм, за июль – 8,7 мм, среднегодовая величина дефицита – 3,75 мм.

Как уже отмечалось, на юге Центрально-Черноземного региона, и в Богучарском Подонье в частности, строительство искусственных сооружений, являющихся одними из

основных источников накопления воды для орошения земель, встречает большие трудности из-за высокой фильтрации. Вместе с тем, южные районы Воронежской области в наибольшей степени испытывают необходимость в орошении земель. Поэтому здесь следует применять новые схемы водозаборов – системы искусственного пополнения подземных вод за счет поверхностного стока [2].

Гидрологическая характеристика малых рек

Мамоновка – левобережный приток р. Дон. Река имеет в своем истоке овраг Мамон. Водоток берет начало у с. Русская Журавка, в 5,6 км к юго-востоку от нее. Направление течения – с северо-востока на юго-запад. Устье реки расположено в 3-х км от с. Нижний Мамон. Средняя высота водосбора 140 км, а его площадь – 688 км^2. Длина реки – 22,8 км.

Река имеет сток в течение всего года. Сток реки зарегулирован. В истоке сооружены два пруда, соединенных между собой русловым протоком.

В Мамоновку впадает р. Гнилуша – единственный на настоящее время непересыхающий правый приток, разделяющий с. Лозовое на правобережную и левобережную части. Водность реки в верховье поддерживают 20 ключевых ручьев. Длина реки составляет 17,9 км. В Гнилушу впадает один водоток без названия у с. Лозовое длиной 3,0 км. Водоток зарегулирован, имеет пересыхающее русло.

Суммарная протяженность речной сети в бассейне Мамоновки составляет 44,1 км, а ее густота 0,06 км/км^2 [3].

Богучарка – предпоследний в границах области нижний приток Дона. Исток реки лежит на высоте 210 м и находится в юго-западном направлении от с. Новомарковка Кантемировского района, в 2,5 км от населенного пункта, через который она далее и протекает. Река Богучарка впадает главную реку Дон с правого берега. Путь водотока пролегает по землям Кантемировского и Богучарского районов. На территории последнего он впадает в Дон на 1020 – м км от устья. Длина реки – 105 км. Русло водотока сильно деформируется, происходит непрерывный процесс боковой эрозии, что приводить к образованию петель и удлинению руслового потока. Река в истоке, а также на отрезке ближе с. Касьяновка, представляет собой пересыхающий водоток, состоящий из отдельных плесов. В остальной части, после впадения реки Кантемировка, Богучарка становится полноводной и сохраняет водность по всей оставшейся длине в течение года.

Речную систему Богучарки составляют 18 водотоков вместе с главной рекой. Из притоков 1-го порядка наиболее крупный приток – Левая Богучарка (38,3 км), впадающая в Богучарку с правого берега на расстоянии 8,5 км от устья. На площади бассейна Левой Богучарки, в ее истоке, находится самая высокая отметка бассейна – 233 м. У Богучарки – правосторонняя асимметрия. Протяженность левобережных водотоков 16,2 км, правобережных – 99,2 км.

В настоящее время общая протяженность речной сети в бассейне Богучарки составляет 220 км вместе с длиной главной реки. Густота речной сети 0,07 км/км^2 [3].

Водный режим, а именно уровенный режим Богучарки, изучался с 1936 по 1959 годы [4]. Непродолжительные наблюдения дали лишь схематическое представление о характере уровней. Обследование отдельных участков реки, выполненные в настоящие время, показало, что водность и самой Богучарки, и ее притоков невелика, и в межень существенно сокращается. Реки мелеют, зарастают осокой и камышом. У с. Талы русло песчаное и илистое, его ширина 70-85 м. Течение спокойное, медленное, едва фиксируется гидрометрической вертушкой в меженный период. В летнюю межень скорость близка к 0,2-0,3 м/с. Гидрографическую сеть Богучарки дополняют озера и болота. Озера преимущественно старичного происхождения. Заболоченные участки встречаются в понижениях поймы на участке реки от с. Чехуровка до г. Богучар. Площадь озер и болот незначительна, и гидрологическая роль их невелика [4].

Средний годовой расход воды в устье около 4 м /с, что соответствует 40 мм слоя стока. Слой весеннего стока около 31 мм, меженного – примерно 9 мм. Летом и осенью (с мая по октябрь) суммарный сток не превышает 5,5 мм, зимой (с декабря по февраль) –

даже 3,5 мм. Невелики и минимальные расходы воды. В устье Богучарки летний минимум составляет в среднем 0,20 $м^3$/с, зимний – 0,25 $м^3$/с.

Говоря о поверхностных водах в пределах Богучарского Подонья, следует упомянуть о карстовых озерах и родниках.

Карстовые озера обычно формируются в местах заилившихся карстовых воронок. Они плохо держат воду, имеют большую инфильтрационную способность. В конце летнего сезона в таких озерах остается очень мало воды или дно в это время становится сухим с густой сетью трещин. Примером таких карстовых озер является междуречье Богучарки и Левой Богучарки вблизи с. Титаревка. В питании этих озер основную роль играет поверхностный сток. Котловины таких озер неглубокие (до 10 м), диаметр их, как правило, не превышает 300-400 м. Максимальная глубина озер – 4 м. Самые крупные из них находятся вблизи сел Титаревка и Рудаевка. Карстовое озеро на водоразделе, например вблизи с. Титаревка, имеет площадь водосбора 0,64 $км^2$.

Родники на правобережье Дона в границах Подгоренского гидрологического района зарождаются из верхнемелового и нижнемелового водоносных горизонтов. Водосодержащими породами этих горизонтов являются писчий мел, мергель и пески. Дебит источников очень высокий. На территории Верхнемамонского района насчитывается 88 учтенных родников [3].

Отдельно следует упомянуть минеральный источник «Белая горка». Этот источник действует в Богучарском районе у хутора одноименного названия, расположенного в 50 км от г. Богучар и в 4 км от с. Сухой Донец. Источник открыт в 1931 г. академиком А.А. Дубянским. Вода его поступает со 156-метровой глубины. Температура воды и зимой и летом постоянная: +19°С (по другим данным +11-11,5°С). Дебит достаточно высокий – 4 $дм^3$/с. По своим свойствам вода источника «Белая горка» относится к лечебным минеральным хлоридно-натриевым целебным водам. Анализы показывают, что в состав воды входит много редких химических элементов, таких как йод, бром, бор в весьма благоприятном соотношении. По своим бальнеологическим свойствам вода «Белая горка» сопоставима с «Трускавецкой» и «Карлововарской».

Гидрохимия

Предшествующие гидрохимические исследования в пределах Богучарского гидрологического района касались исключительно р. Дон. Был изучен достаточно полно химический состав поверхностных вод на 80-ти километровом отрезке от хут. Тихий Дон до с. Сухой Донец на границе с Ростовской областью (табл. 1).

Обращает на себя внимание устойчивость химического состава воды по основным макрокомпонентам. Вода мягкая (жесткость варьирует в интервале от 2,8 до 3,5 ммоль/$дм^3$), с невысокой минерализацией (436,5-479,5 мг/$дм^3$). При этом важно отметить, что наиболее высокая минерализация воды отмечена в районе хутора Тихий Дон, где начата разработка гранитов на правобережье реки. Вода имеет нейтральную или слабощелочную реакцию (pH 7,0-7,5). Содержание миграционно активных соединений азота значительно ниже предельно допустимого уровня. По гидрогеохимической классификации вода р. Дон относится к сульфатно-гидрокарбонатному кальциево-натриевому или гидрокарбонатно-сульфатному кальциево-натриевому типам, причем смена гидрогеохимических типов происходит несколько выше от места впадения в р. Дон правого притока – р. Богучарка. Кроме того в воде зафиксированы взвешенные вещества – до 30 мг/$дм^3$, а также органические загрязнители: СПАВ – 0,03-0,045 мг/$дм^3$, нефтепродукты – менее 0,05 мг/$дм^3$, фосфаты – 0,1 мг/$дм^3$. Из приведенного материала можно сделать заключение о достаточно низком антропогенном воздействии на р. Дон на всей территории Богучарского Подонья, исключая небольшой отрезок, примыкающий к гранитному карьеру.

Химический состав воды малых рек – притоков Дона, несмотря на незначительные вариации по отдельным водотокам, в целом идентичен химическому составу р. Дон (табл. 2). Для малых рек в целом характерна несколько повышенная жесткость, в основном за счет сульфатов кальция и магния и некоторым обогащением аммонийным азотом (реки Богучарка, Гнилуша).

Таблица 1. Химический состав воды реки Дон

Компоненты	Место отборы проб							
	Тихий Дон	Грушевое	Подколодновка	Галиевка	Терешково	Красноготовка	Аброимово	Сухой Донец
Минерализация, г/дм^3	479,5	438,4	455,3	464,5	471,9	438,6	439,6	436,5
Жесткость, мг-экв/дм^3	3,2	3	2,8	2,9	3,3	3,5	3,35	3,3
pH	7,4	7,2	7,1	7,0	7,5	7,4	7,4	7,2
Железо, мг/дм^3	0,25	0,2	0,15	0,15	0,18	0,25	0,2	0,2
Нитраты, мг/дм^3	24	25	21	26	18	22	28	25
Нитриты, мг/дм^3	0,2	0,15	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2
Аммоний, мг/дм^3	0,03	0,02	0,03	0,05	0,05	0,06	0,07	0,05
Сульфаты, мг/дм^3	125	116	115	98	90	95	85	90
Гидрокарбонаты, мг/дм^3	110	105	90	110	120	105	115	110
Хлориды, мг/дм^3	52	32	62	55	62	42	38	32
Кальций, мг/дм^3	115	90	100	105	103	104	90	100
Магний, мг/дм^3	15	25	25	18	18	15	18	18
Натрий + калий, мг/дм^3	38	45	42	52	60	55	65	61

Таблица 2. Химический состав рек – притоков Дона

Реки	Богучарка	Левая Богучарка	Толучеевка	Мамоновка	Матюшина	Гнилуша	Криуша	Козынка
Компоненты	Место отборы проб							
	Залиман	Радченское	Заместье	Нижний Мамон	Березняги	Приречное	Новобогородицкое	Старая Меловая
Минерализация, г/дм^3	475,23	453,76	478,45	469,17	473,86	453,72	449,90	464,65
Жесткость, мг-экв/дм^3	3,4	3,2	3,3	3,2	3,5	3,45	3,34	3,15
pH	7,25	7,3	7,15	7,35	7,1	7,4	7,2	7,15
Железо, мг/дм^3	0,25	0,28	0,32	0,24	0,26	0,22	0,21	0,24
Нитраты, мг/дм^3	26,8	25,7	23,8	26,2	24,4	28,8	25,9	26,4
Нитриты, мг/дм^3	0,24	0,22	0,14	0,22	0,19	0,32	0,34	0,28
Аммоний, мг/дм^3	0,11	0,08	0,05	0,05	0,08	0,12	0,09	0,12
Сульфаты, мг/дм^3	119,4	116,83	123,24	100,46	98,95	96,14	100,11	114,3
Гидрокарбонаты, мг/дм^3	105,6	101,9	99,8	110,05	112,44	105,12	111,81	110,8
Хлориды, мг/дм^3	47,64	42,48	60,35	51,92	49,12	39,32	38,12	42,54
Кальций, мг/дм^3	112,84	99,38	104,24	105,21	100,14	101,12	95,95	99,21
Магний, мг/дм^3	22,11	24,05	22,39	19,18	16,28	21,12	19,25	18,78
Натрий + калий, мг/дм^3	40,24	42,84	44,12	55,64	60,12	61,44	58,12	52,20

Поскольку критерии загрязненности подземных вод для речных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение, более жесткие, чем для подземных вод питьевого на-

значения, есть основание считать, что и река Дон, и ее притоки, такие как Богучарка, Левая Богучарка, Толучеевка по кальцию и азоту нитритному не соответствуют жестким требованиям ПДК.

Искусственное пополнение ресурсов подземных вод

В условиях распространения водопроницаемых пород мероприятия по предотвращению фильтрации поверхностного стока показали свою низкую эффективность. Поэтому здесь рекомендовано применять системы искусственного пополнения подземных вод, за счет которых создаются дополнительные водные ресурсы, необходимые для орошения земель. Анализ природных условий Богучарского Подонья свидетельствует о том, что на большей части этой территории имеются благоприятные условия не только для локального подпитывания подземных вод, но и для увеличения общих ресурсов водоносных горизонтов, прежде всего неоген-четвертичного возраста. Источником пополнения здесь может являться часть весеннего речного стока в объеме до 4 км^3. Инфильтрационные водоемы целесообразно сооружать в балках и руслах рек, сложенных породами с высокими коэффициентами фильтрации. Примером может служить искусственный водоем площадью 4,8 км^2 на реке Богучарка в районе с. Лофицкое. Наполнение водоема происходит во время весеннего паводка, а также за счет склонового стока. Скорость снижения уровня воды составляет 2-7, реже – до 12 см/сут.

Под фильтрующим водоемом возникает инфильтрационный купол, смещающийся по потоку грунтовых вод в сторону реки со скоростью 2-5 см/сут. Продолжительность растекания этого купола определяется водопроводимостью верхнего неоген-четвертичного водоносного горизонта, составляющей 5-6 месяцев. За счет заполнения водой свободной емкости зоны аэрации в районе фильтрующего водоема, как в подземном водохранилище, накапливаются искусственные ресурсы подземных вод. Поэтому системы с искусственным пополнением подземных вод можно применять как для сезонного регулирования весеннего стока – при полном использовании искусственных ресурсов в летнее время, а также для многолетнего регулирования, позволяющего накапливать дополнительные искусственные ресурсы в более влажные годы и использовать их в засушливые периоды. Подобный водоем с искусственным пополнением подземных вод сооружен и в пойме долины Толучеевка вблизи хутора Червоно-Чехурский.

Таким образом, в систему искусственного пополнения подземных вод входят фильтрующие водоемы, регулирующие водоемы накопители и водозаборные скважины.

Последствия хозяйственной деятельности человека

Хозяйственная деятельность в регионе привела к нарушению естественного равновесия в природной среде. Одной из причин нарушения естественного водного режима Дона и малых рек в Богучарском Подонье является развитие процессов ускоренной плоскостной эрозии почв. Наибольших величин (более 40%) эродированность почв достигает на водосборах рек Богучарка и Левая Богучарка.

Не менее интенсивно развита на данной территории овражно-балочная эрозия. Особенно следует отметить площадь водосбора р. Мамоновка, на который приходится 2,3% от 72,3 тыс. га, занятых оврагами на всей территории Воронежской области [7].

Состав поверхностного стока, ливневых и талых вод с сельскохозяйственных угодий, поступающих в поверхностные и грунтовые воды Богучарского Подонья, содержит вещества, применяемые в качестве удобрений и средств защиты растений: азот, фосфор, калий, пестициды. Как показывают наблюдения, несоблюдение технологий использования удобрений и пестицидов приводит к их вымыванию водами весеннего стока в среднем до 7 % на водосборах рек Богучарка, Толучеевка, Мамоновка, Криуша. К категории наиболее часто используемых показателей для оценки качества водных объектов относится гидрохимический индекс загрязнения воды (ИЗВ). Этот индекс комплексно характеризует сумму нормированных (по ПДК) среднегодовых значений концентрации загрязняющих веществ. В зависимости от значения ИЗВ поверхностные воды классифицируются по 7 классам качества: очень чистые, чистые, умеренно загрязненные, загрязненные, грязные, очень грязные, чрезвычайно грязные, очень грязные, чрезвычайно грязные.

Таблица 3. Динамика загрязненности вод рек Богучарского Подонья

Реки	Значение ИВЗ / класс качества воды				
	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Дон	1,02 / III	1,45 / III	1,5 / III	1,26 / III	1,45 / III
Богучарка	1,28 / III	1,65 / III	1,45 / III	1,54 / III	1,77 / III
Левая Богучарка	1,42 / III	1,48 / III	1,55 / III	1,64 / III	1,82 / III
Толучеевка	1,34 / III	1,38 / III	1,60 / III	1,52 / III	1,62 / III
Мамоновка	1,55 / III	1,58 / III	1,49 / III	1,46 / III	1,50 / III
Матюшина	2,11 / IV	2,32 / IV	2,34 / IV	2,44 / IV	2,38 / IV
Гнилуша	2,32 / IV	2,44 / IV	2,51 / IV	2,38 / IV	2,40 / IV
Криуша	2,16 / IV	2,22 / IV	2,43 / IV	2,52 / IV	2,58 / IV
Козынка	2,24 / IV	2,28 / IV	2,45 / IV	2,64 / IV	2,72 / IV

В таблице 3 приведены данные по динамике загрязненности воды рек Богучарского Подонья, исходя из индекса загрязнения воды. В соответствии с приведенными данными воды рек Дон, Богучарка, Левая Богучарка, Мамоновка, Толучеевка характеризуются как умеренно загрязненные, что соответствует III классу качества воды. В тоже время реки Матюшина, Гнилуша, Криуша, Козынка за пятилетний период наблюдений характеризовались как загрязненные (IV класс). Следует также отметить, что в период с 2011 по 2015 год в воде р. Богучарка периодически отмечались аномальные превышения по железу от 3,1 до 6,2 ПДК; по сульфатам от 2,1 до 2,25 ПДК; по нитритам от 1,65 до 3,0 ПДК [7].

Вполне очевидно, что экологическая обстановка обостряется нарушениями в эксплуатации очистных сооружений исследуемой территории.

Принятые в конце 2000 г. в эксплуатацию очистные сооружения в районном центре Верхний Мамон до настоящего времени, по вине организаций коммунального хозяйства не выведены на проектный режим работы. Не соблюдается стабильный режим работы на очистных сооружениях г. Богучар. Из-за невыполнения плановых работ по реконструкции очистных сооружений искусственной биологической очистки на очистных сооружениях в полной мере не осуществляется нормативная очистка сточных вод, в результате чего в реки Богучарка и Дон сбрасываются сточные воды в объеме 35 тыс. $м^3$ в месяц с превышением норм ПДК по содержанию органических веществ, сульфатов, фосфатов и других загрязняющих веществ. Не завершены работы по модернизации очистных сооружений в районном центре Петропавловка. Следствием является загрязнение р. Толучеевка тяжелыми металлами, сульфатами, органическими соединениями.

Водоохранные мероприятия

Схема водорегулирующих противоэрозионных мероприятий на территории Богучарского Подонья должна включать в себя: агротехнические мероприятия (контурно-мелиоративную систему земледелия); лесные полосы, размещенные по границам земельных участков и вдоль балок; залужение склонов; инженерно-гидротехнические мероприятия (распылители стока, быстротоки, перепады, донные запруды). Замыкающим звеном комплекса должен быть каскад водоемов в балочной сети, так как водоемы уменьшают глубину местных базисов эрозии и являются наносоуловителями. Пруды с повышенной фильтрацией – фильтрующие водоемы способны улавливать твердый сток, предохраняют реки от заиления и одновременно увеличивают питание верхнего горизонта подземных вод, что создает условия для искусственного регулирования подземного стока. Следует отметить, что на водосборах рек Богучар и Левая Богучарка под пруды можно использовать только 30-35% балок – при близком залегании палеогеновых глин в верхних частях или грунтовых вод в нижних. Строительство водозаборов с искусственным пополнением

подземных вод можно рассматривать как первый шаг к активному управлению состоянием водных ресурсов в общей системе охраны природной среды, они являются перспективными для развития орошаемого земледелия на водосборах с неблагоприятными условиями для строительства прудов [6].

Осуществление водорегулирующих мероприятий на речных водосборах Богучарского Подонья не только улучшают водный режим почв, ну и создает условия для увеличения инфильтрационного питания подземных вод.

В число мероприятий по предотвращению загрязнения природных вод следует включать: строительство и реконструкцию станции очистки и аэрации для совместной обработки бытовых и производственных сточных вод и применение физико-химических методов для их очистки. Необходимо, также снижать водопотребление предприятий, существующие технологии – на более экологически чистые, применять оборотное водопотребление в производстве.

Для защиты водных ресурсов от загрязнения пестицидами и удобрениями на сельхозугодиях, необходимо, прежде всего, соблюдать технологию и правила их хранения и применения. При орошении земель в области, режим орошения и поливные нормы, техника полива должна исключать разрушение почвенной структуры и образование поверхностного стока [6].

Приведенные выше мероприятия предназначены для водных объектов незатронутых деградацией. Для деградирующих водных объектов этих мероприятий недостаточно. Деградирующие водные объекты нуждаются наряду с профилактическими мерами, в специальных восстановительных мероприятиях: очистке русел от наносов, строительстве водохранилищ природоохранного назначения с попусками, имитирующими естественный сток в многоводные годы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адерихин П. Г. Почвы Воронежской области / П.Г. Адерихин. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1952. – 264 с.

2. Бочаров В. Л. Некоторые проблемы экологической гидрогеологии Богучарского Подонья / В. Л. Бочаров, М. А. Овсянников // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геол. – 2003. – № 1. – С. 141-147.

3. Дмитриева В.А. Водные ресурсы в бассейне Верхнего и Среднего Дона в современный климатический и хозяйственный период / В.А. Дмитриева // Изв. РАН. Сер. Географ. – 2011. – № 5. – С.75-85.

4. Курдов А. Г. Водные ресурсы Воронежской области: формирование, антропогенное воздействие, охрана и расчеты / А. Г. Курдов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1995. – 224 с.

5. Прожорина Т. И. Современное состояние водных ресурсов бассейна среднего Дона / Т.И. Прожорина, Е. А. Мажайская // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. – 2005 – № 1 – С. 76-80.

6. Смольянинов В. М. Водозаборы с искусственным пополнением подземных вод для орошения земель / В. М. Смольянинов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. агроун-та, 2001. – 153 с.

7. Филатов Д.Г. Геоэкологические, ландшафтно-экологические условия и ресурсы подземных вод Богучарского Подонья / Д.Г. Филатов // Вестник Воронеж. ун-та. Сер. геол. – 2011. – № 2. – С. 212-219.

К ПРОБЛЕМЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ВОД

В.Л. Бочаров, С.В. Бочаров, Г.Ю. Дешевых
gidrogeol@mail.ru

Воронежский государственный университет, г.Воронеж, Россия

Поршневое вытеснение, как механизм удаления техногенного загрязнения природных вод, рассматривается в качестве частного случая конвективного переноса, то есть гидравлического перемещения фильтрационным потоком со скоростью, связанной со скоростью фильтрации

$$v = v_s n$$

где v_s - скорость движения подземной воды, n – общий объем водной массы.

С учетом требования, вытекающего из предпосылки сплошности среды, более корректное определение скорости фильтрации выражается формулой

$$v = \lim \frac{Q}{\omega}$$
$$\omega \to \omega_0$$

Согласно закону Дарси, выраженном в дифференциальной форме

$$v = -k\left(\frac{\partial H}{\partial l}\right),$$

или в проекциях на координатные оси,

$$\begin{cases} \mathrm{v}_x = -k\left(\dfrac{\partial H}{\partial x}\right) \\ v_y = -k\left(\dfrac{\partial H}{\partial y}\right) \\ v_z = -k\left(\dfrac{\partial H}{\partial z}\right) \end{cases}$$

Такая форма записи позволяет утверждать, что вектор скорости движения водного потока $\vec{v}$ связан со скалярным полем функции H: вектор $\vec{v}$ в каждой точке (x_0, y_0, z_0) направлен по нормали к поверхности H=const, проходящей через эту точку, причем $\bar{v} = -k$ grad H, где grad H – вектор-градиент функции H, то есть вектор, координаты которого равны, соответственно $\partial H / \partial x$, $\partial H / \partial y$, $\partial H / \partial z$. Переписывая в виде $\bar{v} =$ grad $(-k H)$, приходим к выводу, что функция $\varphi = -k H$ является потенциалом для вектора скорости фильтрации – согласно известным положениям теории поля [1].

Если свойства среды, задаваемые коэффициентом k, в разных направлениях различны и определяются составляющими k_x, k_y, k_z, то для такой *анизотропной* среды:

$$v_x = -k_x\left(\frac{\partial H}{\partial x}\right);\ v_y = -k_y\left(\frac{\partial H}{\partial y}\right);\ v_z = -k_z\left(\frac{\partial H}{\partial z}\right).$$

В дальнейшем опыты неоднократно проводились с различными жидкостями, и закону Дарси был придан более общий вид:

$$v = -\frac{k_0 \rho_{ж} g}{\mu_{ж}} \frac{\partial H}{\partial l},$$

где коэффициент пропорциональности k_0 зависит только от свойств пористой среды [3].

При больших скоростях и малом времени перенос идет по наиболее крупным, связанным друг с другом порам. С падением скорости и увеличением времени в процесс вовлекаются более мелкие поры, так что в пределе активная пористость (трещиноватость) стремится к общей пористости. За исключением специально оговоренных случаев, мы будем далее предполагать, что рассматриваются достаточно длительные и медленные процессы, в которых величину n_a можно считать постоянной, близкой к общей пористости (трещиноватости). Соответственно, мы примем для нее далее обозначение n.

Так как скорости перемещения вещества или тепла фильтрующимся потоком усредняются, то в таком представлении конвективный перенос должен характеризоваться резкой границей раздела между вытесняющей и вытесняемой жидкостью, то есть, перемешивания нет, и говорят о поршневом вытеснении одной жидкости другой. При плановой фильтрации в однородном пласте двух жидкостей с одинаковой плотностью фронт вытеснения нормален к поверхностям напластования. Ситуация, однако, заметно усложняется, если плотности жидкостей различны: фронт вытеснения, в частности, отклоняется от нормали к напластованию – более тяжелая жидкость занимает вблизи фронта нижнюю часть пласта [2, 3].

Рассмотрим задачу загрязнения пресных вод техногенными водами химического предприятия, имеющими повышенную минерализацию, превышающую установленный лимит для воды питьевого назначения. Примем следующую упрощенную постановку. Ореол загрязненных вод занимает стационарное предельное положение. Дальнейшему его продвижению препятствует стационарный фильтрационный поток пресных вод. В плановом потоке пресных вод вертикальной составляющей скорости фильтрации $v_{пр}$ можно пренебречь; его расход (через сечение $\omega_{пр}$):

$$q = v_{пр}\,\omega_{пр} = k\left[m - z_p(x)\right]\frac{dH_{пр}}{dx} = k\left[m - z_{\text{р}}(x)\right]\frac{dH^p_{пр}}{dx},$$

где $H_{пр}$ – напор пресных вод; $H^p_{пр}$ – то же, на границе раздела. Так как на границе раздела гидростатическое давление пресных вод $P_{\text{пр}}$ должно по условию равновесия равняться давлению загрязненных вод $P_{c,}$то:

$$H^p_{пр} = \frac{P^p_{пр}}{g\rho_{\text{пр}}} + z_p = \frac{P^p_c}{g\rho_{\text{пр}}} + z_p = \frac{\rho_c}{\rho_{пр}}\left(\frac{p^p_c}{g\rho_{\text{с}}} + z_p - z_p\right) + z_p = \bar{p}\,H^p_c - z_p\Delta\bar{p},$$

где $\rho_{\text{с}}$, $\rho_{\text{пр}}$ – плотности соленой и пресной воды, $\bar{p} = \rho_c / \rho_{пр}$; $\Delta\bar{p} = \left(\rho_c - \rho_{пр}\right)/\rho_{пр}$.

Так как движения в соленой воде нет, то $H_c = H^p_c = const$ и , следовательно:

$$\frac{dH^p_{пр}}{dx} = -\Delta\bar{p}\frac{dz_p}{dx}.$$

Тогда:
$$q = -k\left(m - z_p\right)\Delta\bar{p}\,\frac{dz_p}{dx}.$$

Разделяем переменные и интегрируем:

$$\frac{q}{k}\int_0^x dx = -\Delta\bar{p}\int_m^{z_p}\left(m - z_p\right)dz_p,$$

то есть линия раздела является параболой:

$$z_p = m - \sqrt{2gx/\left(\text{k}\Delta\bar{\text{p}}\right)}.$$

Можно показать, что этот результат хорошо описывает процесс при достаточно больших x, то есть при большой длине очага загрязнения в сравнении с мощностью пласта.[4]

В более общих случаях динамического равновесия необходимо учитывать движение не только пресных, но и загрязненных вод, а также самой границы раздела. При этом

поток в каждой области определяется законом Дарси, причем значения напоров $H_{пр}$ и H_c дифференцируются для каждой области, аналогично рассмотренному примеру (однако $H_c \neq const$). Впрочем, более удобным оказывается использование значений напоров $H^0_{пр}$ и H^0_c, приведенных к одной плотности ρ^0, например, если принять $\rho^0_c = \rho_{пр}$, то

$$H^0_{пр} = \frac{p}{p_{пр} g} + z, \quad H^0_c = \frac{p}{g\rho_{пр}} + \bar{p}\,\bar{z}.$$

Представленная модель достаточно полно описывает процесс загрязнения водной среды, она дает возможность количественно оценить соотношение природной и техногенной составляющих водного баланса в рамках конкретного водосборного бассейна [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров В.Л., Строгонова Л.Н. К разработке математической модели фильтрации подземных вод в неоднородных средах / В.Л. Бочаров, Л.Н. Строгонова; Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы IV Международной конференции. – Т.1.– Воронеж: Воронеж. ун-т, 2014. – С. 85-89.

2. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ / В.А. Мироненко, В.М. Шестаков; – М.: Недра, 1978. – 258 с.

3. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. Гидрология. – М.: Высшая школа, 2008. – С. 64-65.

4. Кучмент Л.С. Речной сток (генезис, моделирование, предвычисление). – М., 2008. – С. 210-212.

5. Храмченков М.Г. О некоторых особенностях деформирования и массопереноса в горных породах / М.Г. Храмченков; – М.: Макс Пресс, 2013. – С. 215-220.

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ФОРМИРОВАНИЕ ВОЛНЫ ПОЛОВОДЬЯ НА РЕКАХ ОКСКО-ДОНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

М.Е. Буковский, А.В. Семенова, М.А. Чернова

mikezzz@mail.ru, annasemonen@yandex.ru, chernovamarusya@mail.ru

Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г.Тамбов, Россия

Уровень воды в реке — это важный экологический фактор, влияющий как на окружающую среду, так и на человека. В период половодья всегда присутствует риск затопления территории поймы, а также попадания в реку различных загрязняющих веществ, которые могут нести потенциальную опасность для обитателей реки и жизни людей [7].

Климатические условия являются основными стокоформирующими факторами, влияющими на его внутригодовую изменчивость. В связи с недостаточно развитой методической и теоретической базой изучение изменчивости количественных характеристик максимального стока является важной научной задачей, а также представляет интерес с точки зрения различных аспектов жизнедеятельности человека [2].

В настоящее время основные фазы водного режима, такие как половодье и межень, претерпевают существенные изменения, выражающиеся в уменьшении объемов речного стока, который формируется в период весеннего половодья, а также в увеличении объемов стока летне-осенней и, особенно, зимней межени. В то же время меняются и сроки наступления и окончания половодья, продолжительность и характер волны паводка. Изучение условий формирования и изменчивости максимальных расходов воды весеннего половодья обусловлено нарастанием частоты проявления экстремальных явлений (наводнений и т.п.) [3].

В последних работах по анализу водности и уровней половодья замечена тенденция к снижению максимальных уровней и максимальных расходов воды. Такие тенденции отмечены на реках Дон и Хопёр [1, 3, 4, 5].

Нами также была зафиксирована тенденция к снижению максимальных уровней на реке Цне, однако достоверность изменений крайне низка [6].

Подобная тенденция отмечается многими авторами, однако причины этого до конца не выяснены. В связи с этим мы решили проанализировать ряд климатических показателей, которые оказывают непосредственное влияние на максимальные уровни воды во время весеннего половодья, а также более подробно исследовать динамику некоторых ключевых характеристик половодья на примере реки Цны. Нами анализировались:

• запас воды в снеге на дату начала снеготаяния;

• интенсивность роста половодья;

• глубина промерзания почвы на дату начала половодья;

• глубина промерзания почвы на дату устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0ºС в сторону повышения;

• продолжительность половодья;

• суммы осадков за март и апрель;

• усреднённые за месяц среднесуточные температуры воздуха за март и апрель;

• суммы положительных среднесуточных температур воздуха по декадам за март и апрель.

В качестве модельного объекта была выбрана река Цна у города Тамбова. Для проведения исследования мы использовали данные Тамбовского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Были проанализированы фондовые материалы по гидрологическому посту на реке Цне у г. Тамбова и метеостанции «Тамбов» за период с 1970 по 2016 гг.

Данные были оцифрованы, затем сведены в аналитические таблицы. Результаты исследования представлены на рисунках 1-9.

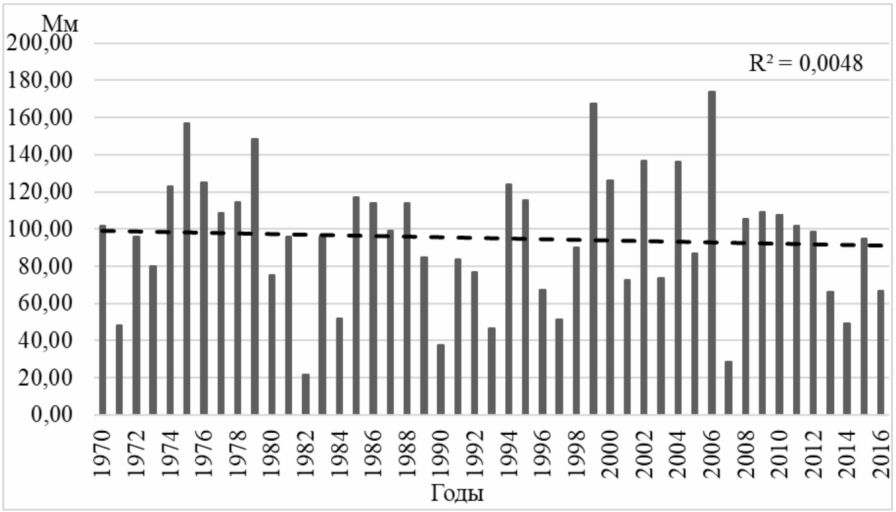


Рис. 1. Запасы воды в снежном покрове на дату начала снеготаяния по метеостанции «Тамбов» за 1970-2016 гг.

На рисунке 1 представлена динамика запасов воды в снежном покрове на дату начала снеготаяния за исследуемый период. Видны достаточно волнообразные колебания параметра.

В 70-х гг. можно наблюдать скачки, однако в принципе содержание воды в снеге изменяется не сильно. В 80-х гг. общее содержание воды в снежном покрове меньше, чем за предыдущее 10-летие. В этот же период зафиксировано минимальное значение параметра за изучаемый период. Он датируется 1982 годом и составляет 21,6 мм. В 90-е запасы воды в снеге в целом также сравнительно не высоки. Далее, в начале 2000-х гг., снова

отмечены скачкообразные колебания параметра и зафиксировано максимальное значение запаса воды в снежном покрове на дату начала снеготаяния за изучаемый период. Оно составило 173,6 мм и отмечено в 2006 году. В последующие годы показатель снегозапасов был достаточно ровным и без резких колебаний.

Среднее содержание воды в снеге за 1970-2016 гг. составляет 95 мм. В целом можно заметить тенденцию к снижению запасов воды в снежном покрове по метеостанции «Тамбов», однако полученный нами тренд достоверным не является.

На рисунке 2 представлена интенсивность роста половодья на реке Цне у г. Тамбова за анализируемый период. Видна значительная межгодовая изменчивость параметра. Максимальная интенсивность роста половодья зафиксирована в 1970 году - 82,2 см/день. Наименьшее значение датируется 2014 годом и составляет 6,8 см/день. В 90-е гг. интенсивность роста половодья изменялась небольшими скачками с разницей в 1-2 года. В 2000-х гг. показатель выровнялся и изменялся без резких колебаний значений.

В среднем за сутки уровень воды с начала до пика половодья вырастал на 27,9 см. В целом, проанализировав диаграмму, можно сделать вывод о тенденции к снижению интенсивности роста половодья на гидропосту «Тамбов» за изучаемый период. Но достоверность данного тренда крайне низка.

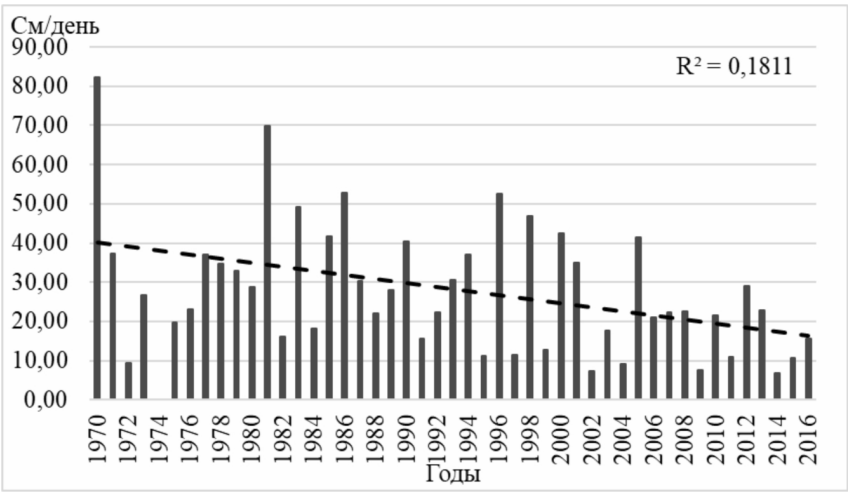


Рис. 2. Интенсивность роста половодья на гидропосту «Тамбов» за 1970-2016 гг.

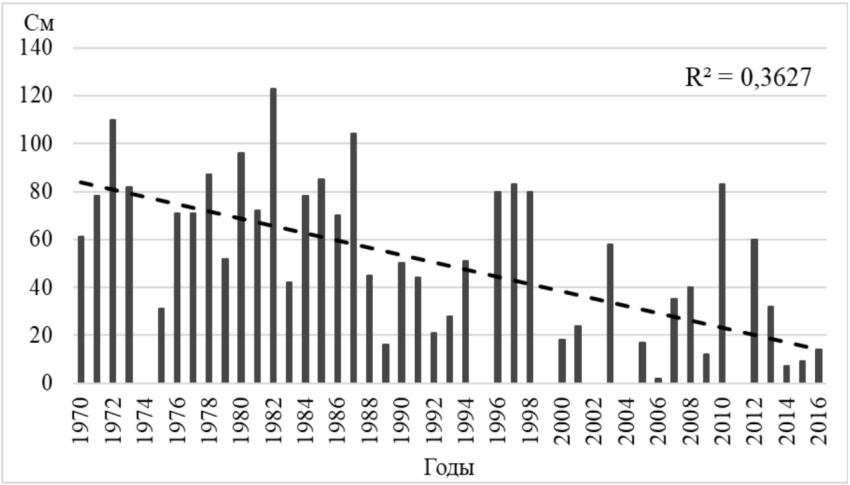


Рис. 3. Глубина промерзания почвы на дату начала половодья по метеостанции «Тамбов» за 1970-2016 гг.

Далее была проанализирована динамика значений глубины промерзания почвы на дату начала половодья по метеостанции «Тамбов» (рис. 3). Значение 1974 года отсутствует в связи с отсутствием данных в фондах.

С 70-х до середины 80-х гг. почва к моменту начала половодья промерзала достаточно сильно. В 1982 году зафиксировано максимальное значение данного показателя - 123 см. Далее со второй половины 80-х гг. значение параметра начинает уменьшаться, а в 2000-х гг. на дату начала половодья оно редко превышает 40 см. В 1995, 1999, 2002, 2004 и 2011 гг. в день начала половодья почва уже оттаяла, значение параметра равнялось 0 см, что является наименьшим значением за изучаемый период. В среднем глубина промерзания почвы на дату начала половодья составила 48 см.

После анализа была также установлена слабая тенденция к уменьшению среднего значения глубины промерзания почвы на дату начала половодья по метеостанции «Тамбов» за исследованный период.

В то же время были взяты для анализа значения глубины промерзания почвы на дату устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0ºС в сторону повышения по метеостанции «Тамбов» за период с 1970 по 2016 год (рис. 4).

В целом данный график практически повторяет предыдущий, что вполне закономерно. Наибольшее значение этого показателя также отмечено в 1982 году, оно равнялось 118 см, а наименьшее – в 1970 и 2004 гг. и, соответственно, равнялось 0 см. Среднее значение параметра за 1970-2016 гг. составило 49 см.

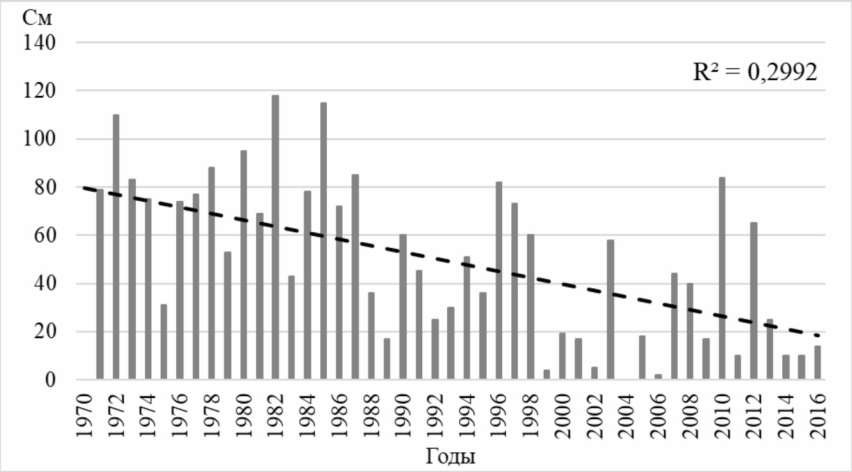


Рис. 4. Глубина промерзания почвы на дату устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0ºС в сторону повышения по метеостанции «Тамбов» за 1970-2016 гг.

Мы наблюдаем такую же слабую тенденцию к уменьшению среднего значения глубины промерзания почвы на дату устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0ºС в сторону повышения по метеостанции «Тамбов» за изученный период.

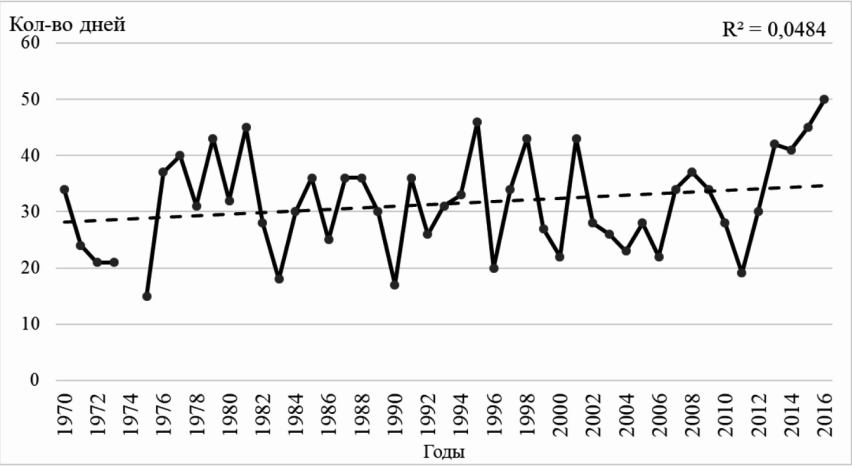


Рис. 5. Продолжительность половодий по гидропосту «Тамбов» за 1970-2016 гг.

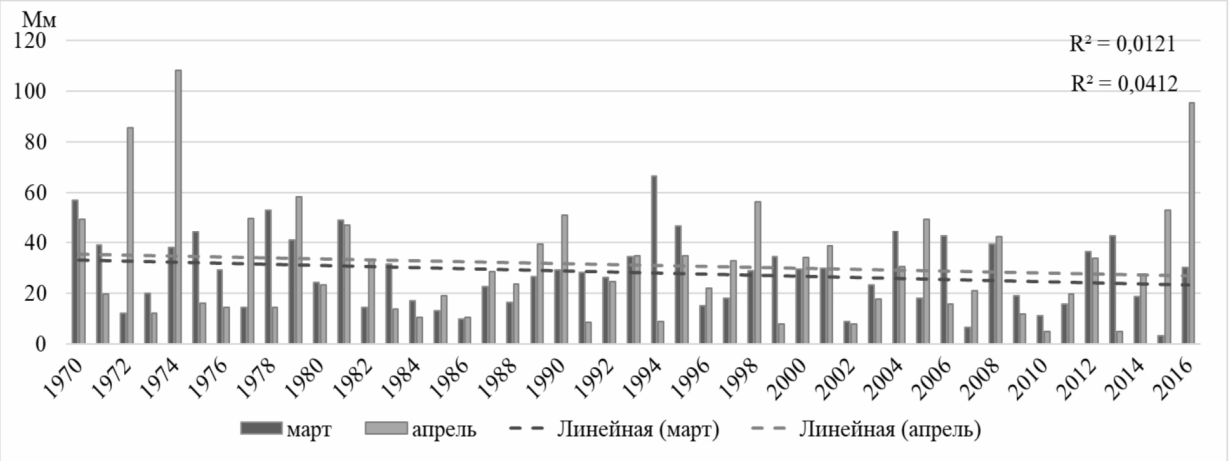


Рис. 6. Суммы осадков за сутки в течение марта и апреля по метеостанции «Тамбов» за 1970-2016 гг.

Следующим параметром в исследовании стала продолжительность половодий на гидропосту «Тамбов» за период с 1970 по 2016 гг. График достаточно скачкообразен, межгодовая изменчивость параметра на протяжении всего периода весьма значительна. Самое короткое половодье за анализируемый период было в 1975 году и длилось 15 дней, а самое продолжительное – в 2016 году и составило 50 дней.

Во второй половине взятого периода значение данного показателя изменяется практически без резких скачков. Таким образом, средняя продолжительность половодий за 1970-2016 гг. составила 31 день. В целом, выявлена тенденция к увеличению продолжительности половодий, но тренд не достоверен.

Затем были проанализированы месячные суммы осадков за март и апрель по метеостанции «Тамбов» (рис. 6). Графики волнообразны, межгодовые колебания апрельских сумм осадков заметно более скачкообразны по сравнению с мартовскими значениями.

Наибольшее количество осадков в марте за период 1970-2016 гг. выпало в 1994 году и составило 66,5 мм; а наименьшее составило 3,1 мм в 2015 году. В то же время в апреле больше всего осадков выпало в 1974 году и равнялось 108,2 мм. Меньше всего осадков в апреле за данный период выпало в 2013 году и составило 3,9 мм.

В среднем за изученный период в марте выпадает 28 мм осадков, в апреле – 31,1 мм. Отмечается общая тенденция к снижению количества выпадающих осадков в обоих месяцах, но тренды достоверными назвать нельзя.

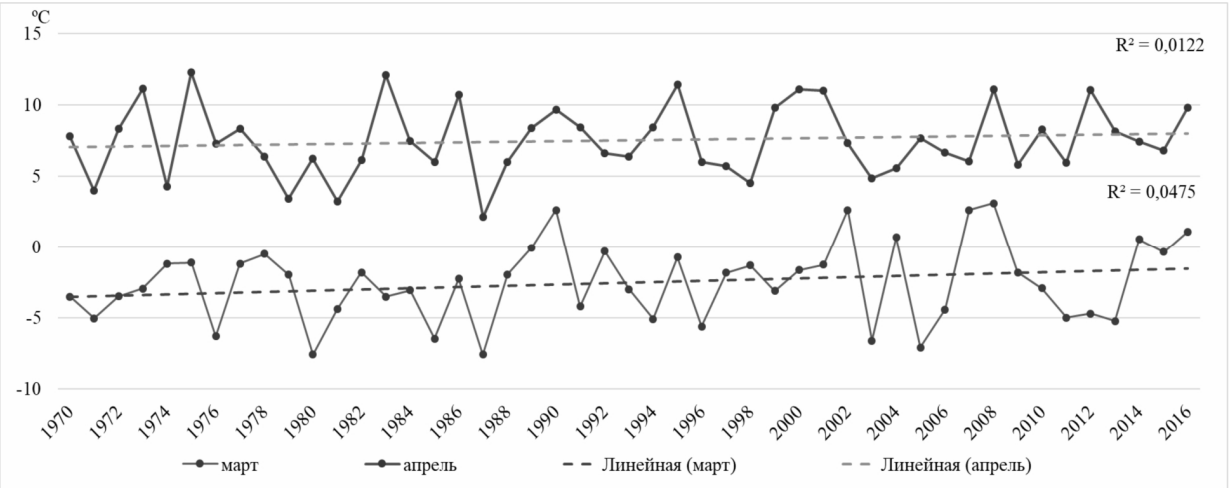


Рис. 7. Осреднённые за месяц среднесуточные температуры воздуха за март и апрель по метеостанции «Тамбов» за 1970-2016гг.

На рисунке 7 представлены графики осреднённых за месяц среднесуточных температур воздуха за март и апрель по метеостанции «Тамбов» за изученный период. В марте можно заметить достаточно скачкообразные колебания данного параметра. Наибольшее значение среднемесячной температуры воздуха в марте составило 3,1ºС в 2008 году; наименьшее же – (-7,6ºС) в 1987 году.

Для апреля наибольшее значение среднемесячной температуры воздуха было 12,3ºС, зафиксировано в 1975 году. А в том же 1987 фиксировалась минимальная среднемесячная температура воздуха в этом месяце, она составила 2,1ºС.

Среднее значение параметра за анализируемый период в марте составило (-2,5ºС),в апреле – (+7,5ºС). Также мы отметили тенденцию к увеличению среднемесячной температуры воздуха, как в марте, так и в апреле, но эти тренды снова недостоверны.

Затем был проанализирован такой параметр как сумма положительных среднесуточных температур воздуха по декадам за март и апрель по метеостанции «Тамбов» за 1970-2016 гг. (рисунки 8-9). Графики показывают, что динамика сумм температур очень скачкообразна, как в марте, так и в апреле.

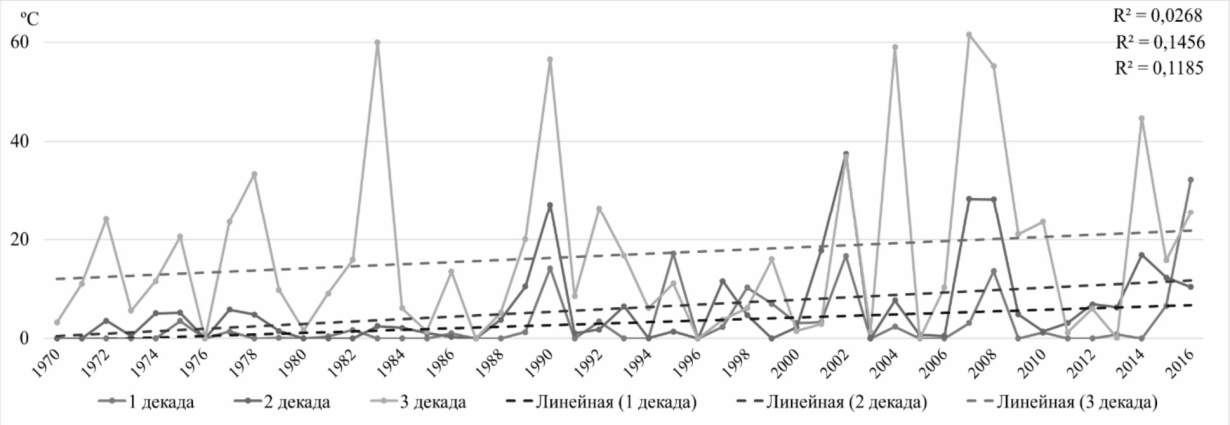


Рис. 8. Суммы положительных среднесуточных температур воздуха по декадам за март по метеостанции «Тамбов» за 1970-2016 гг.

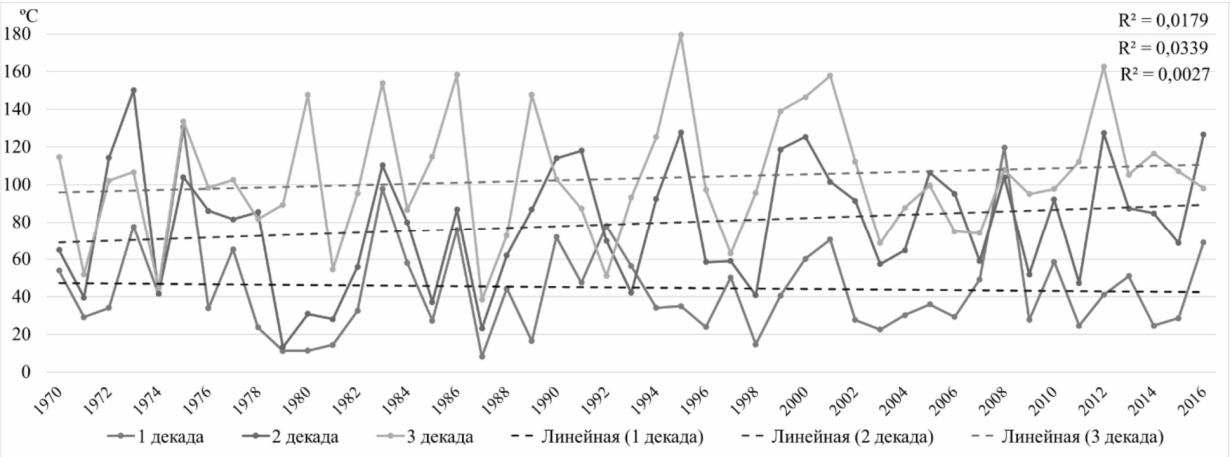


Рис. 9. Суммы положительных среднесуточных температур воздуха по декадам за апрель по метеостанции «Тамбов» за 1970-2016 гг.

Максимальные, минимальные и средние значения сумм положительных температур представлены в таблице 1.

При изучении динамики значений сумм положительных температур воздуха, были отмечены тенденции к увеличению сумм положительных среднесуточных температур практически по всем декадам в обоих месяцах. Так самая заметная тенденция к повышению температуры воздуха отмечена во второй декаде марта, но достоверность тренда

низкая. Остальные полученные нами тренды достоверными не являются. Также существует одно исключение – это 1 декада апреля, за изученный период наблюдалось небольшое снижение значений параметра. Но этот тренд также недостоверен.

Таблица 1. Максимальные, минимальные и средние значения сумм положительных среднесуточных температур воздуха по декадам за март и апрель по метеостанции «Тамбов» за 1970-2016 гг.

		Максимальное значение, ºС	Минимальное значение, ºС	Среднее значение, ºС
Март	1 декада	32,3 (2016 г.)	0 (1970-74, 1976, 1978, 1980, 1983-85, 1987-88, 1991, 1993-94, 1996, 2003, 2005-06, 2009, 2011-12, 2014 гг.)	3,1
	2 декада	37,5 (2002 г.)	0 (1970-71, 1976, 1980-82, 1987, 1996, 1999, 2004 гг.)	6,1
	3 декада	61,5 (2007 г.)	0 (1976, 1987, 1996, 2005 гг.)	16,9
Апрель	1 декада	130,8 (1975 г.)	8,3 (1987 г.)	45
	2 декада	150,2 (1973 г.)	13,3 (1979 г.)	79,1
	3 декада	179,5 (1995 г.)	38,5 (1987 г.)	103,3

Обобщая результаты проделанной работы, можно сделать следующие выводы. Значимая динамика за 46-летний период была отмечена по следующим показателям: интенсивность роста половодий и средних значений глубины промерзания почвы как на дату начала половодья, так и на дату устойчивого весеннего перехода среднесуточной температуры воздуха через 0ºС. По всем перечисленным параметрам зафиксирована тенденция к снижению, но только для последних двух была отмечена средняя достоверность тренда.

В динамике продолжительности половодий и осреднённых за месяц среднесуточных температурах воздуха в марте и апреле за анализируемый период видна тенденция к увеличению, но она недостоверна по показателю R^2.

Динамика сумм положительных среднесуточных температур воздуха в марте и апреле достаточно односторонняя. То есть наблюдается общая тенденция к потеплению как в марте, так и в апреле. Исключением является первая декада апреля, где видна слегка заметная обратная тенденция. В целом все полученные тренды достоверными назвать нельзя, кроме тренда второй декады марта, где отмечена слабая достоверность.

Существенной динамики запаса воды в снежном покрове на дату начала снеготаяния и сумм осадков за март и апрель не отмечено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Апухтин А.В., Кумани М.В. Многолетняя динамика основных элементов весеннего стока малых и средних рек Центрального Черноземья // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – Белгород: Изд-во НИУ «БелГУ», 2015. – №21 (218). – С. 114-120.

2. Гареев А.М. Некоторые особенности изменчивости максимальных расходов воды весеннего половодья в зависимости от влияния стокоформирующих факторов (на примере бассейнов рек Башкирского Предуралья) / А.М. Гареев, П.Н. Зайцев, А.В. Комиссаров// Вестник Башкирского университета. – Уфа: Изд-во БашГУ, 2015. – Т.20. – №2. – С. 478-485.

3. Дмитриева В.А., Бучик С.В. Генезис максимумов водности рек и изменчивость водного режима в современный климатический период // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2016. – №5. – С. 49-62.

4. Дмитриева В.А., Нефедова Е.Г. Гидрологическая реакция на меняющиеся климатические условия и антропогенную деятельность в бассейне Верхнего Дона // Вопросы географии. – 2018. – №145. – С. 285-297.

5. Дмитриева В.А., Сушков А.И. Динамика гидрологического режима рек Верхнедонского бассейна и экологические аспекты водопользования // Современная экология: образование, наука, практика. Материалы международной научно-практической конференции. – Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2017. – С. 430-434.

6. Краткосрочный прогноз времени наступления и максимального уровня половодья на реке Цне у г. Тамбова / М.Е. Буковский, С.Н. Дудник, А.В. Семенова, И.В. Бессонова // Труды II Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». – СПб: ХИМИЗДАТ, 2018. – С. 113-116.

7. Устинова О.В. Динамика уровней воды в р. Ишим (2004-2014 гг.) // Бассейновые территории: проблемы и пути их решения: материалы II Международной науч.-практич. конф. / ред.-сост. Г.С. Кощеева. – Ишим: Изд-во филиала ФГБОУ ВПО «ТюмГУ» в г. Ишиме, 2014. – С. 8-12.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК ВЕРХОДОНЬЯ

С.В. Бучик, В.А. Дмитриева, А.И. Сушков, Т.А. Шестопалова
verba47@list.ru

ООО «Центр-Дорсервис», Воронежский государственный университет, Воронежский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», г.Воронеж, Россия

Гидрологический режим рек Донского бассейна является предметом постоянного научного интереса, поскольку велика роль реки в экономике 15 субъектов Российской Федерации и 3 сопредельных областей Украины, на территории которых размещается речная система Дона. Площадь Донского бассейна составляет 422 000 км^2 [3], а вместе с площадью водосбора р. Калаус– 431 700 км^2 [2]. На Верхний Дон, границы которого нами совмещаются с административной границей Воронежской области, приходится 143 500 км^2 из общей площади бассейна [1]. В орографическом отношении территория Верхнего Дона неоднородна. Она располагается на Среднерусской и Калачской возвышенности, Окско-Донской низменной равнине. Рельеф оказывает влияние на формирование атмосферных осадков и испарения, что далее своеобразно проявляется в гидрологическом режиме рек.

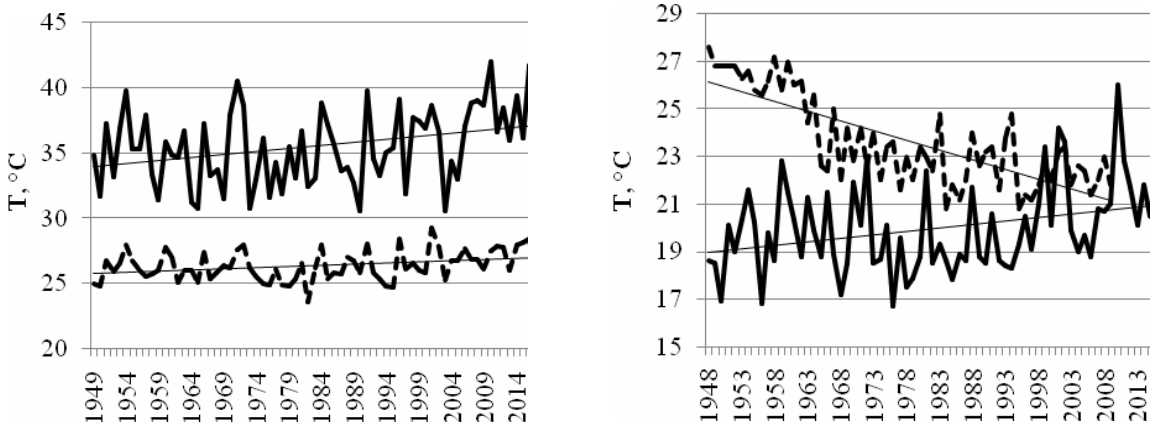
В настоящем исследовании основное внимание уделено малоизученным с гидрологических позиций термическому режиму рек и генезису абсолютных минимумов стока летне-осенней межени. В качестве фактора термического режима рассматривались максимальная и среднедекадная температура воздуха июля, как самого теплого месяца в году, и в качестве отклика – максимальная температура воды, формирование которой приходится преимущественно на июль месяц. Исходная информация охватывает период мониторинга, для метеоданных максимально с 1947 по 2017 гг., для гидрологических данных в исследованиях водности – с 1920-х годов по 2017 г. Формирование минимумов низкого стока также чаще всего выпадает на июль месяц.

В многолетнем ходе максимальной и среднемесячной температуры воздуха на всей территории Верхнего Дона отмечается синхронное увеличение, что согласуется с естественными климатическими процессами в северном полушарии. Изменения, происходящие в воздушной оболочке земли, закономерно переносятся на состояние поверхностных вод. Повышение или, напротив, снижение температуры воды меняет внутриводоемные процессы (на-

пример, развитие и отмирание водной растительности, существование гидробионтов). Одни из них ускоряются или замедляются, другие приспосабливаются к новым условиям.

Тепловой режим речной воды отражает сложный процесс взаимодействия водной массы и приземной атмосферы с одной стороны, и водной массы и ложа русла реки с другой, поэтому в многолетнем ходе максимальной температуры воды по длине реки Дон такого единства, как в ходе температуры воздуха, не наблюдается. В реке Дон на гидропостах Задонск, Гремячье, Лиски, Павловск общей тенденции увеличения максимальной температуры воды не подчиняется температура воды на гидростворе Лиски, где формируется слабо выраженный тренд снижения показателя. На правобережных притоках Дона повсеместно имеет место снижение максимальной температуры воды; а на левобережных притоках - увеличение, за исключением р. Подгорная. По наблюдениям на гидропосту г. Калач в р. Подгорная, также, как и в правобережных притоках Дона, максимальная температура воды уменьшается.

В ходе температуры воды и воздуха фиксируется не только синхронность (рис. 1а), но и асинхронность изменений (рис. 1б), причем данные тенденции прослеживаются в колебаниях максимальной температуры воды и максимальной и среднедекадной температуры воздуха, что вполне закономерно.



а *б*

Условные обозначения: - - - Температура воды; ---------- Температура воздуха

Рис. 1. Совмещенный график колебаний (а) максимальной температуры воды и воздуха р. Дон – г. Павловск (метеостанция Павловск) и (б) максимальной температуры воды и среднедекадной температуры воздуха р. Девица – с. Девица (метеостанция Нижнедевицк)

В р. Дон – г. Павловск тенденции в температурах воды и воздуха совпадают, фиксируется тенденция возрастания, а в притоке малой реки Девица – с. Девица в максимальной температуре воды и среднедекадной температуре воздуха (максимальной температуре воздуха) тенденции различаются по направлению. При положительной тенденции в температуре воды и воздуха корреляционные зависимости более тесные, чем при противоположной тенденции. Получены более высокие коэффициенты корреляции максимальной температуры воды со среднедекадной температурой воздуха, чем максимальной температуры воды с максимальной температурой воздуха (рис. 2).

Даты наступления максимальной температуры воды и максимальной температуры воздуха не совпадают, поскольку на прогревание воды и достижение максимума температуры требуется некоторое время.

С изменением термики поверхностных вод тесно связано формирование низкой летней водности, так как повышенный или пониженный температурный режим через испарение с поверхности водного зеркала и водосбора способно повлиять на количество воды в водном объекте. В связи с этим генезис низкой водности целесообразно рассматри-

вать на фоне температурных изменений воды и воздуха. В тоже время, генезис максимальной температуры воды оказывается под влиянием количества поступающей подземной воды, являющейся источником питания рек в межень и одновременно фактором снижения температуры водной массы.

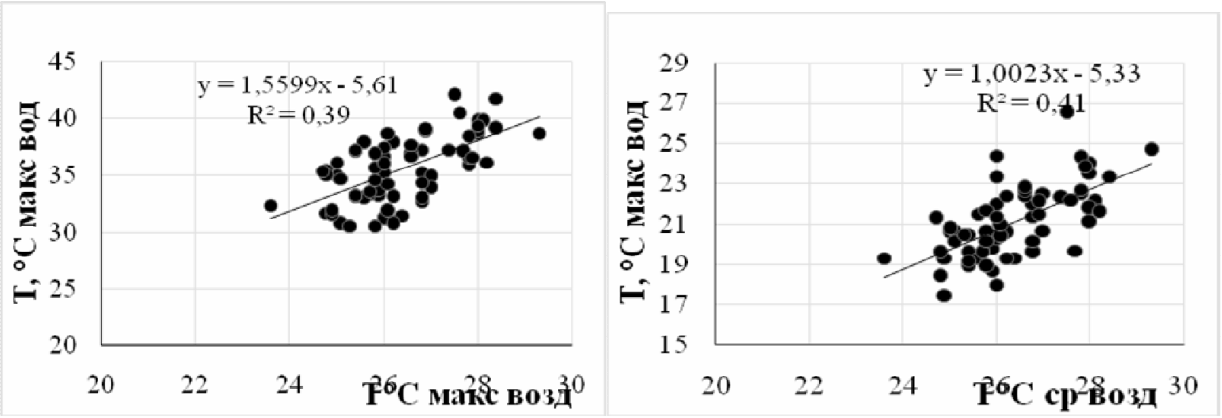


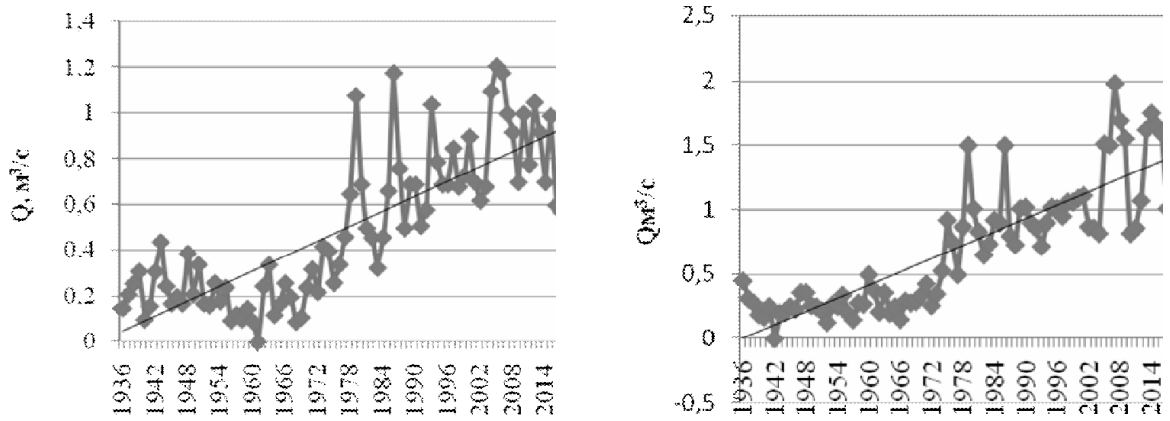
Рис. 2. Корреляционные зависимости максимальной температуры воды от максимальной (а) и среднедекадной (б) температуры воздуха р. Дон - г. Павловск

Фаза низкого стока (фаза межени) на реках Верхнего Дона начинается с конца снегового половодья в текущем году, а закачивается предполоводьем в последующем году. Маловодный период года длится 9-10,5 месяцев и зависит от продолжительности весеннего половодья. Внутри меженного периода выделяется летне-осенняя и зимняя межень. Границы летне-осенней межени на Дону охватывают период от конца весеннего половодья и до появления устойчивых ледяных образований осенью текущего календарного года.

Основные черты низкой водности летне-осенней межени формируются в условиях глобального и регионального изменения климата, сопровождающегося увеличением температуры воздуха на европейской территории страны [2], в том числе, в бассейне Верхнего Дона – на фоне роста и среднегодовой температуры и, особенно, зимнего сезона [3, 4]. Осеннее ледообразование рек все чаще смещается по времени на зимние календарные месяцы, отодвигая границу окончания летне-осенней межени. Продолжительность межени удлиняется за счет более позднего перехода температуры воздуха к устойчивым отрицательным значениям и более позднего установления ледостава на реках. Одновременно в связи с увеличением продолжительности весеннего половодья на реках бассейна Дона [2, 5] наблюдаются соответственно смещение в начальной границе летне-осенней межени и ее приближение по времени к весенним месяцам. В целом летне-осенняя межень увеличивается по времени, также как и продолжительность половодья, что меняет границы гидрологических сезонов, выделенных в [1].

Динамика современного водного режима рек бассейна Верхнего Дона в половодье и межень прямо противоположна. Если объемы и максимумы половодья снижаются, то объемы и минимумы межени возрастают. Минимумы стока летне-осенней межени по величине уступают минимумам стока зимней межени (рис. 3).

Это вполне закономерно, поскольку после прохождения волны весеннего половодья реки сильно мелеют, много воды затрачивается на испарение, как с поверхности водного зеркала, так и с поверхности водосбора. Летние атмосферные осадки не являются стокообразующими, поскольку почти 70 % их количества расходуется на испарение. А зимний сток, особенно в текущие годы, значительно увеличивается за счет многочисленных февральских оттепелей, и в целом меженый сток увеличивается. Изменение термического режима происходит на фоне возрастания абсолютных минимумов периода открытого русла (летне-осенней межени). При этом годовые водные ресурсы остаются почти неизменными. Слабые тенденции в годовом речном стоке могут свидетельствовать о наличии, как небольшого роста годового стока, так и его небольшого снижения.



а *б*

Рис. 3. Минимумы стока летне-осенней (а) и зимней (б) межени р. Подгорная – г. Калач за период мониторинга

Вероятно, наибольшая реакция снижения максимальной температуры воды связана с современным увеличением объемов подземного питания, выраженного объемами стока летне-осенней межени. Поступление подземных вод в русло реки в период межени уменьшает температуру воды за счет разбавления более прохладными водами.

В формировании минимумов водности летне-осенней межени, так же как и в температуре воды, выделяются характерные изменения в группах рек: река Дон и ее правобережные притоки; левобережные притоки Дона; река Хопер с притоками. Аналогично температурному режиму своеобразием формирования отличается река Подгорная.

Современные изменения в термическом режиме водных объектов имеют свои эколого-гидрологические последствия. Во-первых, увеличение температуры воды способствует эвтрофикации русел рек, образованию застойных зон и заводей, сокращению площади живого сечения, уменьшению проточности. Конечной формой развития процесса зарастания является заболачивание русловой емкости. Во-вторых, одновременный рост температуры воды и воздуха усиливает процесс испарения с акватории водного зеркала, что ведет к обмелению рек и водоемов. В-третьих, в результате активизации химических реакций при повышении температуры воды снижается ее качество по физико-химическим, микробиологическим и иным показателям.

Последствием всех этих процессов может быть нарастание дефицита водных ресурсов в период низкой водности, трудности стабильного водообеспечения в летний сезон, сокращение разбавляющей способности потока, возникновение гидроэкологического риска или даже экстремальной гидрологической ситуации. Изменения в формировании экстремально низкой водности необходимо учитывать при разработке схем водопользования в речном бассейне. В летние месяцы, особенно напряженные по водопотреблению в сельскохозяйственных отраслях, может возникнуть дефицит водоснабжения вследствие более раннего истощения водного объекта и более продолжительного периода исключительно низкой водности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Владимиров А.М. Сток рек в маловодный период А.М. Владимиров. – Л. : Гидрометеоиздат, 1976. – 296 с.

2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. – Г.1.2. – С. 37–72. Доступно по ссылке: http://downloads.igce.ru/publications/ OD_2_2014/v2014/htm/1.htm (дата обращения: 20.08.2017).

3. Джамалов Р.Г. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние / Р.Г. Джамалов и [др.]. – М.: ГЕОС, 2017. – 205 с.

4. Дмитриева В.А. Водные ресурсы Воронежской области в условиях меняющихся климата и хозяйственной деятельности / В.А. Дмитриева. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2015. – 192 с.

5. Дмитриева В.А., Генезис максимумов водности рек и изменчивость водного режима в современный климатический период/ В.А. Дмитриева, С.В. Бучик // Водное хозяйство России:проблемы, технологии, управление.– 2016.– № 5. – 50-62.

6. Лурье П.М. Река Дон: гидрография и режим стока. Научное издание / П.М. Лурье, В.Д. Панов. – Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2018. – 592 с.

7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. – Л: Гидрометеоиздат, 1964. – Т.7. Донской район. – 267 с.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ТЕРМИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ РЕК И ЕГО ТРАНСФОРМАЦИЯХ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

А.Н. Василенко
saiiiia24@mail.ru

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия

Термический режим рек является одной из важнейших гидроэкологических характеристик водотоков. Прямо или косвенно температура воды определяет возможности роста, развития, размножения, питания и миграций гидробионтов, скорости продукции и деструкции органических веществ, скорости различных химических реакций, в том числе, входящих в процессы самоочищения водных объектов [4]. При этом вопросы термического режима рек, под которым понимается закономерное изменение температур воды и теплового стока, в научной литературе, особенно, «небиологической», рассматривались до конца XX – начала XXI в. сравнительно редко.

Как отмечает Б. Уэбб [7], интерес к теме термического режима рек с начала 90-х годов XX в. стал возрастать после внедрения в практику автономных электронных самописцев температуры воды, которые могут производить длительные записи, перезаряжаться и передавать информацию непосредственно в поле. Это дало возможность проводить исследования на локальных уровнях (участков русел): оценивать взаимодействие поверхностных и подземных вод, распределение температуры по сечению потока, оценивать роль прибрежной растительности в формировании температур воды. Кроме того, самописцы позволили получать большое число данных для построения моделей температур воды.

Другим триггером интереса к рассматриваемой теме стало проявление изменений климата в термическом режиме рек, выражающееся во многих реках мира в повышении как среднегодовых, так и максимальных годовых температур воды, что отражается в первую очередь на нерестилищах рыб, в том числе – ценных промысловых видов.

При этом, как отмечено в [6] существует очень малое количество публикаций по термическому режиму рек, посвященных регионам помимо Европы и Северной Америки. В России в последние десятилетия исследования термического режима рек практически не проводились [1].

Целью данной работы является обобщение материалов изученности термического режима рек, в-особенности, протекающих в Арктической зоне России.

Основной проблемой при исследованиях термического режима рек является сравнительно небольшое количество данных о температурах воды и, зачастую, их низкое качество. Несмотря на то, что наблюдения за температурой воды начались еще в 30-е годы XX в., температуры воды на реках измерялись до конца 50-х повсеместно у берегов, и только к началу 60-х, после проведения дополнительных наблюдений, на ряде постов была определена нерепрезентативность измерений температуры воды у берегов, и точки из-

мерений были перемещены к середине гидрометрических створов. Кроме того, зачастую, наблюдения за температурой воды проводятся только в утренние сроки, то есть в момент наиболее низкой температуры воды. Помимо этого, данные о температуре воды с конца 1970-х не сведены в томах «Основных гидрологических характеристик».

Факторы формирования термического режима рек

Пространственно-временное распределение температуры воды в реке является результатом взаимодействия комплекса географических факторов: гидрометеорологических и физико-географических. Именно совокупность различных факторов приводит к различиям температур воздуха и воды, а также различных их соотношений. При этом, количество влияющих факторов неодинаково на различных пространственных масштабах.

Ведущим фактором формирования термического режима рек является приток солнечной радиации к водному объекту, и, обусловленная им, температура воздуха [3]. Однако, различные локальные факторы нарушают прямую связь температуры воздуха и температуры воды.

В работе [4] и на основании анализа значительного количества англоязычной литературы выделены следующие масштабы: региональный (макромасштаб), водосборный (мезомасштаб), частный (микромасштаб). Концептуальная схема влияющих факторов представлена на рисунке 1.

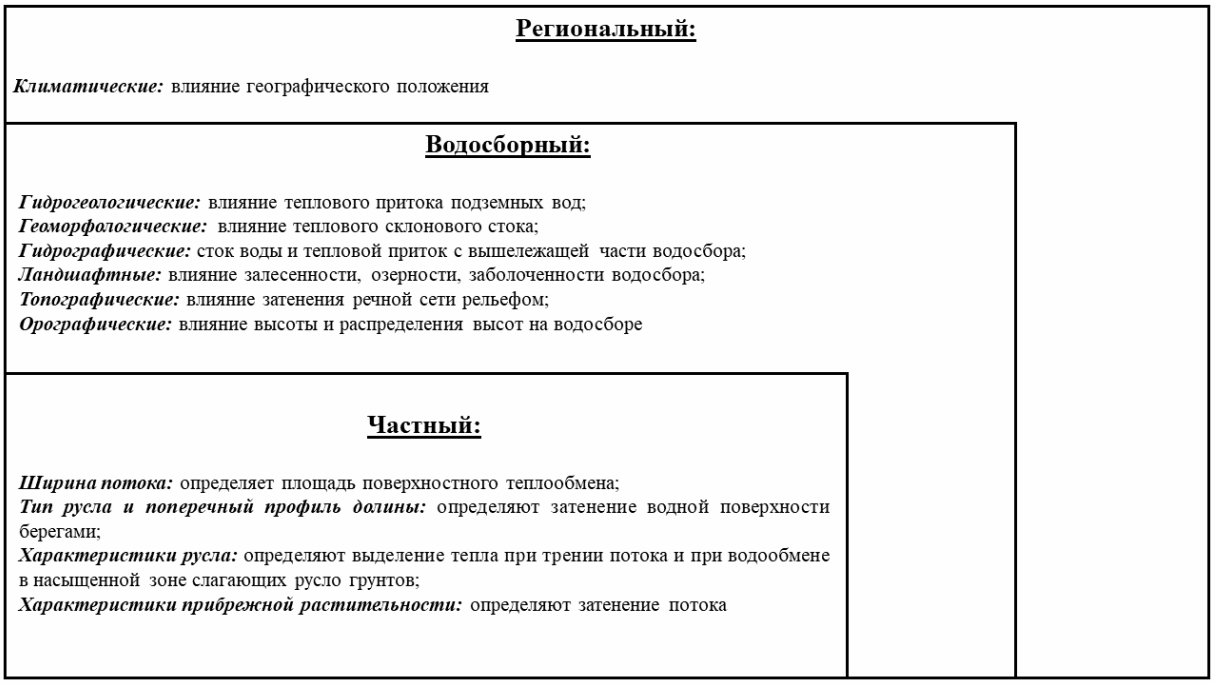


Рис. 1. Концептуальная схема факторов, влияющих на пространственно-временное распределение температур воды в реках

При прочих равных условиях, поступления грунтовых вод в летний период охлаждают водотоки, а в зимний, наоборот – отепляют. Роль теплообмена с грунтовыми водами становится особенно заметной в летний период, в-особенности, на водосборах низших порядков (по Хортону) и на водосборах с многолетнемерзлыми породами, хотя во многих исследованиях ролью теплообмена с ложем пренебрегают.

Охлаждению вод также способствуют: снеготаяние, поступление талых ледниковых вод, а также, интенсивные дожди. Не меньшую роль в охлаждении водотоков играют и характеристики склонов водосбора. Так, показано, что на горных потоках низкие температуры воды зачастую обусловлены хорошей дренированностью и незначительным прогревом склонов.

Охлаждению водотоков также способствует высота их водосбора и направление течения, определяющие более низкие температуры воздуха, и влияющих на продолжи-

тельность периода с положительными температурами. Не меньшую охлаждающую роль на ряде водосборов, в первую очередь, горных, играет затененность водотоков рельефом. Особую роль в снижении температур воды имеет прибрежная растительность, затеняющая водотоки.

Несмотря на интенсивное турбулентное перемешивание, выравнивающего различные гидрологические характеристики по потоку, существуют некоторые особенности распределения температуры воды по сечению. В первую очередь проявляются различия между температурами на середине потока и у берегов в периоды нагревания и охлаждения реки, охлаждение или потепление воды у берегов наблюдается при впадении притоков.

Изменения температур воды в реках по глубине обычно незначительно, хотя в отдельных случаях достигает нескольких градусов. Особо следует отметить, что различия между температурой воды на поверхности и у дна обычно минимальны, максимальные же различия наблюдаются между температурами воды на поверхности и в «ядре» потока. Наибольшее влияние на нарушение гомотермии по глубине оказывают притоки подземных вод и поступление поверхностных вод.

Термический режим арктических рек

Температуры воды в реках российской Арктики в целом следует за изменениями температуры воздуха. Среднедекадная температура воды периода открытого русла составляет 8,96°, максимальные температуры доходят до 14-15° на севере Сибири и 20-21° на севере ЕТР [5], на Кольском полуострове наблюдались максимальные температуры воды - 26°. Максимальные температуры воды достигаются в июле-августе. Период с температурами воды выше 0,2° продолжается с мая по октябрь.

Тесно связанный с температурой воды тепловой сток рек, с одной стороны - важная составляющая водных экосистем, в-особенности, в устьевых областях больших северных рек, где приток теплых вод создает интразональные условия (повышая температуры воды) формирования экосистемы и значительно повышает биомассу организмов. С другой стороны, тепловой сток оказывает значительное отепляющее воздействие на прибрежную зону морей, что особенно важно в арктических морях. Некоторое влияние тепловой сток оказывает и на ледовый режим рек, хотя, как отмечается, роль теплового стока в ледообразовании велика только в маловодные годы.

Вычисления теплового стока арктических рек России начали производить в 30-е годы XX в. как для отдельных рек, в первую очередь крупнейших, так и для всего Арктического побережья. Однако, в первую очередь, вычислениями были охвачены сибирские реки. Очевидно, что они вносят максимальный вклад в приток тепла в моря с материка. Реки Кольского полуострова и Карелии не учитывались вовсе. В 60-80-е годы были проведены расчеты теплового стока Оби, Енисея, Лены, рек бассейна Енисея, Лены, рек Северо-Востока и Кольского полуострова. В этих работах также была проведена оценка сокращения теплового стока Оби и Енисея после строительства на них крупнейших водохранилищ. Наиболее полные обобщения теплового стока арктических рек выполнены в начале XXI в. Д.В. Магрицким с соавторами [2] и Р. Ламмерсом с соавторами [5]. Расчет проводился, в основном, по крупнейшим рекам, в том числе Севера ЕТР. Результаты расчетов приведены в таблице 1. Результаты расчетов довольно близки.

Таблица 1. Результаты расчетов теплового стока рек в Северный ледовитый океан с территорий российской Арктики

Авторы:	Результат расчетов, ЭДж/год*
Lammersetal, 2007	82
Магрицкий и др., 2009	79

**Эксоджоуль = 10^{18}Джоуль*

Изменения термического режима арктических рек

Изменение климата приводит к росту температур воды рек на Земле. Однако некоторые исследования показывают, что на ряде рек наблюдается даже уменьшение температур воды [4]. Изменения вызываются как ростом температур воздуха, так и изменениями речного стока [6]. Анализ изменений температур воды проводится либо для отдельных речных бассейнов, либо, реже, для макрорегионов, либо глобально. Стоит отметить, что разделить роли климатических и антропогенных изменений температур воды достаточно сложно.

Изменение термического режима рек Арктики изучено сравнительно мало и сведения о нем противоречивы. Д.В. Магрицкий [2], к примеру, отмечает климатообусловленный рост температур воды на реках севера ЕТР на 0,4-1,5° (за исключением зарегулированных рек Кольского полуострова и Карелии), в то время как в работе [5], описывающей в основном большие реки, указывается на незначительность роли потепления климата в потеплении речных вод этого региона. Хотя авторы сходятся в том, что на реках Севера ЕТР наблюдается значимое потепление речных вод.

На Оби и Енисее, сток которых зарегулирован водохранилищами, отмечалось снижение температур воды, как среднедекадных, так и среднемесячных после строительства водохранилищ. Снизился, соответственно, тепловой сток этих рек, но если на Енисее снижение его обусловлено снижением температур воды, то на Оби снижение произошло за счет уменьшения летне-осенних расходов воды. В последние же годы, с ростом температур воздуха термический режим этих рек стал приближаться к естественному [2]. Термический режим рек, бассейна Обской губы имеет тенденцию к потеплению, то же можно сказать о термическом режиме рек междуречья Енисея и Лены. Тепловой сток и температуры воды на Нижней Лене устойчиво растут. Снижение теплового стока и уменьшение температур воды отмечается на р. Колыма после строительства Колымской ГЭС [2].

Отдельно следует остановиться на реках Кольского полуострова, Карелии и не освещенных наблюдениями водосборах Арктики. Большая часть рек Кольского полуострова и Карелии зарегулирована естественным (высокая озерность и заболоченность), либо антропогенным образом (различные гидроузлы). В силу небольшой протяженности этих рек, их тепловой режим в приустьевой области находится под значительным влиянием гидроузлов, в силу чего может наблюдаться понижение теплового стока отдельных рек, в то время как на реках с естественным режимом тепловой сток увеличивается. Расчеты теплового стока для неизученных рек обычно проводятся по линейным зависимостям теплового стока рек от площадей их водосборов. При этом, как отмечает Д.В. Магрицкий [2], применение этого метода может привести к занижению теплового стока рек.

Пути оценок будущих характеристик термического режима рек

На сегодняшний день оценки будущего термического режима строятся либо на концептуальной основе, либо на статистических моделях, либо с использованием различных физико-математических моделей. Концептуальные модели предполагают исключительно оценку тенденций изменений термического режима на основе существующих трендов изменений климата и изменений температур воды. Статистические модели базируются либо на сопоставлении температур воды и температур воздуха (линейные регрессии), либо на сопоставлении температур воды, температур воздуха и расходов воды (нелинейные регрессии). Статистическими моделями используется самая разная детальность по времени. Оценки делаются как для среднегодовых, так и для среднемесячных температур воды [4].

Детерминистические модели будущих температур воды рек позволяют использовать помимо данных о температуре воздуха и расходах воды, различную информацию о характеристиках водосбора [4].

Практически все оценки будущего термического режима сводятся к будущему увеличению температур речных вод. Оценки для Арктических рек выполнены, в основном, на концептуальном уровне и указывают на возможный дальнейший рост температур воды.

Следует отметить, что существует множество моделей температур речной воды, с разной дискретностью по времени, в том числе суточной. Используются самые разные подходы, к примеру, с добавлением данных о характеристиках водосборов в статистиче-

ские модели или базирующиеся на нейронных сетях. Таким образом, открываются новые возможности для оценок будущего термического режима рек, в том числе – арктических.

Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-05-60021-Арктика

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеевский Н.И., Кузьмина Е.О., Базелюк А.А.. Термический режим рек на юге Европейской территории России // Известия РАН. Серия географическая. – 2014. – № 5. – С. 56–66.

2. Магрицкий Д.В. Тепловой сток рек в моря российской Арктики и его изменения // Вестник Московского Университета. Серия 5. География. – 2009. – №5. – 69-77.

3. Соколова Е.М. Термический режим рек СССР. // Труды ГГИ. – 1951. – Вып. 30 (84).

4. Hannah, D.M., Garner, G., 2015. River water temperature in the United Kingdom: changes over the 20th century and possible changes over the 21st century. Prog. Phys. Geogr. 39. – P. 68–92.

5. Lammers, R.B., Pundsack, J.W., Shiklomanov, A.I., 2007. Variability in river temperature, discharge, and energy flux from the Russian pan-Arctic landmass. J. Geophys. Res. 112, G04S59 http://dx.doi.org/10.1029/2006JG000370

6. Van Vliet, M. T. H., F. Ludwig, J. J. G. Zwolsman, G. P. Weedon, and P. Kabat (2011), Global river temperatures and sensitivity to atmospheric warming and changes in river flow, Water Resour. Res., 47, W02544, doi:10.1029/2010WR009198.

7. Webb BW, Hannah DM, Moore RD, et al. (2008) Recent advances in river and stream temperature. Hydrological Processes 22: 902–918.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОСАДКОВ ЮГА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА СТОК РЕК ШИШ, УЙ, ТУЙ, ИШИМ

Н.П. Волковская, О.В. Мезенцева
vnp78oo@mail.ru

Обь-Иртышское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Омский государственный педагогический университет, г.Омск, Россия

Согласно исследованиям Росгидромета [3] в целом по России за период 1976–2018 гг. повысилось количество годовых осадков (прирост составляет около 2,2% в год). Особенно выраженное повышение годовых сумм осадков зафиксировано, начиная со второй половины 1980-х гг. Целью исследования в данной статье в связи с этим является оценка влияния регионального роста количества выпадающих осадков на сток рек юга Западно-Сибирской равнины. Исследован водосбор реки Иртыш в среднем течении на территории России от села Татарка до села Усть-Ишим, включая водосбор реки Ишим в нижнем течении.

На первом этапе проведено обобщение данных об увлажнении территории по данным 24 метеостанций Обь-Иртышского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [7] и исследована пространственно-временная изменчивость атмосферных осадков за современный период 1990–2015 гг. относительно предыдущего периода 1965–1989 гг.. Для выявления статистической значимости достоверности линейных трендов сумм годовых, жидких и твёрдых осадков за 1965–2015 гг. выполнен расчёт при уровне значимости 5%. Наличие линейных трендов сумм осадков, их достоверность оценивалась с использованием критериев однородности Стьюдента и дисперсионного анализа Фишера методом, представленным в работе [6]. На втором этапе были определены статистическая взаимосвязь общего количества осадков, выпадающих за год, и среднемноголетнего стока [2], а также

сумм зимних осадков с глубиной промерзания, минимальным зимним и максимальным весенним стоком для рек Шиш, Уй, Туй, Ишим. На рис. 2 показаны водосборы этих рек с гидрологическими постами и метеостанции, данные которых исследованы.

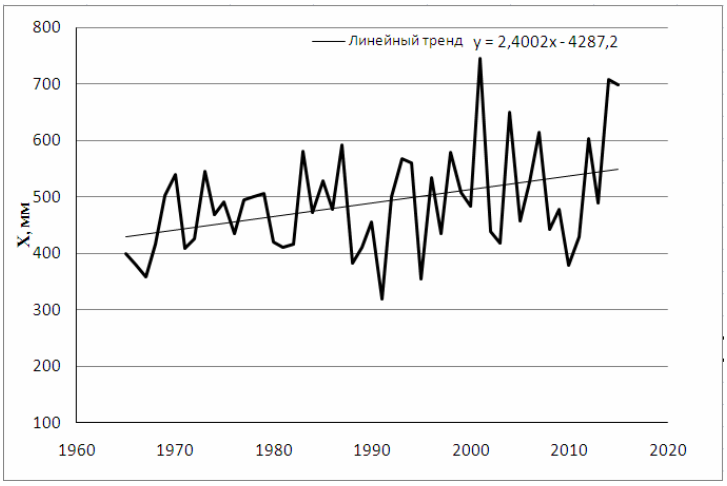


Рис. 1. Многолетняя динамика годовых сумм осадков для метеостанции Тевриз

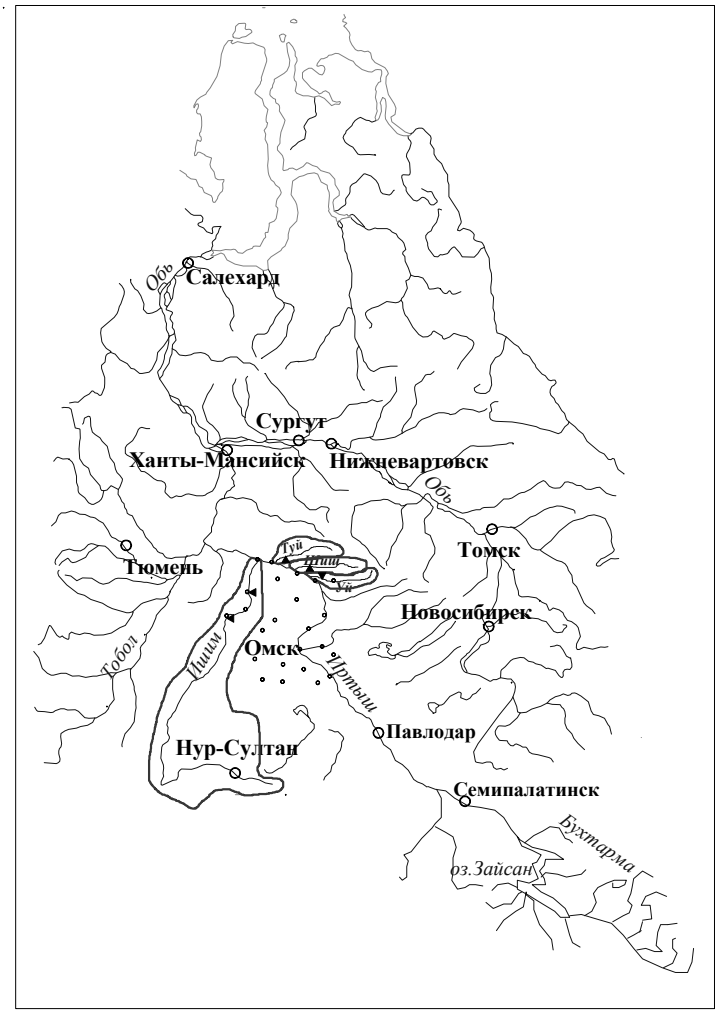


Рис. 2. Схема бассейнов рек Уй, Шиш, Туй, Ишим с гидрологическими постами (◂), метеостанции (○) бассейна Иртыша в среднем течении.

Изменение увлажнения территории юга Западно-Сибирской равнины. Рассматриваемая территория достаточно увлажнена в лесостепной и лесной природных зонах. По данным наблюдений станций и постов годовое количество осадков за период 1965–2015

гг. изменяется в пределах 340–520 мм/год. Большее количество осадков выпадает в тёплый период года (IV–X) 70–80%, а в холодный (XI–III) 20–30% от годовой суммы осадков. Наименьшее из среднемноголетних месячных значений осадков чаще всего выпадает в феврале (кроме города Тара, где минимум осадков сдвинут на конец февраля-март). Наибольшее из среднемноголетних месячных значений осадков наблюдается в июле.

За период 1990–2015 гг. во всех пунктах наблюдений, кроме пункта в городе Калачинск, прослеживается увеличение количества осадков за год относительно предыдущего периода 1965–1989 гг. на 2–11%. Во всех пунктах наблюдений наблюдается рост количества зимних осадков на 4–32%, при этом наиболее значительное увеличение отмечается в природных подзонах южной лесостепи и лесной природной зоны, в среднем на 21–23%. Количество осадков тёплого периода года с 1965 по 2015 годы практически не изменилось, при снижении на 3–9% за четверть века в отдельных пунктах: Одесское, Калачинск, Тара и увеличении на 6% в природной подзоне северной лесостепи. Обобщение изменения по природным зонам показаны в таблице 1.

Таблица 1. Средние отклонения годовых сумм осадков, осадков холодной и теплой части года за период 1990–2015 гг. относительно периода 1965–1979 гг. по природным зонам,%

Природная зона	Величина отклонения		
	годовых сумм осадков	осадков холодного периода года	осадков теплого периода года
Степь	2	7,5	-2,5
Южная лесостепь	8	21	-3
Северная лесостепь	7	11	6
Лесная (подзоны южной тайги и подтайги)	5,5	23	-0,5

Анализ статистической достоверности линейных трендов сумм годовых, жидких и твердых осадков по метеостанциям привёл к следующим выводам [1, 5]:

1. В многолетнем ходе **годовых сумм осадков** увеличение с интенсивностью 15–25 мм/10 лет обнаружено для метеостанций Тевриз, Ишим, Викулово, по метеостанциям Омск и Называевск зафиксирован *положительный* тренд с интенсивностью 10–13 мм/10 лет.

2. *Отрицательный* тренд **осадков тёплого периода** проявляется по метеостанциям Калачинск и Тара с интенсивностью 4–5 мм/10 лет.

3. За период с 1965 по 2015 годы межгодовая изменчивость **осадков холодного периода** характеризуется наличием положительного тренда для всех метеостанций в основном с интенсивностью 2–6 мм/10 лет, на метеостанциях Омск, Ишим, Тара, Тевриз с интенсивностью 9–12 мм/10 лет.

В целом значения годовых сумм осадков с 1965 по 2015 гг. слабо увеличились. В основном увеличение произошло за счет количества осадков в зимний период в лесной и лесостепной природных зонах рассматриваемой территории.

Взаимосвязь выпадающих осадков и стока рек Уй, Шиш, Туй и Ишим. Статистическая взаимосвязь между суммами осадков и среднегодовым стоком рассмотрена в целом за период с 1955 по 2015 годы, а также в отдельные периоды 1955–1979 и 1980–2015 гг. из-за наличия неоднородных рядов наблюдений осадков и достоверных трендов изменения увлажнения территории. Для реки Ишим расчеты сделаны за период с 1952 по 2015 годы. Выявленные коэффициенты корреляции показали уменьшение влияния количества суммы осадков на среднегодовой сток рек Уй, Шиш, Туй в период 1980–2015 гг. относительно периода 1955–1979 гг. с 0,71 до 0,47. Коэффициенты корреляции количества суммы твердых осадков на минимальный зимний сток рек Уй, Шиш, Туй снизились в период 1980–2015 гг. относительно периода 1955–1979 гг. с 0,56 до 0,31. Уменьшение взаимосвязи (корреляции) суммы зимних осадков и максимального стока также уменьшились с 0,59 до 0,37. Коэффициенты корреляции осадков и стока приведены в таблице 2. Коэффициенты корреляции осадков и стока реки Ишим низки из-за большой площади водосбора реки и зарегулированности стока водохранилищами в верхнем и среднем течении.

Уменьшение влияния осадков на сток рек Уй, Шиш, Туй связано не только с пространственно-временной изменчивостью выпадающих осадков, но и их влиянием в совокупности с другими изменяющимися факторами, такими как температура воздуха, испарение, уровень грунтовых вод, промерзание грунтов.

Влияние изменения количества зимних осадков на промерзание грунта. В зимний период, при отсутствии поверхностного стока из-за отрицательных температур и накоплении запаса воды в снежном покрове возрастает роль подземного питания стока рек. В работе [4] установлено, что одним из основных факторов, обусловливающих формирование зимнего стока, является глубина промерзания почвы. В свою очередь на промерзание почвы значительно влияет количество выпавших осадков в холодное время года, наряду с такими факторами как влажность почвы и понижение отрицательной температуры воздуха.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции осадков и стока рек юга Западно-Сибирской равнины

Период	р. Уй с. Баженово	р. Шиш с. Атирка	р. Туй с. Ермиловка	р. Ишим г. Ишим	р. Ишим с. Викулово
Суммы осадков за год и среднегодового расхода					
1955-2015	0,56	0,61	0,53	0,17	0,12
1955-1979	0,70	0,78	0,65	-0,02	-0,02
1980-2015	0,48	0,51	0,43	0,18	0,18
Суммы зимних осадков и минимального зимнего стока					
1955-2015	0,31	0,44	0,53	0,19	0,20
1955-1979	0,54	0,60	0,55	0,59	0,40
1980-2015	0,21	0,28	0,43	0,17	0,04
Суммы зимних осадков и максимального стока					
1955-2015	0,45	0,25	0,53	0,19	0,05
1955-1979	0,62	0,45	0,69	0,32	-0,21
1980-2015	0,28	0,39	0,43	0,11	0,14

В ходе анализа результатов многолетних наблюдений отмечается уменьшение глубины промерзания почвы на рассматриваемой территории всех природных зон в связи с периодом относительного потепления климата последних десятилетий и изменением количества выпадающих осадков в зимнее время. Коэффициент корреляции R сумм твердых осадков и максимальных глубин промерзания почвы характеризует тесноту связи этих явлений. Для водосборов рек Шиш, Уй коэффициент корреляции составляет R = 0,54–0,58. На рисунке 3 показано изменение глубины промерзания с 1951 года по 2015 год на метеостанции у поселка Тевриз.

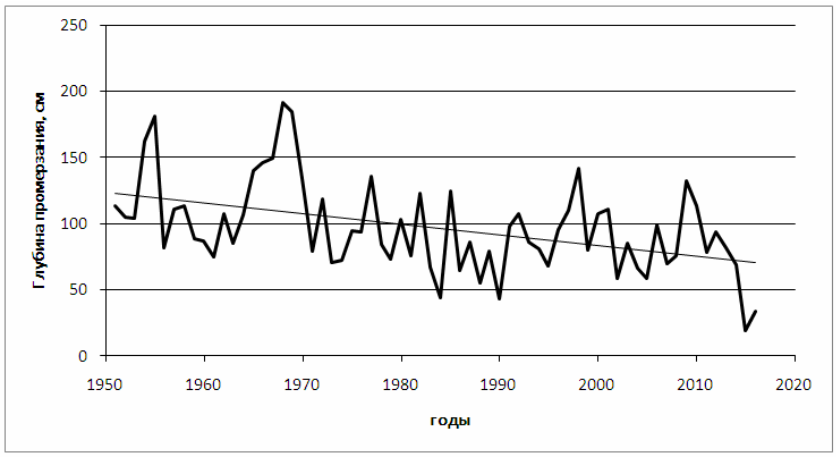


Рис. 3. Многолетний ход максимальной глубины промерзания почвы у поселка Тевриз

При оценке показателей трендов изменения глубины промерзания почвы и их статистической значимости и достоверности линейных трендов были выявлены неоднородность рядов данных с достоверными отрицательными трендами [7].

В связи с изменением условий формирования промерзания можно весь ряд инструментальных наблюдений представить в виде двух временных отрезков: первый – с начала инструментальных наблюдений по 1979 г., второй – с 1980 г. по 2015 г.

В период с начала наблюдений по 1979 г. максимальная глубина промерзания достигала 174–300 см, в период с 1980 г. по 2015 гг. она сократилась до 110–237 см. Средняя глубина промерзания за период с 1980 г. по 2015 г. уменьшилась на 30–40% и изменяется в зависимости от природной зоны от 78 до 149 см. Минимальные значения глубины промерзания варьируют от 71–172 см до 10–45 см. В таблице 3 приведены средние значения глубины промерзания в природных зонах рассматриваемой части юга Западно-Сибирской равнины за два периода.

Таблица 3. Изменение глубины промерзания почвы по природным зонам за период с 1980 г. по 2015 г.

Природная зона	Средняя глубина промерзания по периодам наблюдений		Уменьшение глубины промерзания почвы	
	От начала наблюдений по 1979 г.	С 1980 г. по 2015 г.	см	%
Южная тайга и подтайга	135	97	39	28
Северная лесостепь	162	97	65	39
Южная лесостепь	161	104	57	34
Степь	189	117	72	37

Влияние глубины промерзания почвы на минимальный зимний сток исследовалось для рек лесной зоны в пределах подтайги и южной тайги: р. Шиш (створ с. Атирка), р. Уй (створ с. Баженово), р. Туй (створ с. Ермиловка).

В период с 1980 г. по 2015 г. по сравнению с периодом с 1955 г. по 1979 г. минимальный зимний сток из-за уменьшения глубины промерзания увеличился на 4–27%. В среднем на юге лесной зоны наблюдается рост зимнего стока на 17%. Теснота связи минимального (зимнего) стока и глубины промерзания почвы в подзонах тайги и подтайги Омской области характеризуется коэффициентом корреляции ***R*** равным 0,35–0,59 [1].

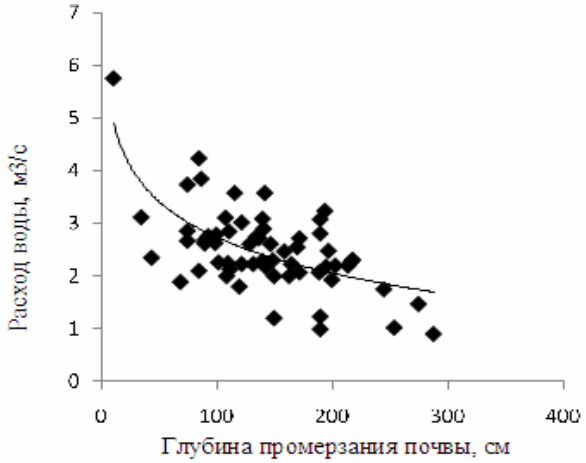


Рис. 4. Зависимость минимального зимнего стока рек Шиш, Уй, Туй от глубины промерзания почвы

На рисунке 4 показан график связи минимального зимнего стока с величиной глубины промерзания, на котором видно, что наибольшее влияние на величину стока отмечается в начальный период промерзания почвы. С ростом глубины промерзания интенсивность снижения стока замедляется.

Анализ временной динамики количества осадков показал, что существенно годовая сумма осадков увеличилась только для метеостанций Омск и Называевск, обнаружен *отрицательный* тренд осадков теплого периода на отдельных метеостанциях (Калачинск и Тара). Рост годового количества осадков (на 3–25 мм/10лет) в основном произошел из-за увеличения твердых осадков в зимний период в лесной и лесостепной природных зонах. Выявлено снижение влияния выпадающих осадков на сток рек Шиш, Уй, Туй в современный период 1990–2015 гг. относительно предыдущего (1965-1989). Увеличение зимних осадков повлияло на уменьшение глубины промерзания в бассейнах рек подзоны тайги и подтайги и привело к увеличению их зимнего стока в пределах от 4 до 27% (в среднем на 17%).

ЛИТЕРАТУРА

1. Волковская Н.П. Пространственно-годовая изменчивость глубины промерзания почвы и её влияние на минимальный сток рек Омской области / Н.П. Волковская, О.В. Мезенцева // Эколого-экономическая эффективность природопользования на современном этапе развития западно-сибирского региона. – Омск, 2017. – С.79–82.

2. Государственный водный кадастр Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Разд. 1. Сер. 2., Вып.11, 1952–2015 гг. – Омск, ОИУГМС, 1953. – 2017.

3. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 г. – М., Росгидромет, 2019. – 79 с.

4. Калюжный И.Л. Гидрофизические процессы на водосборе / И.Л. Калюжный, С.А. Лавров. – СПб: Изд-во «Нестор-История», 2012. – 616 с.

5. Мезенцева О.В. Пространственно-временная изменчивость гидролого-климатических факторов формирования максимальных уровней воды на реке Ишим / О.В. Мезенцева, Н.П. Волковская // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 8. – С. 166-171.

6. Метеорологические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. – СПб, ГГИ, 2010. – 162 с.

7. Данные о значениях осадков для метеостанций Омской и Тюменской областей ВНИИГМИ-МЦД. URL: http://meteo.ru/index.html (дата обращения 15.04.2019).

МОРФОДИНАМИКА ВЕРШИНЫ ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕЛЕНГИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ

А.А. Гаврилова, Е.А. Ильичева, М.В. Павлов
gavryusha.dipsi@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный университет, г.Санкт-Петербург, Россия
Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутский государственный университет, г.Иркутск, Россия

Введение. Векторизация растровых изображений, полученных в результате ДДЗ, и их сравнительный анализ с картографическими изображениями прошлых лет дает возможность оценить развитие морфоскульптурных элементов речной сети. В данном исследовании рассматривается вершина дельты реки Селенги, формирующая разбой стока на три направления: Лобановское, Селенгинское и Среднеустьевское, названные по именованию основных проток дельты реки Селенги. На современном этапе рельефообразования, который, мы предполагаем отсчитывать от установления уровня Иркутского водохранилища в 70-х годах прошлого века до настоящего времени, происходило постепенное перемещение узла разбоя, фиксируемое картографическими методами. По имеющимся

данным со времени строительства Иркутской ГЭС и по настоящее время узел бифуркации изменил свое положение [2; 5].

А.Н. Афанасьевым предложен вековой уровненный цикл высотных уровней Байкала [2]. К августу 1962 г., после строительства Иркутской ГЭС, уровень достиг отметки 453,82 м в Балтийской системе высот, применяемой на топографических картах, или 454,34 в Тихоокеанской системе. Позднее, к 1980 году, в результате регулирования уровень снизился на 1,2 метра, а в период 1985-95 гг. поднялся приблизительно на 1 метр. Далее происходили незначительные колебания в пределах 0,30 м, но в целом отмечается постепенное снижение уровня. Период с 1959 по 1972 г. представляет собой максимальную фазу третьего векового уровенного цикла, предложенного А.Н. Афанасьевым, начавшегося в начале XX века. В этот период отмечались наивысшие уровни Байкала за последние 270 лет. Во многом этот подъем обусловлен техногенным вмешательством в естественный режим при строительстве и заполнении водохранилища Иркутской ГЭС. Маловодный период, продолжающийся с начала 2000 годов, мог бы ознаменовать окончание третьего уровенного цикла Байкала по А.Н. Афанасьеву. Уровенный режим Байкала оказывает прямое влияние на Селенгу: в результате изменения базиса эрозии менялся рисунок русловой сети и дельтовой равнины и наблюдалось смещение основных узлов бифуркации[1].

Актуальность исследований формирования дельт выдвижения, имеющих значительные субаэральные поверхности, во всем мире имеют большое практическое применение для планирования землепользования. В дельте реки Селенги, имеющей площадь около 600 км^2, расположен Кабанский заказник федерального значения, здесь находятся важнейшие сельскохозяйственные территории. Плановые деформации русел, вызванные естественными и техногенными процессами, требуют постоянного мониторинга для создания модели развития, актуальной для современных землепользователей. Уникальность исследования заключается в междисциплинарном подходе с привлечением гидрологических, геоморфологических и картографических методов.

Материалы и методы. Для сравнительного картографического анализа использовались топографические карты 1956, 1986, 1998 годов издания, панхроматический снимок 2011 года и современные ортофотопланы полученные с борта БПЛА в 2017 – 2018 летних полевых сезонов. В работе использованы карты 100 000 масштаба, космоснимки с разрешением 1 м и ортофотопланы с точностью 0,14 м. Проведена нивелирная съемка местности для заверки плановых очертаний локальных высот. Полученный материал векторизовался для создания цифровой модели плановых и высотных положений берегов.

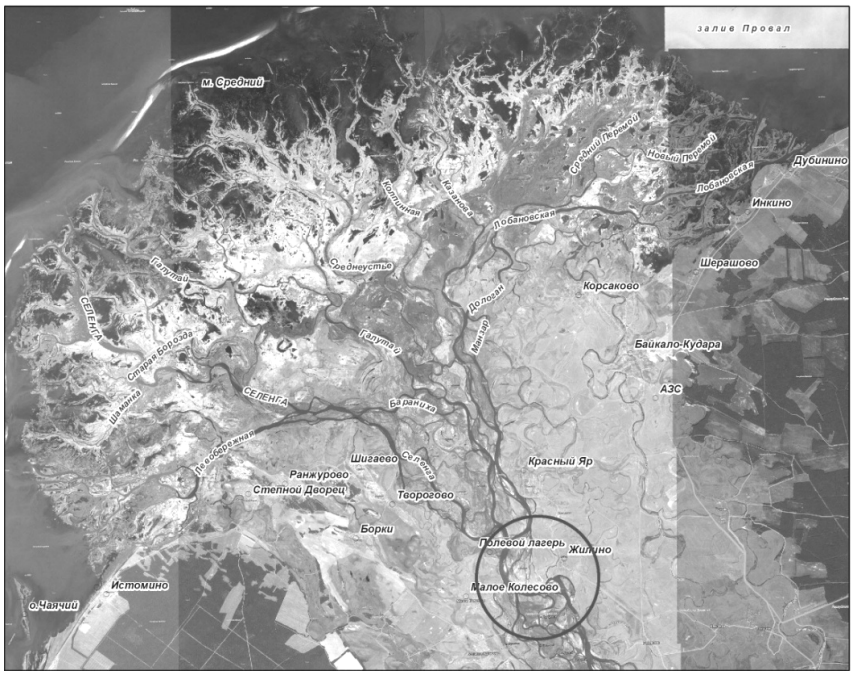


Рис. 1. Расположение вершины дельты р. Селенги и изучаемого района

На предварительном этапе космические снимки Landsat обрабатывались в программе QGis, где для интерпретации выбирались 7,6,4. Эта комбинация дает изображение близкое к естественным цветам, но в тоже время позволяет анализировать состояние атмосферы и дым. Растительность отображается в оттенках темно- и светлозеленого, урбанизированные территории выглядят белыми, зелено-голубыми и малиновыми, почвы, песок и минералы могут быть очень разных цветов. Практически полное поглощение излучения в среднем ИК-диапазоне водой, снегом и льдом позволяет очень четко выделять береговую линию и подчеркнуть водные объекты на снимке. Полученный в результате файл GeoTIF обрабатывался и векторизовался в программе QGis.

Основываясь на работах Чалова Р.С., Иванова В.В., Завадского А.С., были изучены основные типы излучин, их морфометрические элементы и параметры [3; 5; 7]. Каждая излучина состоит из двух крыльев – верхнего и нижнего. При последовательном расположении излучин нижнее крыло одной переходит в верхнее крыло ниже расположенной. Переход от верхнего крыла к нижнему на отдельной излучине соответствует её вершине, в створе вершины излучины происходит изменение направления русла по отношению к оси долины. Отрезок русла в районе вершины называют иногда привершинной частью излучины. Для оценки размеров и форм излучин применяются следующие характеристики: шаг L, стрела прогиба $h_и$, (проводится от оси пояса меандрирования к вершине), длина по руслу l, радиус кривизны r (который описывает кривую геометрической оси русла на большей части протяжения излучины), ширина русла в вершине излучины $b_р$, а также безразмерные показатели – степень развитости l/L, и показатель формы $r/h_и$. Они позволяют достаточно полно охарактеризовать геометрические очертания изгиба русла. Шаг излучины L представляет собой расстояние между точками перегиба русла в местах сопряжения соседних излучин. Прямая линия, проходящая через точки перегиба русла между несколькими смежными излучинами, называется осью меандрирования. Таким образом, шаги смежных излучин в сумме $\sum L$ составляют длину пояса меандрирования по его оси. Сумма величин стрел прогиба смежных излучин составляет ширину пояса меандрирования ($B_м=2\ h_и$).

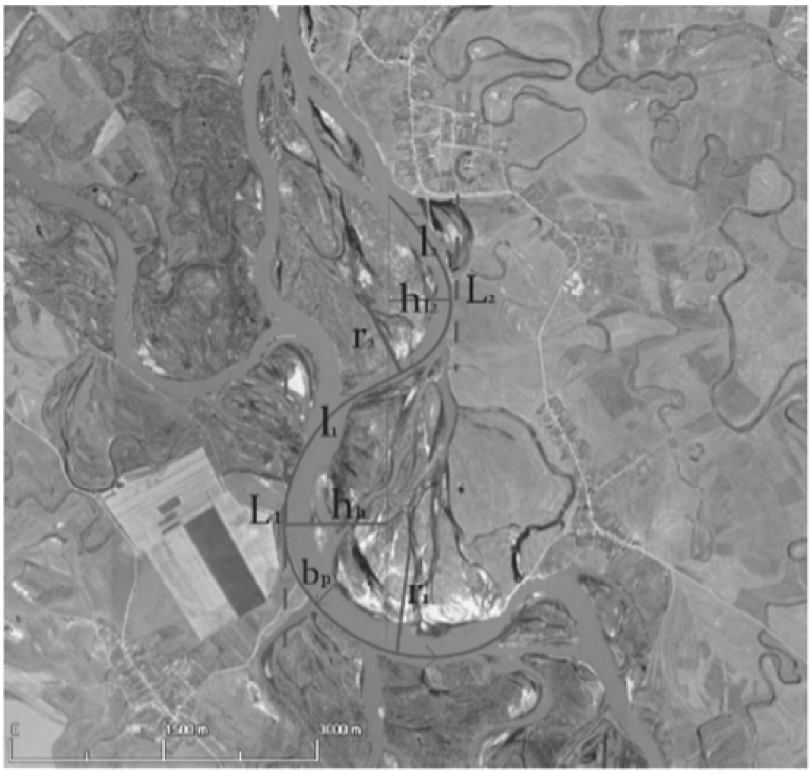


Рис. 2. Район исследования и графическое отображение морфометрических элементов

Таблица 1. Морфометрические параметры и коэффициенты

год	№ сегмента излучины	L, м	l, м	r, м	$b_р$, м	$h_и$, м	l/L	$r/h_и$
1956	1	2347,8	3173,5	1347,5	222,7	406,8	1,352	3,313
	2	2570,6	3518,8	1494,2	431,7	463,5	1,369	3,224
1986	1	2191,7	2270,6	1257,6	403,2	557,2	1,036	2,257
	2	2397,4	2531,5	1343,7	390,5	484,7	1,056	2,772
1998	1	2682,7	2973,8	1515,3	273,2	670,1	1,108	2,261
	2	2122,3	2470,3	1368,2	287,2	532,3	1,164	2,570
2011	1	2700,5	3140,0	1428,6	258,2	881,9	1,163	1,620
	2	1881,9	2259,7	928,6	261,0	533,0	1,201	1,742
2018	1	2577,4	3146,4	1293,0	323,4	841,6	1,221	1,536
	2	1946,3	1440,8	917,7	223,0	552,3	0,740	1,662

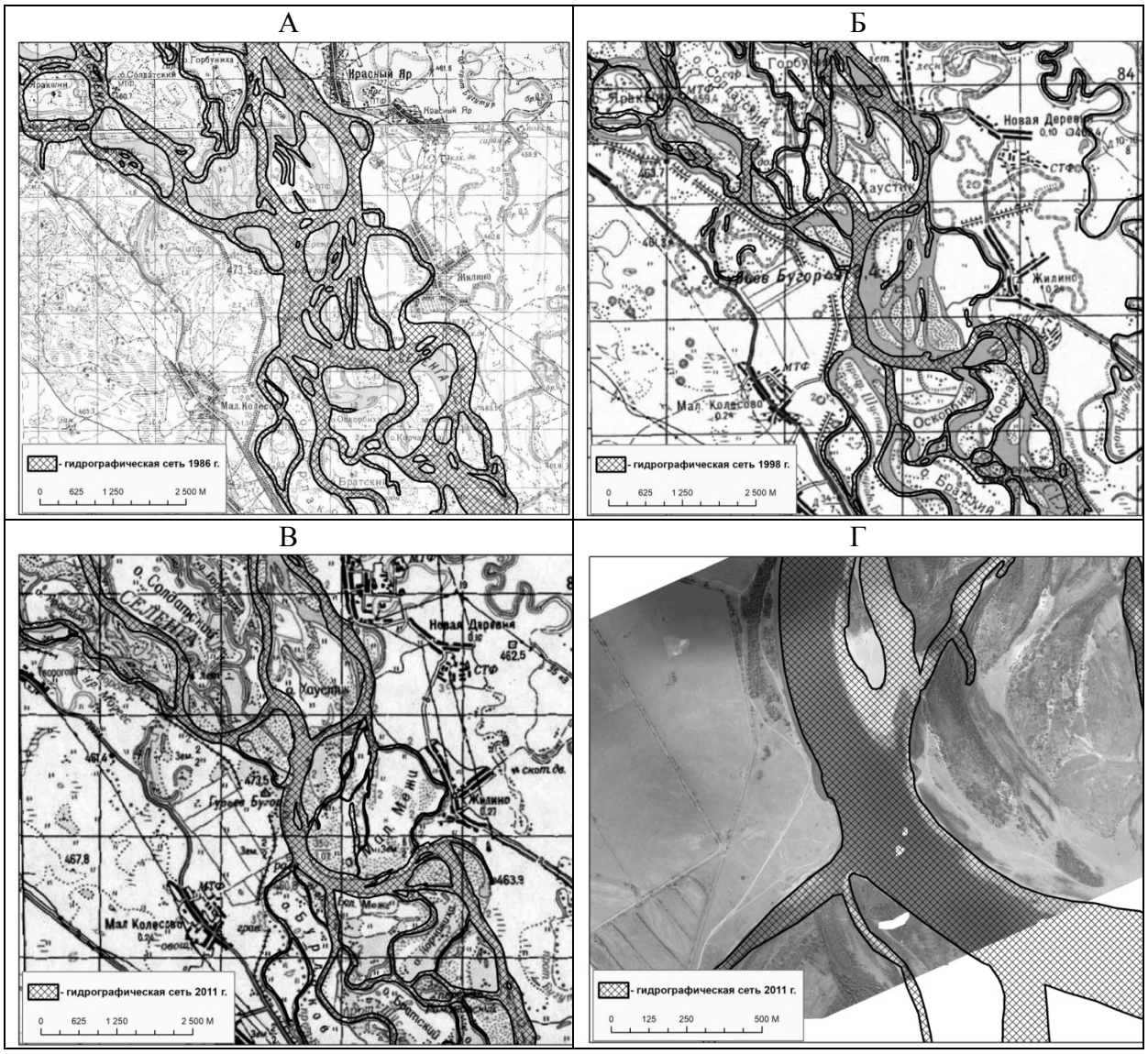


Рис. 3. – Морфодинамика вершины дельты в различные годы

А – карта 1956 г., штриховкой показана ситуация 1986 г.; Б – карта 1986г., штриховкой показана ситуация 1998г.; В – карта 1998 г., гидрографическая сеть по космоснимку 2011 г.; Г – ортофотоплан 2018 г., гидрографическая сеть 2011 г.

Результаты и обсуждение. Для изучения был выбран участок вершины дельты реки Селенги, формирующая разбой стока на три направления: Лобановское, Селенгинское и Среднеустьевское [5] и временной промежуток с 1956 по 2018 годы.

Излучина была разбита на 2 сегмента (нижнее (1) и верхнее (2) крыло) и для каждого временного промежутка была проведена оценка размеров и формы каждого крыла.

На топографической карте 1956 года издания в вершине дельты на протяжении 1,5 км наблюдается прямолинейное русло с обрывистыми высокими (до 2,5 м) левым и правым берегами. В русле развит процесс островной и пойменной многорукавности [7]. Ширина русла составляет 1,2 км. Высота намывных островов 1,3 -1,7 м. Ниже острова Еремиха происходит разбой стока на Селенгинское (Твороговское) и Лобановское (Красноярovское) направления стока [5].

После установления нового техногенно обусловленного уровня в 1970 гг. создаются условия для подпора вод Селенги, результатом чего становится плановая перестройка речной сети дельты и смена руслового процесса в ее вершине. Топокарта 1986 года отображает ситуацию развития русловой сети дельты после установления высокого уровня. Русловой процесс островной многорукавности сменяется на меандрирование. Основной сток смещается к левому берегу. Появляются зачатки сегментной адаптированной (врезанной) излучины. Скорость эрозии левого берега составляет 5-6 метров в год. На правом берегу начинают развиваться песчано-галечные пляжи на островах, разделенными отмирающими протоками [3].

Между временными срезами 1986-1998 гг. в бассейне реки наблюдался маловодный период. За это время излучина вершины дельты окончательно сформировалась. Практически весь сток проходит вдоль левого берега со скоростью эрозии 10 метров в год. Правый берег полностью осушился, на поверхности которого развит гривовый рельеф.

На современной этапе эволюции излучины вершины дельты происходит размыв левого берега и смещение вниз по течению. Основываясь на полученных данных можно сделать вывод, что излучина является сегментной развитой и наблюдается новый этап в развитии излучины, поскольку кардинально поменялась степень ее развитости. В целом за период с 1956 по 2018 год смещение центра излучины составило порядка 260 метров.

Исследования проводятся при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-29-05052 офи_м «Экзоморфолитогенез устьев Байкальских притоков на современном этапе гидроклиматического цикла: моделирование и прогноз»

ЛИТЕРАТУРА

1. Айбулатов Д.Н., Ильичёва Е.А., Павлов М.В. Морфодинамические типы русел, гидролого-морфологические процессы и ландшафты в дельте р. Селенга // Мат-лы Всерос. науч. конф. с международным участием и 31 пленарного межвузовского координационного совещания «Современные проблемы эрозионных, русловых и устьевых процессов». – Астрахань, 2016. – С. 51-53.

2. Афанасьев А.Н. Водный баланс оз. Байкал // Тр. Байкал. лимнол. станции / Исследования гидрологического режима Байкала. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – Т. 18. – С. 7-154.

3. Ильичёва Е.А., Гагаринова О.В., Павлов М.В. Гидролого-геоморфологический анализ формирования ландшафтов дельты реки Селенги // География и природные ресурсы. – 2015. – № 3. – С. 85-93.

4. Ильичёва Е.А., Павлов М.В., Савельева Л.А. Динамика субаэральной поверхности дельты реки Селенги // География и природные ресурсы, 2016. – С. 128-136.

5. Корытный Л.М., Ильичева Е.А., Павлов М.В., Амосова И.Ю. Гидролого-морфологический подход к районированию дельты р. Селенги // География и природные ресурсы. – 2012. – №3. – С. 47-54.

6. Павлов М.В., Ильичева Е.А. Морфогенез Сарминского и Селенгинского побережий озера Байкал // Вестник Бурятского государственного университета. Сер. Биология и география. Улан-Удэ, – 2017. – № 4. – С.116-132.

7. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. / Р.С Чалов – М.: КРАСАНД, 2011. – Т.2. – 960 с.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА РОДНИКОВ Г. ИЖЕВСКА

О.В. Гагарина, С.А. Гагарин, Н.Р. Едиярова
olgagagarina@mail.ru

Удмуртский государственный университет, г.Ижевск, Россия

Возникший в 18 веке как город-завод, Ижевск имеет типичную планировку, свойственную подобным городским образованиям – его градостроительным ядром изначально являлся Ижевский пруд, созданный для нужд железоделательного завода. Основу планировочной структуры составляет компактная центральная часть города с прямоугольной сеткой улиц [2], что и предопределило изначально высокую техногенную нагрузку на природные ландшафты этой территории. Долиной р. Иж город делится на две части: Нагорную и Заречную. Именно для Нагорной части характерно преобладающее число выходов родниковых вод. Изобилие родников – особенность Ижевска, украсившая облик этого промышленного города и повлиявшая на культуру и привычки ижевчан.

Постепенное развитие города, идущее вначале в восточном и северном направлении, привело к активному градостроительству в пределах левобережья р. Иж. Последующее расширение города к югу, происходящее в последние 10-15 лет, способствовало активному застраиванию правобережья Ижа.

Уплотнение города изменило области питания родников – территории с малоэтажной и усадебной застройкой, с грунтовым и газонным покрытием - постепенно сменялись на многоэтажные жилые кварталы, с увеличением доли асфальтовых и бетонных поверхностей. Главным направлением в преобразовании овражно-балочных систем при градостроительстве стала их ликвидация путем засыпки.

В основу данной статьи легли материалы полевых исследований городских родников, выполненных за разные годы. Впервые подобное обследование родников и прилегающей к ним территории было проведено автором в мае-июне 1999 г. при формировании коллективной монографии «Родники Ижевска» [5]. Все 62 родника, контролируемые тогда городской СЭС, были изучены и нанесены на схему города. Нумерация родников, упоминаемая в данной статье, соответствует нумерации, приведенной впервые в схеме родников, составленной в 1999 году.

Наблюдения за расходом родниковых вод в пределах г. Ижевска проводились в циклы устойчивой летне-осенней межени: май-июнь 1999 г., май-июнь 2016 г., июнь - начало июля 2018 г.

Выбранные для исследования временные отрезки оказались схожими по величине среднемесячной суммы осадков, составившей, соответственно, 50 мм, 45 мм, 48 мм [4].

Близкие значения слоя атмосферных осадков в рассматриваемое время позволяют снивелировать влияние этого фактора на формирование расхода родниковых вод и более пристальное внимание обратить на другие условия, сказывающиеся на гидрорежиме городских родников.

Из функционирующих на сегодняшний день родников города как источников водоснабжения (их осталось 46), для данного исследования были выбраны те, что характеризуются доступностью для наблюдений и расположением области питания родников в пределах городской территории.

По своему местоположению выделенные родники можно распределить в следующие группы: Ижевская группа (12 родников) находится в нижней части правого коренного склона долины Ижа; Карлутская группа (7 родников) приурочена к долине Карлутки, главным образом, к ее левому коренному склону; Подборенская группа (5 родников) приурочена к долине реки Подборенки, в основном, к ее левому коренному склону; Чемошурская группа родников (4 родника) находится в пределах долины р. Чемошурка и ее левого притока; родники долины р. Позимь (1 родник), группа родников городских лесов (в этой группе с течением времени действующим остался 1 родник).

По степени влияния антропогенного фактора [2] среди родников города доминируют антропогенные, идущие по пути социального регулирования и антропогенизированные родники. К естественногенным родникам относится только один родник (находится в пригородном лесу). Наиболее высока доля антропогенных и антропогенно существенно преобразованных родников в бассейнах рек Подборенка и Чемошурка (рис. 1).

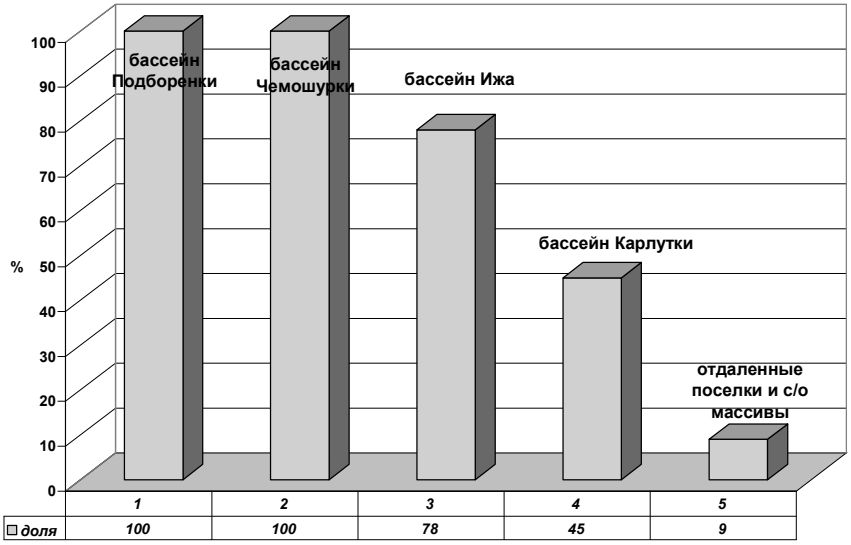


Рис. 1. Доля антропогенных и антропогенно существенно преобразованных родников

Это объясняется высокой представленностью в пределах водосборов данных рек селитебной и автотранспортной функциональных зон [2]. Что нашло отражение и в результатах зонирования областей питания городских родников. Для его реализации площади водосборов родников и отдельных функциональных зон внутри них, снятые с топографических основ за разные годы [1,3], были обработаны с помощью программы MapInfo и в относительных величинах представлены в таблице 1.

Таблица 1. Представленность функциональных зон в областях питания родников Ижевска

Функциональная зона	Доля (%) на 1994 год	Доля (%) на 2013 год
Селитебная	42,90	54,26
Промышленно-складская	2,32	1,74
Пустыри	19,84	7,00
Залесенная территория	9,00	7,90
Автотранспортная	22,53	24,05
Сельскохозяйственная	-	-
Рекреационная	3,41	5,05
Всего	100	100

По типу выхода все родники города относятся к нисходящим, эрозионным родникам, что сказывается на их дебите. Преобладающее большинство исследуемых родников – 99% – это малодебитные родники, чей расход не превышает 1 л/с (табл. 2).

Таблица 2. Классификация исследуемых родников по фактическому дебиту (июль 2018 г.)

Малодебитные родники – менее 1 л/с		Среднедебитные родники 1-10 л/с
Незначительные от 0,01 до 0,1 л/с	Малые – от 0,1 до 1 л/с	
№№ 3, 17, 29, 33	№№ 4, 6, 10, 11, 13, 14, 16, 18, 19, 23, 28, 34, 40, 41, 42, 44, 46, 47, 48, 50, 54, 55, 62	№№ 12, 22, 59

Степень изменчивости дебита родников (отношение минимального дебита к максимальному дебиту) исследовалась на примере родников Чемошурской группы.

Показатель изменчивости дебита родника важен, он свидетельствует о постоянстве (или непостоянстве) расходов воды, следовательно, об устойчивости водного режима источников питьевого водоснабжения, об условиях подпитки своим стоком близлежащих речных систем. В данном случае, все родники этой группы оказались весьма постоянными (min дебит / max дебит ≈ 1:1), что свидетельствует о благоприятной естественной зарегулированности стока р. Чемошурка подземными водами [6].

Причины колебаний дебита родников различны. Дебит нисходящих родников (каковыми являются родники Ижевска) порою связан с сезонными и годовыми изменениями осадков. Чем глубже залегает водоносный горизонт, меньше его водопроницаемость, слабее связь его с атмосферой и чем обширнее область питания подземных вод, тем с большим опозданием отражается влияние выпавших осадков на дебите родников. Оно может сказаться (или не сказаться) и через несколько дней и через много месяцев.

Для определения связи между дебитом родников и количеством выпавших осадков были проведены более частые определения гидрорежима родников Чемошурской группы: вначале за период с октября 2016 г. по май 2017 г., впоследствии, с февраля по апрель 2019 г. Ежедневные измерения дебита проводились у родников №№19, 23, 28, 29. Соответствующие датам измерений данные по слою стока атмосферных осадков для расчета корреляционной связи были заимствованы на сайте Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России.

Полученные результаты свидетельствуют, что у двух из четырех родников была выявлена слабая связь между дебитом и количеством выпавших на область их питания атмосферных осадков. При этом коэффициент корреляции Пирсона составил 0,4-0,38 (родник №19) и 0,32-0,44 (родник №23), Это говорит о том, что в формировании этих родниковых вод принимают участие атмосферные осадки.

Для выявления многолетних особенностей гидрологического режима родников был проведен сравнительный анализ усредненных данных за 1999, 2016 и 2018 гг. Из приведенных ниже значений (табл. 3) видно, что разница в дебитах по группам родников особенно заметна при сравнении значений за 1999 и 2018 гг.

Таблица 3. Средние значения дебита родников

Группа	Средний по группе дебит (л/с)		
	1999 г.	2016 г.	2018 г.
Ижевская группа родников	0,42	0,43	0,48
Подборенская группа	1,03	0,86	0,32
Карлутская группа родников	0,79	0,75	0,41
Чемошурская группа родников	0,95	0,76	0,68
Родники долины р. Позимь (родник №28)	2,5	0,93	0,61
Родники городских лесов (родник №50)	0,13	0,23	0,16

Несмотря на то, что средние показатели дебита по группе Ижевских родников за 1999 год и 2018 год оказались близки (табл. 3), по отдельным родникам этой группы можно заметить существенное снижение дебита с течением времени. Отчетливые различия в фактическом дебите родниковых вод за 19-летний период свойственны родникам и других групп, особенно тем, чей сток формируется пределах селитебной и автотранспортной зон города (табл. 4).

Снижение расхода родниковых вод затронуло все городские родники. Исключением, пожалуй, является только родник №50, относящийся к группе родников городских лесов, где расход воды в 2018 г. оказался близким к величине расхода, зафиксированного в 1999 г.

Наиболее заметное по своей интенсивности уменьшение дебита родников отмечено в бассейнах рек Карлутка и Подборенка (табл. 5), где селитебная и автотранспортная зоны суммарно составляют, соответственно, 70 и 90% от области питания этих родников.

Таблица 4. Сравнение фактического дебита родников разных групп

Номер родника	Местонахождение	Тип родника по степени влияния антропогенного фактора	Дебит родника (л/с)	
			июнь 1999 г.	июль 2018 г.
Ижевская группа				
4	безымянная балка	антропогенный	0,6	0,22
17	нижняя часть правого склона долины р. Иж	антропогенный, существенно преобразованный	0,02	0,005
62	нижняя часть правого склона долины р. Иж	антропогенный, идущий по пути социального регулирования	0,4	0,22
Карлутская группа				
29	нижняя часть левого склона долины р.Карлутка	антропогенезированный	0,9	0,03
34	нижняя часть левого склона долины р.Карлутка	антропогенезированный	1,2	0,4
41	нижняя часть левого склона долины р.Карлутка	антропогенезированный	0,67	0,14
Подборенская группа				
47	левый склон долины р.Подборенка	антропогенный	1,0	0,31
48	левый склон долины р.Подборенка	антропогенный	1,5	0,15
55	левый склон долины р.Подборенка	антропогенный, идущий по пути социального регулирования	0,75	0,33
Чемошурская группа				
19	нижняя часть левого борта безымянного оврага	антропогенный, идущий по пути социального регулирования	0,6	0,37
23	нижняя часть левого борта безымянного оврага	антропогенный, идущий по пути социального регулирования	0,6	0,28
Долина р. Позимь				
28	правый склон долины р.Позимь	антропогенезированный	2,5	0,61

Таблица 5. Относительные показатели снижения дебита родников

Группа родников	доля родников со снижением расхода к 2018 г. (%)	кратность снижения дебита родников в 2018 г. в сравнении с дебитом в 1999г.
Ижевская группа родников	50,0	в 4,0 раза
Подборенская группа	75,0	в 5,2 раза
Карлутская группа родников	75,0	в 7,3 раза
Чемошурская группа родников	75,0	в 4,1 раза
Родники долины р. Позимь (родник №28)	не рассчитывается	в 4,0 раза
Родники городских лесов (родник №50)	не рассчитывается	снижение отсутствует

В ходе обследования родников было обнаружено, что у некоторых из них сток воды идет из разрушенного каптажа мимо водослива (или в отсутствие водослива), в результате чего, расход родниковых вод из водосливной трубы уменьшается (табл. 6).

Стоит отметить, что каптаж родников может быть поврежден не только в результате естественных природных процессов (мощный паводок). В две трети случаев разрушение родников Ижевска было обусловлено антропогенной деятельностью, причем в 50% случаев родники были затоплены или засыпаны грунтом при ведении строительных работ на прилегающей территории. Поэтому гидрологический режим родников городов во многом определяется состоянием каптажной камеры. Так, в период прохождения весеннего снеготаяния в 2015 году расход воды некоторых родников оказался ниже меженного расхода по причине забивки незащищенного от поверхностного стока каптажа наносами, идущими с талыми водами [6]. Это явление особенно характерно для конвергентных родников, расположенных в бортах балок и оврагов (например, родники №№ 3, 19). Для некоторых родников сток воды в период весеннего снеготаяния отсутствовал и появлялся только после прочистки и ремонтакаптажных камер. При обустроенном каптаже дебит родника может остаться практически неизменным в разные фазы водного режима (табл. 6).

Таблица 6. Влияние технического состояния каптажа на дебит родников

Номер родника	Состояние каптажа	Фактический дебит, л/с		
		июнь 1999г.	апрель 2015г.	июнь 2016г.
Родник 3	каптаж заиливается	0,6	стока нет*	0,37
Родник 5	каптаж обустроен	0,8	1,0**	1,0
Родник 10	каптаж обустроен	0,4	0,3**	0,33
Родник 11	требуется ремонт каптажа	0,5	0,05*	0,43
Родник 13	требуется ремонт каптажа	1,1	0,79*	1,2
Родник 18	каптаж обустроен	0,18	0,27**	0,25
Родник 22	требуется ремонт каптажа	2,4	1,21*	2,0
Родник 33	требуется ремонт каптажа	0,24	0,58	0,11***
Родник 41	требуется ремонт каптажа	0,67	0,7	0,57***

Примечание. *Снижение (или отсутствие) стока родника в паводок по причине заиливания каптажной камеры; **Постоянство дебита родника во времени; ***Боковое истечение из разрушенного каптажа, часть воды при этом идет, минуя водослив.*

Выводы. 1. Одним из основных факторов, влияющих на расход нисходящих родников г. Ижевска является представленность в области питания родников функциональных зон города с твердым покрытием, а также техническое состояние каптажной камеры родника:

- в случае преобладания в области питания родников селитебной и автотранспортной зон, увеличивается площадь водонепроницаемых поверхностей, что способствует росту поверхностной составляющей стока и уменьшению, соответственно, подземной части естественного регулирования стока, что приводит к снижению дебита родников;
- в весеннее половодье происходит заиление каптажной камеры, что сказывается на расходах родниковых вод, которые на некоторых родниках становятся даже ниже показателей, свойственных им во время устойчивой межени;
- повреждение или разрушение каптажа приводит, как правило, к уменьшению расхода воды, идущего через водослив, однако, в отдельных случаях, при отсутствии герметичности каптажной камеры и попадании в нее атмосферных вод в периоды паводков, дебиты родников могут кратковременно увеличиваться.

2. Исследование связи гидрологического режима родников с атмосферными водами было изучено на примере родников одной группы (бассейн р. Чемошурки) и выявило слабую корреляционную связь у 50% родников между их дебитом и слоем атмосферных осадков.

3. Картометрические работы показали, что за два десятилетия произошло заметное изменение структуры области питания городских родников: выросла площадь селитебной и автотранспортной зон, соответственно, на 11% и 2%. Это обусловлено как точечной застройкой, осуществляемой внутри города, так и активным вводом в эксплуатацию жилых микрорайонов на северо-западных, северных и восточных окраинах Ижевска.

4. Снижение дебита за период с 1999 по 2018 гг. коснулось родников всех групп, но особенно выраженным оно оказалось для бассейнов рр. Карлутка и Подборенка, где две трети и более площади водосбора родников занимают селитебная и автотранспортная зоны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас г. Ижевска (масштаб 1:20000) / под ред. С.В. Ершова. – АО «Уралаэрогеодезия», 2016. Съемка 2013 года.

2. Гагарина, О. В. Родники как элементы ландшафта г. Ижевска [Текст] / О. В. Гагарина // Ландшафтная география в XXI веке : материалы Междунар. науч. конф. "Третьи ландшафтно-экологические чтения, посвященные 100-летию со дня рождения Г. Е. Гришанкова" (Симферополь, 11-14 сент. 2018 г.) – Симферополь : ИТ "АРИАЛ", 2018. – С. 258-262.

3. Карты городов России. Карта Ижевска (масштаб 1:25000). – Екатеринбург: Роскартография, 1996. Съемка 1994 года.

4. Метеорологические ежемесячники. Выпуск 29, часть II, годы 1999, 2016, 2018, месяц 6. – Федеральная Служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Федеральное государственное бюджетное учреждение "Верхне-Волжское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды".

5. Родники Ижевска / Под ред. В. В. Туганаева. – Ижевск: Изд. дом Удмуртский университет, 2000. – 176 с.

6. Экология и природопользование на территории города Ижевска: монография / Д. А. Адаховский, И. С. Анисимов, А. А. Артемьева [и др.] / под ред.: И. И. Рысина, О. Г. Барановой. – Ижевск : Удмуртский университет, 2018. – С. 78-99.

ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА

Х.-М.М. Газаев, Э.А. Агоева, А.Б. Иттиев
eleonora_agoeva@mail.ru

Кабардино-Балкарский Государственный Высокогорный заповедник, п. Кашхатау, Россия
Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, г.Нальчик, Россия

В современных условиях урбанизации земного шара, воздействие человечества на биосферу носит катастрофически глобальный характер, результатом которого является, в том числе и изменения климата на планете, сокращение объёмов криосферы и т.д. Известно, что огромные запасы, пресной воды сосредоточены в ледниках, которые на территории России находятся в Арктике, Алтае, в высокогорных районах Кавказа и Камчатки. Особо чувствительной частью биосферы, остро реагирующей на изменения климата, является криосфера высокогорных областей, вследствие чего неизбежно происходит её сокращение [3]. Так отмечено, что площадь оледенения на северном склоне Большого Кавказа сократилась на 41,7%, а на южном - на 32,1%. На фоне данного процесса пресная вода превращается в дефицитный природный ресурс, качество которой не всегда соответствует принятым нормам [5,6].

Цель, материалы и методы исследования. В статье представлены результаты исследований таких метео- и гидрологических параметров как: посезонной температуры приземного воздуха высокогорных частей Безенгийского и Верхне-Балкарского ущелий с

12.2010 по 02.2014 гг., а также расходов воды в нижнем течении р. Терек (станица Котляревская). Метеоданные нами были получены с помощью автоматической метеостанции (VantagePRO 2), расположенной в Безенгийском ущелье на высоте 1700 м н.у.м., а также на метеопункте «Верхняя-Балкария» расположенном на высоте 1049 м н.у.м. в селении Верхняя-Балкария.

Актуальность. В виду происходящих климатических изменений на планете, исследования метео- и гидрологических параметров горно-ледниковых областей Центрального Кавказа приобретают важное значение, т.к. исследуемая территория является аккумуляцией ледников и снежников, которые питают в период абляции своими водами всю западную часть Кабардино-Балкарской республики. Актуальность исследования важна также и в связи с тем, что р. Черек, образующаяся после слияния рр. Черек-Безенгийский и Черек-Балкарский, является притоком р. Терек и относится к речному бассейну Каспийского моря.

Практическая значимость. Проведённые исследования в дальнейшем позволят выявить: взаимосвязь между метео- и гидрологическими параметрами и определить динамику пространственно-временного их изменения, а в дальнейшем уже позволят предотвратить последствия от экстремальных метеорологических явлений, которые характерны для Европейской территории России, что обусловлено орографическим фактором и региональными синоптическими процессами [2].

В ходе исследований было выявлено, что среднегодовая температура приземного воздуха в Безенгийском и Верхне-Балкарском ущельях с 12.2010 по 02.2014 гг. повысились на 1,1 °С. Причём весной температура в обоих ущельях повысилась в 1,4-1,5 раза, летом – в 1,0 раз, осенью – в 1,2 раза, зимой – в «Верхней Балкарии» – в 1,1 раза, а в Безенги – в 4,7 раза.

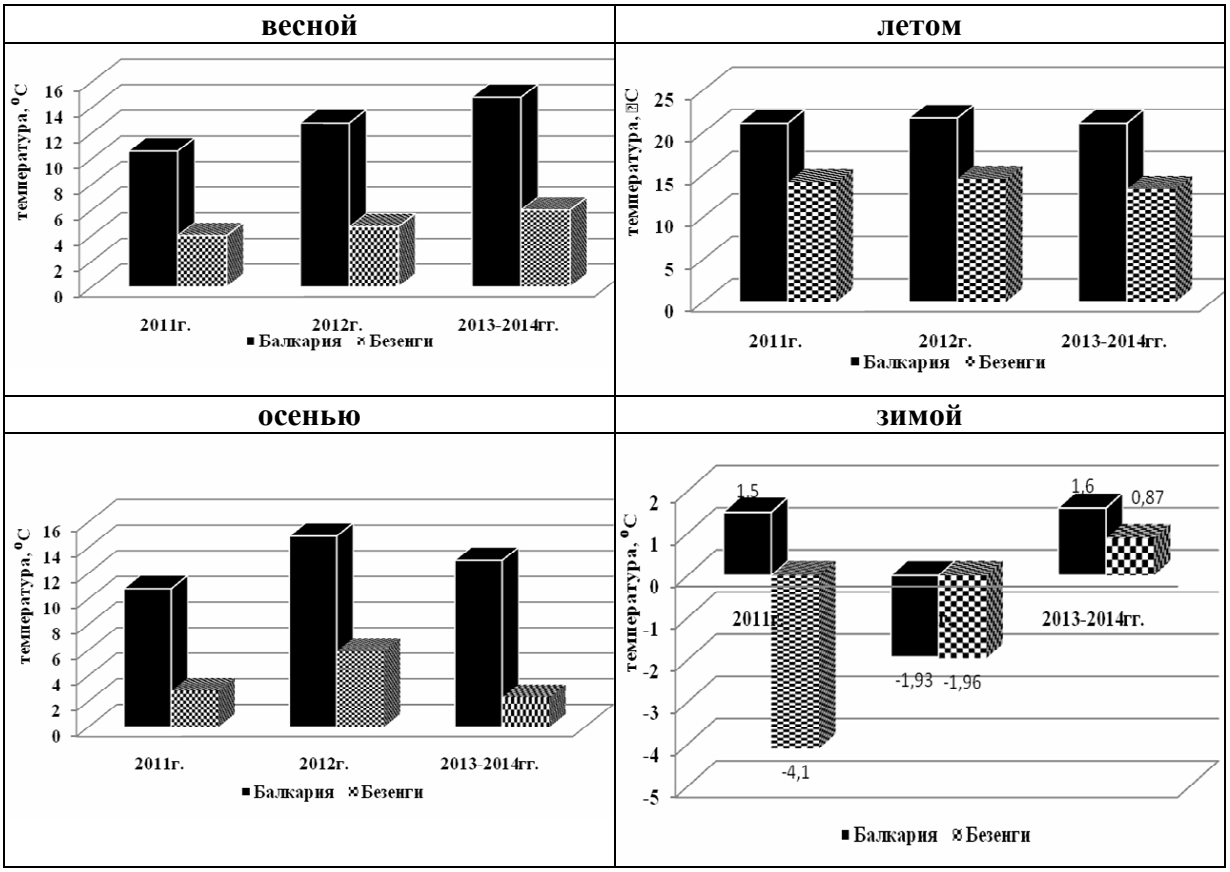


Рис. 1. Посезонная температура приземного воздуха

В связи с этим нам стало интересным, какова же временная динамика изменения средних зимних температур приземного воздуха. Так в Верхне-Балкарском ущелье она составила +1,6°С, а в Безенгийском+ 0,86 °С. Зимний период в 2011-2012 гг. был самым

холодным в Безенгийском ущелье –4,13 °С, что в 2,7 раза ниже температуры в Балкарском ущелье.

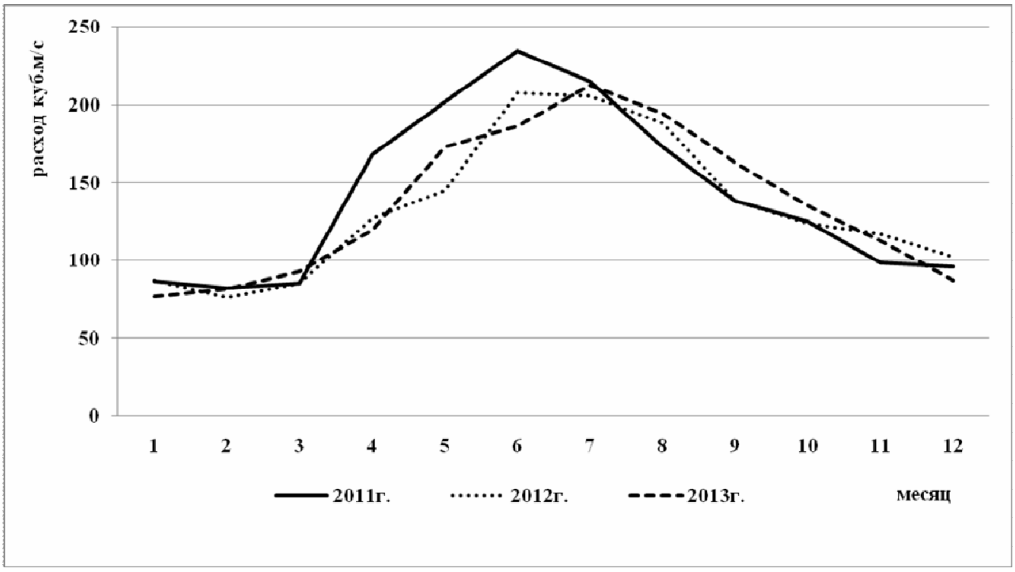


Рис. 2. Расход воды на р. Терек (створ станица Котляревская)

В 2012 г. значения температур приземного воздуха в обоих ущельях находятся на одном уровне, сильно не отличаясь.

Как видно из представленных данных в целом для Верхне-Балкарского ущелья во все годы и сезоны исследований температура приземного воздуха выше Безенгийского в 1,0-5,6 раза.

Как известно, основными особенностями сезонного стока рек в последнее десятилетие было увеличение их водности в зимний период практически по всей России [4]. Результатом роста зимних температур воздуха являются: 1) увеличение доли осадков, выпадающих в жидком виде; 2) увеличение числа и интенсивности оттепелей; 3) увеличение питания грунтовых вод при продолжительных оттепелях; 4) увеличение поверхностного притока в реку за счет растаявшего снега; 5) уменьшение глубины промерзания почвы; 6) увеличения водности особенно в зимний период. В результате этих процессов значительно увеличивается влажность деятельного слоя почвы, усиливается питание подземных вод и происходит повышение их уровня [1].

Согласно проведённым исследованиям, выявлена взаимосвязь между температурой приземного воздуха и расходами воды на р. Терек. Так, наибольший расход воды в зимний период (декабрь-февраль) на р. Терек, наблюдался в 2012-2013 гг. и в 2013-2014 гг., как видно температура приземного слоя атмосферы для этого же периода была теплее в сравнении с другим годом, что по всей вероятности и вызвало увеличение водности в р. Терек.

Вывод. Выявленная взаимосвязь между температурой приземного воздуха высокогорных областей Кавказа и расходами воды на р. Терек говорит о взаимосвязи метео- и гидрологических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агоева Э.А. Влияние изменения климата на гидролого-гидрохимический режим высокогорной реки Черек-Безенгийский // Проблемы региональной экологии. – 2015. – №1 – С. 36-42.

2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменении климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – Москва, 2014. – Интернет ресурс: [http://voeikovmgo.ru/download/2014/od/od2.pdf].

3. Залиханов М.И., Коломыц Э.Г., Панов В.Д, Докукин М.Д. Прогноз изменения климата высокогорных ландшафтов и оледенения Большого Кавказа на ближайшие десятилетия // Материалы гляциологических исследований. – 1984. – Вып. 21. – С. 152-153.

4. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории РФ. Общее резюме. – Москва, 2008.

5. Панов В.Д. Эволюция современного оледенения Кавказа. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. – 431 с.

6. Панов В.Д. Ледники бассейна реки Терек. – Л.: Гидрометеоиздат, 1971. – 296 с.

ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОСТИ И ИНДЕКСА ЗАГРЯЗНЁННОСТИ ВОД ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА КАВКАЗЕ

Х.-М.М. Газаев, А.Б. Иттиев, Э.А. Агоева
eleonora_agoeva@mail.ru

Кабардино-Балкарский Государственный Высокогорный заповедник, п. Кашхатау, Россия
Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, г.Нальчик, Россия

Как показали многолетние наблюдения Росгидромета, для многих бассейнов рек СКФО характерно увеличение водности в последние десятилетия, вызванное повышением температуры воздуха и увеличением количества осадков, что также оказывает влияние на гидрологию водосборов. Соответственно увеличилась интенсивность эрозионных процессов, возрос сток наносов рек, увеличились абсолютные отметки дна, в этих условиях прорыв прирусловых валов приводит к затоплению окружающей местности. На большей части бассейна р. Терек наводнения наблюдаются в весенне-летний период во время прохождения половодья, вызванного таянием снега и льда.

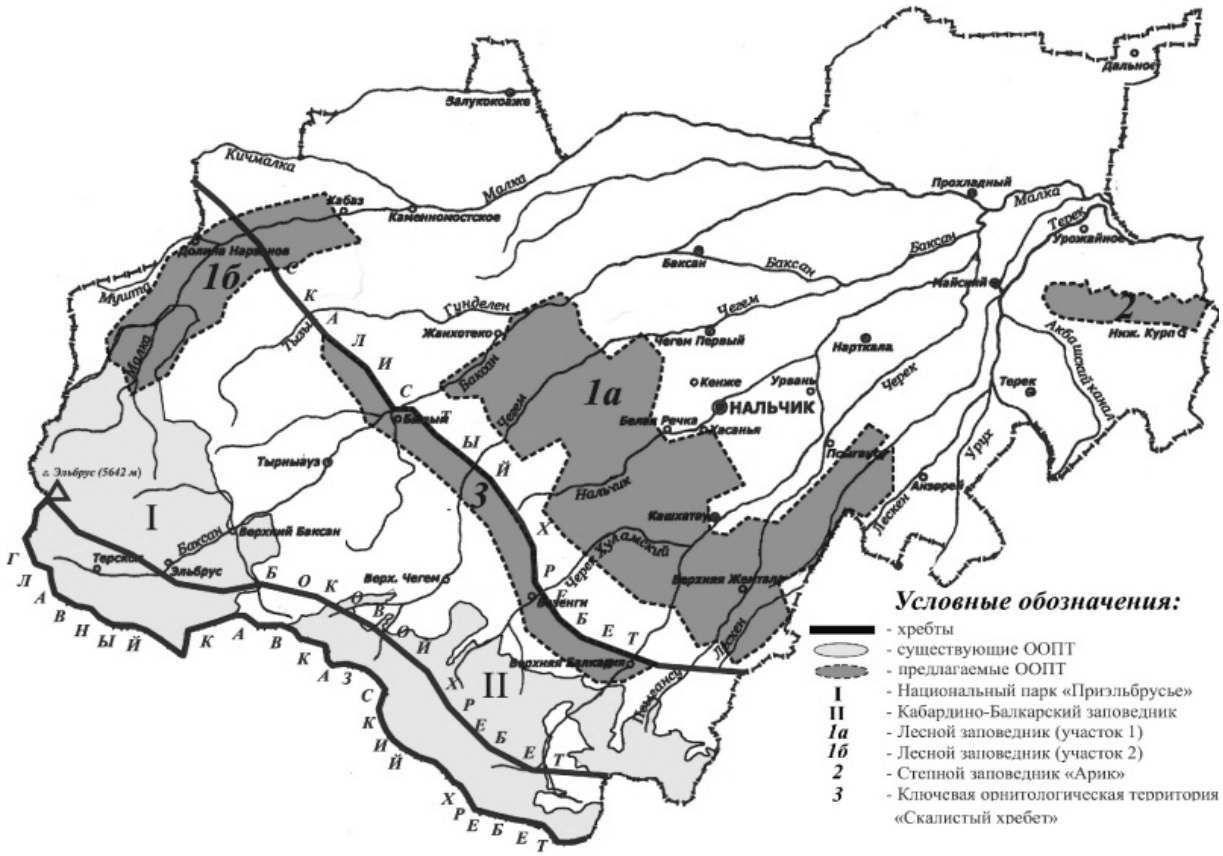


Рис. 1. Карта-схема водосборной сети р. Терек

Увеличение водности в реках также может оказывать влияние на удельный комбинаторный индекс загрязнения вод (УКИЗВ), так как при повышении уровня воды в реке, более интенсивнее проходят процессы водной эрозии прибрежных территорий и русел рек, а в виду неудовлетворительного состояния водоохранных зон и водосборных площадей (организация свалок, слив стоков и т.д.), происходит смыв с их поверхности веществ различного происхождения.

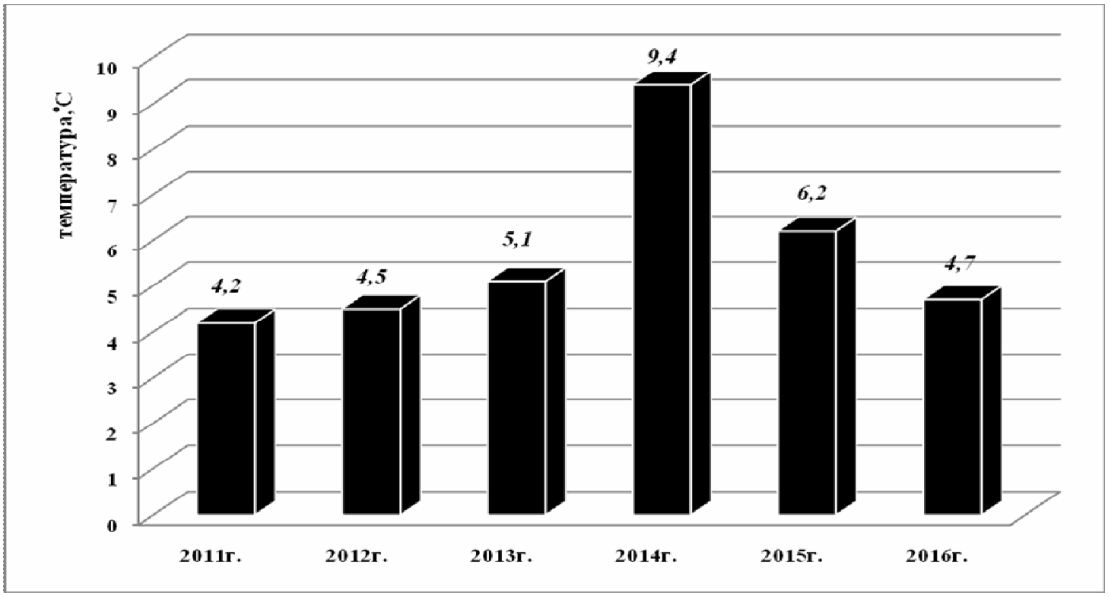


Рис. 2. Динамика изменения средней температуры приземного воздуха в Безенгийском ущелье

В статье представлены результаты исследований таких гидрологических параметров как: расход воды (пункт наблюдения – станица Котляревская), а также значения удельного комбинаторного индекса загрязнённости вод (УКИЗВ) на р. Терекс 2011 по 2016 гг. (рис. 1) [1-5].

По данным наблюдений за расходами воды на р. Терек (рис. 3) вычислены среднегодовые значения, согласно, которым с 2012 по 2016 гг. водность на реке увеличилась в 1,1 раза. Причём минимальные значения характерны для 2015 г. – 128 м^3/с, а максимальные для 2016 г. – 142 м^3/с.

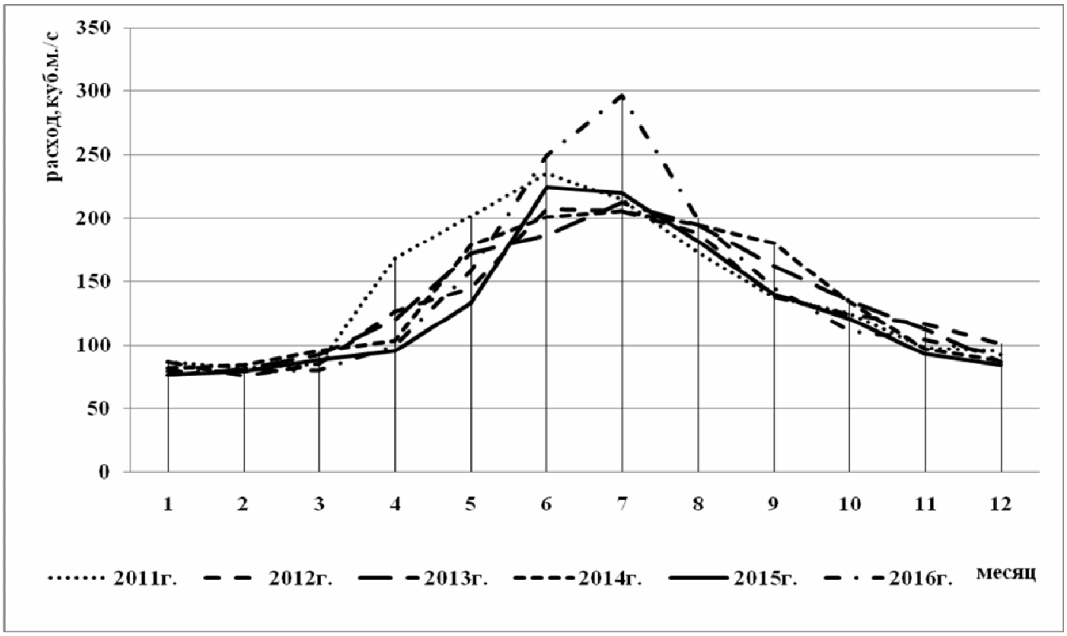


Рис. 3. Расход воды на р. Терек (створ – станица Котляревская)

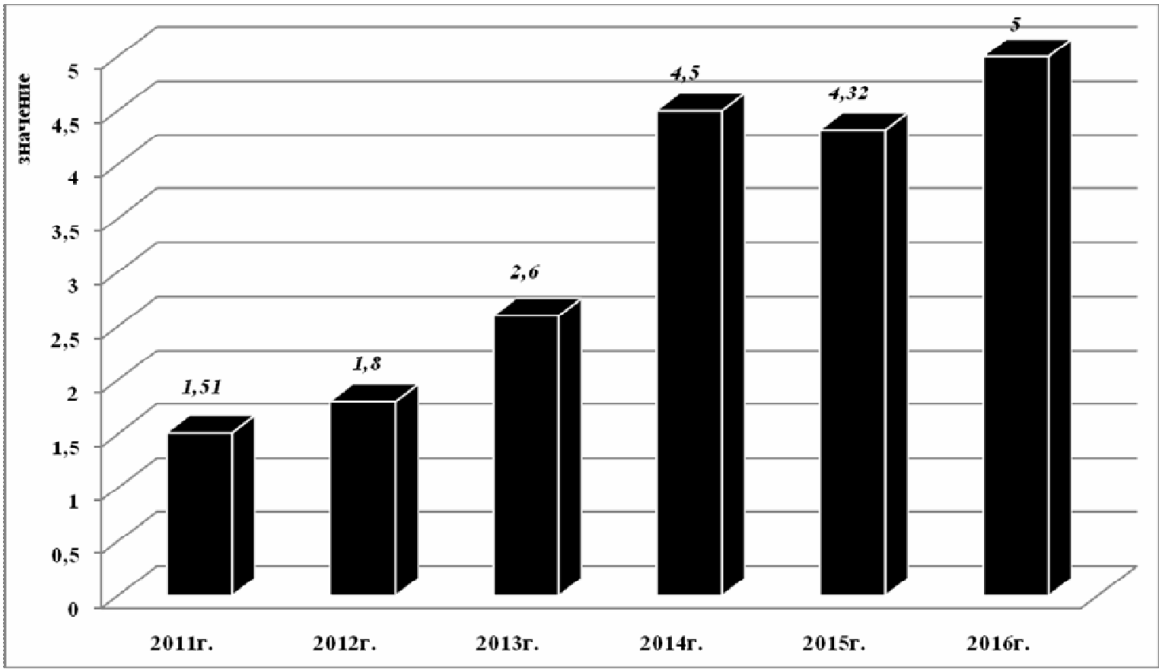


Рис. 4. Динамика изменения средних значений УКИЗВ р. Терек

Наибольший расход воды на р. Терек в зимний период (декабрь-февраль) с 2012 по 2016 гг., наблюдался в 2012-2013гг. (243,5 $м^3$/с) и в 2013-2014гг. (254,5 $м^3$/с), а, как известно, температура приземного воздуха для этого же периода была теплее в сравнении с другими годами в Безенгийском ущелье (рис. 2).

Как видно рисунка 4, значения УКИЗВ увеличились в 3,3 раза, причём заметная динамика в увеличении УКИЗВ наблюдается, начиная с 2012 г.

Таким образом, можно сказать, что температура приземного воздуха прямо оказывает влияние не только на водность рек, но также и на их качественный состав.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды в КБР в 2016 г. – Нальчик. 2017 г. – С. 263.

2. Залиханов М.И., Коломыц Э.Г., Панов В.Д, Докукин М.Д. Прогноз изменения климата высокогорных ландшафтов и оледенения Большого Кавказа на ближайшие десятилетия // Материалы гляциологических исследований. – 1984. – Вып. 21. – С. 152-155.

3. Информационный бюллетень о количественных и качественных показателях состояния водных ресурсов, состояния водохозяйственных систем, в том числе гидротехнических. – Нальчик, 2014. – С.161.

4. Информационный бюллетень о количественных и качественных показателях состояния водных ресурсов, состояния водохозяйственных систем, в том числе гидротехнических. – Нальчик, 2016.

5. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменении климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – Москва, 2014. – URL: [http://voeikovmgo.ru/download/2014/od/od2.pdf].

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕНЕНИЯ В МНОГОЛЕТНЕМ РАЗРЕЗЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ИСПАРЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ РЕЧНЫХ ВОДОСБОРОВ (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН)

А.М. Гареев, Г.Г. Аминева
hydroeco@mail.ru

Башкирский государственный университет, г.Уфа, Россия

Анализируя многолетнюю динамику изменения показателей тепло- и влагообеспеченности, а также составляющих водного баланса территорий, прежде всего, необходимо учитывать общие закономерности, отражающие влияние космических и геофизических факторов на формирование вариабельности состояния компонентов природных комплексов. Их влияние довольно отчетливо проявляется в формировании таких важных показателей, как многовековая, внутривековая и многолетняя изменчивость гидрометеорологического режима территорий в глобальном и региональном масштабах.

Так, с точки зрения понимания тех изменений, которые произошли по обширной территории Российской Федерации летом 2010 г., следует остановиться на анализе многолетних тенденций изменения показателей увлажнения, соответственно, и повторяемости засух.

На основании подробного изучения исторических материалов получивших отражение в хронологических документах, а также материалов многолетних наблюдений по сети гидрометслужбы достаточно четко можно выделить цикличность и повторяемость засух, начиная с XIX-XX вв. по настоящее время [2].

Как известно, многолетняя динамика чередования засух с достаточно хорошо увлажненными периодами может быть охарактеризована по материалам наблюдений за уровнями замкнутых озер. Так, на Урале в конце XIX и начале XX вв. повсеместно наблюдались средние уровни воды. В 1914-1915 гг. был подъем, а затем снова спад, достигший наиболее низких значений в начале 20-х годов. В 1926-1929 гг. уровни воды повышались, что наиболее было характерно для озер Предуралья. С начала 30-х годов до 1940 года отмечается последующее понижение уровней озер. В это время в Зауралье отдельные озера пересохли и на их местах были сенокосные угодья.

С 40-х годов начался следующий подъем уровней (табл. 1). При этом происходило постепенное затопление прилегающих территорий. Наибольшие уровни наблюдались в 1946-1948 гг., которые способствовали образованию новых озерков, приуроченных к замкнутым понижениям. В целом, по территории Башкортостана по наблюдениям, проводимым на озере Асылыкуль, обнаруживается то, что общая тенденция (тренд) повышения уровней, прерываемая фазами спада, сохранилась до 1986-1992 гг. В последующем произошла относительная стабилизация уровней воды при наивысших отметках, превышающих (0) графика более чем на 300 см [7].

В это время на отдельных участках плакоров сформировались избыточно увлажненные земли. С 2008 года наблюдается начало новой фазы снижения уровней, которая характеризуется наступлением засушливого периода. Это наиболее четко отразилось на примере 2010 года.

В тоже время, материалы многолетних наблюдений на метеорологических постах свидетельствуют о том, что в пределах республики, так же как и в других регионах РФ, обнаруживается наглядное повышение значений среднегодовых температур, оно по отдельным постам достигает до 0,5°-0,8° и более.

Следует обратить внимание на то, что функционирование различных природных комплексов, природно-хозяйственных систем, а также отдельных объектов по климатозависимым отраслям экономики в условиях продолжающегося изменения климата претерпевает определенных откликов. Это, прежде всего, зависит от пространственной и вре-

менной изменчивости таких показателей, как среднегодовые значения температур, суммы температур за вегетационный период ... растительности и культурных растений, годовая сумма атмосферных осадков, распределение атмосферных осадков внутри года, дефицит влажности воздуха и т.д. В условиях взаимодействия они формируют показатели тепло- и влагообеспеченности территорий, которые так же подчиняются закономерностям циклических колебаний, а также зависят от происходящих изменений климата на региональном уровне.

Таблица 1. Маловодные периоды в многолетнем разрезе в пределах Башкортостана

№ п.п.	Годы	Уровни	Характер увлажнения
1.	Конец 19 в. - начало 20 в.	Низкие уровни по водоемам Урала	Резкая засушливость территорий и низкая урожайность с/х культур
2.	1936-1944	Самые низкие уровни оз. Аслыкуль в 1940-1941 гг. (80 см)	Некоторые озера Зауралья пересохли, на их местах образовались сенокосные угодья
3.	1946-1948	Повышение уровней воды оз. Аслыкуль до 126-128 см	Формирование новых озерков в замкнутых понижениях
4.	1949-1956	Снижение уровней воды оз. Аслыкуль до 60 см	Некоторые озера высохли, берега оставшихся озер заросли влаголюбивой растительностью
5.	1989-1995; 2001-2007	Наибольшие уровни воды оз. Аслыкуль (более 300 см)	Формирование избыточно увлажненных земель на плакоре
6.	2008-2010	Снижение уровня воды оз. Аслыкуль до 260 см	Резкая засушливость территорий в 2010 г.

Не останавливаясь на анализе общих закономерностей, отражающих характеристики и процессы глобального изменения климата, отметим то, что на региональном и субрегиональном уровнях наибольшее значение имеет изучение вопросов, связанных с изменением характеристик водного баланса земной поверхности.

Понятие водного баланса сводится к количественному выражению процесса климатического круговорота воды.

Для определения водного баланса речного бассейна и его составляющих широко используется уравнение, которое в общем виде сформулировано еще А.И. Воейковым (1884 г.), А. Пенком (1896 г.), уточненное и обобщенное Е.В. Оппоковым (1904 г.), Б.И. Куделиным, М.И. Львовичем и другими исследователями [5, 10]. Выражение Пенка-Оппокова за среднемноголетний период представляет собой простое уравнение водного баланса речного бассейна:

$$Y = P - E,$$

где речной сток (Y) представляет собой разность между осадками (P) и испарением с земной поверхности (E).

Данное уравнение широко использовалось в практических целях для косвенной оценки подземного стока, поскольку метеорологические наблюдения территорий начались раньше гидрологических. Вначале XX в. появилась масса расчетных и эмпирических зависимостей речного стока от метеорологических факторов и морфометрических характеристик водосборов. Однако достаточно надежные зависимости далеко не всегда находились. Большое влияние на сток оказывают ландшафтные условия (почвы, лесистость, закарстованность, озерность, несовпадение поверхностного и подземного водосборов и т.п.), а их сложно учитывать.

К бассейнам рек Республики Башкортостан может быть применено уравнение:

$$P + Z + T = h + W + E \pm \Delta U,$$

где в приходной части: P - атмосферные осадки, выпадающие на поверхности речного бассейна; Z - конденсация водяного пара; T - подземный приток; расходной части: h - поверхностный приток; W - подземный (устойчивый) речной сток; E - суммарное испарение с водосборного бассейна; ±ΔU - изменение влагозапасов на водосборе.

Важнейшими факторами формирования водного баланса речных водосборов являются условия и характер увлажнения, определяемый в первую очередь режимом атмосферных осадков, поступающих на его поверхность. Одной из наиболее ярко выраженных тенденцией к изменениям в многолетнем ходе является годовая сумма атмосферных осадков. Их количество за год и в отдельные сезоны влияет на влагообеспеченность территории, которая, в свою очередь, формирует особенности развития природных комплексов и их компонентов.

Для выявления тенденций изменения климатических условий были выбраны методы осреднения для вычисления среднего многолетнего значения, скользящей трехлетней средней для обнаружения закономерной цикличности, построение тренда и расчет его уравнения по каждому показателю (КНЛТ) по 28 метеостанциям Республики Башкортостан. С помощью этих методик был осуществлен графический анализ происходящих изменений.

На основании анализа графиков, построенных методом трехлетних скользящих годовых сумм осадков, по большинству метеостанций было выявлено их увеличение. Положительный тренд по сравнению с нормой отражает превышение годовых сумм атмосферных за 8-16 мм. По некоторым постам разница составляет 20-24 мм (Уфа-Дема, Янаул, Кумертау, Бирск, Улу-Теляк). В то же время, по отдельным метеостанциям (Бакалы, Федоровка, Учалы, Кананикольское, Архангельское) наблюдается отрицательный тренд в местах от 1-3 мм до 25 мм (мтс. Федоровка)

Следует обратить внимание на то, что происходящие изменения имеют не стабильный характер. Наличие многолетних и внутривековых циклов в изменениях гидрометеорологических факторов, а также наблюдаемые тенденции глобального изменения климата обуславливают необходимость дифференцированного анализа происходящих изменений, изучая периоды: 1) без существенных изменений и 2) с учетом происходящих изменений. Как правило, проверка многолетних рядов наблюдений на однородность и репрезентативность осуществляется посредством применения методов Стьюдента, Фишера, Вилькоксона, нарастающих сумм и др.

С учетом указанного в ходе выполнения данного исследования вся генеральная совокупность наблюдаемых величин была разбита на 2 выборки - до происходящих изменений (без отклонений линейных трендов) и при наличии изменения величин в том или ином направлениях (по трендам).

Применительно к решению научно-практических задач в условиях изменения климата имеет большое значение необходимость определения абсолютных показателей изменения (атмосферных осадков, температуры воздуха и т.д.). При этом следует подчеркнуть то, что описание происходящих изменений посредством применения коэффициента наклона линейного тренда (КНЛТ), является лишь констатацией факта происходящих изменений, соответственно не позволяет применять результаты исследования для решения практических задач.

С учетом изложенного весь период наблюдений проводимых по метеорологическим постам, расположенных в пределах республики был разбит на 2 выборки: 1) 1937 – 1970 гг.; 2) с 1970 г. по 2015 г. В разрезе указанных периодов, отражающих характер распределения годовых сумм атмосферных осадков в многолетнем разрезе, были построены карта-схемы (рис. 1, 2).

Как видно из рис. 1, 2, к территориям, в которых произошло некоторое уменьшение атмосферных осадков, относится Башкирское Зауралье (особенно в северной части 50-100 мм), Зилаирское плато (до 50 мм), верховья бассейнов рек Ашкадар, Уршак, Дема (50–75 мм), в то время как по другим территориям обнаруживаются небольшие изменения.

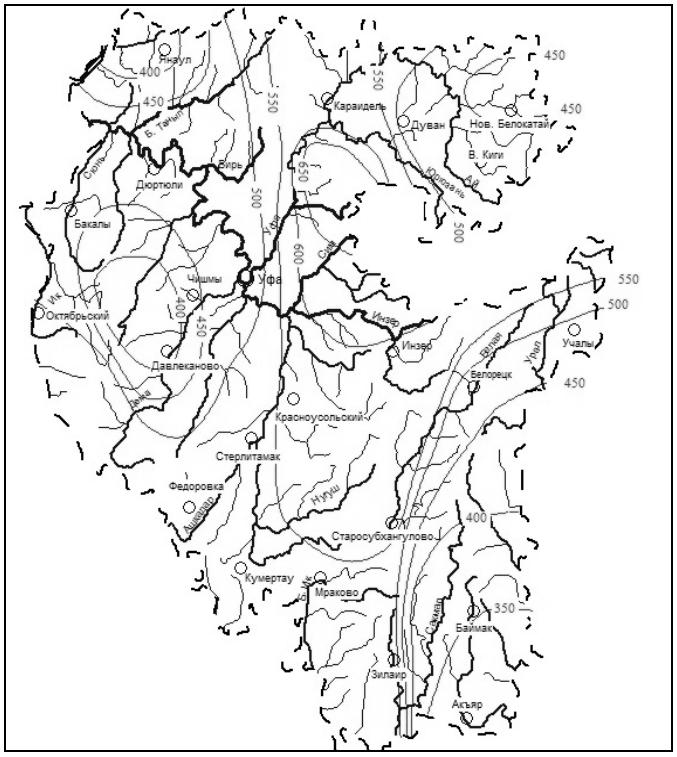


Рис. 1. Среднемноголетнее количество годовых сумм атмосферных осадков в пределах РБ за период с 1937 по 1970 гг.

Применительно к решению научно-практических задач различного профиля следует указать то, что в 70-х годах XX в. в бывшем СССР осуществлялось полномасштабное обобщение и анализ полученной многолетней гидрометеорологической информации. К указанному времени относится опубликование большого количества работ, в т.ч. справочных изданий, включая таких, как Справочник по климату СССР [16], Ресурсы поверхностных вод [13, 14], которые имели широкомасштабное применение.

В последующем они нашли отражение и в других исследованиях (Гареев [7], Гареев, Зайцев [8], Вода России [9]). В тоже время, как было показано ранее, последние десятилетия отличаются ограниченной доступностью материалов гидрометеорологических условий и климата на региональном и субрегиональном уровнях. В этих условиях материалы, отраженные на рис. 1, 2, могут быть использованы для решения практических задач.

Испарение – один из важнейших расходных элементов воднобалансовых расчетов. Существуют экспериментальные (основанные на натурных измерениях) и расчетные методы (основанные на теоретических расчетах и эмпирических связях с температурой и влажностью воздуха, интенсивностью солнечной радиации, скоростью ветра, альбедо испаряющей поверхности и т.п.). В данной работе для оценки суммарного испарения использованы расчетные методы.

Суммарное испарение включает: испарение с почвы и открытой воды, транспирацию листьями растений, испарение влаги, задержанной растительностью при выпадении осадков.

В исследованиях Ю.А. Сало, Л.Е. Назарова, А.Ф. Балганский [15] показано, что наилучшие результаты по испарению дают расчеты по формулам Ольдекопа и Шрайбера. В этих формулах норма испаряемости рассчитывается по уравнению связи с предложенными коэффициентами. Уравнения связи температур атмосферного воздуха и испаряемости можно использовать как региональные формулы для уточнения годовых и многолетних значений испарения.

Поэтому для определения нормы испарения с поверхности водосборов использовались формулы Э.М. Ольдекопа и П. Шрайбера в периоды с 1931 по 1970 гг. и с 1971 по 2015 гг.

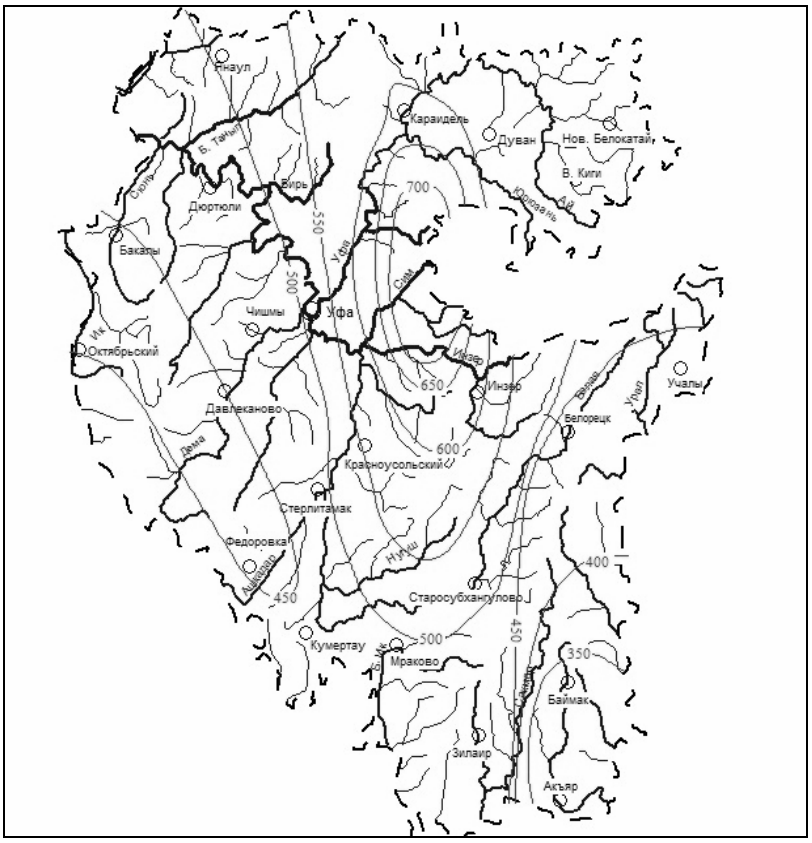


Рис. 2. Среднемноголетнее количество годовых сумм атмосферных осадков в пределах РБ за 1970-2015 гг. (по фондовым материалам БашУГМС)

Уравнения связи испарения с годовыми осадками (на основании анализа данных по водным балансам ряда водосборов) одними из первых предложили П. Шрайбер (1904 г.) и Э.М. Ольдекоп (1911 г.). Э.М. Ольдекоп, анализируя кривую зависимости испарения от осадков, предложил следующее эмпирическое уравнение [11].

$$E=Eoth\ (P/Eo),$$

при максимальных количествах осадков и насыщенности воздуха испарение приближается к максимально возможному.

В качестве показателя климатических условий увлажнения в этой работе использовалась величина H/E_o, означающая отношение сумм осадков к испаряемости. Испаряемость за месяц он определял как

$$E_o=md,$$

где d-дефицит влажности воздуха, а коэффициент m равен 22,7 для теплой половины года, 16 для холодной и 19,3 в среднем за год.

Формула П. Шрайбера (1904 г.), с использованием максимально возможного испарения, имеет следующий вид:

$$E = P\ (1\text{-}e - Eo/P),$$

где P – годовые осадки, Eo – испаряемость, E – испарение за год.

Французский исследователь Л. Тюрк (1961 г.), проанализировав данные 254 бассейнов различных континентов, предложил эмпирическую зависимость, связавшую норму суммарного испарения (E) с нормой осадков (P):

$$E = P / 0{,}9 + (P/E_o),$$

при условии $(P/E_o)\ 2 > 0{,}1$.

Испаряемость вычислялась по экспериментальным данным:

$$E_o= 300 + 25T + 0{,}05T^3,$$

где T – среднегодовая температура воздуха.

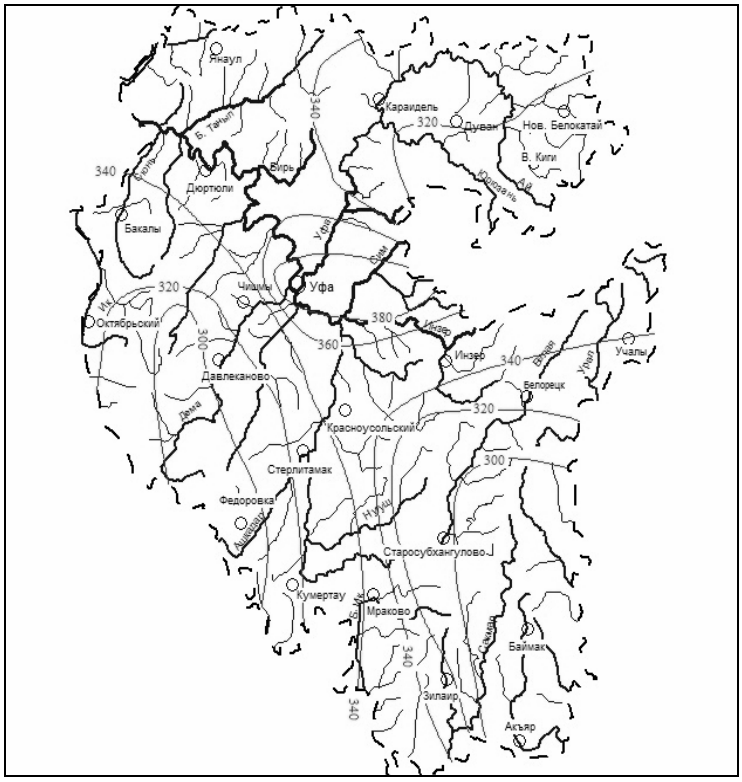


Рис. 3. Среднемноголетнее испарение с поверхности речных водосборов за 1937 – 1970 гг. (по фондовым материалам БашУГМС)

Распределение суммарного испарения по территории республики подчиняется законам географической зональности и высотной поясности. Поэтому оно во многом повторяет характерные черты распределения атмосферных осадков. Это происходит также потому, что по мере продвижения к южным районам испаряемость увеличивается [10, 12].

Наименьшие значения испарения с поверхности водосборов характерны для крайних юго-восточных, южных, юго-западных и западных районов Башкортостана (300-340 мм). Заметное увеличение испарения с высотой наблюдается в пределах Южного Урала, Уфимского плато. Наибольшие значения приурочены к западным склонам Южного Урала верховьям рек Инзер, Сим, что связано с соответствующим выпадением осадков.

Для сравнительного анализа изменений нормы испарения по территории Республики Башкортостан за период с 1937 по 1970 и с 1971 по 2015 года были составлены карта-схемы (рис. 3, 4) используя данные, полученные по Э.М. Ольдекопу.

Методические положения выполнения расчетов отражены в ряде работ [3, 6, 12, 15].

На основании сравнительного анализа материалов, отраженных на рис. 3,4, можно заметить то, что за период с 1971 по 2015гг. на большей территории РБ обнаруживается увеличение суммарного испарения в среднем на 40 мм.

Тенденции, выявленные при анализе графиков, отражающих динамику многолетнего изменения показателей сумм атмосферных осадков и среднегодовых температур воздуха по пунктам метеорологических наблюдений, позволяют осуществлять и прогнозные оценки. Это с наибольшей уверенностью можно осуществлять на ближайшие 15-20 лет применительно к оценке их значимости при решении различных народнохозяйственных и геоэкологических задач. Так, климатическая норма при прогнозном уровне 2035 г. будет наблюдаться (по значениям тренда) на уровне 2017 г. Соответственно, на основании применения одного их простейших методов – экстраполяции тенденций – можно рассчитать как изменение в перспективе изучаемых показателей, так и других параметров, участвующих в функционировании природных комплексов, природнохозяйственных систем и климатозависимых отраслей экономики (сельского, водного, лесного хозяйств, автомобильного транспорта, жилищно-коммунального хозяйства и др.)

Это позволит обосновать параметры их оптимального функционирования в условиях продолжающегося изменения климата.

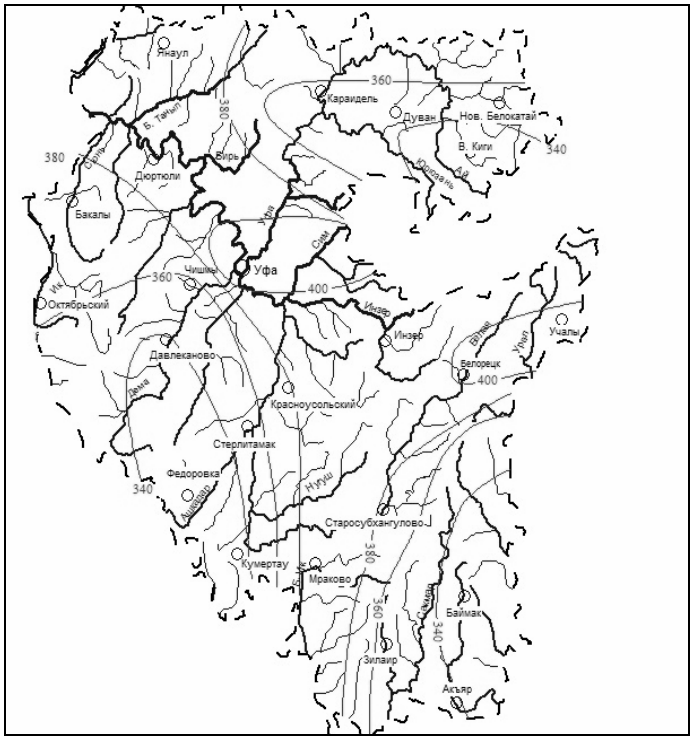


Рис. 4. Среднемноголетнее испарение с поверхности речных водосборов за 1971 – 2015 гг. (по фондовым материалам БашУГМС)

Работа выполнена при поддержке РФФИ Проект №17-45.020116

ЛИТЕРАТУРА

1. Балков В. А. Водные ресурсы Башкирии. – Уфа. Башкнигоиздат, 1978 г. – 176 с.

2. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Экстремальные природные явления в русских летописях XI-XVII вв. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 240 с.

3. Влагозапасы и промерзание почв, испарение с почвы и водной поверхности при региональном изменении климата. Рекомендации по расчету и прогнозу многолетних изменений. – С.-Пб.: АРТ-XPRESS, 2015. – 39 с.

4. Вода России. Водно-ресурсный потенциал / РЦ. Гареев А.М., Черняев А.М. и др. – Екатеринбург. Изд-во «Аэрокосмоэкология».

5. Водный баланс СССР и его преобразование / РЦ. М.И. Львович. – М.: Наука, 1969. – 337 с.

6. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации в 2014 г. – М.: Росгидромет, 2014. – 56 с.

7. Гареев А.М. Реки и озера Башкортостана. – Уфа: Китап, 2001. – 260 с.

8. Гареев А.М., Зайцев П.Н. Пространственная и временная изменчивость речного стока (на примере Башкирского Предуралья). – Уфа. РИЦ БашГУ, 2015. – 152 с.

9. Константинов А.Р. Испарение в природе. – Л. Гидрометеоиздат, 1968. – 532 с.

10. Львович М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее. – М.: Мысль, 1974. – 448 с.

11. Ольдекоп Э.М. Об испарении с поверхности речных бассейнов. – Юрьев, 1911. – 209 с.

12. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 96 с.

13. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Том 11. – Вып. 1. Средний Урал и Приуралье. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 848 с.

14. Ресурсы поверхностных вод СССР. Урало-Эмбийский район. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – Том 12, вып. 2. – 512 с.

15. Сало Ю.А., Назарова Л.Е., Балаганский А.Ф. Расчет испаряемости и суммарного испарения с водосборов Северо-Запада России // Труды Карельского центра РАН. – 2016. – №9. – С. 95-101.

16. Справочник по климату СССР. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – Вып. 9. – 372 с.

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ПЕРИОДЫ ПОНИЖЕННОЙ/ПОВЫШЕННОЙ ВОДНОСТИ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ И ДОНА В XIX-XXI ВЕКАХ

А.Г. Георгиади
galex50@gmail.com

Институт географии РАН, г.Москва, Россия

На основе анализа многолетних рядов годового и сезонного стока Северной Двины у Усть-Пинеги и Дона у Раздорской, охватывающих периоды, начиная с 1870-1880-х годов, выявлены долговременные фазы их повышенных/пониженных значений (относительно нормы стока, рассчитанной для всего ряда наблюдений). Границы таких контрастных фаз определялись на основе нормированных разностно-интегральных кривых и критериев статистической однородности рядов. Продолжительность фаз варьирует от 10-15 лет до многих десятилетий. Выявленные контрастные фазы характеризуются статистически значимой разницей годового и сезонного стока. Она составляет от 16 до 65%.

Введение. Многолетние изменения годового и сезонного стока рек характеризуются периодами (фазами) его пониженных (ФНС) и повышенных (ФВС) значений (относительно среднего многолетнего значения, рассчитанного для всего периода наблюдений) разной продолжительности. Среди них удается выявить долговременные контрастные фазы продолжительностью 10-15 и более лет. Они наблюдаются на фоне соответствующих изменений климата. Антропогенные факторы значительно изменяют сток этих фаз [1-4].

В статье приведены результаты сравнения характеристик контрастных фаз двух крупных рек Русской равнины, характеризующихся значительными различиями природных условий и антропогенной нагрузки. Одна из них – Северная Двина – крупная арктическая, таежная река, другая – Дон – бассейн южного макросклона Русской равнины с очень интенсивной антропогенной нагрузкой. На обеих реках период наблюдений (с 1870—1980-х гг.) один из самых продолжительных в России.

Методы анализа рядов годового и сезонного стока

Подход к анализу долговременных фаз многолетних изменений годового и сезонного стока, обусловленых изменениями климата, основан на анализе рядов условно-естественного стока (с исключением из него изменений, вызванных антропогенным воздействием) основан на использовании разностно-интегральных кривых, критериев статистической однородности средних значений стока и оценке характеристик выявленных фаз контрастной водности.

Разностно-интегральные кривые представляют собой нарастающую сумму отклонений какой-либо характеристики от ее среднего многолетнего значения, рассчитанного для всего периода наблюдений. Зачастую отклонения нормируются на коэффициент вариации для сравнения временных изменений разнородных характеристик. Разностно-

интегральные кривые позволяют выявить долговременные периоды (фазы), в течение которых существенно чаще встречаются значения характеристики ниже или выше ее среднемноголетнего значения.

Границы гидрологических сезонов (половодье, меженные сезоны) были определены на основе гидрографов стока, построенных за весь период наблюдений. Использовались также сведения о среднемноголетних датах начала и окончания половодья и ледостава.

На многих реках (включая Дон) многолетние ряды их годового и сезонного стока неоднородны с точки зрения воздействия на него антропогенных факторов и состоят из двух частей. Первая часть ряда включает в себя многолетние данные, относящиеся к периоду до начала заметного воздействия антропогенных факторов. Вторая состоит из многолетнего ряда, ежегодный сток в котором изменен в разной степени в результате воздействия антропогенных факторов (главным образом, водохранилищ). Поэтому сток этого периода восстанавливался. Для этого были использованы регрессионные связи между стоком главной реки и стоком рек-индикаторов климатических условий (притоков и верхних частей главной реки), характеризующихся относительно слабыми антропогенными нарушениями водного режима [2]. Эта часть многолетних рядов стока объединялась с другой его частью, сток которой не был заметно нарушен антропогенным воздействием. Так компоновались общие ряды условно-естественного годового и сезонного стока.

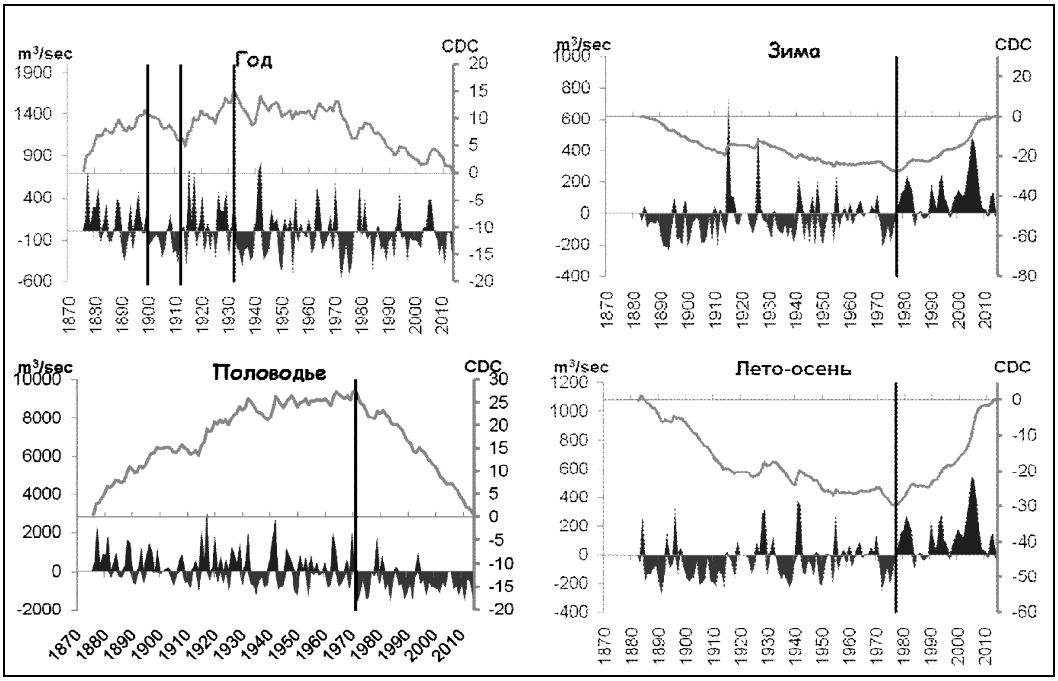
Временная граница смены долговременных фаз повышенных/пониженных значений стока, определялся на основе выявления минимальных и максимальных значений координат разностно-интегральных кривых в комбинации с критерием Стьюдента. Долговременным фазам повышенной водности соответствует однонаправленная многолетняя тенденция увеличения ординат разностно-интегральной кривой, а фазам пониженной водности – уменьшения ее ординат. На фоне таких длительных тенденций наблюдаются более короткопериодные изменения стока.

Долговременные фазы многолетних изменений условно-естественного годового и сезонного стока

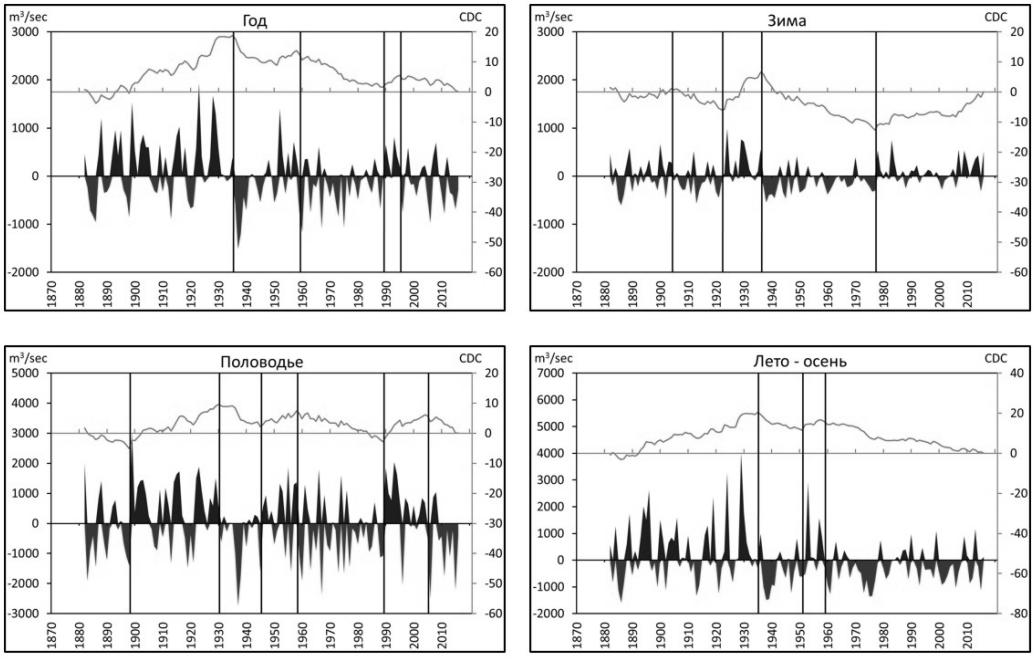
Характер долговременных фаз на Дону и Северной Двине существенно отличается (рис. 1а и 1б). Для Дона присущи существенно более продолжительные фазы пониженного (повышенного) стока, чем на Северной Двине. Так, долговременная фаза пониженного стока лета-осени и зимы началась с 1880-х - 1890-х гг. продолжалась более 90 лет (с относительно кратковременными перерывами в 1920 – 1930 гг.) вплоть до второй половины 1970-х гг. После этого наступила фаза их повышенной водности. Ее длительность составила более 40 лет. Для стока половодья Дона также характерны две продолжительные фазы. Только сначала (с 1870-х годов) наблюдалась фаза повышенного стока, за которой последовала (с 1972 г.) фаза его пониженных значений.

Сменявшие друг друга контрастные фазы годового стока до начала 1930-х годов были относительно короткими (14-24 года). С 1933 г. наступила длительная фаза пониженного стока, которая продолжается до последних лет.

На Северной Двине последовательность смены контрастных фаз годового стока, стока половодья и зимнего стока характеризуются сходными чертами. С начала инструментального периода наблюдалась фаза повышенного стока годового и летне-осеннего стока. Для стока половодья ей предшествовала относительно короткая фаза повышенного стока, а для зимнего стока фазы квазистабильного (когда средний сток был близок к среднемноголетнему значению, рассчитанному для всего периода наблюдений) и повышенного стока. За периодом повышенного стока в 1930-е годы последовал период пониженного стока. Для зимнего стока он был наиболее продолжительным. С 1977 г. сток зимнего периода характеризовался пониженными значениями. Для стока половодья и годового стока с 1930-х годов наблюдались менее продолжительные контрастные фазы, последовательно сменявшие одна другую.



а)



б)

положительные отклонения

отрицательные отклонения

РИК

Рис 1. Сток Дона у Раздорской (а) и Северной Двины у Усть-Пинеги (б) в отклонениях от среднего многолетнего значения и в координатах разностно-интегральной кривой (РИК). Вертикальные линии – границы фаз контрастной водности

Продолжительность фаз

Продолжительность контрастных фаз варьирует на Дону и Северной Двине для стока половодья соответственно в пределах 44-95 и 13-32 лет, летне-осеннего стока 47-94 и 14-49 лет, зимнего стока 37-93 и 14-41 года, а для годового стока 14-72 и 16-49 лет. На

Дону, как правило, длительность самых продолжительных фаз пониженной водности превышает и зачастую значительно продолжительность фаз повышенной водности, особенно для меженного стока. На Северной Двине для стока половодья, зимнего и летне-осеннего стока наибольшая продолжительность контрастных фаз практически не отличается между собой. И только ФВС годового стока длилась заметно дольше, чем ФНС.

Различия в стоке контрастных фаз

Разница среднемноголетнего условно-естественного стока между долговременными фазами его повышенных и пониженных значений (относительно значений характерных для фаз пониженного стока) на Дону и Северной Двине составляет соответственно для годового стока 18 и 20 %, стока половодья 65 и 16 %, зимнего стока 53 и 31 %, а летне-осеннего стока 52 и 49 %.

Заключение. На основе анализа многолетних рядов годового и сезонного стока Северной Двины у Усть-Пинеги и Дона у Раздорской, охватывающих периоды, начиная с 1870-1880-х годов, выявлены долговременные фазы их повышенных/пониженных значений (относительно нормы стока, рассчитанной для всего ряда наблюдений). Границы таких контрастных фаз определялись на основе нормированных разностно-интегральных кривых и критериев статистической однородности рядов.

Характер долговременных фаз на Дону и Северной Двине существенно отличается. Для Дона характерны существенно более продолжительные фазы пониженного стока, чем на Северной Двине.

Временная граница смены долговременных фаз повышенного и пониженного стока заметно варьирует для годового стока и стока гидрологических сезонов как на одной реке, так и от одной реки к другой. Их продолжительность также весьма различна и находится в широком диапазоне от 13 лет до многих десятилетий. Средний сток контрастных фаз отличается между собой на Дону и Северной Двине соответственно для годового стока 18 и 20 %, стока половодья 65 и 16 %, зимнего стока 53 и 31 %, а летне-осеннего стока 52 и 49 %.

Исследования были поддержаны РФФИ гранты 17-05-00948, 18-05-60240.

ЛИТЕРАТУРА

1. Георгиади А.Г., Кашутина Е.А. Долговременные изменения стока крупнейших сибирских рек // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. № 5. С. 70-81.

2. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 2. Бассейны рек Волги и Дона. М.: Макс Пресс, 2014. 214 с. ISBN: 978-5-317-04737-5

3. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кислов А.В., Анисимов О.А., Барабанова Е.А., Кашутина Е.А., Бородин О.О. Сценарная оценка вероятных изменений речного стока в бассейнах крупнейших рек России: Часть 1. Бассейн реки Лены. Институт географии РАН. М.: МАКС Пресс, 2011. 179 с. ISBN: 978-5-317-03822-9

4. Georgiadi A.G., Kashutina E.A., Milyukova I.P. Long-term Changes of Water Flow, Water Temperature and Heat Flux of the Largest Siberian Rivers // Polarforschung. 2018. 87 (2). 167-176.

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОГО СТОКА РЕК БАССЕЙНА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА ЗА 1967–1975 ГГ. И 2008–2016 ГГ. В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

В.Ю. Григорьев, Д.В. Магрицкий, Н.Л. Фролова
vadim308g@mail.ru

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Институт водных проблем РАН, г.Москва, Россия

Сток рек бассейна Северного Ледовитого океана (СЛО) в последние десятилетия претерпел существенные изменения, прежде всего в результате изменения климата и строительства водохранилищ [1,2, 3]. При этом детальная региональная оценка изменения режима речного стока в бассейне СЛО осложнена пространственной неоднородностью в распределении постов и непродолжительностью рядов наблюдений. Нами была собрана информация по среднемесячным расходам воды для 2898 постов. Однако, за 1936–2016 гг. количество постов, по которым единовременно имелась информация о расходах воды, менялось от 1759 в июле 1981 г. до 69 в ноябре 2007 г. (рис. 1).

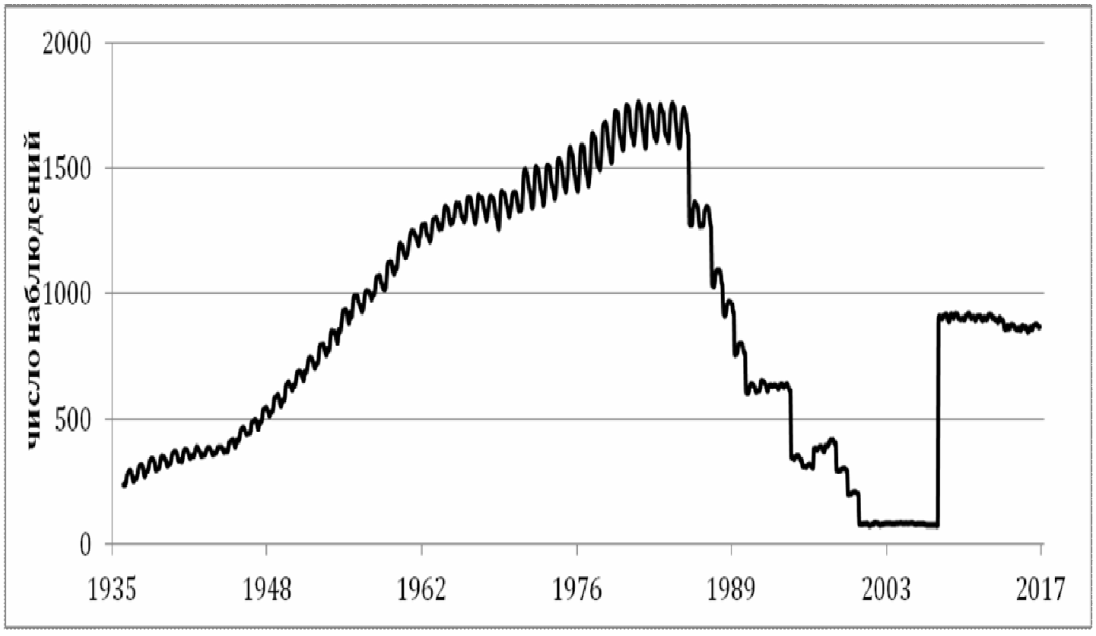


Рис. 1. Изменение количества постов со среднемесячными расходами воды

По этой причине для анализа изменения сезонного стока под влиянием климата были выбраны два периода: 1967–1975 гг. и 2008–2016 гг. [2], относящиеся к двум условно стационарным периодам – до и после 1976 г. Данные по среднемесячным расходам воды за эти два периода с количеством пропусков в 12 и менее месяцев имелись по 507 постам, 475 из которых на незарегулированных участках рек (рис. 2). Медианный размер водосбора 4580 км^2, средний – 60300 км^2.

При анализе изменения стока рассматривались такие параметры как минимальный месячный сток (Q_{min}), максимальный месячный сток (Q_{max}) и средняя абсолютная разность месячных величин стока за год (MD), отражающая степень его неравномерности, и рассчитываемая как

$$MD = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\left|R_i - R_j\right|}{n^2},$$

где Q_i, Q_j – расход за i и j месяц, n – количество месяцев в году.

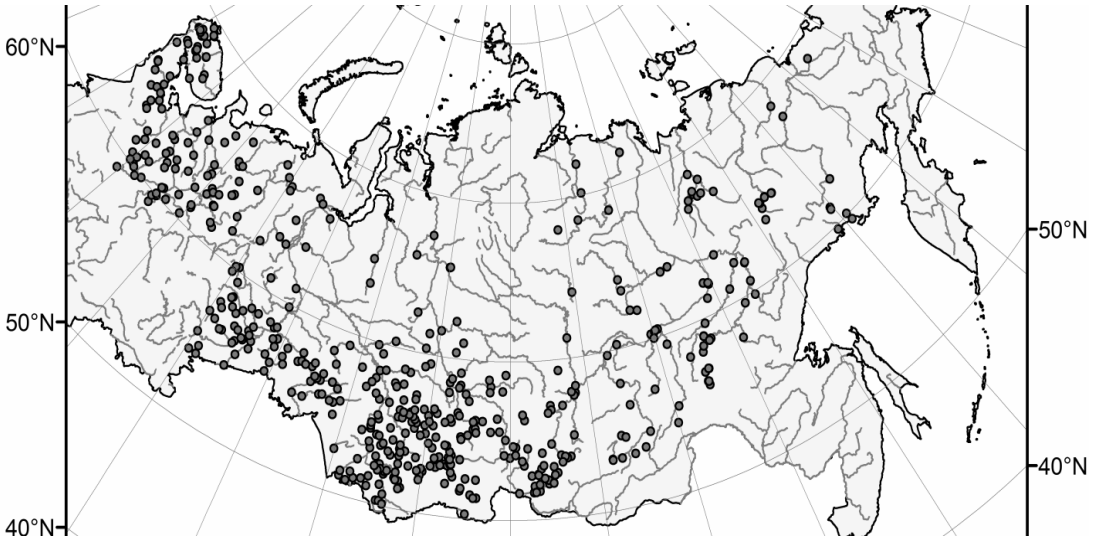


Рис. 2. Расположение гидрометрических постов с доступными среднемесячными расходами за 1967–1975 гг. и 2008–2016 гг.

Изменение минимального стока. Существенную сложность при анализе изменения минимального стока на реках бассейна СЛО представляет то, что экстремально низкие его значения, вплоть до 0 при перемерзании, встречаются не только на малых и средних, но и на крупных реках. Так для р. Оленек - 7.5 км ниже устья р. Буур, при площади водосбора в 198 000 км^2 и среднегодовом расходе в 1130 м^3/с за 1967–1975 гг. средний минимальный месячный расход составил 2.06 м^3/с, а минимальный месячный 0.16 м^3/с. В результате столь низких абсолютных величин минимального стока в бассейне СЛО, величина его относительного изменения может достигать тысяч процентов.

За оба периода явление отсутствия стока за каждый год, в течение по крайней мере одного календарного месяца, наблюдалось на 42 постах. Наиболее крупной, ежегодно перемерзающей рекой является р. Адыча в створе г.п. Юрдюк-Кумах с площадью водосбора в 89600 км^2. Для трех постов явление перемерзания наблюдалось за каждый год первого периода, но не наблюдалось за второй (реки Яна, Олекма и Чульман). Для пяти постов картина обратная – явление перемерзания случалось ежегодно за второй период, но не за первый. В тоже время для 88 постов (сток 76 из которых не зарегулирован) $Q_{\min}$ увеличился в два и более раза. Количество постов, минимальный сток на которых уменьшился в два и более раз, составляет 8. Среди всех постов, минимальный сток сильней всего увеличился на р. Колыме в створе пос. Усть-Среднекан (F=99400 км^2) – более чем в 40 раз, с 5.4 м^3/с до 222 м^3/с. Для незарегулированных рек сток сильней всего увеличился на р. Каргат - с. Здвинск (F=6440 км^2) – в 32 раза, с 0.005 м^3/с до 0.152 м^3/с. Из крупных незарегулированных рек сильнее всего сток вырос для р. Оленек - с.Оленек (F=89200 км^2) – в 23.8 раза, с 0.043 м^3/с до 1.07 м^3/с. Отметим что ежегодно перемерзающие, в течение по крайней мере одного календарного месяца, реки характерны лишь для водосборов с суммой отрицательных температур более 2800°С (сумма отрицательных температур рассчитана по данным реанализа ERA-5), и чем больше река, тем большая сумма отрицательных температур требуется (рис. 3) для ее перемерзания. При этом средние по площади водосбора неперемерзающие реки могут иметь место практически при любой сумме отрицательных температур. Так, не перемерзает р. Эльги, при площади водосбора в рассматриваемом створе в 17600 км^2 и сумме отрицательных температур в 6320°С. Однако для рек с площадью водосбора менее 1000 км^2, не считая отдельных ручьев, ежегодное перемерзание происходит для всех без исключения постов при сумме отрицательных температур более 2850°С.

Вероятно, что роль суммы отрицательных температур в 2800°С связана с тем, что данная изотерма ограничивает область распространения вечной мерзлоты, не считая реликтовой и островной – с площадью покрытия менее 10%. Возможно, что отсутствие

снижения, и даже небольшой рост, числа перемерзающих рек, несмотря на рост температуры воздуха, связанно именно с приурочиванием этого явления именно к области распространения вечной мерзлоты, деградация которой происходит значительно медленнее роста температуры воздуха. Перемерзание в течение по крайней мере одного месяца за 1967–1975 гг. имело место для 58 постов, а для 2008–2016 гг. уже для 68. Эпизодическое перемерзание для малых рек имеет место уже при сумме отрицательных температур более чем 1750 °С.

Рис. 3. Распределение створов по площади водосбора и сумме отрицательных температур за холодный период. Ромбы – посты с ежегодным перемерзанием в течение по крайней мере одного календарного месяца. Квадраты – прочие посты

Для того чтобы оценить, насколько минимальный сток чувствителен к изменению суммы отрицательных температур, была построена зависимость отношения изменения модуля стока (М, л/(с·км^2)) к изменению суммы отрицательных температур от суммы отрицательных температур за 2008–2016 гг. к 1967–1975 гг. (рис. 4).

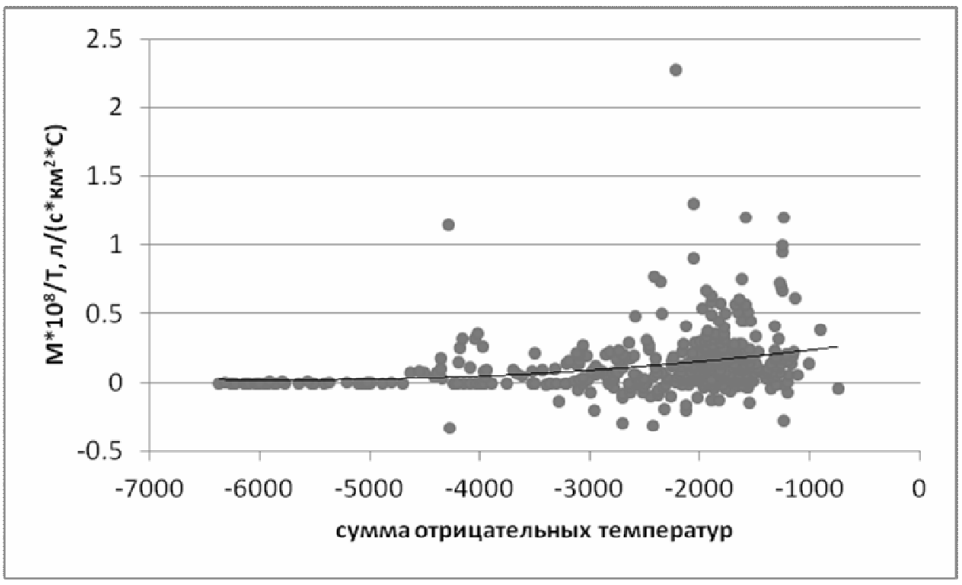


*Рис. 4. Зависимость отношения изменения модуля стока к изменению суммы отрицательных температур от суммы отрицательных температур за 2008–2016 гг. к 1967–1975 гг., 10^{-8}*л/(с·км^2·°С)*

Как видно из рис. 4 для водосборов с суммой отрицательных температур менее 4000°С рост температуры воздуха практически не приводит к росту минимального стока (несмотря на уменьшение суммы отрицательных температур на 200–400 °С – изменение сумм отрицательных температур рассчитывалось по данным метеостанций), а наиболее интенсивный рост модуля стока наблюдается при суммах отрицательных температур менее 3000°С. Подобные границы могут быть связаны как с совпадением данной изотермы с границей распространения вечной мерзлоты, так и с тем, что для водосборов с суммой отрицательных температур меньше 3000°С, при формировании минимального месячного стока начинают играть роль не только подземные, но и талые воды.

Изменение максимального месячного стока. Q_{max} увеличился более чем в два раза лишь для 4 постов, с площадью водосборов от 23 км^2 до 1600 км^2, три из которых относятся к верховьям Колымы и Индигирки, и один – к бассейну Верхней Оби. Qmax сократился более чем на 50% (на 62%) лишь для р. Заза (приток Витима). Из крупных зарегулированных рек Q_{max} сильней всего сократился для р. Енисей - пос. Никитино – более чем на 45%. Среди крупных незарегулированных рек – для р. Северная Сосьва – пгт Игрим (F=87800 км^2) – на 39.8%. В целом снижение максимальных расходов было наиболее заметно в Западной и Центральной Сибири – в бассейнах рек Обь, Енисей, Анабар и Оленек. Для Севера ЕЧР также, в среднем, имеет место снижение максимальных расходов, хотя для этого региона рост максимальных расходов имеет место уже для почти 30% постов. На реках востока и северо-востока РФ (Лена, Колыма, Индигирка, Яна, Алазея) максимальные расходы воды практически повсеместно увеличились, рост даже на средних реках достигает 30–70%.

Изменение неравномерности сезонного стока. Неравномерность сезонного стока (*MD*) выросла более чем в 2 раза для 4 постов, на трех из которых также произошел рост максимального стока более чем в два раза. Неравномерность стока уменьшилась более чем два раза также для 4 постов, два из которых зарегулированы. Для севера ЕЧР и южный частей бассейнов Оби и Енисея направленного изменения MD не прослеживается – имеют место как отрицательные, так и положительные аномалии вне зависимости от площади водосбора. Для северных частей бассейнов Оби и Енисея, а также для бассейнов рек Анабар и Оленек, характерно снижение *MD* – в среднем на 6%. Для бассейнов рек северо-востока РФ характерен рост *MD* на 20–30%.

Выводы. Сток рек бассейна Северного Ледовитого океана за 2008–2016 гг. по сравнению с 1967–1975 гг. в целом отличается большими минимальными расходами воды и меньшими минимальными, а также большей равномерностью внутригодового распределения стока. Вместе с тем, несмотря на рост температуры воздуха, количество перемерзающих рек увеличилось, а минимальный сток рек зоны вечной мерзлоты в абсолютном выражении практически не увеличился. Также рост температуры воздуха не привел к снижению максимального стока рек севера бассейна САО. Для рек северо-востока напротив, произошел рост максимальных месячных расходов на 30–70%.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-05-60021 Арктика)

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабанова Е.А. Водохранилища водосбора арктических морей России. // Водные ресурсы, 2019. – Т. 46, № 2. – С. 123–131.

2. Георгиевский В.Ю., Георгиевский М.В., Голованов О.Ф., Шалыгин А.Л. Глава 4.1. Водные системы суши // Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. – С. 350–361.

3. Магрицкий Д.В. Антропогенные воздействия на сток рек, впадающих в моря Российской Арктики // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35, № 1. – С. 3–16.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА МНОГОЛЕТНИЙ ВОДНЫЙ БАЛАНС БАССЕЙНА БАЙКАЛА ЗА 1936–2016 ГГ.

В.Ю. Григорьев, С.А. Сазонов, Т.Д. Миллионщикова
vadim308g@mail.ru

Институт водных проблем РАН, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия

Введение. Режим стока рек бассейна Байкала претерпел существенные изменения под влиянием изменения климата, наиболее активная фаза которого началась со второй половины 1970-ых гг. Актуальность изучения изменения величины речного стока в оз. Байкал связана с периодом низкого стока, начавшемся в 1996 г., а также с дальнейшем прогнозируемым уменьшением стока р. Селенги под воздействием изменения климата и строительства водохранилищ на ее притоках. Для стока р. Селенги для периодов до и после 1970-ых гг. многие авторы фиксируют заметное уменьшение годовых расходов и их дисперсии, главным образом за счет сокращения летнего стока, а также сокращение расходов весеннего половодья [5, 6]. Для Верхней Ангары напротив, характерен рост расходов весеннего половодья при некотором сокращении расходов дождевых паводков, что выразилось в росте годового стока. Для р. Баргузин характерна относительная устойчивость величины годового стока [5].

Большинство работ, посвященных изменению притока в оз. Байкал, связывают его динамику с изменением годовых величин осадков и потенциального испарения [2, 6, 7]. По всей видимости существенного влияния хозяйственная деятельность на водосборе озера на величину суммарного годового притока не оказывает [1].Величина годовых осадков является основным фактором, определяющим изменчивость годового стока крупнейших рек бассейна Байкала. Коэффициенты корреляции между величинами годовых осадков и слоя речного стока для р. Селенги составляет 0.75, р. Баргузин 0.84 и р. Верхняя Ангара 0.46 [4, 6]. Вместе с тем имеются свидетельства влияния внутригодового распределения осадков и состояния вечной мерзлоты на величину годового речного стока. В частности, при более неравномерном распределении осадков внутри года, ввиду большего количества дней с осадками высокой интенсивности, коэффициент стока больше, чем при равномерном распределении. Более раннее протаивание почвы и снижение глубины сезонно-талого слоя (СТС) способствуют росту транспирации.

Целью данной работы является анализ изменения слоя годового стока (R) крупнейших притоков Байкала (Селенга, Верхняя Ангара, Баргузин, Турка, Хара-Мурин, Снежная, Утулик и Большая речка) под влиянием изменения величин осадков (P), потенциального испарения (PET) и прочих климатических факторов за три периода – 1936–1975 гг. (базовый), 1976–1995 гг. и 1996–2016 гг.

Материалы. В статье использовались среднемесячные расходы воды по замыкающим створам рек Селенга, Верхняя Ангара, Баргузин, Турка, Хара-Мурин, Снежная, Утулик и Большая Речка за 1936–2016 гг. (табл. 1). Для анализа годовых величина осадков и потенциального испарения использовался массив данных CRU TS 4.01 (0.5°·0.5°, среднемесячные). Этот массив получен по данным наблюдений на метеостанциях с вводом ряда поправок для осадков. Величина потенциального испарения в этом массиве рассчитывается по величинам средней, минимальной и максимальной суточной температуры, величине влажности воздуха и облачности. Для всех рассматриваемых речных бассейнов помимо бассейна Селенги, величина среднемноголетних осадков была откорректирована с учетом рельефа. Изменение средней интенсивности жидких осадков и глубины СТС оценивались по среднесуточным данным по температуре и осадкам по 25 метеостанциям.

Методы. Для того чтобы разделить влияние величины годовых осадков и потенциального испарения на речной сток от прочих факторов, мы рассмотрели ряд эмпирических зависимостей, связывающих величины P, PET и R, и не учитывающих особенности

их внутригодового распределения. В качестве таких зависимостей использовалась формула Будыко (1) и некоторые ее модификации (2, 3), которые, как правило, используются для разделения вклада изменения климата и хозяйственной деятельности на речной сток. Также использовалась уравнение линейной регрессии между R и P:

$$E = \sqrt{P * \left(1 - \exp\left(\frac{-PET}{P}\right)\right) * PET * th\frac{P}{PET}}, \quad (1)$$

$$E/P = 1 + PET/P - \left[1 + \left(PET/P\right)^{w}\right]^{1/w}, \quad (2)$$

$$E/P = \frac{1 + w\left(PET/P\right)}{1 + w\left(PET/P\right) + \left(PET/P\right)^{-1}}, \quad (3)$$

$$E = bP + c, \quad (4)$$

где w – параметры, различные для (2) и (3), b и c – коэффициенты в уравнении линейной регрессии (4). Для того чтобы разделить влияние изменения P и PET на изменение R от прочих факторов выполнялось следующие. По данным за первый период (1936–1975 гг.) для 8 рассматриваемых водосборов оценивались параметры зависимостей 1–4. Эти параметры зависят как от физико-географических особенностей водосборов (рельеф, состав почвогрунтов, растительность и др.), изменение которых за 1936–2016 гг. мы принимаем за незначительное, так и от внутригодового распределения P и PET. Таким образом, отклонение рассчитанных за второй (1976–1995 гг.) и третий (1996–2016 гг.) периоды величин стока по зависимостям 1–4, с параметрами оцененными за первый период, от измеренных можно трактовать как влияние изменения во внутригодовом распределении величин P и PET.

Глубина СТС принималось пропорциональной корню из суммы положительных температур за теплый период (DDT).

Выбор формулы для расчета величины изменения речного стока. Выбор формул (1–4) для расчета величины изменения R на основе сравнения с данными наблюдений невозможен, т.к. изменение реальных величин R происходит не только в результате изменения годовых величин P и PET. Для того чтобы выбрать формулу, которая наиболее точно описывает изменение R при изменении нормы P и PET, мы воспользовались результатами оценки чувствительности нормы годового стока р. Селенгик изменению норм климатических параметров с помощью региональной гидрологической модели ECOMAG методом delta-change [3]. Использовались расчеты изменения нормы годового стока р. Селенги за 1986–2013 гг. при изменении нормы осадков (ΔP) от -10% до +10% и неизменной норме температуры воздуха. Результаты этих расчетов сравнивались по отношению к величине R за 1986-2013 гг. при исходных метеорологических данных ΔP=0. Результаты расчета по формулам 1–4 сравнивались с этими величинами. Абсолютная ошибка рассчитывалась как:

$$Err = R_{an}^{calc} - R_{an}^{\mathrm{mod}}, \quad (5)$$

а относительная:

$$Err,\% = 100 * \frac{R_{an}^{calc} - R_{an}^{\mathrm{mod}}}{R_{an}^{calc} - R_{0}^{calc}}, \quad (6)$$

где индекс *calc* означает результат расчета по формулам 1–4, *mod* – рассчитанный по модели ECOMAG, *an*– величина аномалии осадков в процентах. Результаты сравнения формул представлены в табл. 1.

Как видно из таблицы 1 все эмпирические формулы занижают величину ΔR, как при отрицательных, так и при положительных аномалиях осадков (при ΔP<0 Err>0, при ΔP>0 Err<0). Ошибка при положительных аномалиях больше чем при отрицательных для всех формул, помимо формулы Будыко (1). Наихудшие результаты показало уравнение линейной регрессии, а наилучшие – формула (3), которая в дальнейшем и использовалась. Отметим, что формула (3) показала наилучшие результаты и тогда, когда рассматривалась зависимость нормы стока не только от нормы осадков, но и потенциального испарения, рассчитываемого по аномалии суточной температуры.

Таблица 1. Оценка точности расчета изменения нормы речного стока по формулам 1–4

ΔP,%	*Err*, мм (5)				*Err*,% (6)			
	1	2	3	4	1	2	3	4
-10	1.91	0.88	0.32	2.3	-14	-6.47	-2.35	-16.8
-5	0.97	0.49	0.2	1.39	-13.8	-6.88	-2.78	-19.6
5	-0.96	-0.52	-0.22	-1.81	-12.8	-6.94	-2.92	-24.1
10	-1.98	-1.14	-0.53	-4.09	-12.8	-7.38	-3.43	-26.5

Изменение водного баланса. Величины *R*, *P* и *PET* за первый период и их аномалии за второй и третий периоды относительно первого представлены в таблице 2.

Таблица 2. Изменение величин речного стока *R*, осадков *P* и потенциального испарения *PET* в бассейнах притоков оз. Байкал за 1976–1995 гг. (индекс 2) и 1996–2016 гг. (индекс 3), по сравнению с 1936–1975 гг., в %

Река	*F,* тыс. км^2	*R*, мм	ΔR_2	ΔR_3	*P*	ΔP_2	ΔP_3	*PET*	ΔPET_2	ΔPET_3
Селенга	440	68	-0.2	-26.0	375	-2.0	-7.2	640	2.9	5.8
В. Ангара	20.6	400	0.6	7.2	607	-1.3	3.3	454	4.3	4.2
Баргузин	19.8	199	-0.6	-3.0	464	-1.0	-1.5	516	4.2	4.9
Турка	5.05	296	14.7	14.0	556	-5.7	-7.1	566	3.4	4.8
Хара-Мурин	1.15	713	-9.1	-15.7	943	-6.6	-4.1	538	2.9	4.4
Снежная	3	517	-3.8	-10.7	755	-6.5	-3.9	551	3.3	5.8
Утулик	0.96	553	-3.5	0.6	750	-6.9	-4.0	538	3.0	4.5
Большая речка	0.57	726	-10.5	-11.1	573	-10.3	-6.6	562	3.5	6.0

Отметим, что величина слоя осадков для водосбора р. Большой речки занижена, т.к. составляет 79% от слоя речного стока. Однако, учитывая достаточно высокий коэффициент корреляции между величинами осадков и речного стока – 0.65, вероятно, что сам временной ход осадков архив CRU воспроизводит достаточно достоверно.

Для всех рассматриваемых речных бассейнов, помимо бассейна В. Ангары, второй и третий периоды отличаются отрицательными аномалиями осадков, при этом величина осадков за третий период была меньше чем за второй в бассейнах Селенги, Баргузина и Турки. В рамках первого периода величина осадков практически не изменялась, хотя в среднем наблюдалось снижение от -0.026%/год в бассейне Селенги до -0.35%/год в бассейне Большой речки. В рамках второго периода слой осадков в среднем рос более чем на 1% в год. Однако этот рост связан с экстремально низкими величинами осадков за 1976–1981 гг., когда они были минимальными на водосборах всех рек помимо В. Ангары за весь период наблюдений. После 1995 г. величина осадков практически не менялась, испытывая некоторое снижение лишь в бассейнах В. Ангары (-0.77%/год) и Баргузина (-0.96%/год).

По сравнению с первым периодом величина PET выросла на всех 8 водосборах. Лишь в бассейне В. Ангары аномалия *PET* за второй период больше аномалии за третий период. В течение первого периода наблюдался устойчивый рост величины *PET*, от 0.15%/год в бассейне р. Турка до 0.2%/год в бассейне р. Хара-Мурин. В течение второго периода величина PET снижалась для всех водосборов помимо В. Ангары, с максимумом в бассейне Селенги (-0.22%/год). В третий период рост *PET* возобновился, причем интенсивней всего для северных притоков Байкала (В. Ангара, Баргузин, Турка, Большая речка), где он составил 0.2–0.3%/год.

Второй и третий периоды в целом отличаются пониженными величинами *R* по сравнению с первым. Направленности изменений величин *R* и *P* за каждый из периодов схожы. Отметим, что с 2010 г. пониженные величины *R* характерны не только для р. Селенги, но и других крупнейших притоков Байкала, что привело к росту доли стока р. Селенги в суммарном сток рассматриваемых рек с 53.6% в 1996–2009 гг. до 61% за 2010–2016 гг.

Оценка факторов сезонного распределения P и PET на изменение R. Сравнение рассчитанных величин речного стока по сравнению с измеренными за второй период показало, что для всех семи водосборов измеренные величины стока превышают рассчитанные от 2.9% в бассейне Верхней Ангары до 20.7% в бассейне Турки. С учетом отрицательной аномалии осадков за второй период для всех семи водосборов (табл. 2) и того что формула (3) занижает отклонения стока от среднего (табл. 1) можно ожидать, что рассчитанные по формуле (3) величины стока завышены, по сравнению с теми, что получились бы при их моделировании. Для периода после 1995 г. рассчитанные величины стока оказываются больше измеренных в бассейнах рек Селенга и южного берега Байкала – Снежная и Хара-Мурин (табл. 2).

Таблица 3. Разница между рассчитанными и измеренными значениями слоя стока за второй и третий периоды

Река	Рассчитанный слой стока, мм		Рассчитанный-измеренный, мм		Рассчитанный-измеренный,%	
	1976-1995	1996-2016	1976-1995	1996-2016	1976-1995	1996-2016
Селенга	63.6	53.8	-3.9	3.7	-5.8	7.4
Верхняя Ангара	391	413	-11.5	-16.1	-2.9	-3.8
Баргузин	191	188	-7.6	-5.3	-3.9	-2.7
Турка	269	261	-70.2	-75.6	-20.7	-22.4
Хара-Мурин	224	234	-23.5	4.4	-9.5	1.9
Снежная	478	491	-19.6	29.6	-3.9	6.4
Утулик	492	511	-42.1	-45.2	-7.9	-8.1

Таким образом за второй период (1976–1995 гг.) условия формирования стока (не считая годовых величин *P* и *PET*) для рек бассейна Байкала были более благоприятными чем за первый период, особенно в бассейне р. Турки. Для третьего периода (1996-2013 гг.) условия были более благоприятными лишь для рек северной части бассейна Байкала (В. Ангара, Турка, Баргузин) и р. Утулик.

Анализ изменения интенсивности жидких осадков и глубины СТС. По характеру внутригодового распределения осадков второй период практически не отличается от первого – снижение средней интенсивности выпадения жидких осадков, количество дней с осадками и средней продолжительности серии дней с осадками в среднем для российской части бассейна не превышает 2%. Третий период существенней отличается от первого чем второй – средняя интенсивность осадков меньше на 2%, количества дней с осадками на 6.8% и средняя продолжительность серий дней с осадками на 5.2%. Схожая ситуация наблюдается и для величины DDT на конец теплого сезона. Практически отсутствие изменений за второй период (+0.06%) и значительный рост за третий – +4.4%.

Выводы. В среднем водный баланс рек бассейна Байкала за 1936–2016 гг. характеризуется ростом аридизации–уменьшением величин осадков и речного стока, и ростом величины потенциального испарения. Исключение составляют северные притоки Байкала – реки Турка и Верхняя Ангара. Наиболее ярко тенденция к аридизации проявляется для бассейна р. Селенги. При этом период после 2009 г. характеризуется отрицательными аномалиями слоя стока на всех притоках Байкала. Для бассейна оз. Байкал период второй (1976–1995 гг.) отличается более благоприятными условиями для формирования речного стока по сравнению с третьим периодом (1996-2016 гг.), не только в силу в среднем больших величин осадков и меньших значений потенциального испарения, но и прочих факторов, в числе которых рассмотрено уменьшение средней интенсивности осадков, количества дней с осадками, средней продолжительности серии дней с осадками и рост величины сезонно-талого слоя.

Анализ многолетней изменчивости водного баланса оз. Байкала выполнен при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-29-05027 офи_м). Анализ влияния факторов сезонного распределения на годовой сток выполнен в рамках темы № 0147-2019-0001 (№ государственной регистрации АААА-А18-

118022090056-0) Государственного задания ИВП РАН. Оценка чувствительности изменения стока р. Селенги к изменению климатических параметров выполнена в рамках темы № 0147-2019-0003 (№ государственной регистрации АААА-А18-118022090105-5) Государственного задания ИВП РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гармаев Е. Ж., Христофоров А. В. Водные ресурсы рек бассейна озера Байкал: основы их использования и охраны. – Новосибирск, Академическое издательство «ГЕО», 2010. – 227 с.

2. Гидрологический режим рек бассейна р. Селенги и методы его расчета. – Л., Гидрометеоиздат, 1977. – 233 с.

3. Миллионщикова Т.Д. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. геогр. наук: 25.00.27 / Т. Д. Миллионщикова. – М., 2019. – 23 с.

4. Сизова Л. Н., Шимараев М. Н. Циркуляция атмосферы и современные тенденции изменения речного притока озера Байкал // Природоохранное сотрудничество в трансграничных экологических регионах: Россия-Китай-Монголия. Вып.3. Часть 2. Материалы конференции «Социально-экономические и экологические проблемы и перспективы международного сотрудничества России – Китая - Монголии». – Чита, Поиск. – С. 135-139.

5. Синюкович В. Н., Чернышев М.С. О трансформации расчетных характеристик годового и максимального стока главных притоков оз. Байкал // Водные ресурсы, 2017. – Т. 44, № 3. – С. 256–263.

6. Фролова Н. Л., Белякова П. А., Григорьев В. Ю., Сазонов А. А., Зотов Л. В. Многолетние колебания стока рек в бассейне Селенги // Водные ресурсы. – 2017. –Т. 44, № 3. – С. 1–13.

7. Törnqvist R., Jarsjö J., Pietron J., Bring A., Rogberg P., Asokan S.M., Destouni G. Evolution of the hydro-climate system in the Lake Baikal basin // J. Hydrol. – 2014. – Vol. 519. – P. 1953-1962.

КОНТРАСТЫ ПОЛОВОДЬЯ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕГО ДОНА

В.А. Дмитриева, А.И. Сушков
verba47@list.ru

Воронежский государственный университет, Воронежский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Центрально-Черноземное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», г.Воронеж, Россия

Половодье – самая яркая, ежегодно повторяющаяся фаза водного режима рек Донского бассейна. Основным источником половодья являются аккумулированные за холодное полугодие твердые атмосферные осадки. Высота снежного покрова и запасы воды в снеге к началу весеннего разлива рек – характеристики, предваряющие объем весеннего половодья. К важным причинам, определяющим изменчивость водности весеннего половодья, его прохождение, генезис максимумов половодья относятся осеннее состояние почвы накануне залегания снежного покрова, глубина промерзания к моменту снеготаяния весной и, наконец, метеорологические и погодные условия в начале и в ходе снеготаяния весной. Особенности подстилающей поверхности, как например, расчлененность рельефа балками и оврагами, наличие блюдцеобразных понижений (западин) на поверхности речного водосбора, защищенность сельскохозяйственных полей лесными полосами, экспозиция склонов и другие меняют пространственное распределение снегозапасов, продолжительность залегания снежного покрова, процесс схода снега. Все они в большей или меньшей степени отража-

ются на интенсивности и длительности снеготаяния, инфильтрации талой воды, образовании склонового стока, а, следовательно, в целом на процессе половодья.

Регистрируемое изменение климата, и в первую очередь, глобальное повышение температуры воздуха, придают своеобразие гидрологическим процессам. Региональная трансляция изменения планетарной температуры приземной атмосферы, начавшегося в 1970-х годах прошлого столетия и ускорившегося в настоящее время [7], активизирует гидрологические события. Динамика и трансформация ведущих природных факторов определяют контрасты весеннего половодья в современный климатический период и создают предпосылки для позитивных и негативных гидрологических, водохозяйственных и экологических и иных последствий.

Контрасты весеннего половодья проявляют себя в объемах, максимумах, датах, продолжительности, образовании паводочной волны на главной реке и ее притоках. Резко отклоняющимися от среднестатистических показателей были половодья на реках Битюг, Тихая Сосна, Хопер, Россошь, Богучарка, Кантемировка, Дон, Воронеж и других водотоках Верхнего Дона.

Формирование снегового половодья усложнено своей многофакторностью. Даже в одном речном бассейне, располагающемся в одной природной зоне, половодье протекает по-разному на больших, средних и малых реках. Бассейн Дона в этом не является исключением. Особенно неоднозначен генезис максимумов, на что указано в [4]. Различия в ходе половодья тем больше, чем больше речной бассейн и его протяженность с севера на юг [3]. Будущий сценарий половодья и образования весенних максимумов закладывается еще осенью, с момента снижения температуры воздуха до отрицательных значений и дальнейшего охлаждения воздуха и почвы. Интенсивность промерзания почвы и нарастание глубины промерзания, образование постоянного снежного покрова, его мощность и влагозапасы к моменту снеготаяния на водосборе, образование ледостава на реках, разрушение ледяного слоя в сочетании с метеорологическими и погодными условиями периода схода снега и льда определяют весь ход половодья.

Весьма показательные и противоречивые половодья сформировались на р. Битюг – г. Бобров в 1953, 1914 и 2016 годах (рис. 1).

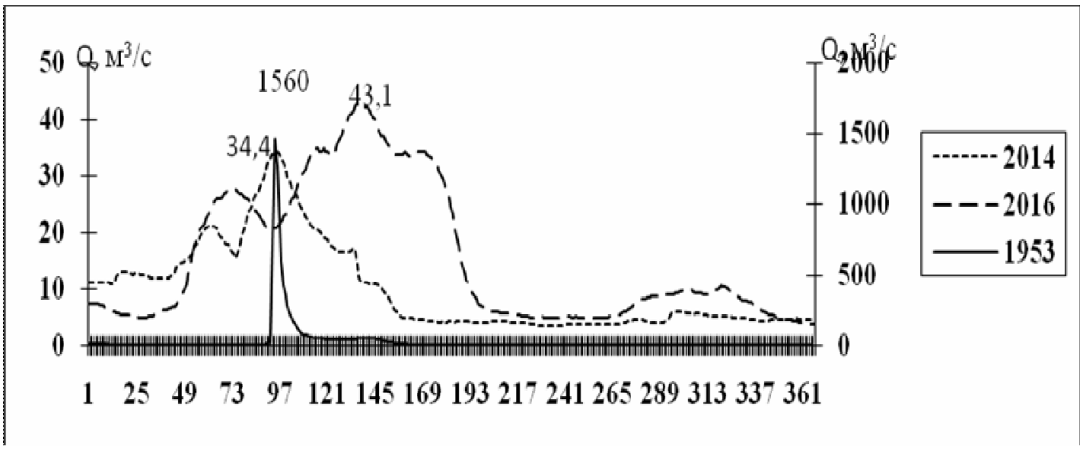


Рис. 1. Ежедневные расходы воды за характерные годы р. Битюг – г. Бобров (цифры на графиках означают максимальные срочные расходы воды)

Снеговое половодье 1953 года оказалось самым высоким по величине максимума за весь период мониторинга, исчисляемый с 1933 года. Максимальный срочный расход воды величиной 1530 м^3/с сформировался в русле реки всего за 6 суток от начала подъема половодья. Это – исторический максимум и по величие, и по скоротечности его образования. За время подъема половодья расход воды увеличивался на 252 м^3/с в сутки. Заметим, что средний многолетний расход воды в данном пункте наблюдений составляет 17,8 м^3/с. Спад стока половодья длился 25 суток с интенсивностью 59,1 м^3/с. Таким образом, все половодье по продолжительности было коротким и длилось всего 31 сутки.

За время половодья сформировался тип гидрографа, абсолютно не характерный для данной реки, и для рек Верхнего Дона, и большинства равнинных рек европейской части страны. Гидрографы имеют в подавляющем числе случаев одну вершину, но при возврате холодов во время снеготаяния на ветвях подъема и спада расходов воды могут образовываться пики небольшой величины, как например, в 2014 году (см. рис. 1). Гидрограф 2014 года в наибольшей степени отражает типовое распределение расходов воды за многолетие.

Аномалией является половодье и межень 2016 г. на реках Воронежской области. После подъема половодья и достижения пика половодья от таяния снега, на спаде половодья стали выпадать дождевые осадки. Сильные дожди, длившиеся регулярно в течение 1,5 месяцев, превысили многолетнюю норму в 4,5 раза. Они сформировали мощный паводок на реке и стали причиной изменения генезиса половодья (см. рис. 1). В итоге половодье получилось смешанного снегово-дождевого происхождения. Образовались два пика половодья: один от снегового источника, второй от дождевого источника, причем второй превзошел по величине первый в 1,6 раза. Завершилось половодье только в первой декаде июля, захватив более 2 месяцев летней межени и повысив ее водность. Начало летней межени в рассматриваемом году пришлось на конец первой декады июля.

Особый режим половодья создается на малых реках при особых метеорологических условиях в период весеннего снеготаяния. Примером могут служить малые реки Кантемировка и Богучарка правобережного Дона на юге рассматриваемой территории. На водотоках в 2003 году, в результате резкого снеготаяния на водосборах образовались скоротечные половодья, повлекшие за собой разрушение дорожного полотна и выведение из строя мостовых и водопропускных устройств. Отсутствие гидрологических стационаров не позволяет воспроизвести всю картину половодья, но считать половодье нетипичным есть основания.

Атипичный случай формирования половодья в зависимости от метеорологических условий данного периода можно выявить по гидрографу реки Россошь - пгт Подгоренский за 2010 год [5]. Этот год вошел в хронологическую летопись как год с исключительно засушливым летом и аномальной жарой, побившей рекорды температуры воздуха за предшествующие многолетия. По гидрологическим параметрам водности год не стал выдающимся, и низкая водность все-таки была выше засушливых 1972 и 1975 годов [5]. Но сформировавшийся максимум весеннего половодья в результате оттепели стал историческим в ряду наблюдений (рис. 2).

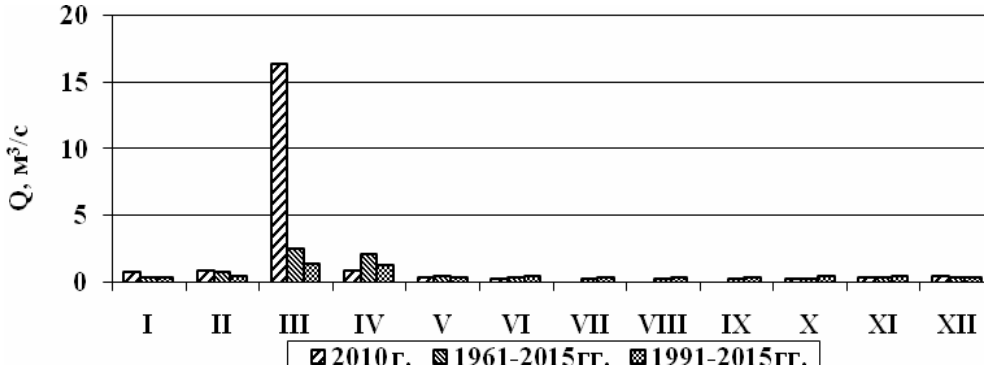


Рис 2. Среднемесячные расходы воды р. Россошь –пгт Подгоренский за периоды и 2010 г.

Гидрологический контраст половодья спровоцировал интенсивный приток тепла. Известно, что за период от 19 марта до 22 марта температурный скачок составил 16 °С, от отрицательных до положительных значений. На маленькой площади водосбора, всего 454 км^2 до замыкающего створа Подгоренский образовалось единовременное таяние снега, что и стало причиной половодья, резко отличающего максимума этого года от остальных в ряду наблюдений.

Современную особенность половодьям придают многочисленные зимние оттепели, становящиеся характерной чертой зимнего режима рек. Кратковременные вскрытия рек увеличивают зимний сток и сокращают долю поверхностного весеннего стока.

Отличным от половодий ряда предыдущих лет было половодье 2018 года. И хотя оно не стало выдающимся, но было выше средних многолетних уровней. Стремительное снеготаяние привело к подтоплению и затоплению больших территорий в ряде областей Верхнего Дона.

К своеобразным контрастам половодья относится исключительно низкий разлив рек весной 2019 года. Несмотря на благоприятные гидрологические предпосылки для половодья среднего или выше среднего положения (относительно высокий снежный покров и большие запасы воды в снеге), весеннее половодье в 2019 году практически на всей площади Верхнего Дона отсутствовало. Причиной аномалии весеннего половодья стали сложившиеся метеорологические условия осеннего периода и состояние подстилающей поверхности. Отсутствие атмосферных осадков и осеннего увлажнения почвы, исключительно низкое промерзание почвы зимой (максимальная глубина промерзания составила 15 см по данным метеостанции Лиски) создали благоприятные условия для весенней инфильтрации воды в почву. Умеренный приток тепла, постепенное повышение температуры воздуха, сочетание дневного нагревания атмосферы с ночными понижениями температуры воздуха ниже нуля градусов обеспечили плавное и непродолжительное снеготаяние. Еще в конце января большой высоты снежный покров, достигавший 60-80 см в поле на востоке области, и запасы воды в снеге, превышавшие 2,5–3 нормы, к третьей декаде марта заметно поубавились, снег уплотнился, а граница снеговой линии достигла широты г. Лиски. Сход снега был скорым и спокойным. Уже в начале апреля в реке Дон на территории Воронежской и Липецкой областей установились меженные уровни воды. Вследствие этого, продолжительность летне-осенней межени может быть аномально длительной, и стать прямой противоположностью летне-осенней межени 2016 года. Исключительно низкое половодье текущего 2019 года по своему характеру повторило половодье 2011, 2017 годов, которые также отличались исключительно низкой водностью при вполне достаточном количестве для гидрологического процесса твердых атмосферных осадков зимнего сезона.

К особым событиям весенних половодий на реках Донского бассейна следует отнести образование обратных течений. Подобное аномальное гидрологическое явление наблюдалось в реке Воронеж весной 1942, 1945, 1947, 1970, 1971 гг. [6]. Оно обусловлено разной высотой уровенной поверхности воды в реках Воронеж и Дон. В том случае, когда высота уровня в водоприемнике – реке Дон – существенно выше, чем в реке – притоке Воронеж, наблюдается разлив донской воды в русло Воронежа. Для образования данного гидрологического явления очень высокое половодье необязательно. Подобная гидрологическая особенность наблюдалась во время половодья 1945 и 1971 годов, совсем не относящихся к многоводным. Основной причиной является разновременность начала половодья в главной реке и ее притоках. При этом, чем больше развита речная система, чем больше диапазон размеров рек в речной системе, чем больше протяженность бассейна и различия в климате, тем различия в силу азональности формирования стока больших, средних и малых рек будут разнообразнее. В текущем столетии факты подобного явления не отмечались, возможно этому способствует зарегулированность стока реки Воронеж водохранилищем, нарушившим природный гидрологический режим.

В заключение следует отметить, что самая высокая контрастность современных половодий и половодий прошлого столетия заключается в снижении объемов и пиков весенних разливов рек. На Дону по всей его длине фиксируется падение экстремумов высокой водности и уменьшение объемов весеннего стока. Так, например, на гидрологических постах Верхнего Дона высокое половодье 1970 года в последующие годы, вплоть до настоящего года, остается наивысшим в ряду наблюдений за 50 лет. Это позволяет говорить о формировании затяжного маловодья в бассейне Дона. Поскольку сток рек Верхнего Дона не зарегулирован крупными гидротехническими сооружениями, можно считать, что современные контрасты половодья обусловлены, главным образом, климатическими флуктуациями и следующей за ними трансформацией вторичных природных факторов формирования речного стока. Возрастает роль состояния почвы, как посредника. Ее влагосодержание и глубина промерзания накануне снеготаяния даже при оптимальных для

достаточно высокого половодья характеристиках снежного покрова могут стать решающими факторами всего хода весеннего половодья.

Определенную роль в снижении стока половодья играют антропогенные факторы. Их значение в большей степени проявляется в нижнем течении Дона [1]. В верхнем течении велико значение искусственных водоемов-прудов, задерживающих сток половодья и оказывающих регулирующую роль.

Исключительно низкие половодья ряда текущих лет (2011, 2012, 2014, 2017, 2019 гг.) являются пагубными для сохранения речной сети и состояния рек. После 2010 года, аномально жаркого и засушливого, наблюдается стремительное сокращение протяженности речной сети в Липецкой области. На примере реки Сосна, одной из самых значительных притоков в бассейне Верхнего Дона, деградируют водотоки протяженностью свыше 30 км. Они усыхают в верховьях (Пажень, Воргол, Каменка и др.) или по всей длине (р. Корытино), или превращаются в цепочку несвязанных между собой в межень углублений, заполненных водой, или суходолов. Если процесс сокращения протяженности речной сети будет продолжаться, то в перспективе обмеление и снижение водности может грозить не только малым, но и средним рекам.

Современная трансформация стока половодья имеет четко выраженные позитивные и негативные гидроэкологические последствия. Сокращение весеннего стока и изменение генезиса максимальных расходов воды снизили риски затопления и подтопления территорий, разрушения гидротехнических сооружений, объектов социально-культурного назначения, коммуникаций и наземных транспортных объектов, повысили гидроэкологическую безопасность.

Снижение стока снегового половодья уменьшили проточность речных потоков и ассимилирующую роль речной воды. В результате в большем объеме аккумулируются наносы, образуются отмели из наносов (р. Усмань, Дон у г. Лиски), происходит обмеление рек при отсутствии уменьшения годового речного стока (водных ресурсов).

Одновременный рост температуры воздуха и температуры воды [5] ведет к «цветению» воды, зарастанию водной растительностью, увеличению площадей непроточных зон, образованию заводей, сокращению площади активного поперечного сечения и, в конечном итоге, к уменьшению водности. При этом качественное состояние водного объекта деформируется, класс качества воды понижается.

Недоучет природных географических закономерностей гидрологических процессов, а именно, временной изменчивости речного стока привели в бассейне Верхнего Дона к массовой жилищной застройке пойменных участков речных долин, происходящей еще и вследствие недостаточной гидрологической грамотности населения. В итоге неординарные половодья 2016, 2018 гг. сопровождались затоплением территорий и населенных пунктов в ряде районов Воронежской области.

В заключение следует отметить, что происходящие в современный климатический период активные динамические процессы в многоводной фазе водного режима требуют совершенствования гидроклиматических прогнозов, цель которых – предвычисление и предотвращение негативных проявлений высокой воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вопросы географии. Сб. 145 / Гидрологические изменения // отв. ред. В.М. Котляков, Н.И. Коронкевич, Е.А. Барабанова. – М.: ИД «Кодекс», 2018. – 432 с.

2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. Г.1.2. – С. 37–72. Доступно по ссылке: http://downloads.igce.ru/publications/ OD_2_2014/v2014/htm/1.htm (дата обращения: 20.08.2017).

3. Джамалов Р.Г. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние / Р.Г. Джамалов, М.Б. Киреева, А.Е. Косолапов, Н.Л. Фролова. – М. : ГЕОС, 2017. – 205 с.

4. Дмитриева В.А.Генезис максимумов водности рек и изменчивость водного режима в современный климатический период / В.А. Дмитриева, С.В. Бучик // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2016. – №5. – С. 50-62.

5. Дмитриева В.А. Динамика гидрологического режима рек Верхнедонского бассейна и экологические аспекты водопользования / В.А. Дмитриева, А.И. Сушков // Современная экология: образование, наука, практика. Материалы межд. научн.-практ. конф. (г. Воронеж, 4-6 окт. 2017 г .). – Воронеж: Изд-во «Научная книга», 2017. – Т. 1. – С. 430-434.

6. Курдов А.Г. Реки Воронежской области: водный режим и охрана / А.Г. Курдов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1984. – 164 с.

7. Climate Change. The Physical Science Basis / Ed. Thomas F. Stocker, Dahe Qin, Gian-Kasper Plattner, Melinda M.B. Tignor, Simon K. Allen, Judith Boschung, Alexander Nauels, Yu Xia, Vincent Bex, Pauline M. Midgley. – New York: Cambridge University Press, 2013. – URL: http://www.climatechage 2013.org. (accessed 00May 2017).

ИЗМЕНЕНИЯ ВОДНОГО РЕЖИМА ЛЕНЫ И СЕЛЕНГИ В XXI ВЕКЕ

А.С. Калугин
andrey.kalugin@iwp.ru

Институт водных проблем РАН, г.Москва, Россия

Исследования проведены для крупного акртического бассейна р. Лены и бассейна Селенги, расположенного в аридной климатической зоне. Бассейн р. Лены является восьмым в мире по площади водосбора (2460 тыс. км^2). Водный режим характеризуется высоким весенним половодьем, летними и осенними паводками и низкими зимними уровнями воды. Селенга является основным притоком оз. Байкал. Площадь водосбора р. Селенги составляет 447 тыс. км^2. Для рек бассейна характерно в основном дождевое питание в летний период.

Оценка изменений водного режима рек проведена на основе расчетов по региональным гидрологическим моделям с использованием данных глобальных моделей климата. На базе комплекса ECOMAG были построены модели формирования стока исследуемых речных бассейнов, которые учитывают все основные процессы гидрологического цикла с суточным шагом по времени. Модель р. Лены была разработана на основе глобальных баз данных о подстилающей поверхности и в отличие от ранней версии модели с использованием отечественных баз данных [3] содержит более полное метеорологическое информационное обеспечение (температура и влажность воздуха, осадки) по 203 метеостанциям. Модель р. Селенги была откалибрована с применением более точного глобального метеорологического реанализа EWEMBI разрешения 0.5º,подготовленного Потсдамским институтом климатических исследований на основе реанализа ERA-Interim [2], чем это было сделано в пилотной версии модели в работе [1].Для калибровки моделей были подготовлены ряды ежедневных расходов воды.

Поскольку климатические модели ориентированы на воспроизведение метеовеличин за большие временные интервалы, ниже представлены результаты соответствия рассчитанных среднемесячных и среднегодовых значений расходов воды фактическим по моделям формирования стока в бассейнах Лены и Селенги с использованием критериев Нэш-Сатклифа (NSE) и относительной ошибки расчета среднемноголетнего стока (BIAS). Калибровка/верификация параметров модели бассейна Лены проводилась для периода 1994-2003/2004-2013 гг., Селенги – 1984-1993/1994-2003 гг. Значения критериев для замыкающих створов рек составили: на Лене по NSE0.95/0.96, BIAS-6.9%/-2.7%, на Селенге по NSE0.88/0.86, BIAS9%/-8.6%. Таким образом, получены хорошие результаты расчета среднемесячного и среднегодового стока исследуемых рек (NSE>0.7, |BIAS|<10%).

Для оценки гидрологических последствий изменения климата в рассматриваемых бассейнах привлечены данные о приземных полях метеорологических характеристик, рассчитанных по ансамблю глобальных климатических моделей CMIP5 по результатам проекта ISIMIP за исторический период (до 2005 г.), а также проекции климата до конца XXI века при сценариях RCP 2.6 и RCP 6.0. Данные подготовлены путем приведения первичных рас-

четных среднесуточных данных о приземной температуре и влажности воздуха, интенсивности осадков ансамбля из 4-х моделей климата (GFDL-ESM2M, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM) за исторический период к данным реанализа EWEMBI.

Для бассейна Лены в качестве базового исторического периода рассматривался последний тридцатилетний период XX века 1970-1999 гг. Для бассейна р. Селенги ввиду ограниченности временных рядов данных метеорологического реанализа и наличия данных климатических моделей за исторический период до 2006 г. был выбран 25-летний период 1981-2005 гг. Погрешность расчета среднемноголетнего стока Лены за указанный период составила -1.6%, Селенги 2.9% по сравнению с наблюденным. Для Лены характерно занижение нормы стока июня (самый полноводный месяц), для Селенги отмечено завышение нормы зимнего стока и занижение весеннего стока.

Достоверность расчетов будущего климата определяется способностью моделей воспроизводить современное его состояние в соответствии с имеющимися данными наблюдений. Была проведена оценка воспроизведения GCMs климатических характеристик на исследуемых водосборах, т.е. на региональном масштабе. Для этого проводилось сопоставление имеющихся данных расчетов по климатическим моделям с данными метеорологических наблюдений (бассейн Лены) и реанализа (бассейн Селенги). Для исследуемых речных бассейнов климатические модели воспроизводят нормы среднебассейновых метеовеличин с высокой точностью. Погрешность определения температуры воздуха по данным GCMs составила 0.1-0.2ºС, суммы атмосферных осадков до 3%, дефицита влажности воздуха до 5%. При этом был отмечен некоторый разброс величин по данным разных моделей климата. Для уменьшения межмодельной неопределенности климатических характеристик применялся ансамблевый подход, т.е. проводилось усреднение результатов расчетов нескольких моделей, что дает более устойчивые оценки. Помимо норм годовых метеовеличин была проведена оценка точности их сезонного хода. Для обоих речных бассейнов сезонный ход температуры воздуха воспроизводится климатическими моделями наиболее точно. По осадкам для бассейна Лены отмечено завышение величин по GCMs в зимний период на 14% и занижение в период с июня по сентябрь на 3% в сравнении с данными станционных наблюдений. Для бассейна Селенги среднемноголетняя сумма осадков завышена на 9% в мае и занижена на 5% в июле, сентябре. По данным GCMs величина дефицита влажности воздуха завышена в наиболее теплые месяцы (июль, август) для Лены на 9%, Селенги на 4%.

На следующем этапе рассчитанные по 4-м климатическим моделям ряды среднесуточных метеорологических величин за период 1970-1999 гг. для Лены, за период 1981-2005 гг. для Селенги задавались в качестве входных данных в модели формирования стока, с помощью которых рассчитывались характеристики водного режима исследуемых рек в условиях современного климата. Рассчитанные характеристики годового и сезонного стока сравнивались с полученными ранее по данным фактических метеорологических наблюдений на метеостанциях для Лены и по данным метеорологического реанализа для Селенги. Для р. Лены характерно завышение стока GCMs в наиболее полноводный месяц (июнь) на 10%. Для бассейна Селенги отмечено завышение стока по моделям климата в июне на 16% и занижение с августа по октябрь на 10%. В отличие от указанных погрешностей расчета сезонного стока, результаты оценки нормы годового стока с использованием данных климатических моделей за базовый период оказались точнее. Относительная погрешность расчета стока по данным ансамбля глобальных моделей климата по сравнению с расчетом по данным метеорологических наблюдений/реанализа составила для Лены 3.7%, для Селенги - 5%.

Затем были оценены среднеансамблевые аномалии среднегодовой и сезонной температуры воздуха (в градусах Цельсия) и суммы атмосферных осадков (в процентах) для территорий исследуемых речных бассейнов в течение XXI века относительно величин, определенных за исторический базовый период. Расчеты были проведены по каждой из 4-х GCMs, после чего проводилось усреднение по ансамблю для каждого RCP-сценария и 30-летнего периода, соответствующего середине (2036-2065 гг.) и концу (2070-2099 гг.) XXI века. В итоге отмечен рост как среднегодовой, так и сезонной температуры воздуха для

двух речных бассейнов, а также увеличение годовой и сезонной суммы атмосферных осадков. Согласно сценарию RCP 2.6 в XXI веке, а также по RCP 6.0к середине столетия рост среднегодовой температуры воздуха в бассейне Лены составит 2.2-2.4ºС, в бассейне Селенги 1.7-1.8ºС; по RCP 6.0 к концу XXI века – 4.2ºС и 3.3ºС для Лены и Селенги соответственно. Согласно сценарию RCP 2.6 в XXI веке, а также по RCP 6.0 к середине столетия увеличение годовой суммы осадков в бассейне Лены составит 9-11%, по RCP 6.0 к концу XXI века 18%, а в бассейне Селенги 7-9% в течение столетия по обоим сценариям. Наибольший сезонный рост температуры воздуха характерен для бассейна Лены в осенне-зимний период по двум сценариям на середину и конец века. Для бассейна Селенги относительно равномерное по сезонам потепление в XXI веке в рамках каждого из сценариев. Наибольший (в процентном соотношении) вклад в увеличение увлажнения территории исследуемых бассейнов вносит зимний период, наименьший – лето по обоим RCP-сценариям. Более интенсивный рост осенне-зимних осадков отмечен для бассейна Лены, летних – для бассейна Селенги.

Оценка климатически обусловленных аномалий среднегодового и сезонного стока Лены и Селенги в середине и конце XXI века относительно исторического периода показала следующие результаты. Согласно сценарию RCP 2.6 к середине XXI века увеличение среднемноголетнего стока Лены и Селенги составит 12% и 10% соответственно, к его концу 18% и 25%; по RCP 6.0 к середине века 14% и 6%, к его концу 23% и 2% (рис. 1).

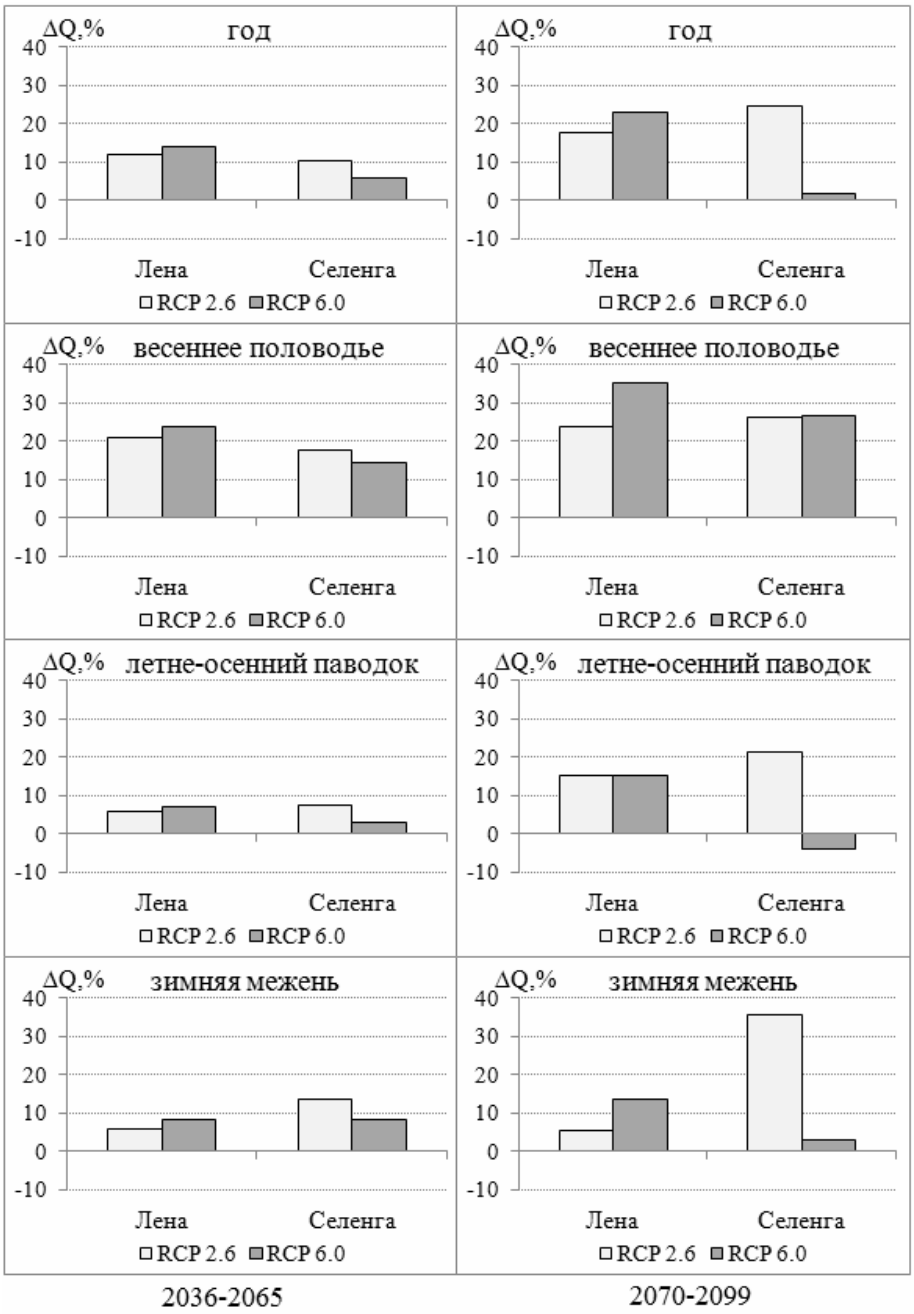


Рис. 1. Изменение (в %) среднеансамблевого годового и сезонного стока Лены и Селенги к середине (2036-2065) и концу (2070-2099) XXI века при реализации сценариев RCP 2.6 и RCP 6.0 относительно исторического периода

Наибольшие (в процентном соотношении) изменения водности в XXI веке исследуемых рек характерны для периода весеннего половодья по обоим сценариям. Летне-осенний и зимний сток Лены и Селенги имеет положительную динамику по двум сценариям и периодам, за исключением летне-осеннего стока Селенги по RCP 6.0 в конце столетия. Оценивая разницу в изменениях стока рек между RCP-сценариями, можно отметить значительное увеличение аномалий весеннего и зимнего стока Лены по RCP 6.0 к концу века, а также летне-осеннего и зимнего стока Селенги по RCP 2.6 в течение столетия и особенно ярко выражено к его концу. В XXI веке аномалии сезонного стока Лены будут ниже по сценарию RCP 2.6 и выше по RCP 6.0 по сравнению с изменениями стока Селенги.

Оценка временного хода аномалий годового и сезонного стока исследуемых рек в течение XXI века относительно исторического периода по построенным 30-летним скользящим средним проекций изменения стока для разных RCP-сценариев показала следующие результаты (рис. 2, 3).

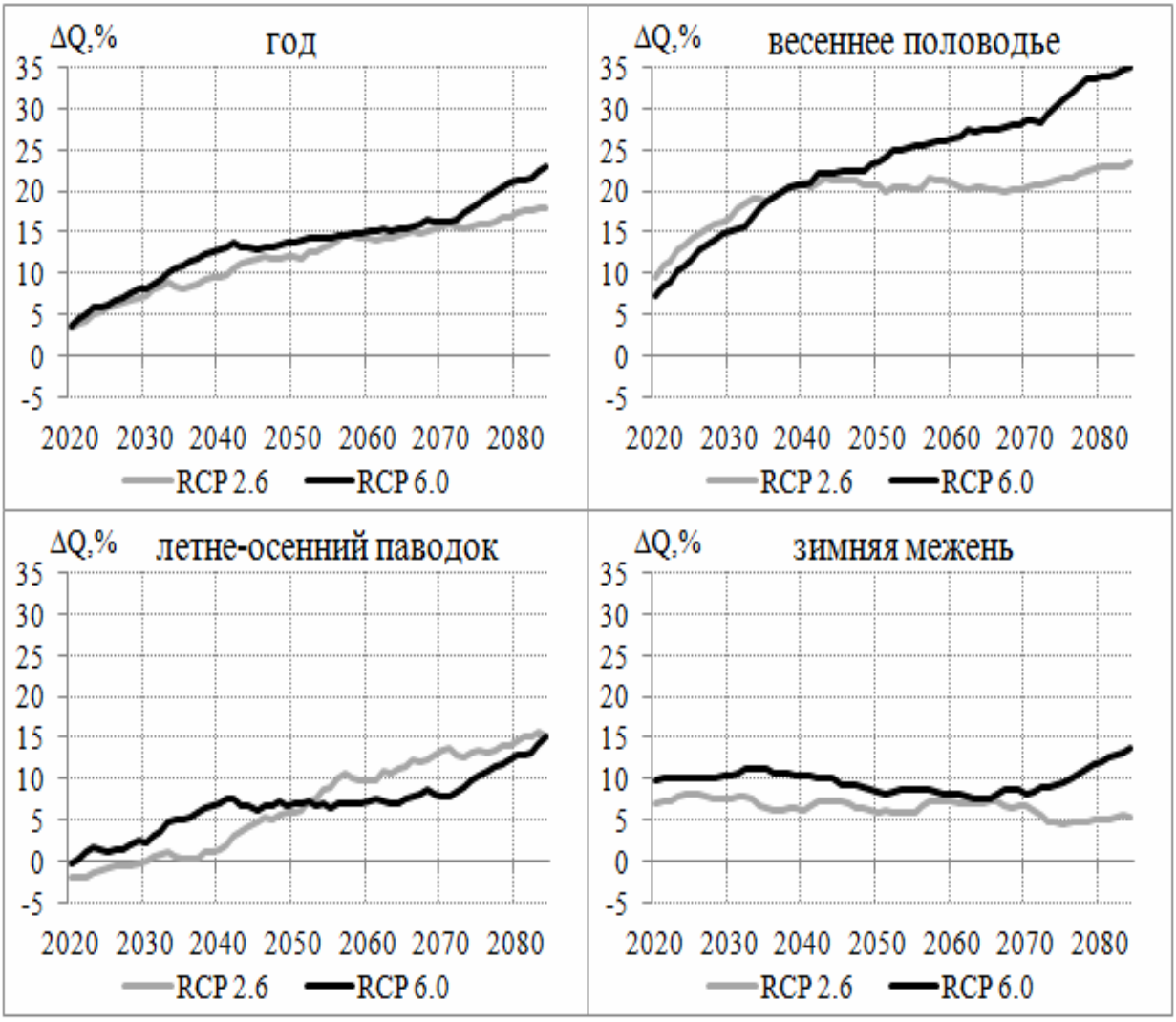


Рис. 2. Тридцатилетнее скользящее среднее изменения (в %) годового и сезонного стока Лены в XXI веке при реализации сценариев RCP 2.6 и RCP 6.0 относительно исторического периода

Среднегодовой сток Лены постепенно растет в течение всего периода по обоим RCP-сценариям с некоторым замедлением его темпов в начале второй половины столетия. Весенний сток Лены в первой половине XXI века увеличивается по двум сценариям, затем по RCP 2.6 изменение водности прекращается, а по RCP 6.0 рост стока продолжает-

ся, хотя и с меньшим темпом, чем до середины столетия. Сток Лены в летне-осенний период увеличивается в течение всего периода, но если в первой половине века превалирует RCP 6.0, то во второй RCP 2.6. Зимний сток Лены сохраняет практически постоянную величину роста в течение всего столетия, при этом сценарию RCP 6.0 соответствуют бóльшие значения.

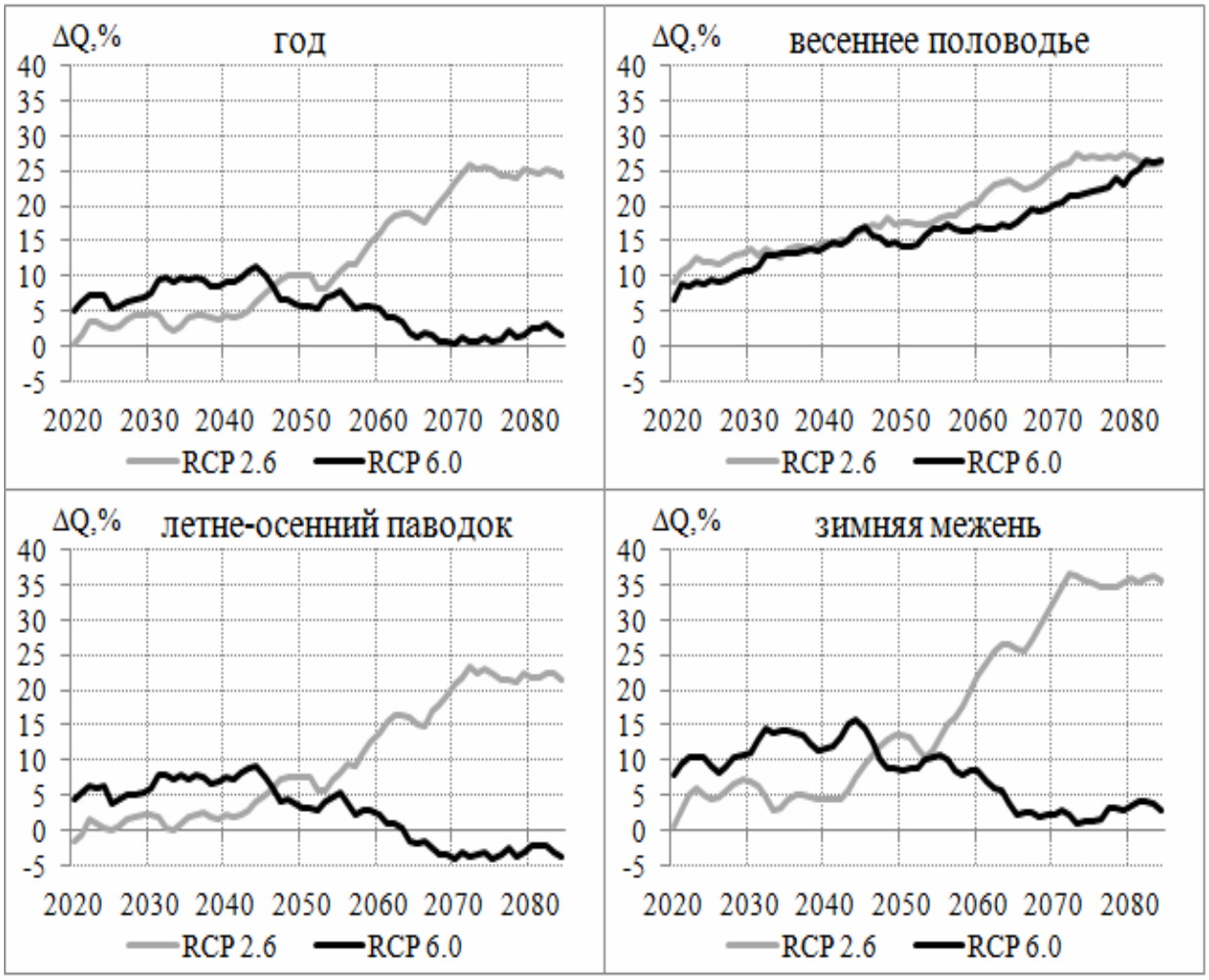


Рис. 3. Тридцатилетнее скользящее среднее изменение (в %) годового и сезонного стока Селенги в XXI веке при реализации сценариев RCP 2.6 и RCP 6.0 относительно исторического периода

В первой половине XXI века среднемноголетний сток Селенги увеличивается по двум сценариям, а затем изменения разнонаправлены: сток по сценарию RCP 2.6 интенсивно растет, в то время как по сценарию RCP 6.0 сокращается. Во многом это объясняется схожими тенденциями изменения водности Селенги за период летне-осенних паводков (период максимального стока) и зимней межени. Для весеннего стока Селенги отмечен рост в течение столетия по обоим сценариям примерно с одной скоростью, причем величины по сценарию RCP 2.6 на несколько процентов больше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морейдо В.М., Калугин А.С. Оценка возможных изменений водного режима реки Селенги в XXI веке на основе модели формирования стока // Водные ресурсы. – 2017. – Т.44, №3. – С. 275-284.

2. Frieler K., Lange S., Piontek F. et al. Assessing the impacts of 1.5°C global warming – simulation protocol of the inter-sectoral impact model intercomparison project (ISIMIP2b) // Geosci. Model Dev. – 2017. – V. 10(12). – P.4321-4345.

3. Gelfan A., Gustafsson D., Motovilov Y., Arheimer B., Kalugin A., Krylenko I., Lavrenov A. Climate change impact on water regime of two great arctic rivers: modeling and uncertainty issues // Clim.Change. – 2017. – V. 141(3). – P.499-515.

ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК БАССЕЙНА ДОНА И ЕГО ИЗМЕНЕНИЕ В XXI ВЕКЕ

М.Б. Киреева, М.А. Харламов, Н.Л. Фролова, Е.П. Рец, Т.Е. Самсонов
Kireeva_mb@mail.ru

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Институт водных проблем РАН, г.Москва, Россия

Исследование опасных гидрологических явлений в 21 веке представляет собой ключевую проблему гидрологической науки. Согласно второму отчету Межправительственной группы экспертов по изменению климата экстремальность гидроклиматических условий в Европе заметно выросла в последние десятилетия [6]. Из заключения следует, что интенсификация глобального гидрологического цикла приводит к увеличению частоты возникновения экстремальных гидрологических событий – как засух, так и наводнений. Согласно [5], в будущем последствия засух в Европе могут быть гораздо ощутимее, чем в начале 21 века. Бассейн реки Дон занимает площадь 422 тыс. км^2, на которой в настоящий момент проживает около 29 млн. человек. Река Дон и ее притоки являются основными источниками пресной воды для населения в довольно засушливом регионе. Помимо этого они играют ключевую роль в таких отраслях как рыбное хозяйство, рекреация, водный транспорт, гидроэнергетика (Цимлянская ГЭС). Наибольшую угрозу для водного хозяйства региона представляют маловодные периоды, которые являются весьма частым событием в бассейне Дона [1]. Снижение уровней и расходов воды как в сезонном, так и в многолетнем разрезе сильно лимитирует судоходство, нанося значительный экономический ущерб региону[3].

Изучению изменений сезонного стока в бассейне Дона посвящено довольно много исследований [2, 3, 4]. Для оценки изменений сезонного стока в период маловодья, а также за референсный период (1978-2016 гг. по отношению к 1945-1977 гг.) в данной работе был проведен анализ динамики характеристик сезонного стока. Разделение сезонов было взято в соответствии с водохозяйственным делением гидрологического года. Для анализа сезонного перераспределения стока были рассчитаны следующие показатели: сток за водохозяйственный год (период с марта года n по февраль года n+1); сток за лимитирующий период (период с июня года n по февраль года n+1); сток за нелимитирующий период (период с марта по май); минимальный месячный сток за зиму; минимальный месячный сток за лето. Количество членов выборки было на единицу меньше, чем количество лет наблюдения на данном посту. Для всех характеристик сезонного стока были проведены расчеты изменения среднего значения за период с 1978-2016 гг. по отношению к 1945-1977 гг. и за период 2007-2016 гг. по отношению к 1978-2006 гг. Для каждой характеристики был проведен анализ статистической значимости тренда с помощью критерия t-test. Результаты расчетов и анализа приведены в таблице 1. Анализ сезонного стока, проводимый на месячном временном масштабе, не учитывает более мелкомасштабных изменений, а именно динамики паводочного стока. Поэтому для отдельных рек с помощью алгоритма автоматизированного расчленения гидрографа был проведен анализ изменений характеристик паводков. В качестве входных данных использовались суточные ряды расходов воды, температуры воздуха и осадков по репрезентативным метеостанциям

Согласно проведенным расчетам изменения стока за водохозяйственный год за период маловодья составили от -55 до +58 %, в основном преобладали отрицательные значения. Увеличение стока характерно лишь для небольших рек, р. Дон – г. Задонск, а так-

же для двух верхних створов – притоков, р. Хопер – г. Балашов и р. Красивая Меча – г. Ефремов. Наиболее существенно сокращение стока за водохозяйственный год характерно для Нижнего Дона и его основных притоков - р. Чир, р. Иловля, р. Калитва, р. Хопер (низовья), р. Медведица и замыкающего створа р. Дон – ст. Раздорская. При этом, изменения годового стока за последние 40 лет на большей части Донского бассейна слабоотрицательны и за исключением трех водосборов не имеют статистически значимого тренда. Обратные тенденции характерны для верховьев Дона, Воронежа, Хопра и Медведицы – здесь годовой сток за последние 40 лет увеличился на 5 – 18 %.

Таблица 1. Изменения характеристик сезонного стока за: гидрологический год (G), нелимитирующий, весенний период (NLP), лимитирующий период (LP), стока за минимальный зимний (min_win) и летний min_sum) месяц. Статистически значимые изменения по критерию (t-test) выделены жирным шрифтом

Период осреднения/ Референсный период	2007-2016 / 1978-2006					1978-2016 / 1945-1977				
Гидрологический сезон	G	NLP	LP	min_ win	min_ sum	G	NLP	LP	min_ win	min_ sum
р. Арчеда - х. Нижнянский	-9	-15	-10	-1	-15	-12	-19	-4	8	5
р. Битюг - г. Бобров	-25	**-46**	34	**52**	**91**	-8	**-30**	**112**	**118**	**139**
р. Большой Егорлык – с. Новый Егорлык	-7	-3	-9	-1	-8	-1	4	1	25	1
р. Бузулук - х. Киквидзе	**58**	30	**191**	**251**	**180**	12	-5	**149**	**245**	**152**
р. Быстрая - х. Апанаскин	**-55**	-62	-50	-20	-5	**-40**	**-42**	-36	7	11
р. Чир - ст. Обливская	**-42**	-47	**-43**	-16	**-28**	-12	-23	6	**59**	**24**
р. Дон - ст. Раздорская	**-33**	**-60**	-11	16	-12	-8	**-43**	**30**	**95**	**33**
р. Дон - х. Беляевский	**-17**	**-35**	4	10	4	-1	**-24**	**44**	**62**	**45**
р. Дон - ст. Казанская	-15	**-39**	17	26	14	-1	**-30**	**52**	**83**	**44**
р. Дон - г. Лиски	-16	**-40**	17	33	7	-2	**-30**	**53**	**77**	**46**
р. Дон - г. Задонск	1	-28	**35**	**33**	**38**	4	**-26**	**55**	**66**	**59**
р. Есаулковский Аксай – х. Водянский	5	13	-42	-17	**-35**	**-32**	**-29**	-41	0	8
р. Иловля– д. Александровка	**-41**	**-42**	**-54**	**-44**	**-59**	-4	-6	-5	18	-9
р. Калитва - х. Погорелов	**-43**	**-51**	-36	-18	-10	-6	-18	7	**69**	**37**
р. Карай - с. Подгорное	-23	-37	6	14	30	20	6	**66**	**131**	**82**
р. Хопер - г. Новохоперск	-25	**-38**	21	39	20	-3	-18	**89**	**165**	**87**
р. Хопер - г. Балашов	4	-17	**52**	**61**	**63**	13	-13	**110**	**133**	**116**
р. Хопер – х. Бесплемяновский	-21	**-41**	21	**45**	12	-1	**-25**	**71**	**116**	**63**
р. Хопер - с. Пановка	-7	**-27**	29	**47**	23	18	-6	**98**	**107**	**110**
р. Хопер - г. Поворино	-18	-30	6	37	8	13	-7	**98**	**135**	**106**
р. Красивая Меча – г. Ефремов	**34**	2	**63**	**55**	**70**	24	-13	**73**	**76**	**80**
р. Медведица – ст. Арчединская	-19	-33	-4	24	-10	-2	-18	**33**	**82**	**36**
р. Медведица - пгт. Лысые Горы	-4	-24	**35**	**42**	**36**	**18**	-8	**101**	**147**	**98**
р. Нежеголь - с. Шебекино	-19	**-46**	4	11	12	24	-11	**63**	**75**	**103**
р. Оскол - с. Раздолье	-14	**-46**	15	23	23	11	-22	**46**	**68**	**72**
р. Подгорная - г. Калач	-11	-34	**52**	**114**	**57**	-6	**-23**	**79**	**161**	**85**
р. Сосная– ст. Беломестная	**-19**	**-39**	4	32	-6	-4	**-29**	**44**	**67**	**50**

Период осреднения/ Референсный период	2007-2016 / 1978-2006					1978-2016 / 1945-1977				
Гидрологический сезон	G	NLP	LP	min_ win	min_ sum	G	NLP	LP	min_ win	min_ sum
р. Сосна - г . Елец	**-24**	**-44**	-3	7	-6	-7	**-33**	**34**	**62**	**38**
р. Терса - г. Елань	-3	-3	-29	-18	2	1	-2	3	**114**	**410**
р. Тихая Сосна – д. Алексеевка	-21	**-59**	21	14	**57**	0	**-32**	**49**	**41**	**103**
р. Тузлов - пгт. Несветай	-30	-27	-32	-4	-32	12	10	13	**69**	**395**
р. Ворона - с. Чутановка	-23	**-38**	10	14	3	15	-7	**97**	**103**	**87**
р. Ворона - г. Борисоглебск	-9	-29	33	**55**	30	11	-16	**96**	**126**	**86**
р. Воронеж - г. Липецк	-11	**-35**	25	37	25	4	**-24**	**73**	**100**	**44**

Изменения стока нелимитирующего стока в период маловодья носят наиболее яркий характер. Сокращение стока весеннего половодья для большей части региона составляет от 20 % на севере до 60 % на юге. Повсеместное снижение объемов стока половодья привело к возникновению накопленного эффекта, сокращение стока в створе р. Дон – ст. Раздорская максимально и составляет 60 %. Для 70 процентов анализируемых створов сокращение стока нелимитирующего периода имеет статистически значимые отрицательные изменения (см. таблица 1). Однако снижение стока половодья в последние 10 лет являются лишь частным случаем более продолжительной тенденции. Если проводить сравнение для последних 40 лет, то сокращение стока половодья достигают еще больших пространственных масштабов. Снижение стока этой фазы водохозяйственного года на 20-40 % характерно для всего Верхнего и Нижнего Дона, за исключением верховьев бассейнов р. Хопер, р. Медведица и р. Иловля – здесь они колеблются от 5 до 20 %. На Нижнем Дону снижение водности половодья за последние 40 лет составляет от 40 до 60 %. Эти процессы бесспорно связаны с изменением процессов формирования стока на водосборе, обусловленные сменой условий зимнего и весеннего периодов, описанных в отчете по проекту за 2017 год (также см. раздел данного отчета, посвященные дополнительному анализу влажности почвы, испарения и схемы причинно-следственных связей).

Столь выраженное сокращение стока весенних месяцев отчасти компенсируется повышенной водностью лимитирующего периода. За счет возникновения оттепелей процессы формирования талого стока наблюдаются в течение практически всего зимнего периода. За счет этого в периоды продолжительного стояния положительных температур может начинаться водоотдача, приводящая к инфильтрации талых вод и пополнения грунтовых горизонтов. Таким образом, осуществляется «перехват» талого стока оттепельными паводками и повышение водности меженных периодов. Данные процессы наиболее ярко выражены в многолетней динамике стока лимитирующего сезона за последние 40 лет. Рост меженных расходов повсеместно имеет статистическую значимость, достигая 150 %. Однако, в период маловодья этой компенсации практически не происходило, в нижней части бассейна сток уменьшился, в верховьях увеличился лишь на 20 -25 %. Скорее всего это связано с повышенными потерями стока в другие сезоны года, обусловленные в первую очередь испарением. В подтверждение данной гипотезы выступает пространственное распределение изменений минимального месячного стока за зимний и летний период. За зиму минимальные месячные расходы даже в период маловодья демонстрируют тенденцию к увеличению, достигающую в среднем 15-30 %, в то же время минимальный месячный сток за лето не имеет однозначной тенденции – в средней и нижней части бассейна Дона он сокращается, а в верховьях слабо увеличивается. Таким образом скомпенсировать недостаток воды в весенний период, особенно в замыкающем створе р. Дон у ст. Раздорская, повышенные расходы межени - уже не в состоянии. Данный факт является одним из основных, с точки зрения формирования рекордного по продолжительности маловодного периода 2007 – 2016 гг. в бассейне р. Дон.

Тенденции изменения различных характеристик дождевых паводков в бассейне Дона характеризуются разнонаправленностью. Для ряда рек (Хопер, Дон) период прохождения летних дождевых паводков, сместился с июля на преимущественно май – июнь, число осенних паводков, с характерным прохождением максимумов в октябре-ноябре, – увеличилось (рис. 1). Тенденция к увеличению «разброса» дат прохождения максимальных расходов воды во время паводков характерна для всего бассейна Дона. В то же время для рек Медведица, Красивая Меча – чаще всего максимальные расходы дождевых паводков смещаются с мая на апрель.

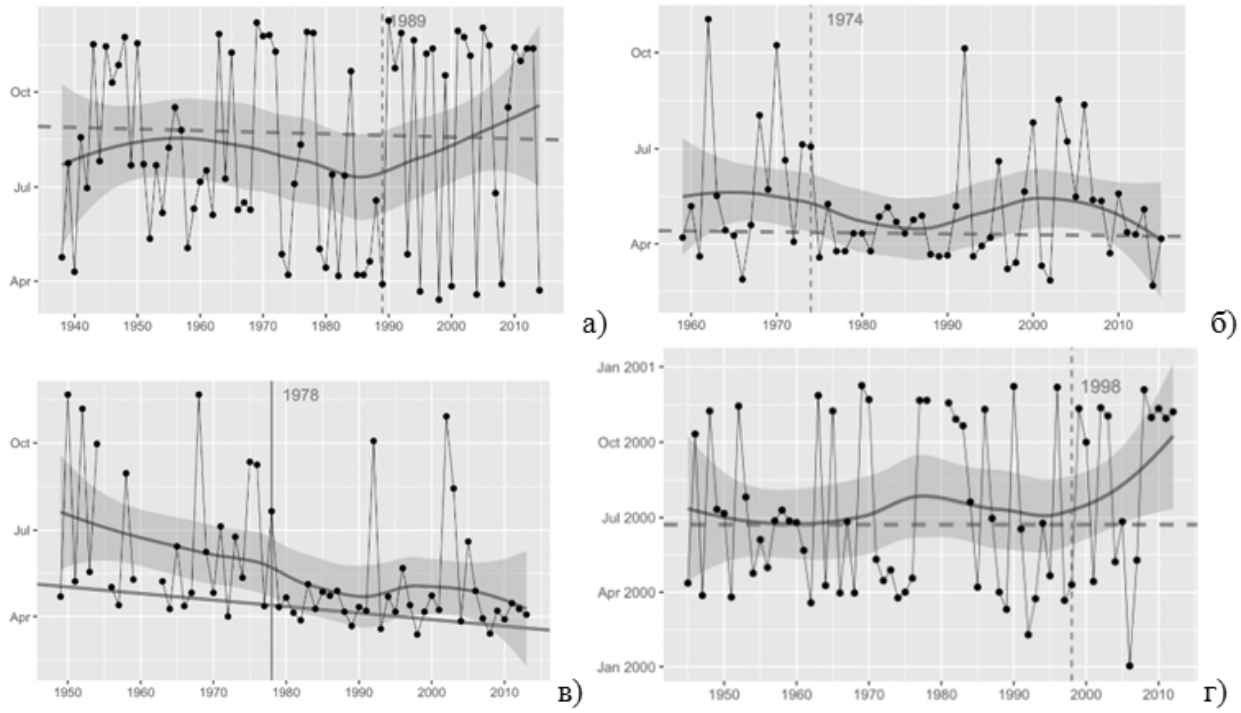


Рис. 1. Даты максимальных расходов дождевых паводков для: а) р. Хопер – х. Бесплемяновский, б) р. Сосна– г. Елец) р. Красивая Меча – г. Ефремов

Тенденции изменения максимальных расходов дождевых паводков не имеют статистически значимых закономерностей, наблюдается незначительное увеличение дождевых максимумов. Изменение объема дождевого стока имеет разнонаправленные тенденции, в большинстве случаев это слабое снижение. Количество дождевых паводков в среднем составляет 6-7 событий, и в последние 10 лет сократилось вдвое, однако пока статистически достоверное снижение не выявлено.

Практически везде объем оттепельного стока без грунтовой составляющей не имеет статистически значимых тенденций к увеличению. На юге многолетние ряды объемов оттепельного стока представляют собой сплошные ряды малых значений с отдельными выраженными выбросами. Для них выделить тенденции не представляется возможным. Максимальные расходы оттепельных паводков также статистически значимо увеличиваются, если отбраковать отдельные выбросы и ориентироваться по средним значениям (рис. 2). Одновременно для всех рек фиксируется сдвиг дат оттепельных паводков на весенний период. Если раньше оттепели чаще всего наблюдались в декабре-январе, то теперь они в основном фиксируются в феврале-марте, а осенние паводки из оттепельных стали дождевыми.

Таким образом, паводки перехватывают талые воды, но далеко не всегда это приводит к формированию пиков на гидрографе, в большинстве случаев талая вода просачивается в почву, пополняя горизонты грунтовых вод и лишь потом, фильтруясь, попадает в водотоки.

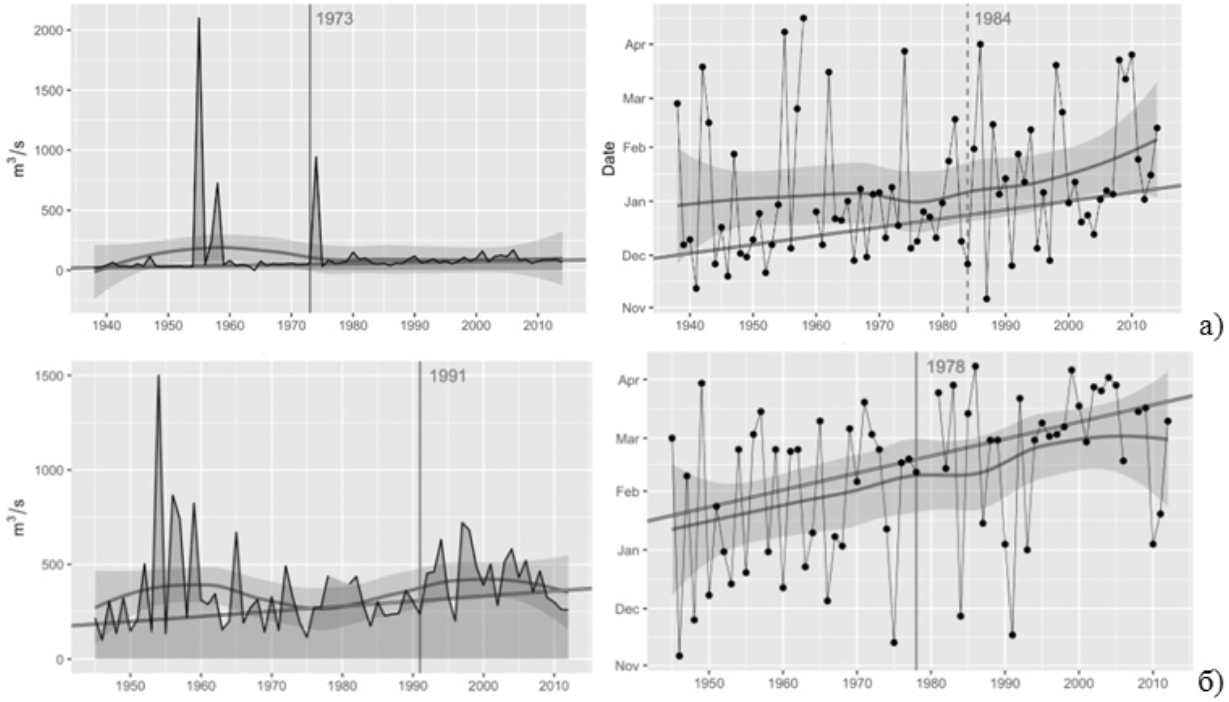


Рис. 2. Изменение максимального расхода оттепельных паводков (слева) и его даты (справа) для рек: а) р. Хопер – х. Бесплемяновскийб) р. Дон – ст. Казанская

Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ 19-77-10032 в части разработки алгоритма GrWat и РФФИ № 17-05- 41030 РГО_а в части анализа данных

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л., Гречушникова М.Г., Пахомова О.М. Оценка негативного воздействия маловодья 2010 года на социально-хозяйственный комплекс страны // Природообустройство. – 2013. – № 3. – С. 65-68.

2. Дмитриева В.А., Бучик С.В. Генезис максимумов водности рек и изменчивость водного режима в современный климатический период // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2016. – № 5. – С. 49-62.

3. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б. Современные изменения водного режима рек в бассейне Дона // Водные ресурсы. – 2013. – Т. 40. – № 6. – С. 544-556.

4. Киреева М.Б., Фролова Н.Л., Рец Е.П., Самсонов Т.Е., Телегина Е.А., Харламов М.А., Езерова Н.Н., Пахомова О.М. // Паводочный сток на реках Европейской территории России и его роль в формировании современного водного режима // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2018. – №4. – С.48-68.

5. IPCC, 2014. Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – Pp. 1-32.

6. Watson RT, Zinyowera MC, Moss RH (Ed.). (1998). The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability. IPCC. Cambridge University Press: Cambridge.

ИЗУЧЕНИЕ ЛЕДОВОЙ ОБСТАНОВКИ РЫБИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА ПО ДАННЫМ ДЗЗ

П.В. Клюев, С.А. Лебедев, Ш.Р. Богоутдинов
pasha.kliuev2015@yandex.ru

Тверской государственный университет, г.Тверь, Россия
Геофизический центр РАН, г.Москва, Россия
Майкопский государственный технологический институт, г.Майкоп, Россия

Время становления и таяния ледового покрова, его толщина являются одними из индикаторов как глобальных, так и региональных изменений климата. Цель исследования – идентификация времени становления и разрушения льда на акватории Рыбинского водохранилища по данным дистанционного зондирования и климатическая изменчивость ледовой режима этого водоема. Это обусловлено влиянием льда на различные процессы: на взаимодействие системы «вода ↔ атмосфера»; на гидрофизические и гидробиологические процессы; на навигацию.

Для определения льда используются не только натурное получение данных на метеостанциях, но и методы дистанционного зондирования Земли, которые можно поделить на пассивные и активные. К пассивным относятся: радиометрия видимого, инфракрасного и микроволнового диапазонов. Преимущество этих методов – большой охват территории, недостаток – чувствительность к облачности. К активным относятся: радиолокация с синтезированной апертурой, скаттерометрия, альтиметрия. Преимущество – всепогодность, недостаток – низкая частота повторного обзора, низкое пространственное разрешение.

Объектом исследования стало Рыбинское водохранилище, одно из водохранилищ Волжского каскада, которое относится к водохранилищам озёрного типа. Основные морфометрические характеристики Рыбинского водохранилища представлены в таблице 1.

Таблица 1. Морфометрия Рыбинского водохранилища [1]

Высота над уровнем моря	101,81 м
Размеры	172 × 56 км
Площадь	4580 км²
Объём полный полезный	 25,4 км³ 16,7 км³
Береговая линия	1724 км
Наибольшая глубина	30 м
Средняя глубина	5,6 м

Для своих исследований мы взяли спутниковую альтиметрию и спутниковую радиометрию в СВЧ-диапазоне. Преимущества: всепогодность и высокая частота обзора (для альтиметров TOPEX/Poseidon – 0,1 с и Jason-1,2 и 3 – 0,05 с, а для СВЧ-радиометров 0,2 с). Оба прибора находятся на одном спутнике-носителе. Преимущества по сравнению со сканирующим радиометрами этих радиометров, то что они проводят в надир как и альтиметры. Для анализа ледового режима Рыбинского водохранилища использовались данные спутников TOPEX/Poseidon и Jason-1/2/3/ с сентября 1992 года по июнь 2018 года с периодом повторения измерений вдоль 59 и 66 треков – 10 суток.

Физической основой идентификации льда является факт, что диэлектрическая постоянная и излучательная способность в надир для чистой воды, и для чистого льда отличается более чем в 2 раза. В первом методе индентификации льда в дополнение данные СВЧ-радиометра анализировались совместно с коэффициентом обратного рассеивания

отраженного сигнала альтиметра, который сильно отличается для чистой даже взволнованной воды и для льда и льда, покрытого снегом.

На рис. 1 рассматривалось двухмерное распределение средней температуры по каналам 18,7 и 34 ГГц.

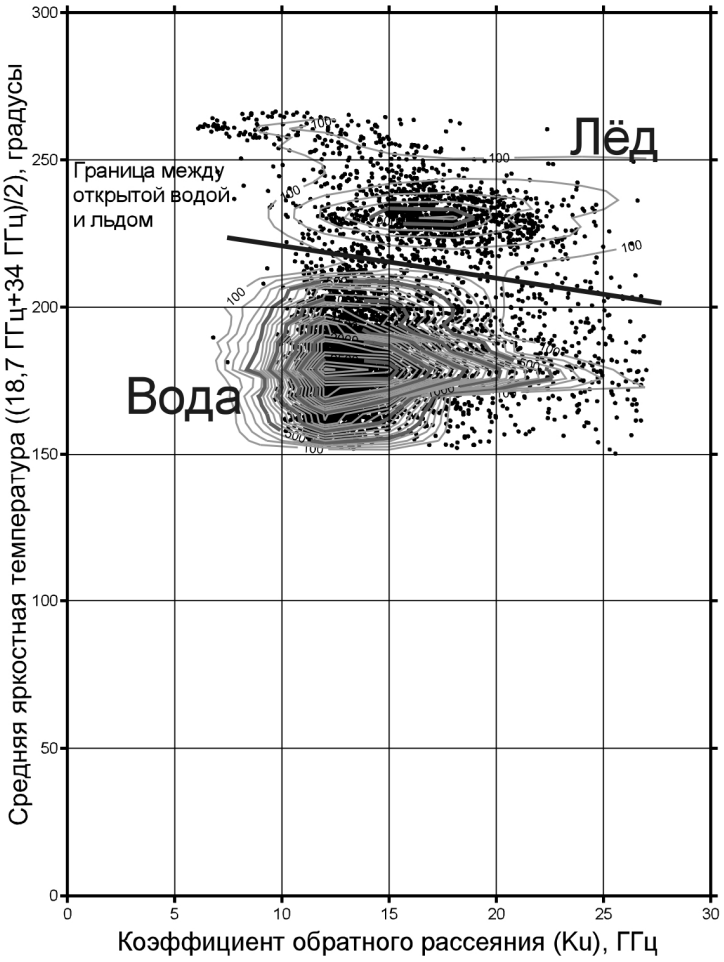


Рис. 1. Двухмерные гистограммы (число случаев) распределения средней радиояркостной температуры, рассчитанной по двум каналам бортового микроволнового радиометра, и коэффициента обратного рассеяния альтиметрических измерений спутников Jason-1,2 и 3 на акватории Рыбинского водохранилища за 1992–2017 годы. Выделены области скопления данных, соответствующие чистой воде и льду [3]

Второй метод основан на анализе разницы максимальной и минимальной радиояркостных температур для измерений вдоль трека для каждого цикла. При этом измерения брались не только с акватории водохранилища но и с суши. За счет большой частоты измерений радиометра происходит перекрытие засвеченных областей, что показано на рис. 2. В итоге получается сглаженная область, которая свидетельствует об изменчивости радиояркостной температуры вдоль трека.

На рис. 3 представлена временная изменчивость разницы максимальной яркостной температуры для суши и минимальной яркостной температуры для зеркала Рыбинского водохранилища. Резкий спад этой разницы соответствует появлению ледяного покрова на акватории водохранилища, а резкий подъем – его разрушению.

На основании двух этих алгоритмов было проведено исследование климатической изменчивости ледового режима Рыбинского водохранилища (рис. 4). Хорошо видно, что начало замерзания водохранилища сдвигается каждый год почти на 0,7 дня, практически на сутки, а вот лёд исчезает гораздо медленнее – где-то порядка 0,2 суток/год. При этом длительность ледостава на акватории уменьшается примерно на сутки в год.

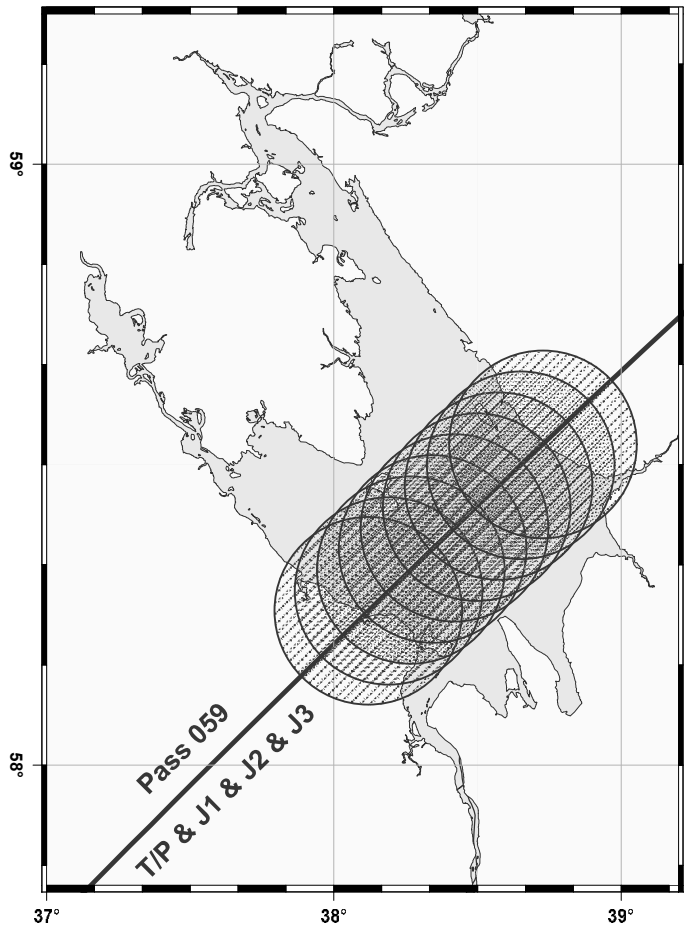


Рис. 2. Засвеченные области, расположенные на 59 треке спутника TOPEX/Poseidon, JASON-1, 2, 3 и сформированная сглаженная область в границах зеркала Рыбинского водохранилища

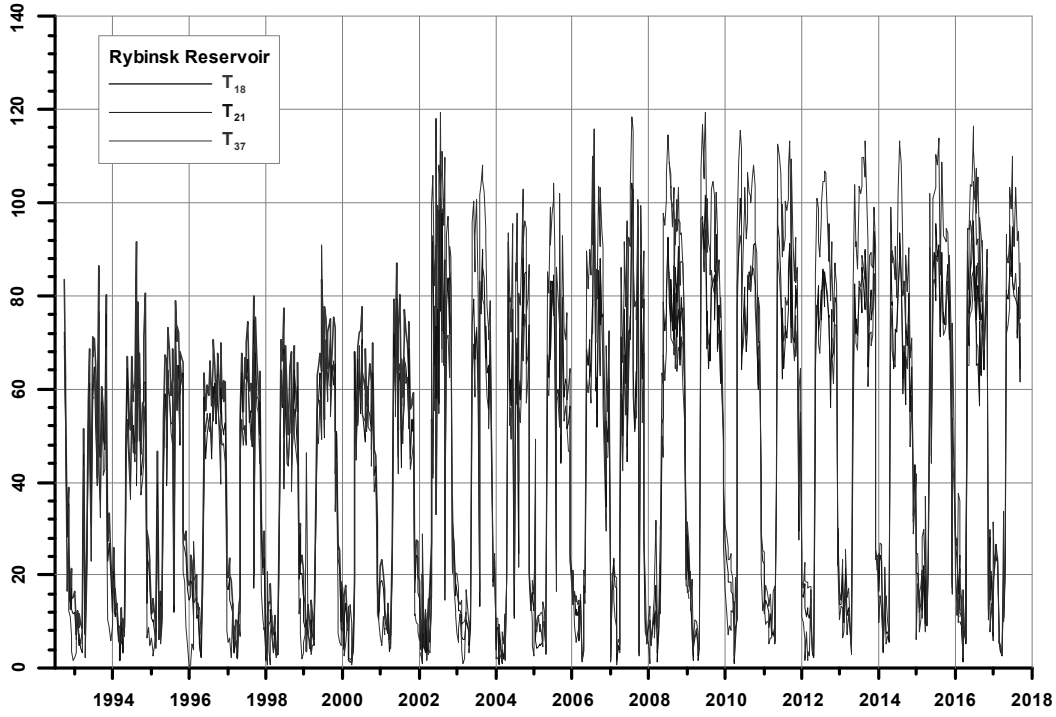


Рис. 3. Временная изменчивость разницы максимальной яркостной температуры для суши и минимальной яркостной температуры для зеркала Рыбинского водохранилища

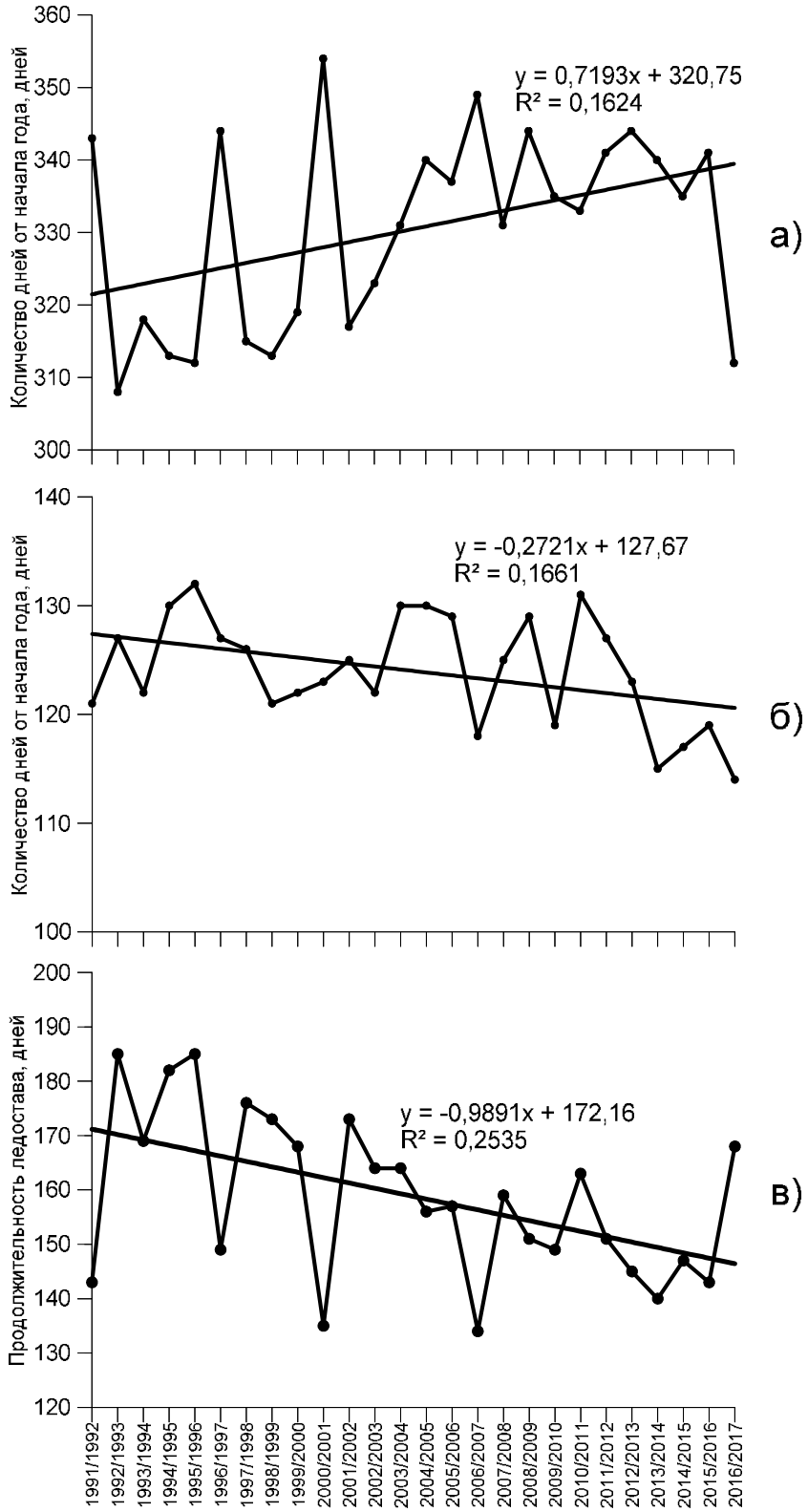


Рис. 4. Время начала ледостава (а) и вскрытия (б) в днях от начала года и продолжительность ледового режима (в) в сутках на акватории Рыбинского водохранилища за 1992–2017 годы [3]

Подводя итоги вышесказанному необходимо отметить, что разработан алгоритм идентификации ледового покрова по совместному анализу яркостных температур радиометра и коэффициента обратного рассеивания. Предложен простой метод определения времени замерзания и вскрытия внутренних водоёмов, основанных на анализе изменения яркостных температур, и показано за период с 1992 по 2017 год климатическая изменчи-

вость времени начала, окончания и продолжительности устойчивого состояния ледового покрова на акватории Рыбинского водохранилища.

Работа выполнена в рамках государственного задания ГЦ РАН, утвержденного ФАНО России (тема № 0145-2016-0005) (подготовка данных) при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 17-05-41117_РГО_а «Оценка современного гидрологического состояния крупных озер и водохранилищ Восточно-Европейской равнины на основе численного моделирования и новых алгоритмов обработки данных спутникового микроволнового зондирования» (интерпретация и анализ полученных результатов

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Водохранилища Верхней Волги. / Под ред. З.А. Викулиной, В.А. Знаменского. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 291 с.

2. Донченко Р.В. Ледовый режим рек СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 248 с.

3. Лебедев С.А. Клюев П.В., Идентификация ледяного покрова Рыбинского водохранилища и исследование его межгодовой изменчивости по данным спутниковой альтиметрии и радиометрии // Вестник ТвГУ. Серия: География и Геоэкология. – 2018. – №1. – С. 20–36.

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК КАТАСТРОФИЧЕСКОГО ПАВОДКА НА Р. АДАГУМ (Г. КРЫМСК) 6-7 ИЮЛЯ 2012 ГОДА В УСЛОВИЯХ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

А.Д. Колупаева, О.М. Макарьева, Н.В. Нестерова
alya.kolupaeva.97@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный университет, г.Санкт-Петербург, Россия,
Институт мерзлотоведения им. М.П. Мельникова СО РАН, г.Якутск, Россия
Государственный гидрологический институт, г.Санкт-Петербург, Россия

Введение. Черноморское побережье России, а также прилегающие территории характеризуется повышенным риском прохождения опасных природных явлений, в первую очередь, катастрофических паводков, сформированных выпадением ливневых осадков. Авторы в работе [1] утверждают, что основным фактором выпадения экстремальных осадков на территории Черноморского побережья и прилегающих территорий является увеличение температуры воды в море на 2 градуса за последние 30 лет. Высокая плотность населения региона, интенсивное использование земель в целях сельского хозяйства, туристическая привлекательность увеличивают риски материальных потерь и человеческих жертв в экстремальных ситуациях. Примером такого катастрофического события стал паводок 6-7 июля 2012 года в бассейне реки Адагум.

Гидрологическая сеть региона значительно сократилась в последние десятилетия, часто при прохождении паводков гидрологические посты разрушаются, а оцененные величины расходов по меткам высоких вод имеют неоднозначный характер из-за заторных явлений, вызванных корчеходом. По данным [3] прогноз опасных гидрологических явлений с заблаговременностью, достаточной для принятия эффективных мер, весьма сложен и затратен, но крайне необходим.

Анализ факторов, вызвавших паводок на р. Адагум в 2012 году, и его хронологическое описание приведено в работе [6], результаты моделирования паводка в работе [3].

Целью работы является верификация гидрологической модели «Гидрограф» в условиях формирования стока в бассейне р. Адагум, а также моделирование катастрофического паводка на р. Адагум 6-7 июля 2012 года в условиях нестационарности окружающей среды.

Объект исследования. Объектом исследования является водосбор реки Адагум – г. Крымск (площадь 336 км^2). Река Адагум образуется при слиянии рек Баканка и Неберджай, протекает по территории Крымского района Краснодарского края и впадает в Варнавинское водохранилище, принадлежит бассейну р. Кубань. Климат района близок к умеренному. Для ближайших метеостанций Крымск и Новороссийск среднегодовая температура воздуха составляет 15.5 и 12.7 соответственно, а годовое количество осадков 696 и 840 мм. Гидрологический режим реки характеризуется интенсивными паводками в осенне-зимний период и устойчивой летней меженью.

Методы исследования. В работе использовалась распределенная детерминированная гидрологическая модель формирования стока «Гидрограф» [4]. В работе [7] приведены результаты верификации модели «Гидрограф» для рек Черноморского побережья Кавказа, среди них реки Вулан, Адерба и Дюрсо. Основным результатом указанной работы является вывод о том, что модель «Гидрограф» применима для расчетов гидрографов стока и максимальных расходов воды в климатических условиях региона, характеризующихся выпадением ливней высокой интенсивности. Показано, что результаты расчетов в значительной мере зависят от входной информации о распределении осадков в пределах расчетных водосборов.

Входными данными для модели «Гидрограф» служит стандартная метеорологическая информация – суточные величины температуры и влажности воздуха, количества осадков. Для расчетов срочных максимальных расходов воды используются данные плювиографов [7] и климатических моделей, например WRF (Weather Research and Forecasting modelin gsystem) [2, 5]. Схематизация водосбора проведена с использованием ландшафтных и почвенных карт, на основе которых выделялись стокоформирующие комплексы (СФК). Основные растительные и почвенные параметры были заимствованы из работ [7] для соответствующих СФК. Интерполяция осадков в горных условиях производилась при нормировании суточных сумм осадков по их годовой среднемноголетней величине с учетом высоты местоположения расчетных точек.

Результаты. Для верификации параметров модели было проведено моделирование процессов формирования стока с суточным шагом р. Адагум за период 1966–2014 гг. В расчете использованы метеорологические данные метеорологических станций (м/с) Новороссийск и Крымск.

Оценка эффективности расчетов стока воды производилась путем сравнения рядов рассчитанных расходов воды с наблюденными значениями на основе величины критерия Нэша-Сатклиффа (NS). Максимальная величина критерия эффективности NS для суточных расходов воды достигает 0.73, минимальная —0.23, средняя – 0.40. Среднее квадратическое отклонение (СКО) за весь период расчета составило 15,9 м^3/с. На основе анализа критерия NS и сравнения рассчитанных и наблюденных элементов водного баланса результаты моделирования стока в бассейне р. Адагум могут быть признаны удовлетворительными.

Для моделирования на часовом интервале катастрофического паводка 6-7 июля на реке Адагум использовались метеорологические данные, заимствованные из работы [3]. Сумма осадков за период с 7 часов 6 июля до 7 часов 7 июля на м/с Новороссийск составила 275 мм, на м/с Крымск – 156 мм. Максимальная интенсивность осадков достигала 35-45 мм в час. Расчеты с использованием модели «Гидрограф» позволили оценить максимальный срочный расход воды р. Адагум –1300 м^3/с (рис. 1). Согласно расчетам за период паводка на водосбор р. Адагум выпало 283 мм осадков, слой стока составил 130 мм, достигая 14 мм/час в период прохождения максимального расхода воды.

В табл.1 представлено сравнение полученной величины максимального расхода воды р. Адагум с данными наблюдений и результатами расчета на основе программного комплекса SWMM (Stormwater Management Model - модель управления ливневым стоком) [3].

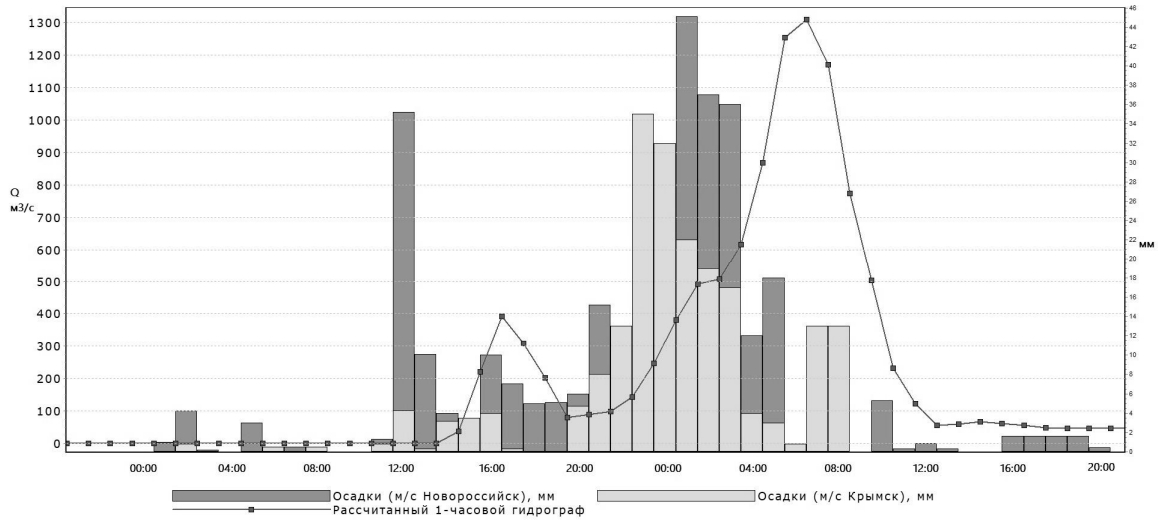


Рис. 1. Рассчитанная величина паводка 6-7 июля 2012 г.

Таблица 1. Максимальный расход паводка 6-7 июля 2012 года на р. Адагум

Метод оценки	Значение, $м^3/с$
По меткам высоких вод	1500
Программный комплекс SWMM [Болгов, Коробкина, 2013]	1350
Модель «Гидрограф»	1300

Выводы. Представлены результаты расчета катастрофического паводка на р. Адагум на основе гидрологической модели «Гидрограф». Для расчетов выполнена схематизация и параметризация водосбора р. Адагум, гидрологическая модель верифицирована на основе суточных рядов наблюдений за стоком. Рассчитанная величина максимального расхода соответствует порядку «наблюденной» и рассчитанной по другим методикам. Ранее авторами в работе [5] была показана возможность расчета срочных расходов воды с использованием входных данных мезомасштабной модели погоды, что позволяет учитывать локальное распространение осадков на территории. Таким образом, при наличии детальных данных об осадках модель «Гидрограф» позволяет воссоздать катастрофическое событие. А при наличии прогнозных метеорологических данных и выполнять прогноз стока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Edmund P. Meredith, Vladimir A. Semenov, Douglas Maraun, Wonsun Park & Alexander V. Chernokulsky «Crucial role of Black Sea warming in amplifying the 2012 Krymsk precipitation extreme» // Nature Geoscience. – 2015. – V.8. – P.615–619.

2. Барабанов В.С., Ефимов В.В., Шокуров М.В., 2003. Об использовании мезомасштабной модели для расчета полей приводного ветра и осадков над Черным морем. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря 2(7). – С. 177-189.

3. Болгов М.В., Коробкина Е.А. Реконструкция дождевого паводка на реке Адагум на основе математических моделей формирования стока. // Водное хозяйство России. – 2013. –№3. – С. 87-102.

4. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии: учеб. пособие. М.: Академия, 2010. – 304 с.

5. Колупаева А.Д., Макарьева О.М., Нестерова Н.В., Шихов А.Н. Расчет катастрофических паводков на территории Черноморского побережья с использованием гидрологической модели "Гидрограф" и климатической модели WRF // В книге: Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации. Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 246-247.

6. Котляков В.М., Лихачева Э.А., Десинов Л.В., Коронкевич Н.И., Маккавеев А.Н., Медведев А.А., Долгов С.В. Наводнение 6 - 7 июля 2012 года в г. Крымске // Известия РАН серия географическая. – 2012. – № 6. – С. 80-88.

7. Макарьева О.М., Нестерова Н.В, Виноградова Т.А., Бельдиман И.Н., Колупаева А.Д. Расчет характеристик катастрофических паводков неизученной реки Цемес (г. Новороссийск, Черноморское побережье России) на основе гидрологической модели «Гидрограф» // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. - 2019 (принята к печати).

СОВРЕМЕННЫЙ ВЫНОС БИОГЕНОВ В РЕКИ И ВОДОЕМЫ С ВОДОСБОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В БАССЕЙНЕ ДОНА

Н.И. Коронкевич, С.В. Долгов, Е.А.Кашутина
koronkevich@igras.ru

Институт географии РАН, г.Москва, Россия

Введение. Биогены, в первую очередь азот и фосфор, главная причина «цветения» воды в водоемах, весьма негативно сказывающегося на качестве воды. Они, как известно, содержатся в почве, естественной и культурной растительности, в стекающей с водосбора воде. Их запасы на водосборе пополняются в результате внесения удобрений, жизнедеятельности биоты, поступления с атмосферными осадками. Основной поставщик биогенов в реки и водоемы – сток с водосборов, как поверхностный, так и подземный. Сток в бассейне Дона претерпел существенные изменения, обусловленные как климатическими, так и антропогенными факторами, что сказалось и на величине выноса биогенов в реки и водоемы. Оценки современного выноса биогенов со стоком с водосбора Дона (диффузного стока) и посвящена данная статья. Главное внимание в ней уделено периоду половодья, основной гидрологической фазе в формировании годового речного стока.

Современные изменения стока в период половодья

В довольно многочисленных публикациях [2, 4, 5, 6 и др.] констатируется в первую очередь существенное уменьшение стока половодья в последние десятилетия на большей части бассейна Дона. Сток половодья формируется в основном поверхностным стоком со склонов, занятых главным образом пахотными угодьями, а также с площади гидрографической сети, к которой относится территория водосбора ниже бровок речных долин, оврагов, балок, лощин.

Динамике поверхностного склонового стока и стока с площади гидрографической сети в бассейне Дона посвящено гораздо меньшее число работ, чем динамике речного стока. Часть из них принадлежит авторам данной статьи или выполнена при их участии [1,4 и др.]. В последнее время на основе анализа данных воднобалансовых станций была выявлена динамика стока в бассейне Дона с отдельных угодий и средневзвешенного склонового стока (с учетом их структуры и механического состава почвогрунтов). При сопоставлении данных воднобалансовых станций с традиционными гидрометрическими наблюдениями, выполненного по методике [7], определена структура речного стока половодья и ее изменения во времени. Показана принципиально важное различие в гидрологической роли зяблевой пахоты и полей, не распахиваемых с осени, почва которых уплотнена к началу половодья и характеризуется гораздо худшей инфильтрационной способностью по сравнению с зябью. В результате сток с зяби гораздо ниже, чем с полей не распахиваемых с осени (табл. 1).

Еще ниже сток с лесных угодий, которые, правда, занимают в бассейне Дона незначительные площади. Таблица 1, а также таблица 2, в которой представлена динамика средневзвешенного склонового стока, составлены на основе «привязки» данных воднобалансовых станций к зональным значениям стока речного половодья, соответствующим

периоду с конца XIX в. до начала 1960-х гг. и принятым К.П. Воскресенским за норму[3].Зональные значения стока речного половодья 60 и 80 мм соответствуют лесостепной зоне, а 20 и 40 мм – степной.

Таблица 1. Весенний поверхностный склоновый сток с отдельных угодий в связи с величиной среднего многолетнего стока половодья за период исчисления нормы речного стока по К.П. Воскресенскому [3]

Средний многолетний сток половодья на реках за период с конца XIX века до начала 1960-х гг., мм	Поверхностный склоновый сток, мм					
	на суглинистых почвах			на супесчаных почвах		
	лес	зябь	поля, не распаханные с осени	лес	зябь	поля, не распаханные с осени
80	18	48	71	0	13	28
60	8	31	61	0	9	23
40	4	18	48	0	6	20
20	0	5	32	0	3	17

Таблица 2. Средневзвешенный поверхностный склоновый сток в связи с величиной среднего многолетнего стока половодья за период исчисления нормы речного стока, мм

Средний многолетний сток половодья на реках за период с конца XIX века до начала 1960-х гг.	Сток с сельскохозяйственных угодий		
	за период исчисления нормы стока	за период с начала 1960-х гг. до начала 1990-х гг.	современный (1990-2000-е гг.)
80	62	46	23
60	48	33	15
40	39	21	9
20	25	5	2

Изменения средневзвешенного поверхностного склонового стока рассчитаны для двух периодов – 1960–1980-х гг. и современного (с 1990-х гг. по настоящее время). В первом из них уменьшение стока обусловлено максимальным развитием площадей под зяблевой пахотой, применением комплекса агротехнических мероприятий, направленных на задержание воды на полях, а во втором – главным образом климатическими изменениями (повышение температуры зимнего периода, приводящее к учащению оттепелей, меньшему промерзанию почвы), несмотря на сокращение площадей под зяблевой пахотой. Это привело к увеличению подземного стока и стока верховодки, при том, что сток с площади гидрографической сети, куда ветром сносится значительная часть снега с полей, изменился сравнительно мало. В итоге в современный период участие различных составляющих речного стока изменилось следующим образом (табл. 3).

При уменьшении в современный период стока речного половодья доля поверхностного склонового стока, с учетом его добегания до рек и водоемов, снизилась на 60% в лесостепи и почти в 4 раза в степной зоне. А доля стока с площади гидрографической сети возросла для этих зон на 25% и в 1.7 раза. Участие стока инфильтрационного происхождения (подземного плюс верховодки) увеличилось в лесостепи на 30% и более и в 2 с лишним раза в степных районах.

Диффузное поступление биогенов в реки и водоемы, а также со сточными водами

В результате полевых работ сотрудниками ИГ РАН получены следующие осредненные величины содержания азота и фосфора в поверхностном стоке в бассейне Дона и на соседних территориях (табл. 4).

Таблица 3. Изменение структуры стока речного половодья, %

Зона	Период исчисления нормы стока			Современный период		
	поверхностный склоновый	поверхностный с площади гидрографической сети	подземный и верховодка	поверхностный склоновый	поверхностный с площади гидрографической сети	подземный и верховодка
Лесостепная	33	32	35	14	40	46
Степная	50	42	8	13	70	17

Таблица 4.Средняя концентрация биогенов в современном поверхностном склоновом стоке в период половодья в южной части Русской равнины, мг/л

Вид угодий	$N_{минер}$	$P_{минер}$
Лес (широколиственный и хвойный)	3.35	0.20
Зябь	7.05	0.66
Поля, нераспаханные с осени (озимь, стерня, многолетние травы) и площадь гидрографической сети	3.22	0.39
Незалесенные склоны в среднем	4.37	0.47

Таблица 5. Содержание азота и фосфора в диффузном стоке и в сосредоточенных сбросах сточных вод, тыс. т

Сезон	Половодье				Год			
Источник поступления в реки и водоемы	Диффузный сток				Сточные воды от точечных источников			
Источник информации	Расчеты авторов				Данные водохозяйственной статистики			
Форма биогенов	Азот мин.	Азот общий	Фосфор мин.	Фосфор общий	Азот мин.	Азот общий	Фосфор мин.	Фосфор общий
Период осреднения	Средний за последние два десятилетия				2012-2015	2012-2015	2000,2005, 2008, 2009	2000,2005, 2008, 2009
Общее поступление в бассейн Дона	22.8	45.6	1.9	5.7	6.6	13.2	0.4	1.1

В подземном стоке и стоке верховодки эти концентрации приблизительно в 2 раза ниже, чем в среднем на залесенных склонах. Причем, они мало отличаются в лесостепных и степных районах. Умножением указанных концентраций на величину отдельных составляющих речного стока получены величины суммарного выноса биогенов со стоком весеннего половодья в реки и водоемы в бассейне Дона (табл. 5). В этой же таблице приведены и годовые значения выноса биогенов, полученные по данным водохозяйственной статистики. Как видно, вынос азота с диффузным стоком в 3.5 раза превышает его вынос со сточными водами, а фосфора – в 5 раз. Правда, реально в крупные реки и водохранилища попадает лишь часть диффузного выноса биогенов, поскольку происходит процесс самоочищения в малых реках и водоемах. Выяснить, какова это часть, задача дальнейших исследований, как и определения суммарного за год выноса, и не только с сельхозугодий, но и с урбанизированных территорий.

Заключение. Конечно, приведенные величины ориентировочны и нуждаются в уточнении, но они достаточно отчетливо свидетельствуют о значительной роли весеннего диффузного биогенного выноса, несмотря на современное уменьшение стока половодья.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-00479)

ЛИТЕРАТУРА

1. Барабанов А.Т., Поверхностный сток и инфильтрация в почву талых вод на пашне в лесостепной и степной зонах Восточно-Европейской равнины /А.Т. Барабанов, С.В. Долгов, Н.И. Коронкевич, В.И. Панов, А.И. Петелько // Почвоведение. – 2018. – № 1. – С. 62-69.

2. Водные ресурсы России и их использование – СПб: ГГИ, 2008. – 598 с.

3. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза / К.П. Воскресенский. – Л.: Гидрометеоиздат, 1962. – 548 с.

4. Георгиади А.Г. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Часть 2. Бассейны рек Волги и Дона / А.Г. Георгиади, Н.И. Коронкевич, И.П. Милюкова, Е.А. Кашутина, Е.А. Барабанова. – Москва: МАКС Пресс, 2014. – 214 с.

5. Джамалов Р.Г. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние /Р.Г. Джамалов, М.Б. Киреева, Е.А. Косолапов, Н.Л. Фролова. – М., ГЭОС, 2017. – 205 с.

6. Дмитриева В.А. Гидрологическая реакция на меняющиеся климатические условия и антропогенную деятельность в бассейне Верхнего Дона / В.А.Дмитриева, Е.Г. Нефедова // Вопросы географии. Сб. 145. Гидрологические изменения. – М.: Издательский дом «Кодекс», 2018. – С. 285-297.

7. Коронкевич Н.И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения / Н.И. Коронкевич. – М.: Наука, 1990. – 205 с.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОГО И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ В БАССЕЙНЕ ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ

Ж.В. Кузьмина, С.В. Черноруцкий
jannakv@yandex.ru, snurmagic@mail.ru

Институт водных проблем РАН, г.Москва, Россия

Проблема климатических изменений поставила задачу установления направлений развития и трансформации наземных экосистем на ближайшую перспективу.

На основе анализа многолетних (2009-2018 гг.) комплексных экологических исследований в регионе Северного Подмосковья в зоне южной тайги в бассейне Верхней Волги установили изменение положения меженного летнего уровня грунтовых вод (УГВ) и структуры наземных экосистем.

Причинами установленных изменений в наземных экосистемах явились выявленные ранее многолетние климатические и гидрологические изменения [2, 4, 5].

Изменения положения безнапорных грунтовых вод в естественных экосистемах оценивалось по разработанной методике [1, 3] на основе проводимых комплексных исследований на модельных территориях – в заказнике «Журавлиная родина» и прилегающих к нему землях Талдомского и Сергиево-Посадского р-нов Московской области, в зоне южной тайги бассейна верхней Волги.

Многолетний мониторинг наземных экосистем проводился по экологическим профилям, расположенным перпендикулярно речным долинам малых рек бассейна Верхней Волги. Охватывались все формы рельефа долины реки, а также часть плакорной поверхности, примыкающей к долинам. На основных формах рельефа (низкая, средняя, высокая

пойма, надпойменная терраса, плакорная поверхность) закладывались модельные почвенные шурфы до УГВ. Исследовались безнапорные грунтовые воды, которые относятся к современному аллювиальному водоносному горизонту в долинах рек или надморенному водоносному горизонту на плакорах водозборной поверхности и располагаются обычно на глубине от 0.1 до 5.5 м от поверхности почвы.

На территории с минимальным антропогенным воздействием – на территории заказников и неиспользуемых территорий были заложены профили Кильма и Вьюлка. Профили Павловка и Полубарское были заложены в зонах влияния низконапорных плотин при отсутствии других видов антропогенного влияния. На профилях Костинка и Курга с гидромелиоративной сетью, также на землях заказников, изучалось гидромелиоративное воздействие обводнения-осушения. Ежегодные исследования в меженный период (июль – начало августа) проводили по нескольким модельным шурфам (до УГВ) для основных форм рельефа.

Оценка изменений УГВ проводилась по собственной методике [1, 3]. На основе установления наличия (или отсутствия) достоверных трендов изменений УГВ, рассчитываются два показателя. Один – ОКИ – отражает отношение модуля изменения геоэкологического параметра (температуры, осадков, УГВ, расходов или уровней воды в реках) за многолетний период к амплитуде колебания этого параметра, выраженное в %. Он рассчитывается как отношение *модуля изменения трендовых значений* параметра (в данном случае УГВ) за многолетний период к *модулю амплитуды колебания фактических (измеренных) значений* этого параметра в многолетнем аспекте: $\hat{I}\hat{E}\grave{E} = \frac{\left|F(g_n) - F(g_1)\right|}{\left|g_{\max} - g_{\min}\right|} 100\%$,

где $F(g_1)$ и $F(g_n)$ начальные и конечные значения линейного тренда оцениваемой характеристики (УГВ), а $g_{\max}$ и $g_{\min}$ – максимальные и минимальные фактические (измеренные) значения этого параметра (УГВ) за многолетний период. Второй показатель оценки многолетних изменений – это «% от среднего». Он применяем только к геоэкологическим параметрам, отличным от нуля. «% от среднего» отражает долю изменения *фактических средних значений* УГВ (или любого другого геоэкологического параметра, кроме температур) и рассчитывается как отношение модуля изменения (*по тренду*) к модулю среднего от *фактически (измеренных)* значений параметра.

Нами было установлено, что в бассейне верхней Волги происходит повышение температур воздуха (средних, минимальных, максимальных) и сокращение амплитуды их колебания в годовом цикле, что сопровождается увеличением годового количества атмосферных осадков (за счет холодного полугодия), а также их перераспределением (увеличением увлажненности зимой и осенью на фоне отсутствия изменений летом и весной) в течение года [2, 4, 5].

Для региона исследований совокупное влияние изменения влажностно-температурного режима (по расчету индексов засушливости Педя) привело:

- к повышению зимнего меженного уровня воды в реках и снижению весеннего половодья, к снижению амплитуды колебания расходов и уровней воды, а также к стабилизации (или выравниванию) распределения УГВ в поймах рек в течение года;

- к повышению УГВ и заболачиванию в долинах рек и на плакорах водосборных территорий, способствуя большему распространению подтопляемых территорий и активизации процесса глееобразования в почвах [4, 5, 6].

Климатические изменения привели к ожидаемым изменениям в экосистемах, как в их растительных и почвенных компонентах, так и в расположении грунтовых вод (верховодки) под ними. Например, на профиле Вьюлка (рис. 1), контрольном для всех луговых профилей, с полностью отсутствующим гидротехническим и мелиоративным воздействием, повышение УГВ за 9 лет отмечено для всех основных форм рельефа: для низкой и верхней поймы (рис., кривые 1 и 7), для 1-ой надпойменной террасы и для плакорной (водораздельной) поверхности (рис., кривые 5 и 3). Коэффициенты корреляции (r) между фактическими измеренными значениями УГВ и трендом составляют от 0,67 до 0,79 с вы-

сокой значимостью (0,05-0,01). На профиле Вьюлка всреднем УГВ по всем 4-ём разрезам поднялся на 1,1 м – от 1,0 до 1,4 м. Наиболее сильно подъем УГВ ощущается на низкой пойме – здесь относительный коэффициент изменений (ОКИ) составляет 80%, а изменения по сравнению со средними значениями составили 142%. Это выражается на местности в сильной деградации луговых экосистем низкой поймы, где количество видов растений составляет от 2 до 6, а доминируют повсеместно только крапива (*Urtica dioica*) и таволга (*Filipendula ulmaria*) ослабленной жизненности (2-3).

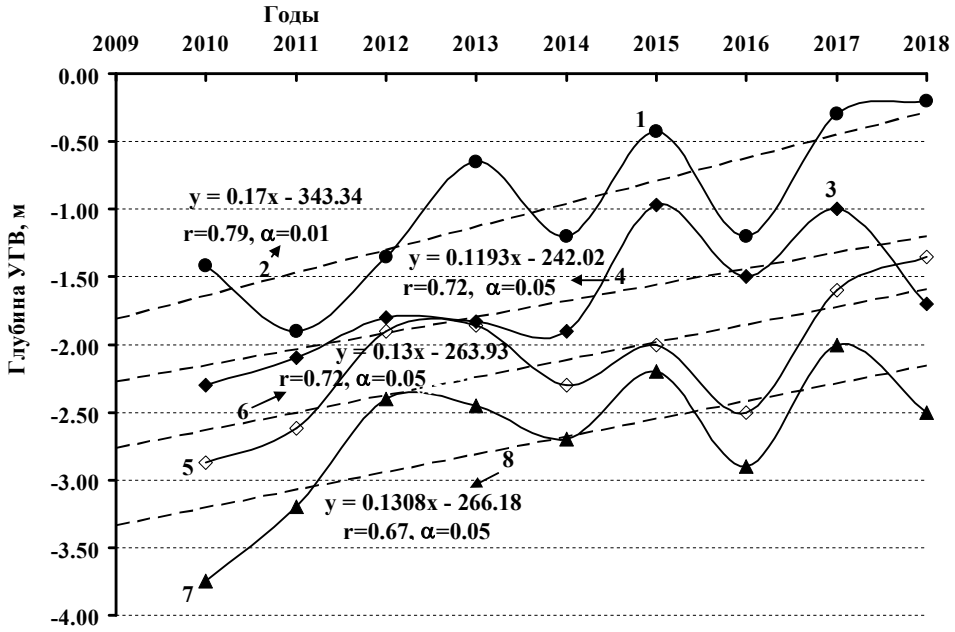


Рис. 1. Изменения УГВ на экологическом профиле в долине р. Вьюлка.

Условные обозначения. Фактическое изменение УГВ в летнюю межень: 1 – двукисточниково-осоковый луг низкой поймы (1-ая пойменная терраса) правого берега реки; 3 – разнотравно-злаковая с участием ивы, подроста березы и осины (зарастающий луг) на выположенном склоне плакорной поверхности долины левого берега; 5 – злаковый луг с участием разнотравья на 1-ой надпойменной террасе правого берега реки; 7 – разнотравно-бодяково-злаковый луг на верхней пойме (3-я пойменная терраса) левого берега. Тренды изменения УГВ с их формулами, коэффициентами корреляции (r) и значимостью (α) для соответствующих модельных шурфов: 2 – для кривой 1, 4 – для кривой 3, 6 – для кривой 5, 8 – для кривой 7.

Выводы. 1. В долинах рек и на плакорной (водосборной) поверхности зоны южной тайги в бассейне Верхней Волги в пределах Северного Подмосковья установлено повышение УГВ в летнюю межень за период с 2009 по 2018 гг., в среднем на 1 м.

2. Повышение УГВ произошло вследствие климатических флуктуаций и полностью связано с естественными гидролого-климатическими изменениями.

3. Гидротехническое воздействие, связанное со строительством малых водохранилищ и низконапорных плотин в современный период гумидного потепления усугубляет положение экосистем на уровнях низкой поймы в нижних бьефах плотин, приводя к полному затоплению и/или заболачиванию пониженных форм рельефа в течение всего вегетационного периода, усиливая, тем самым, естественный тренд повышения УГВ на 30-40 % (по ОКИ) и в 1,5-4 раза по сравнению со средними значениями УГВ.

4. При этом воздействие низконапорных плотин благотворно сказывается на участках средних и верхних пойм в нижних бьефах плотин малых водохранилищ, снижая гидротехнический антропогенный тренд падения УГВ в нижних бьефах на величину от 0,5 до 1,5 раз. Таким образом, частично компенсируется негативное гидротехническое воздействие на основные по площади производительные в сельскохозяйственном отношении территории средних и высоких уровней поймы в нижних бьефах малых водохранилищ, распространенных повсеместно.

5. В современный период гумидного потепления в исследуемом регионе на всех уровнях поймы, надпойменных террас и водораздельных плакоров как в естественных условиях, так и при зарегулировании речного стока (особенно сильно в верхних бьефах) наблюдается деградация наземных экосистем, которая выражается в усилении оглеения в почвенном профиле, особенно в его верхних горизонтах, изменении видового разнообразия, доминировании колючего сорнотравья на лугах и образовании новых сорнотравных фитоценозов, непригодных к использованию в сельском хозяйстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмина Жанна В., Трешкин Сергей Е. Оценка степени трансформации наземных экосистем и ландшафтов при зарегулировании речного стока и климатических изменениях. Глава V/29 // Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в пяти томах). Том 5. Планирование, управление и реабилитация ландшафтов / Ред. В.Г. Сычёв, Л. Мюллер. – М.: изд-во ФГБНУ «ВНИИ агрохимии». – 2018. – С. 136-141.

2. Кузьмина Ж.В., Каримова Т.Ю., Трешкин С.Е., Феодоритов В.М. Влияние климатических изменений и зарегулирования речного стока на динамику растительности долин рек // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2011. – № 2 (116). – С. 34-40.

3. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. Методика оценки нарушений в наземных экосистемах и ландшафтах в результате климатических и гидрологических изменений // Экосистемы: экология и динамика. – 2017. – Т. 1. – № 3.– С. 146-188 (Электронный ресурс http://www.ecosystemsdynamic.ru/wp-content/uploads/2017/09/6-Кузьмина-статья.pdf [Дата обращения 25.02.2019]).

4. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. Многолетние изменения влажностно-температурного режима в зоне южной тайги европейской части России (бассейн верхней Волги)// Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2018. – №2 (154).– С. 55-63.

5. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. Многолетние изменения основных метеорологических характеристик в зоне южной тайги Европейской части России (бассейн верхней Волги) // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2017. – № 4 (152).– С. 50-61.

6. Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Шинкаренко С.С. Влияние зарегулирования речного стока и изменений климата на динамику наземных экосистем Нижней Волги // Аридные экосистемы. – 2018. – №4 (77).– С. 5-20.

СТРУКТУРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ЛЕНТИЧЕСКИХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

В.В. Кульнев
kulneff.vadim@yandex.ru

Управление Федеральной службы по надзору в сфере природопользования по Воронежской области, г.Воронеж, Россия

Проблематика изучения экологического состояния водных экосистем является сложной и многогранной задачей. Она не ограничивается статической характеристикой состояния водного объекта, полученной на основе элементарной обработки данных наблюдений. Современный уровень развития инвайроментальной отрасли науки позволяет давать оценку состояния, в данном случае, водных экосистем в динамике, давать высокоточный прогноз их развития.

В настоящее время появляются биологические методы, направленные на улучшение качественных характеристик гидробиоценозов за счет активизации естественных

процессов самоочищения. Одним из таких приемов является искусственная альголизация водоемов планктонными штаммами зеленой микроводоросли хлореллы. Применение данного метода позволяет правильным образом выстроить структуру фитопланктонного сообщества, то есть, в некотором роде, гармонизировать видовой состав микроскопической альгофлоры, что неизбежно приводит к реабилитации лентического водного объекта в гидробиологическом отношении.

В целях развития методического обеспечения проведения экологического мониторинга водных объектов за счет введения приемов управления качеством лентических водных экосистем применяется математическое моделирование.

Математическое моделирование сложноорганизованных природных объектов имеет ряд особенностей. Экологу требуется формально описать, смоделировать взаимозависимость свойств целого и его составных частей (подсистем) в динамике. Или выяснить, как свойства системы определяют ее интегральное качество.

Традиционный системный подход к моделированию в этом случае требует выражения моделей одного уровня описаний в категориях моделей других, более обобщенных уровней, что не всегда возможно. В результате исследователь упрощает модель исследуемого процесса или явления. Фрактальный подход позволяет связать эти два типа системных характеристик через фрактальную размерность: интегральную характеристику изучаемого объекта с его локальными параметрами, которые появляются при его декомпозиции. Поэтому фрактальную размерность часто называют мерой системной сложности, а ее шкала, определяющая область масштабной инвариантности объекта, может изменяться от 1 до 2 (на плоскости) и от 2 до 3 (в объеме).

В исследованиях традиционно используется евклидова топологическая размерность d, позволяющая описывать точечные дефекты размерностью d=0, отрезки прямых линий -d=l, плоских элементов - d=2, объемных - d=3. Это меры объема, веса, концентраций, масс, площадей, принимающих только целочисленные значения.

Однако природа оказывается слишком разнообразной для того, чтобы ее можно было описать с помощью математических множеств, обладающих целой, топологической размерностью: линиями, квадратами, кубами и т.п. Преобладающее большинство объектов природы обладает дробной или фрактальной размерностью, и трактуется как количественная мера разупорядоченности структуры различной природы.

Рассмотрим применение методов мультифрактальной динамики на примере изучения изменения функциональных характеристик водной экосистемы вследствие искусственного вселения отдельных видов гидробионтов. Биологическая реабилитация методом коррекции альгоценоза представляет собой действия, направленные на улучшение состояния водной экосистемы, и входит в систему комплексных мер экологической реабилитации, направленных на улучшение состояния водоема и прилегающей территории, включающую улучшение качества воды и увеличение биоразнообразия гидробионтов [1].

Наиболее ощутимыми отрицательными последствиями повышения антропогенной нагрузки на водохранилища являются: изменение условий жизнедеятельности водной биоты, изменение качества воды, создание благоприятных условий для развития патогенной микрофлоры в застойных зонах и избыточное развитие синезеленых водорослей, приводящее к попаданию в воду цианотоксинов, представляющих серьезную угрозу здоровью людей [2, 3]. Инновационным подходом, позволяющим значительно снизить уровень загрязнения водоемов цианотоксинами, является коррекция альгоцеозов этих водоемов планктонными штаммами зеленой микроводоросли *Chlorellavulgaris* [7]. Альголизация, то есть обогащение водоемов зеленой водорослью хлореллой в весенний период предотвращает последующее развитие синезеленых водорослей и восстанавливает структуру водорослевого сообщества.

Биологическая реабилитация методом коррекции альгоценоза проводилась, в том числе, на Матырском водохранилище, являющимся самым крупным водным объектом Липецкой области [1-3, 5].

Процесс альголизации можно представить в виде контура отрицательной обратной связи экосистемы с внешней средой (рисунок 1).

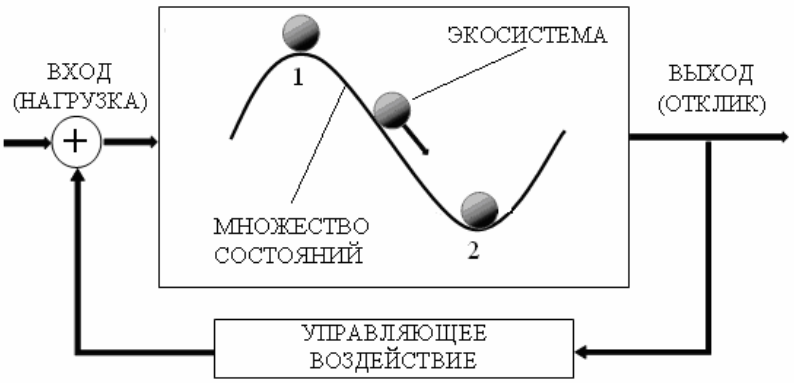


Рис. 1. Процесс альголизации как управление развитием обменных взаимодействий экосистемы с внешней средой через контур обратной связи. Цифрами 1 и 2 обозначены аттрактивные состояния экосистемы

Цель управления развитием – восстановление системой режимов саморегуляции, при которых не происходит упрощения внутрисистемных связей, через один из следующих сценариев [5].

1. Экосистема не меняет направленности своего развития, но при этом значительно расширяется число новых аттрактивных центров, способствующих локализации ранее избыточной нагрузки. При этом сокращается утрата внутрисистемных связей, именуемых как «выгорание» среды (снижение биоразнообразия водного объекта).

2. Экосистема изменяет направленность своего развития и движется к новым аттракторам фазовых состояний.

Всякой природной системе, которая с течением времени приходит в состояние равновесия с окружающей средой, отвечает геометрическая область в фазовом пространстве, называемая аттрактором.

Аттрактор отвечает установившемуся поведению системы – тому, к которому она стремится в результате самоорганизации, где оптимизируются расходы внутреннего ресурса системы на поддержание внешней нагрузки. Отрицательная обратная связь– вид обратной связи, который уменьшает действие входного сигнала на систему и делает ее более устойчивой к случайному изменению внешней среды. Если обратная связь полностью компенсирует входной сигнал, то управляющая система выполняет функцию регулирования состояний.

Если же обратная связь компенсирует только часть входного сигнала по коэффициенту обратной связи, то влияние входа на систему будет стабилизировано. Если параметры выхода (отклик) выразить фрактальной размерностью, то это будут размерности аттракторов, к которым стремится система при воздействии всех остальных факторов, включая альголизацию.

Использование принципа обратной связи как воздействие результатов процесса на его протекание, является одним из основных принципов регулирования состояний в живой природе. В системах обратную связь рассматривают как передачу информации о протекании процесса, на основе которой вырабатывается то, или иное управляющее воздействие - усиливающее, ослабевающее или останавливающее процесс. Для управления развитием важно, чтобы результирующие состояния экосистемы водного объекта поддерживались его адаптационным ресурсом - чему должна способствовать альголизация [5]. Например, если на рисунке 1 внешняя нагрузка в совокупности с альголизацией приводит систему к желаемому аттрактору 2, то система поддерживается в нем в режиме саморегуляции. Тогда альголизация через контур обратной связи в достаточной мере компенсирует негативное влияние внешней среды. Если же альголизация при тех же параметрах внешней нагрузки переводит систему в аттрактор 1, то в нем она поддерживается только в квазиустойчивом режиме.

Это означает, что случайные незначительные воздействия внешней среды могут привести систему к новому устойчивому состоянию. Но не обязательно это состояние бу-

дет желаемым. Например, аттрактор 1 может соответствовать состоянию подавления активности, но не уничтожения спор синезеленых водорослей, а новое устойчивое состояние – повторному циклу развития синезеленых водорослей.

Если желаемые состояния не обеспечиваются, необходимо корректировать управляющие параметры альголизации – концентрацию, нормы, места и периодичность вселения зеленой водоросли[5].

Процесс перехода от менее устойчивого состояния к более устойчивым осуществляется за счет внутренних ресурсов системы и называется самоорганизацией. Характер и структура управляющих воздействий альголизации определяется начальными состояниями объекта управления, морфометрическими и гидрологическими параметрами среды обитания гидробионтов.

Пусть, например, имеется метастабильно устойчивая экосистема, и требуется перевести фазовую траекторию из одного аттрактора в другой.

Если правильно подобрать параметры и структуру управляющих воздействий альголизации (концентрация, норма вселения, периодичность), требуемый результат может быть получен за счет серии незначительных воздействий. Каждое из этих воздействий лишь слегка корректирует траекторию. Но через некоторое время накопление и экспоненциальное усиление малых возмущений среды приводит к достаточно сильной коррекции траектории за счет самоорганизации.

Такой вид управления развитием относится к «мягкому» управлению - систему принудительно лишают устойчивости прежнего состояния и она, используя свой ресурс, переходит в другое устойчивое состояние.

Применение биологической реабилитации Матырского водохрнилища методом коррекции альгоценоза показало, что вегетативные формы и споры синезеленых водорослей уменьшаются за первый год в среднем до уровня 57% от исходного, за два года - до уровня 33%, а за пять лет их остается порядка 6% от начального количества, что уже не дает им доминантных преимуществ. Приведенная закономерность характеризуется экспоненциальной зависимостью

$$C = C_0 e^{\frac{-t}{\tau}} \qquad (1)$$

где C_o – первоначальное количество водорослей, выраженное в процентах, τ – постоянная очистки, определяемая временем в течение которого количество синезеленых водорослей уменьшается в *e* раз. По результатам измерений τ =1,79 года. Цикл технологических работ составляет 4 года, за который водный объект, практически не подвержен «цветению» [5].

Однако изменения структуры по гидрохимическим и биотическим показателям в 2014 г. указывают на их неустойчивость. Это означает, что системе не хватает собственных ресурсов для поддержания нового состояния и незначительные флуктуации внешней нагрузки могут вновь запустить реверсивные процессы развития синезеленых водорослей. Система перейдет в новое, но нежелательное устойчивое состояние.

По существующей структуре данных, приведенных на рисунке 2, можно говорить о том, что динамика развития эвгленовых и пирофитовых водорослей стала несколько более неустойчивой, синезеленые водоросли также снизили устойчивость развития, в то время как рост диатомовых и зеленых водорослей выделяется своей стабильностью. Прослеживается определенное доминирование зеленых водорослей в экосистеме.

Управление развитием водного объекта через альголизацию биоценоза относится к мягкому регулированию, состоящего в ликвидации преимуществ одного режима функционирования по сравнению с другим за счет внешних управляющих воздействий. Альголизация предполагает, что экосистему лишают прежней устойчивости, принудительно воздействуя на параметры экосистемы. В результате этого экосистема самостоятельно изменяет траекторию своего развития, используя при этом лишь собственный ресурс.

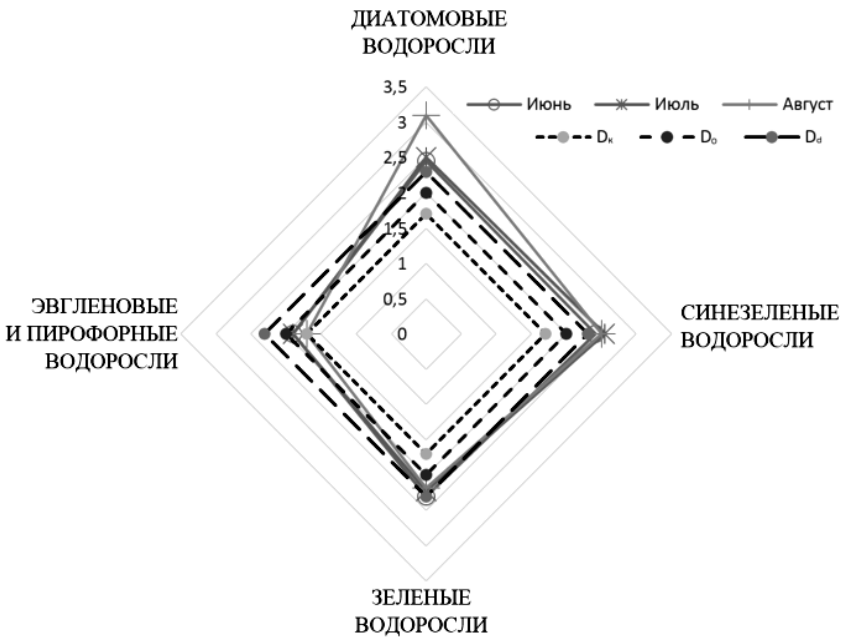


Рис. 2. Динамика биоценоза Матырского водохранилища после альголизации (2014 г. по четырем таксонам альгофлоры)

Индикатором ответной реакции экосистемы на управляющие воздействия альголизации и оценкой качества этих воздействий служат фрактальные диаграммы. Динамика изменения их структуры дает возможность оценки вариабельности отклика на управляющие воздействия альголизации. В свете этого можно говорить о фрактальной размерности осцилляций управляемого параметра, как о качественном индикаторе процесса управления.

Для оценки отклика экосистемы на управляющие воздействия альголизации предлагается построение мультифрактальных моделей в виде структурных диаграмм состояний. В силу своей простоты такие модели могут быть эффективны в системах поддержки управленческих решений, когда необходимо оценить эффективность технологических мероприятий по выводу системы из нежелательных состояний. Сопоставление параметрических динамик в различных точках пространства водных объектов может дать ценную информацию о характере распределения антропогенных воздействий и его доминирующих факторах, что необходимо при выработке управляющих решений.

Процесс управления развитием экосистемы заключается в смене нежелательной траектории ее развития через управляющие воздействия альголизации. При этом подбор управляющих воздействий и их структура должны быть соразмерны с внутренними параметрами экосистемы для того, чтобы не допустить в процессе развития экосистемы финишных неустойчивых состояний или эффектов структурного резонанса ее параметров, известных, как режим с обострением [5].

Преимуществом предлагаемого подхода является возможность унитарной численной оценки разнородных антропогенных нагрузок и сравнение их динамик, что позволяет сделать вывод о способности структуры системы к самоорганизации, выявить показатели, динамика которых имеет вероятностную тенденцию приближения к критическим значениям активности. Для оценки и принятия управленческих решений полученный мультифрактальный «портрет» экосистемы накладывается на выделенные формы ее критической организации, что позволяет оценить антропогенную сбалансированность ее динамики и способность к самовосстановлению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анциферова Г.А., Кульнев В.В. Биотехнологии в управлении качеством искусственных водных объектов на примере Матырского водохранилища / Г.А. Анциферова,

В.В. Кульнев // Материалы Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности» Часть II Изд-во ВГТУ, 2016.

2. Анциферова Г.А., Кульнев В.В. Об изменении структуры фитопланктонного сообщества Матырского водохранилища в течение вегетационных сезонов 2010-2012 и 2014-2015 годов / Г.А. Анциферова, В.В. Кульнев // Материалы Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности» Часть VIII Изд-во ВГТУ, 2016. – С. 94-106.

3. Анциферова Г.А., Кульнев В.В., Шевырев С.Л., Беспалова Е.В., Русова Н.И., Скосарь А.Е. Искусственные водные объекты реки Воронеж и альгобиотехнология в управлении качеством вод / Г.А. Анциферова, В.В. Кульнев, С.Л. Шевырев, Е.В. Беспалова, Н.И. Русова, А.Е. Скосарь // Экология и промышленность России. Москва. – 2018. – Т. 22. – №8. – С. 50-54.

4. Богданов Н.И. Биологическая реабилитация водоемов. – Пенза, 2008. – 137 с.

5. Насонов А.Н. Фрактальный анализ биологической реабилитации водных объектов методом коррекции альгоценоза / А.Н. Насонов, И.В. Цветков, В.В Кульнев., О.В. Базарский, И.М. Жогин // Проблемы управления водными и земельными ресурсами Материалы международного научного форума: в 3 частях. – Москва, 2015. – С. 165-180.

6. Насонов А.Н. и др. Фракталы в науках о Земле. Учебное пособие / А.Н. Насонов, И.В. Цветков, И.М. Жогин, В.В. Кульнев, Е.М. Репина, С.Л. Кирносов, А.В. Звягинцева, О.В. Базарский. – Воронеж: Изд-во «Ковчег». – 2018. – 82 с.

7. Петросян В.С. Предотвращение загрязнения природных водоемов цианотоксинами с помощью микроводоросли Chlorellavulgaris ИФР №С-111 / В.С. Петросян, Е.А. Бутакова, В.Т. Лухтанов, В.В. Кульнев // Экология и промышленность России. – 2015. – № 4. – С. 36-41.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ГИДРОПОСТОВ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

В.В. Кульнева, А.В. Звягинцева, М. Лутовац
vedma_Via@mail.ru, zvygincevaav@mail.ru, lutovLutovacac@mail.ru

Воронежский государственный технический университет, г.Воронеж, Россия
Сербская королевская академия наук, г.Белград, Сербия

Река Дон – самая большая река Воронежской области. Дон имеет площадь водосбора равную 422000 км^2. Преобладает снеговое питание (до 70%). На метеостанциях проводятся ежедневные наблюдения за основными климатическими показателями. Сейчас на территории Воронежской области функционирует 9 метеостанций федерального уровня, в городах: Воронеж, Анна, Борисоглебск, Лиски, Нижнедевицк, Павловск, Калач, Каменная степь, Богучар и метеопост в г. Новохоперск.

Изменение уровней сезонных половодий на гидрологических постах Среднего Дона зависит от климатических, геоморфологических и гидрологических условий конкретного поста [1]. На территории области на фоне относительно маловодных лет наблюдаются отдельные годы с максимальными значениями показателей. Интервал между пиками половодья на реке Дон (с. Гремячье) высотой более 700 см составляет 3-4 года. Каждые 7-8 лет уровень половодья достигает более 800 см (рис. 1).

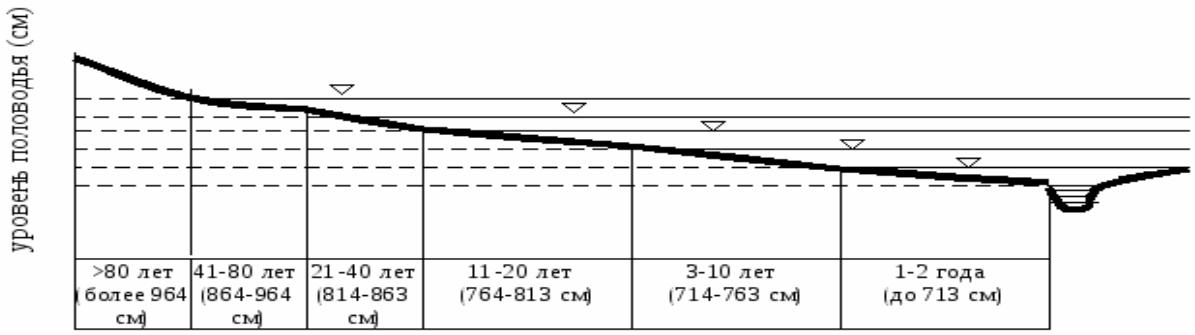


Рис. 1. Повторяемость максимальной высоты половодья на реке Дон (г. Павловск)

Определение расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений достаточной продолжительности осуществляют путем применения аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения – кривых обеспеченностей по методикам [2]. Наблюдения за уровнем воды чаще всего подчинены общей задаче учета стока воды, но могут иметь и самостоятельное значение. Частота регистрации высоты уровня в течение суток зависит от характера уровненного режима реки. Основными сроками наблюдений являются 8 и 20 часов. В периоды половодья и дождевых паводков, кроме указанных сроков, необходимо назначать дополнительные сроки наблюдений через равные промежутки времени: 2, 4, 6 часов, в зависимости от характера и быстроты подъема и спада волны половодья или паводка. Для графического отображения изменения весеннего среднегодового расхода реки с течением времени была построена графическая модель хронологического ряда годовых расходов (рис. 2).

Рис. 2. Графическая модель хронологического ряда годовых расходов

Анализ графической модели показывает, что ряд годовых расходов можно условно разделить на две части различающихся характером колебаний расходов: 1997–2005 гг. и 2006–2014 гг. В первой половине графика преобладают «пики», а во второй половине «впадины». Ранжирование ряда и определение эмпирической обеспеченности показано в табл. 1. Для построения модели годовых расходов р. Дон у г. Павловска за 1997–2014 гг. необходимо расположить данные в убывающем порядке и определить для каждого члена убывающего ряда эмпирическую обеспеченность, выражаемую в процентах по формуле 1:

$$P_{m\%} = \frac{m}{n+1} \cdot 100 , \qquad (1)$$

где m – порядковый номер значения характеристики стока в убывающем ряду; n – общее число членов ряда (n=18)

Таблица 1. Расчет ординат эмпирической кривой обеспеченности

№п./п.	Год	Q, м^3/с*	В убывающем порядке		p_m
			Q, м^3/с	Год	
1	1997	698	801	2003	5,3
2	1998	714	755	2011	10,5
3	1999	411	714	1998	15,8
4	2000	555	698	1997	21,1
5	2001	613	613	2001	26,3
6	2002	308	591	2010	31,6
7	2003	801	555	2000	36,8
8	2004	331	546	2006	42,1
9	2005	418	501	2013	47,4
10	2006	546	451	2014	52,6
11	2007	211	418	2005	57,9
12	2008	329	411	1999	63,2
13	2009	240	388	2012	68,4
14	2010	591	331	2004	73,7
15	2011	755	329	2008	78,9
16	2012	388	308	2002	84,2
17	2013	501	240	2009	89,5
18	2014	451	211	2007	94,7

Зная значения расхода Q и эмпирическую обеспеченность Pm в клетчатке Хазена, строим эмпирическую кривую обеспеченности годовых расходов воды р. Дон у г. Павловска.

Анализ эмпирической кривой обеспеченности показывает необходимость проверки первый и последний члены ранжированного ряда на однородность с помощью критериев Смирнова-Граббса и Диксона.

Таблица 2. Ряд годовых расходов р. Дон у г. Павловска упорядоченный по возрастанию

№п./п.	Год	Q, м^3/с*	В возрастающем порядке	
			Q, м^3/с	Год
1	1997	698	211	2007
2	1998	714	240	2009
3	1999	411	308	2002
4	2000	555	329	2008
5	2001	613	331	2004
6	2002	308	388	2012
7	2003	801	411	1999
8	2004	331	418	2005
9	2005	418	451	2014
10	2006	546	501	2013
11	2007	211	546	2006
12	2008	329	555	2000
13	2009	240	591	2010
14	2010	591	613	2001
15	2011	755	698	1997
16	2012	388	714	1998
17	2013	501	755	2011
18	2014	451	801	2003

Для этого годовые расходы р. Дон располагаем в возрастающем порядке (табл. 2).

Среднее значение ряда – $Q_{ср}$ находим по формуле 2:

$$Q_{cp} = \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_i}{n} \quad (2)$$

Среднее квадратичное отклонение рассчитываем по формуле 3:

$$\partial Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(Q_i - Q_{cp}\right)^2}{\frac{n}{n}} - 1}$$

$$\partial Q = 178{,}4 \quad (3)$$

Статистики критерия Диксона для максимального D_{max} и минимального D_{min} определяется по формулам 4 и 5:

$$D_{max} = Q_n - Q_{n-1} / Q_n - Q_1 \quad (4)$$

$$D_{max} = Q_{18} - Q_{17} / Q_{18} - Q_1 = 801 - 755/801 - 211$$

$$D_{max} = 46/590 = 0{,}08$$

$$D_{min} = Q_1 - Q_2 / Q_1 - Q_n \quad (5)$$

$$D_{min} = Q_1 - Q_2 / Q_1 - Q_{25} = 211 - 240/211 - 801$$

$$D_{min} = - 29/-590 = 0{,}05.$$

Для дальнейшей работы с таблицами критериев необходимы несмещенные оценки коэффициента внутрирядной корреляции $r_{несм}$ и коэффициента асимметрии $Cs_{несм/м.}$ Критические значения критерия Диксона для уровня значимости $\alpha = 0{,}05$, $r_{несм} = 0{,}00$, $Cs_{несм/м.} = 0{,}5$, определенные по таблицам приложения А [2] для максимального члена выборки равны 0,48, а для минимального 0,31. Поскольку для максимального и минимального членов выборки ряда среднегодовых расходов не выполняются условия $D_{max} < D_{\alpha}$ и $D_{min} < D_{\alpha}$, то нулевая гипотеза о принадлежности экстремальных значений выборке противоречит данным наблюдений в соответствии с критерием Диксона на уровне значимости $\alpha = 0{,}05$. Это обусловлено тем, что на водоразделах мощность зоны аэрации является максимальной, а в долинах – минимальной. Для определения водной обеспеченности морфоструктурных единиц, на которых расположился г. Павловск, используем классическую систему градаций шагом 25 процентов: 1% обеспеченность - характерна для водоразделов; 25% обеспеченность - характеризует вторую надпойменную террасу; 50% обеспеченность - характерна для первой надпойменной террасы; 75% обеспеченность - характерна для поймы реки Дон. Для разработки долгосрочных и сезонных гидрологических прогнозов необходимо построение банка данных содержащего необходимую исходную информацию для составления прогноза. Более подробно вопросы мониторинга стихийных бедствий конвективного происхождения по данным дистанционного зондирования с метеорологических космических аппаратов рассмотрены в монографии [3] и прогнозирование опасных метеорологических явлений в определении характера и масштабов, стихийных бедствий в монографии [4]. Для этого на основании полученных текущих параметров окружающей среды, с применением разработанных заранее цифровых моделей местности, в среде географической информационной системы строится модель развития обстановки для каждого участка местности. Строго регламентированных и унифицированных методик прогноза весеннего половодья не существует. В каждом конкретном случае необходимо учитывать специфические особенности рассматриваемого водного объекта. В работах [5-7] показаны примеры моделей затопления территории Воронежской области с применением географических информационных систем различных программных модулей. В данной работе использовался экспресс-метод с помощью программного обеспечения «FloodMap», с его помощью можно определить риск затопления любой точки земного шара. Задав определённый уровень подъёма воды, можно увидеть к чему это может привести [6, 7]. С применением программного пакета FloodMap были построены зоны затопления г. Павловск (рис. 3 –5) различной обеспеченности.

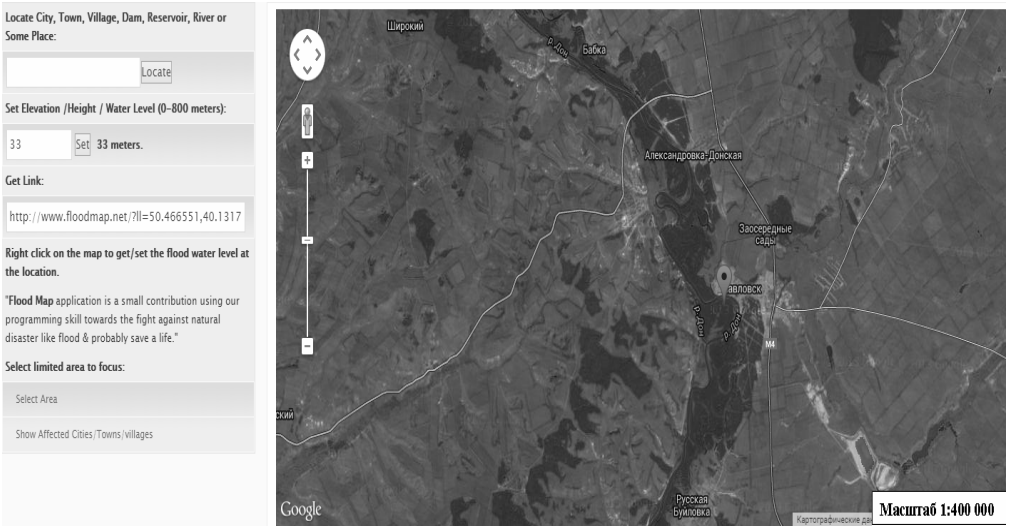


Рис. 3. Подъем уровня воды до отметки 33 м (75% обеспеченность)

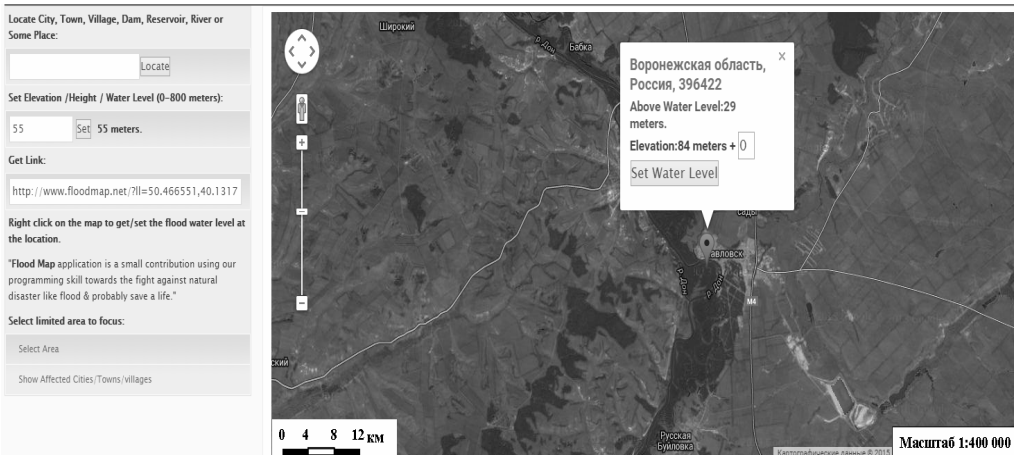


Рис. 4. Подъем уровня воды до отметки 55 м (50% обеспеченность)

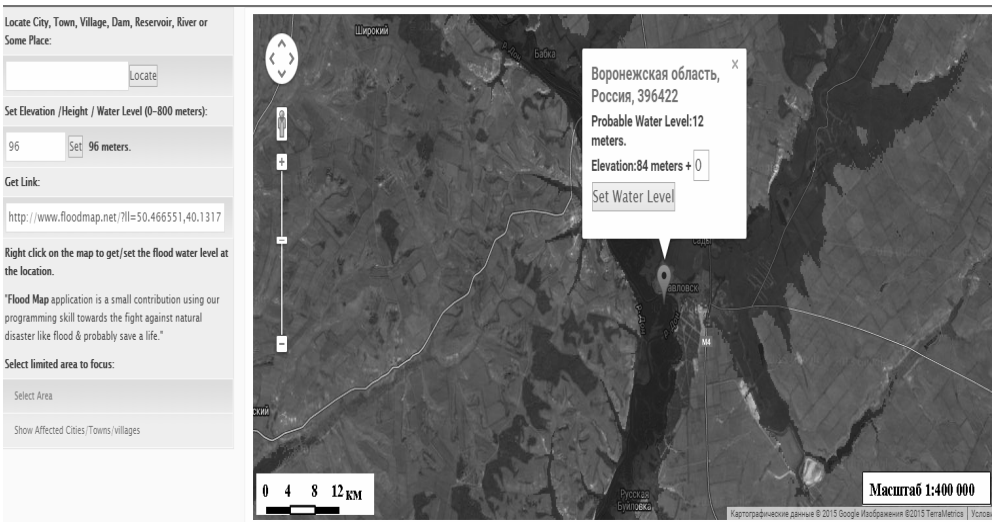


Рис. 5. Подъем уровня воды до отметки 96 м (1% обеспеченность)

При осуществлении разработки краткосрочных и оперативных прогнозов развития обстановки необходимо использовать текущие данные об уровнях воды на гидрологических постах. При затоплении г. Павловск в зоне затопления 1% обеспеченности может оказаться 493 дома. В качестве инженерных мер защиты могут быть использованы мероприятия по увеличению пропускной способности русла, ограждение территорий дамбами

или перераспределение максимального стока водохранилищами, но так как в бассейне реки находится большое количество памятников природы, в том числе гидрологических, то они могут повлиять на экосистему реки и привести к необратимым последствиям. Но наиболее рациональными и оптимальными, на наш взгляд, способами защиты будут являться неинженерные методы, такие как развитие системы страхования и мониторинг развития паводковых процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Картирование вероятностного стока рек / А.Г. Курдов, В.А. Дмитриева, В.В. Протопопов и др. – Воронеж: Изд-во Воронеж, ун-та, 1987. – 188 с.

2. СП 33-101-2003 «Определение основных расчетных гидрологических характеристик». Свод правил по проектированию и строительству. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. – 73 с.

3. Звягинцева А.В. Мониторинг стихийных бедствий конвективного происхождения по данным дистанционного зондирования с метеорологических космических аппаратов: монография / А.В. Звягинцева, А.Н. Неижмак, И.П. Расторгуев. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. – 162 с.

4. Звягинцева А.В., Расторгуев И.П., Соколова Ю.П. Прогнозирование опасных метеорологических явлений в определении характера и масштабов стихийных бедствии: монография / под общ. ред. И.П. Расторгуева. – Воронеж: ГОУ ВПО “Воронежский государственный технический университет”, 2009 г. – 215 с.

5. Долженкова В.В., Звягинцева А.В., Аржаных Ю.П. Прогнозирование гидрологической обстановки в период половодья на водных объектах Воронежской области с применением географических информационных систем. Гелиогеофизические исследования // Heliogeophysical Research. Результаты исследований геофизических рисков. Электронный научный журнал. – 2014. – Выпуск 9. – С. 89–98. – Режим доступа: vestnik@ipg.geospace.ru

6. Звягинцева А.В., Долженкова В.В. Перспективы применения ГИС-технологий Floodmap при прогнозировании риска затопления на водных объектах Воронежской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара: изд-во Самарского научного центра РАН. 2015. – Т.17. – № 6. – С. 70-81.

7. Звягинцева А.В., Кульнев В.В., Кульнева В.В. Экологический мониторинг опасных гидрологических явлений // International academy of ecology, man and nature protection sciences Ecology and development of society. – 2018. – № 3(26). – С. 62- 66.

О ПРИРОДЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ПОЛОВОДИЙ НА ДНЕПРЕ

Л.Н. Литвиненко, В.В. Литвиненко
larisa-litvinenko@yandex.ru, litvinenko17@yandex.ru

Московский государственный областной университет, г.Москва, Россия

Ритмичность процессов в географической оболочке, в том числе суточная и сезонная, была известна с древних времён. Периодичность восхода звезды Сириус и наступления разливов Нила послужила толчком к регулярным в течение тысячелетий измерениям уровней воды в реке; муссонный климат Индии способствовал развитию первой в древности системы измерения осадков для обоснования налогов. Наблюдения за уровнем воды в колодцах (грунтовых вод) позволили античным географам Средиземноморья связать эти колебания не только с погодными условиями, но и предвидением землетрясений.

Кажущаяся хаотичность в датах катастрофических половодий на Днепре, на самом деле, складывается из периодических составляющих, обусловленных природными физическими закономерностями.

Одно из первых сообщений о наводнениях не только в Киевской, но и в Новгородской, а также в Суздальской землях приходится на 1128 год с тремя полярными затмениями [2]. Годы полярных затмений часто бывают холодными с большим количеством осадков. В 1888 и 1942 годах (разность 54 года или 3 сароса одной серии) среднегодовая температура воздуха в г. Москве составила 1,7°С и 2,2°С, а в 1812 и 1902 гг. (разность 90 лет или 5 саросов из одной серии) – 2,5°С при средней многолетней температуре в столице более 5°С.

В летописях описания аномально холодных лет нередко соответствуют годам полярных затмений. Причиной сильного голода, разразившегося в годы правления Бориса Годунова (1601 и 1602 гг. – одно и три полярных затмения, соответственно), стали погодные условия. Зима 1601 года была многоснежной, снег в полях лежал «по грудь человека», с конца июня начались «дожди беспрестанные». Из-за дождей (более 10 недель) и холодной погоды озимые не созревали, а «зеленели как трава». В конце июля-середине августа заморозки побили хлеба и овощи. В начале октября снег выпадал в течение недели, а от наступивших морозов даже по Днепру ездили как среди зимы. Следующая зима также была многоснежной и суровой. Летом на десятой неделе после пасхи «был страшный мороз» «помёрзло всё цветущее и огородное» [2, 3].

Целью данной работы было проанализировать годы больших половодий на Днепре и определить, не связаны ли они с годами полярных солнечных затмений. Причиной появления данной работы стало сопоставление дат наводнений (1877, 1888, 1889, 1895, 1942 гг.) на фотографии гранитного Днепровского репера с результатами выполненных ранее исследований [9, 10].

Половодье – относительно длительное и значительное увеличение уровня воды и водности реки, вызывающее затопление поймы, ежегодно повторяющееся в один и тот же сезон года в данных климатических условиях. Катастрофические весенние наводнения 1845 и 1931 годов на Днепре были обусловлены осенним переувлажнением, многоснежными зимами и быстрым таянием снега весной. Сходные условия формирования высокого половодья отмечались также в 1772, 1777, 1787, 1805, 1820, 1877годах [15].Н.А. Маркевич [4], наблюдавший опустошительное наводнение 1845 года (672 см), считает, что «при виде необъятной массы снега» надеяться на то, что он «мало-помалу растает» было просто беспечно. Осенью 1844 года прошли обильные дожди, зима наступила в ноябре, и реки покрылись льдом при высокой воде. Устойчиво холодная зима отличалась обилием снега на всей Русской равнине [15]. Начало апреля было тёплым, без ночных заморозков, таяние глубоких снегов и стремительный сток воды шли очень быстро. 1845-му году с двумя полярными затмениями предшествовал 1844 год с тремя полярными затмениями и высоким половодьем (390 см).

Уровни и расходы воды в Днепре, измеренные в весеннее половодье 1931 г. (три полярных затмения) показали, что подобные наводнения могут повторяться примерно один раз в 300 лет [11]. Однако Г.И. Швец, анализируя летописные сведения за 1655 г., а также запасы воды в снеге и осадки в период снеготаяния в 1908 году, считает, «что половодье 1931 года нельзя считать предельным» [15, 16]. «Прелюдией к великому потопу» в Кременчуге, Киеве, Днепропетровске и других населённых пунктах стала дождливая осень 1930 года. Морозы и снежный покров в бассейне Днепра установились со второй половины ноября и сохранялись до апреля. Зимой выпало рекордное количество снега – в полтора-два раза больше обычной среднегодовой нормы [11]. В первой декаде апреля 1931 года резко потеплело до 6-12°С, началось интенсивное снеготаяние, которое сопровождалось дождями.

В 1935 году отмечалось 5 полярных затмений (4 частных и одно кольцеобразное). Этот год оставил свои экстремумы минимальных температур на планете [9]. Большого наводнения весной на Днепре в 1935 году не было, но он стоит в серии (116 и 121) саросов лет, давших высокие, а в отдельных районах катастрофические половодья в 1845 и 1917 годах.

Первоначально сведений о половодье 1917 г. мы не имели, так как большинство описаний аномальных погодных условий заканчивалось девятнадцатым веком [2, 3, 15], но в этом году было 4 полярных затмения, одно из них – первое в новой, 154-ой, серии саросов. По рабочей гипотезе 1917 год должен был иметь высокое половодье. В ходе поисков удалось найти фотографии наводнения в Кременчуге и информацию о наводнении в Днепропетровске. В описаниях очевидцев есть сведения, что в Кременчуге вода в половодье 1931 г. шла по «старой прорве», образованной потоками воды в весеннее половодье 1917 года [6].

Наша планета – открытая термодинамическая система, где достаточно большую роль играют космические факторы [13]. Влияние космоса связанное только с изменением солнечной активности, но и воздействием различных физических полей. Силы поля тяготения зависят от расстояний и изменения конфигурации положения астрономических объектов. В момент солнечного затмения или в период, близкий к нему, наблюдаются синхронизации сил притяжения Луны и Солнца и их влияния на процессы в географической оболочке.

Тень Луны – это визуальная демонстрация процесса сложения векторов тяготения, направленных в момент затмения по её оси, при этом сила тяготения Луны в 2,2 раза больше Солнца. Приливные явления вблизи района прохождения конуса холодной тени Луны растянуты почти на месяц, т.к. зона солнечных затмений имеет протяженность в обе стороны от лунного узла на орбите по 16-18°. Ежегодно на планете отмечается от двух до пяти затмений. Фактически с интервалом около полугода атмосферные процессы Земли в течение месяца корректируются силами тяготения Луны и Солнца. Конус тени затмения периодически смещается по поверхности Земли из полярных районов в экваториальные, а суммарный вектор сил тяготения Луны и Солнца вызывает возмущение в атмосфере соответствующего региона планеты [9].

Солнечное затмение, повторяющее пространственные характеристики положения Луны, Земли и Солнца предыдущего затмения, происходит через сарос – 6585,3 суток или 18 лет 11,3 суток, когда максимально совпадают периоды наступления фазы новолуния, возвращения Луны и Солнца в лунный узел, измеренные в солнечных сутках. Поворот самих лунных узлов по эклиптике длится 18,6 лет. Серия солнечных затмений или серия саросов существует от 1226 до 1550 лет и насчитывает от 69 до 87 саросов [7, 14]. В течение одного сароса (18 лет) около 40 различных серий саросов дают по одному затмению.

Серия саросов состоит из частных и центральных затмений. Она начинается и заканчивается кратковременным частным затмением с ничтожной фазой у противоположных полюсов Земли [12]. За один сарос зона солнечного затмения смещается по земной поверхности на 200-300 км к северу или югу в зависимости от того, в восходящем или нисходящем узле наблюдается затмение. Одновременно оно происходит на 120 градусов западнее, чем 18 лет назад. Через 54 года или Большой сарос (три обычных сароса) солнечное затмение возвращается приблизительно в тот же интервал долготы, но широта значительно сдвигается. В действительности же закономерность повторения солнечных затмений ещё более сложная [5], так как Луна постепенно удаляется от Земли – примерно на 4 см в год по медленно раскручивающейся спирали.

Полярные затмения могут быть частными, полными или кольцеобразными. Максимальное их количество в год достигает 5. Если полярные затмения следуют 2 года подряд, то их общее сочетание за этот период варьирует в пределах четырёх-пяти затмений. Полярные затмения происходят, когда серия саросов начинается или заканчивается. В течение 180-200 лет этой серии (10-11 затмений), иногда более, ось конуса тени Луны не пересекает поверхность планеты, находясь над полюсом на значительном удалении (до 9-10 тысяч км от центра Земли, при средней величине её радиуса 6371 км).

В таблице 1 приведены астрономические сведения для 1888 и 1942 гг. с катастрофическими наводнениями на Днепре, разность между которыми составляет 54 года (Большой сарос).1888 год был вторым в новой, 153-ей серии затмений, которая закончится в 3114 году. В 1942 году закончилась 115-ая серия саросов и, соответственно, группа лет, имевшая условия для формирования наводнений в последний период её существования. Годы в конце этой серии часто характеризовались ранним началом зимы. 1726 г. –

чрезвычайно холодная, снежная и продолжительная зима. В Галиции снег выпал 21 ноября и лежал до 23 апреля. 1744 г. – в Украине выпал «великий снег». В Голландии вмёрзший флот был захвачен кавалерией неприятеля, двигавшейся по льду. В 1780 году, спустя 36 лет (два сароса), ситуация повторилась. «Великая зима» в Украине началась 8 ноября и закончилась 30 марта. 1780 году с двумя полярными затмениями предшествовал 1779 год с тремя полярными затмениями, тогда в начале июня в течение двух дней на Неве выпадал снег, а половодье 1779 года (148-ая серия саросов) было самым высоким за 20 лет, особенно на Нижней Волге [3].

Таблица 1. Характеристики полярных затмений 1888 и 1942 гг. с наводнениями на Днепре

Год	Вид затмения	Серия саросов	Номер затмения	Расстояние оси тени до центра Земли (км)	Дата затмения
1888	Частное	148	14-е из 75	8090 (ю)	11 февраля
	Частное	115	69-е из 72	8162 (ю)	9 июля
	Частное	153	2-е из 70	9165 (с)	7 августа
1942	Частное	148	17-е из 75	7595 (ю)	16 марта
	Частное	115	72-е из 72	9723 (ю)	12 августа
	Частное	153	5-е из 70	8018 (с)	10 сентября

Сочетание 148, 115 и 153 серий саросов помимо холодных 1888 и 1942 гг. дало для Русской равнины аномальные морозы в январе 1924 г. и декабре 1978 г., когда во многих районах были обновлены абсолютные минимумы температуры. В тоже время зимы 1906, 1960, 2014 гг. (разность – Большой сарос) не были холодными, а декабрь 1960 оказался аномально тёплым. Любопытно, что в каждом месяце года группа анализируемых лет (1888, 1906, 1924, 1942, 1960, 1996, 2014) этих серий дала на примере Санкт-Петербурга по несколько суточных рекордов – как отрицательных, так и положительных аномалий температур, которые не побиты до сих пор. Рекордсмен этих серий – 1942 год, он отмечен суточными абсолютными минимумами с января по июнь и в сентябре, а также абсолютным максимумом 29 августа. В эти годы май часто был жарким, особенно в 1906 и 2014 годах (восемь абсолютных суточных рекордов), поэтому нельзя назвать случайностью то, что через два Больших сароса 19 мая 2014 был побит рекорд 108-летней давности.

Можно предположить, что в годы полярных затмений из-за смещения суммарного вектора сил тяготения Луны и Солнца на значительное расстояние от полюсов Земли к северу или югу атмосферные процессы на планете в меньшей степени подвержены его суммарному воздействию в сравнении с годами экваториальных затмений.

В таблице 2 годы больших половодий на Днепре, которые также являются годами полярных затмений, объединены 147-ой, 114-ой сериями саросов, а с 1805 г. – и начавшейся в этом году серией 152. Ось тени конуса Луны первого частного затмения этой серии проходила на расстоянии 9293 км от центра Земли со стороны Южного полюса. Серия саросов №109, которая объединяла 1786, 1805 и 1841 годы (табл. 2), началась в 416 году и закончилась в 1859 году прохождением оси конуса лунной тени на расстоянии 9987 км от центра Земли к югу.

Как следует из таблиц 1 и 2, большие половодья в одной серии саросов, формирующиеся в зависимости от погодных условий осени-зимы-весны, могут быть разделены одним (18 лет), двумя (36 лет) и т.д. саросами. То есть, весенние наводнения 1877 и 1888 гг. фактически были предтечей половодий 1931 и 1942 годов. Они попарно разделены Большим саросом (54 года), а между собой имеют интервал 11 лет.

Сопоставление данных показывает также, что серии саросов таблицы 1 (148, 115, 153) и таблицы 2 (147, 114, 152), давших большие наводнения на Днепре [9], отличаются на один инекс [14]. Голландский астроном Георг ванн ден Берг (1890–1961) использовал каталог из 8000 солнечных затмений Теодора фон Оппольцера (1887), представив его в виде матрицы «СИ-панорамы» (СаросИнекс-панорамы), где серии саросов расположены

в виде отдельных вертикальных колонок в хронологическом порядке. В настоящее время «СИ-панорама» рассчитана астрономами Лукой Гаглиа и Джоном Тилли для 61775 солнечных затмений. Из-за вековых изменений параметров орбитального движения Земли и Луны серии инексов не представляют горизонтальную табличную последовательность, а постепенно изгибаются, свидетельствуя о вековых колебаниях в системе взаимодействия Солнце-Луна-Земля [14]. Интервал времени между двумя соответствующими затмениями в соседних столбцах серий саросов определяется циклом «*инекс*», который составляет 358 синодических месяцев или 29 лет минус 20 дней [17].

Таблица 2. Характеристики полярных затмений для лет с наводнениями на Днепре

Год	Вид затмения	Серия саросов	Номер затмения	Расстояние оси тени до центра Земли (км)	Дата затмения
1787 (1786 – 3 полярных затмения)	Частное	147	10-е из 80	9374 (с)	19 января
	Полное	114	64-е из 72	6212 (с)	15 июня
	Кольцеобразное	119	53-е из 71	5533 (ю)	9 декабря
1805	Частное	109	78-е из 81	9768 (ю)	1 января
	Частное	147	11-е из 80	9344 (с)	30 января
	Частное	114	65-е из 72	6673 (с)	26 июня
	Частное	152	1-е из 70	9293 (ю)	26 июля
	Кольцеобразное	119	54-е из 71	5581 (ю)	21 декабря
1841	Частное	109	80-е из 81	9896 (ю)	22 января
	Частное	147	13-е из 80	9188 (с)	21 февраля
	Частное	114	67-е из 72	7592 (с)	18 июля
	Частное	152	3-е из 70	8414 (ю)	16 августа
1877	Частное	147	15-е из 80	8881 (с)	15 марта
	Частное	114	69-е из 72	8468 (с)	9 августа
	Частное	152	5-е из 70	7644 (ю)	7 сентября
1895	Частное	147	16-е из 80	8652 (с)	26 марта
	Частное	114	70-е из 72	8872 (с)	20 августа
	Частное	152	6-е из 70	7315 (ю)	18 сентября
1931	Частное	147	18-е из 80	8064 (с)	18 апреля
	Частное	114	72-е из 72	9605 (с)	12 сентября
	Частное	152	8-е из 70	6765 (ю)	11 октября

В летописных источниках мы встречаем описание наводнений 1649 года (серии саросов полярных затмений – 103, 141, 108, 146), заливавших и разрушавших сёла и замки в Галиции, а также кельи монахов в Великом Новгороде, где уровень воды достигал «каменного города». Через 29 лет или один инекс в 1678 году (серии саросов– 104, 142, 109, 147), согласно сообщениям летописцев, снега были настолько большие, что крымские татары отказались от похода в Украину, а на Волге наблюдалось высокое разрушительное половодье [2, 3, 15].

Особенностью отмеченных на Днепре катастрофических половодий служит также разность в 11 лет между годами наводнений двух соседних серий саросов, например, 1888 и 1877; 1942 и 1931 годы. Это значит, что в силу криволинейности «СИ-панорамы» годы наводнений могут быть сдвинуты не только на один инекс (29 лет) по горизонтали, но еще и на один сарос (29-18=11 лет) по вертикали. До описанных выше событий, в 1772 году (4 полярных затмения из серий саросов 144, 111, 149 и 106 – предпоследнее затмение) у Екатеринослава наблюдался опустошительный разлив Днепра. Он повторился на Днепровских порогах через 11 лет. Наводнению предшествовала суровая и снежная зима [3]. Интенсивная прибыль воды началась 30 марта 1783 года. В этом году было 4 полярных затмения из

серий саросов 145, 112, 150, 107, сдвинутых на один инекс. 1772 г. стоит в цепочке лет 149-ой серии [7] – 1844, 1917, 1953 гг., давших весенние наводнения на Днепре.

Кроме того, номера серии саросов предыдущих лет в определённые периоды многовекового изменения могут опережать на единицу номера серии саросов последующих лет (2011 и 2018 гг.), поэтому при сдвиге в два сароса появляется разность в семь лет (18+18-29=7).

Анализ по столетиям повторяемости лет с четырьмя и пятью полярными затмениями дал любопытные результаты: восьмой век – 7 лет (с четырьмя) плюс один год с пятью затмениями, девятый век – 4, десятый век – 5, одиннадцатый век – 11, двенадцатый век – 17, тринадцатый век – 14 плюс один год с пятью затмениями, четырнадцатый век – 7, пятнадцатый век – 6, шестнадцатый – 4, семнадцатый век – 16, восемнадцатый век – 16, девятнадцатый век – 10 плюс один год с пятью затмениями, двадцатый век – 6 плюс один год с пятью затмениями, двадцать первый век – 6, двадцать второй век – 11, двадцать третий век – 11 плюс один год с пятью затмениями.

Ритмы повторяемости лет с четырьмя полярными затмениями по столетиям различны. В семнадцатом, восемнадцатом и первой половине девятнадцатого века (малый ледниковый период) промежутки составляли 3, 4, 7 лет; в двадцатом и двадцать первом веках с устойчивым ростом температур – 11, 18; в двадцать втором веке ритм изменится – 4, 7, 11, 22, в двадцать третьем веке будет – 3, 4, 7, 11. В пятнадцатом веке ритм затмений был близок к современному, в двенадцатом и тринадцатом он больше напоминал 17-й 18-й века с двумя промежутками по 11 лет. В девятом и шестнадцатом веках отмечался необычный ритм – 18, 47, 18; в десятом – 11, 18, 18, 33. Открытие и освоение Исландии и западного побережья Гренландии в девятом и десятом веках связывают с потеплением в этот период. Восьмой и четырнадцатый века можно назвать переходными по отношению к современному столетию. Они имели в ритмах периоды 7, 11, 18 (и даже 29 в 14 веке). Возможно, в этой неравномерности полярных затмений лежит ответ на вопрос Михаила Боголепова, изучавшего колебания климата Европейской России в историческую эпоху: «Является догадка, а не имеем ли мы здесь дело с волнами высшего порядка, период которых охватывает несколько столетий?» [1]. Кстати, все выше перечисленные промежутки (18, 22, 29, 33, 47) между годами с полярными затмениями слагаются из простых периодов – 3, 4, 7, 11.

В периодической печати можно встретить выводы, что великие наводнения в Киеве наблюдались через каждые 30-40 лет. Да, вышеуказанные периоды и их сочетания должны приниматься во внимание при анализе условий возникновения наводнений. Эти числа не случайны, они заложены в лунном и солнечном календарях. Понимание небесной механики движения Земли, Луны и Солнца могут облегчить нам предвидение повторения катастрофических половодий, засух[8], аномально тёплых и холодных зим, и выяснить, почему не все годы полярных затмений приводят к большим наводнениям на Днепре.

Например, в1899 году, разделённом с 1845 г. Большим саросом, не состоялось высокое половодье. В описаниях [2] этот год из-за повышенной ледовитости дан, как «ледяной на Севере», с возвратами холодов и заморозками в июне и начале августа в центральных районах Русской равнины, с не перекрытыми суточными аномалиями, дождливым летом и осенью, снежным ураганом в конце сентября, аномально холодным декабрём. В 1899 году отмечены обилие осадков и наводнения в марте в европейской части России, кроме юго-запада. Здесь и на юге сохранялась засуха после бесснежной и относительно тёплой осени и зимы. Аналогично, в 1928 г. сильные наводнения отмечались в Омске на Иртыше, зимой – в Лондоне на Темзе, на Днепре большого половодья не было. Привлечение синоптического анализа для изучения особенностей барических полей в годы полярных затмений было бы весьма полезным.

При анализе дат наступления «ретронаводнений» и поиске их описаний необходимо учитывать то, что годы в серии саросов за тысячелетний период могут сменить знак чётных лет на нечётный, и перейти в другую группу, а в их разности в связи с этим может добавиться один год. Это происходит потому, что даты затмений, отмечавшихся в последних

числах декабря, через сарос (18 лет и 11 дней) сдвинутся на январь следующего года. Кроме того, когда заканчивается серия саросов (например, 111-ая в 1935, 114-ая в 1931 и 115-ая в 1942 годах), их место занимают новые серии, которые в начале и в конце своего периода также будут создавать условия для возникновения высоких половодий на Днепре.

Каскад водохранилищ, построенный на Днепре в период существования Советского Союза, позволил избежать во второй половине двадцатого века катастрофических половодий и значительных изменений уровня воды в реке, но проблема наводнений на притоках Днепра остаётся, и для её эффективного решения требуется предвидение катастрофической ситуации. В 2011 и 2018 годах с четырьмя и тремя полярными затмениями (серии саросов 151, 118, 156, 123 и 150, 117, 155, соответственно) проводилась подготовка к ледоходу и весеннему паводку, т.к. уровень воды в отдельных местах мог по прогнозу подняться до трех метров. В бассейне Днепра в действительности произошло подтопление трасс и некоторых городов. В Западной Европе в годы полярных затмений в осенне-зимний и весенне-летний периоды также отмечаются наводнения, но они чаще носят паводковый характер из-за выпадения обильных дождей или снега при прохождении мощных циклонических образований.

Выводы:

1. Картина повторяемости катастрофических половодий на Днепре достаточно сложная. Нередко наводнения отмечаются в годы с тремя-четырьмя полярными затмениями, когда заканчиваются отдельные серии саросов затмений. Эти годы на Европейской территории России часто бывают холодными и многоснежными.

2. Годы полярных затмений различаются по конфигурации расположения космических объектов, датам наступления событий и не могут быть абсолютно одинаковыми по воздействию сил тяготения Луны и Солнца на геосферы планеты.

3. Водосборный бассейн реки индивидуален, поэтому не следует автоматически переносить полученные связи и тенденции для реки Днепр на другие речные бассейны, хотя общие черты многоводности в отдельные годы (1845, 1877 и др.) могут охватывать огромные территории, как пишет Швец Г.И., «от Карелии до Крыма, от реки Дуная до Иртыша» [15].

4. Впервые выявлены тенденции формирования условий для высоких половодий на Днепре в годы полярных затмений с интервалами, кратными 18 годам (сарос – 18 лет, Большой сарос – 54 года и т.д.), а также с интервалами 29 лет (инекс) и 11 лет (сдвиг в инексе на один сарос, 29-18=11 лет) и, возможно, 7 лет (18-11= 7).

5. Актуально дополнительное изучение сочетаний серий саросов для лет, когда высокие половодья отмечались не в годы полярных затмений.

6. Представляется полезным провести анализ совпадения высоких весенних половодий на Днепре с весенними половодьями на Иртыше (1845, 1877, 1888, 1942 и др.) и катастрофическими летними паводками в Китае (1931, 1935, 1942, 1954 гг. и др.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Боголепов М. О колебаниях климата Европейской России в историческую эпоху. – М.: Типолитография Товарищества И.Н. Кушнерев и Ко, 1908. – 144 с.

2. Борисенков Е.П., Пасецкий В.М. Тысячелетняя летопись необычайных явлений природы. – М.: Мысль, 1988. – 524 с.

3. Бучинский И.Е. О климате прошлого Русской равнины. 2-е изд. – Л.: Гидрометеоиздат, 1957. – 142 с.

4. Гнидаш И.А., Рой И.А. Наводнения в Кременчуге в первой половине XIX века: 21.04.2014 / Окраины Кременчуга: История Кременчуга в фотографиях и статьях [сайт]. URL: https://okrain.net.ua/article/read/Navodnenija-v-Kremenchuge-v-pervoj-polovine-19-veka.html (дата обращения: 24.08.2018).

5. Дагаев М.М. Солнечные и лунные затмения. – М.: Наука, 1978. – 210 с.

6. Записки лейтенанта артиллерии: 24.02.2018 / Окраины Кременчуга: История Кременчуга в фотографиях и статьях [сайт]. URL: https://okrain.net.ua/article/read/zapiski-lejtenanta-artilerii.html (дата обращения: 24.08.2018).

7. Каталог солнечных затмений / Полное солнечное затмение [сайт]. URL: http://www.secl.ru/eclipse_catalog.html(дата обращения: 24.08.2018).

8. Литвиненко В.В. О возможности предвидения аномально жаркого лета по особенностям температурного режима зимне-весеннего периода // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». Раздел III. География. – 2012. – №2. – С. 72-78.

9. Литвиненко Л.Н., Литвиненко В.В. Катастрофические половодья на Днепре в период полярных солнечных затмений // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». – 2018.– №3 – С. 23-38.

10. Литвиненко Л.Н. Закономерность или случайность в совпадении динамики аномалий средних декадных температур 1951 и 1969, 1990 и 2008 годов? / Монография материалов XX заседания семинара «Система Планета Земля (Нетрадиционные вопросы геологии)». – М: ЛЕНАНДС, 2013. – С. 292-304.

11. Наводнение в Кременчуге. 1931 год / Окраины Кременчуга: История Кременчуга в фотографиях и статьях [сайт]. URL: https://okrain.net.ua/maps _Kremenchug/1931/1931.html (дата обращения: 24.08.2018).

12. Сарос и периодичность затмений / Полное солнечное затмение [сайт]. URL: http://www.secl.ru/eclipse_nature/saros.html (дата обращения: 24.08.2018).

13. Сидоренков Н.С. Небесно-механические причины изменений погоды и климата. Геофизические процессы и биосфера. 2015; 14(3): 5–26; Sidorenkov N.S. Celestial mechanical causes of weather and climate change. Izv. Atmos. Ocean. Phys. 2016; 52 (7): 667–682. https://doi.org/10.1134/S0001433816070094.

14. Таганов И. Н., Саари В. В. Е. Асимметрия затмений: Календарные циклы [электронный ресурс]. URL: http://timepace.net/documents/5ru1.pdf (дата обращения: 24.08.2018).

15. Швец Г.И. Выдающиеся гидрологические явления на юго-западе СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972.– 244 с.

16. Швец Г.И. Повторяемость выдающихся половодий на Днепре [Текст доклада] // Организация объединённых наций по вопросам образования, науки и культуры. Международный симпозиум по паводкам и их расчётам. 15-22 августа 1967 г. Ленинград, СССР. – Л.: 1967. – Ч. 7. – 11 с.

17. F. Espenak. Periodicity of Solar Eclipses / NASA Eclipse Web-Site [сайт]. URL: https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEsaros/SEperiodicity.html (дата обращения: 24.08.2018).

ФОРМИРОВАНИЕ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕК ВЕРХНЕГО ДОНА В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

П.В. Литвинов, В.А. Дмитриева
lit44@mail.ru, verba47@list.ru

Воронежский государственный университет, г.Воронеж, Россия

Нестационарность современных климатических природных условий затрудняет оценку изменений, происходящих в гидрологическом режиме водных объектов. Согласно исследованиям [3] линейный тренд среднегодовой температуры европейской части России является положительным. Повышение температуры происходит со скоростью 0,53 °С/10 лет.

Период с отрицательной температурой воздуха сокращается, средние температуры холодного периода повышаются, а количество и продолжительность оттепелей увеличивается [2, 4]. Особый температурный режим сложился в первом десятилетии 21-го века. Увеличение средней годовой температуры воздуха происходит преимущественно за счет роста в холодное полугодие (рис. 1). Дата перехода температуры воздуха через ноль в

сторону устойчивых отрицательных значений в осенний период в Воронежской области сместилась примерно на 20 суток [5].

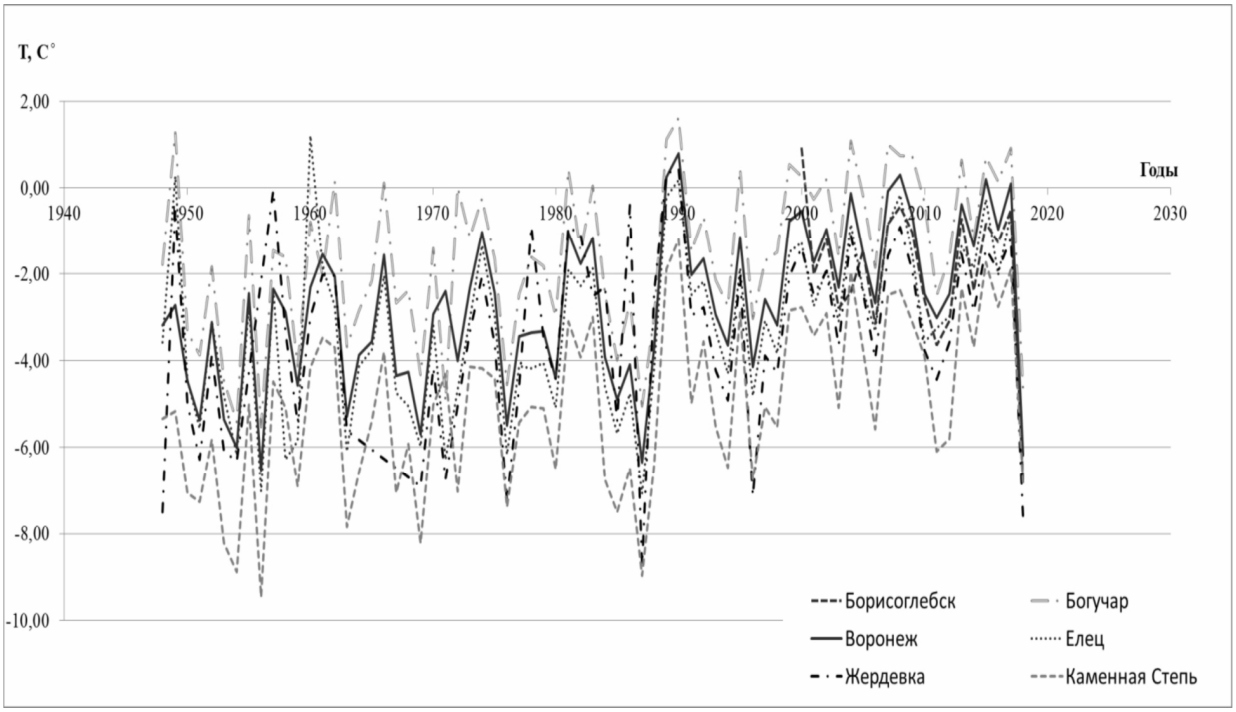


Рис. 1. Средняя многолетняя температура воздуха холодного полугодия по метеостанциям Верходонья

За регистрируемыми изменениями климата следуют изменения и водного режима рек. Повышение температуры воздуха в холодный период увеличивает вероятность выпадения жидких осадков, которые, вместо снегонакопления, формируют снего-дождевые паводки различной интенсивности и длительности. Потеря накопления снега в зимний период ведет к сокращению объемов речного стока и снижению расходов и уровней весеннего половодья. Например, «фаза затопления в Донском бассейне стала едва заметной» [6]. Изучению водного режима уделяется больше внимания, чем другим составляющим гидрологического режима рек, поскольку запасы воды и их изменчивость являются ключевым фактором для планирования и осуществления водохозяйственных мероприятий. Значительно меньше исследований посвящено изучению характеристик и особенностей формирования ледового режима водных объектов суши. Вполне очевидно, что такие характеристики ледового режима, как сроки установления и очищения русел рек от ледяного покрова, продолжительность периода устойчивого ледостава, толщина льда являются порой лимитирующими факторами при эксплуатации водных объектов в холодный период года.

Многие виды экономической деятельности неразрывно связаны со сроками и продолжительностью ледовых явлений. Навигация, гидротехническое строительство, организация ледовых переправ, эксплуатация гидротехнических инженерных сооружений зачастую невозможна без многофакторной оценки изменений ледового режима под влиянием как настоящих, так, вероятно, и будущих изменений климатических условий.

Являясь по генезису тесно связанным с термическим режимом, ледовый режим вследствие глобальной и локальной перестройки климата претерпевает изменения. Это прямым образом нашло отражение в сроках образования устойчивого ледового покрова, сокращении общей продолжительности закрытого русла, увеличении периода положительных температур воды открытого русла.

На территории Верходонья в прошлом столетии ледовые явления наблюдались с конца ноября – по начало апреля. Их общая продолжительность варьировала от 3 до 5 месяцев. Период первых заморозков на Верхнем Дону отмечался в первой декаде ноября, в

этот момент на реках формировались первые ледовые явления – забереги, шуга и сало. Для рассматриваемых водотоков (р. Сосна-г. Елец, р. Ворона – г. Борисоглебск, р. Подгорная-г. Калач; р. Сосна – сл. Беломестная) процесс формирования ледового покрова начинается, как правило, с образования заберегов. Их продолжительность зависит от климатических условий того или иного года и колеблется в диапазоне от 2 до 12 суток. Такое явление, как шугоход, встречается довольно редко, тем не менее на р. Ворона за период наблюдений с 1971-2017 гг. было отмечено 16 случаев его появления. В 1993 году на всех постах (за исключением р. Беломестная) наблюдался шугоход различной интенсивности и длительности.

Ледовое образование - сало - относится к характерным явлениям осеннего периода. На реках Верходонья наблюдается не ежегодно, но на р. Сосна-сл. Беломестная с начала текущего столетия данное явление имеет устойчивую ежегодную повторяемость.

С середины 1990-х годов XX в. прослеживается тренд смещения начала ледоставного периода на более поздние сроки для большинства рек исследуемой территории. Если в конце прошлого века средняя дата установления ледового покрова приходилась на последние числа ноября – первую декаду декабря, то уже в текущем столетии отмечено значительное смещение дат установления ледостава на зимние месяцы. Все чаще наблюдается отсутствие осеннего ледохода и, как следствие, заторно-зажорных явлений. В современный климатический период заметное сокращение продолжительности и смещение дат наступления первых ледовых явлений зачастую определяется соотношением погодных условий и водности в осенний период.

По сравнению с периодом до 1995 года расхождение в датах установления ледостава в среднем составляет 18 суток. В отдельно взятые годы наблюдается тенденция перехода устойчивого ледообразования в гидрологическом сезоне зимы на январь последующего года (2000, 2004-2007, 2010-2011, 2015 гг.). Часть рек характеризуется неустойчивым ледоставом или его полным отсутствием, что часто связано с влиянием грунтовых вод или хозяйственной деятельностью человека (сброс сточных вод, регулирование стока) [1].

При анализе дат ледообразования двух периодов (до 1995 г. и после него по настоящее время) смещение средних сроков установления устойчивого ледостава в сторону более поздних составило в целом от 10 до 20 суток. В исключительных случаях разница достигает от 20 до 40 суток. Так для р. Ворона у г. Борисоглебск она равняется 38 суткам. На р. Подгорная за последние 23 года повторяемость устойчивого ледостава составила 27 %, которая, более чем в 65 % случаев приходилась на январь-февраль последующего года.

В текущем столетии все чаще наблюдается отсутствие сплошного ледового покрова. Так, на р. Сосна до 1995 г. среднее количество дней с устойчивым ледоставом равнялось 68 суткам, однако, в настоящее время оно составляет 15 суток. Аналогичная тенденция прослеживается и на р. Подгорная, где разница составляет более чем в 6 раз по сравнению с предшествующим периодом.

Общая продолжительность фазы ледостава на исследуемых реках территории Верхнего Дона во многом определяется метеорологическими условиями, как на начальном этапе ледообразования, так и на протяжении всего холодного периода. Оттепели различной интенсивности и длительности, сопровождающиеся жидкими осадками в виде дождя приводят к преждевременному вскрытию рек в зимний период. Оттепели такого характера зачастую разрывают период ледовых явлений на две обособленные части. Уже невозможно отрицать тот факт, что глобальные трансформации климата накладывают свой отпечаток и на местные климатические условия. Это нашло свое отражение в уменьшении общей продолжительности ледовых явлений. Так, до начала текущего столетия она составляла в среднем 125 суток, но увеличение безморозного периода, оттепелей и среднесуточных температур снизили это значение до 100 суток (рис. 2).

Средняя продолжительность устойчивого ледового покрова на реках Верхнего Дона увеличивается с юго-запада на северо-восток. В последние два десятилетия отмечается уменьшение периода устойчивого ледостава на 20, а иногда и 25 суток. Так до 2000 г. она составляла 110 суток, но уже в настоящее время продолжительность равняется 90 суткам.

Полное отсутствие ледового покрова наблюдалось в р. Подгорная в 1980-1983, 2000 гг.; р. Сосна у сл. Беломестная в 1989 г.; р. Сосна – сл. Беломестная в 2012 г. Временной интервал с 1978 по 2005 г. характеризуется отсутствием сплошного ледостава на р. Сосна у г. Елец. Данная тенденция сохранилась и по настоящее время, и повторяемость ее проявления составляет уже каждые 2-3 года.

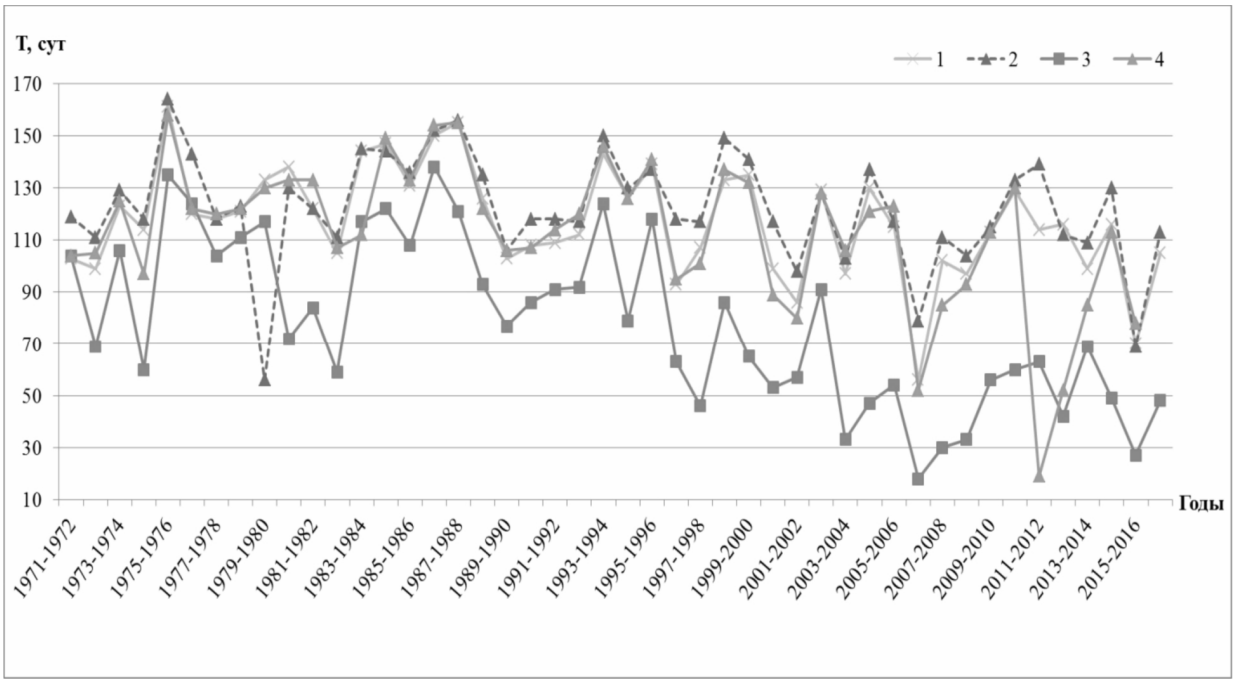


Рис. 2. Продолжительность ледовых явлений на реках Верхнего Дона (1 – р. Сосна – г. Елец; 2 – р. Ворона – г. Борисоглебск; 3–р. Подгорная – г. Калач; 4 – р. Сосна – сл. Беломестная)

Процесс вскрытия рек происходит через переход теплового баланса ледяного покрова к положительным значениям. В бассейне Дона основной действующей силой процесса является тепловое разрушение льда. Подвергаясь тепловому разрушению к моменту вскрытия, толщина льда снижается на 20-30 %. В результате этого продолжительность весеннего ледохода на реках Верхнего Дона невелика: для средних и малых рек 1-2 суток, для больших достигает 5 суток.

Очищение от ледового покрова для рек исследуемой территории приходится на третью декаду марта – первую декаду апреля. По сравнению с прошлым веком смещение сроков вскрытия и очищения составляет 7-10 суток. Весенний ледоход начинается в конце февраля – середине марта и наблюдается практически на всех реках, в том числе и на малых, но не ежегодно [1]. По сравнению с периодом до 1995 года повторяемость ледохода на средних и малых реках снизилась в 2 раза. Одна из особенностей ледового режима рек Верходонья выражается в радикальном изменении характера вскрытия. Если раньше лед, разрушаясь, образовывал ледоход, то в настоящее время в руслах наблюдается длительный период с закраинами, ввиду чего лед тает на месте, тем самым снижая частоту возникновения заторов. Такая тенденция хорошо прослеживается для средних и малых рек.

На современном этапе времени ледовый режим рек бассейна Верхнего Дона характеризуется уменьшением количества осенних ледовых образований, сокращением периода ледостава, а на некоторых реках его полным отсутствием. Изменение характера ледового режима на реках Верходонья отражается в кардинальном изменении картины его временного формирования. Значительные преобразования климата, как в глобальном, так и в региональном звене, нашли свое отражение в сокращении продолжительности устойчивого ледостава, как за счет более позднего его формирования в осенне-зимний период, так и более раннего разрушения весной. Общая продолжительность ледовых явлений в текущем

столетии сократилась на 20-25 суток. Непостоянный характер зимы, с часто повторяющимися оттепелями, приводит к преждевременному очищению ото льда, деля тем самым период с ледовыми явлениями на две отдельные части. Изменился характер вскрытия рек ото льда, что привело к сокращению повторяемости ледохода и заторов льда в период весеннего вскрытия. На реках с быстрым течением (р. Сосна – г. Елец) ежегодное отсутствие устойчивого ледяного покрова становится гидрологической закономерностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агафонова С.А. Современные особенности ледового режима рек бассейна Дона / С.А. Агафонова // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей: труды VIII Международной научно-практической конференции. г. Москва, 24-27 ноября 2014. – Москва, 2014. – Т. 1. – С. 281-288.

2. Вуглинский В. С. Оценка изменений характеристик ледового режима водных объектов для различных регионов страны в современных климатических условиях / В. С. Вуглинский // Вестник Санкт-Петербургского ун-та. Сер. 7. Геология. География. – 2014. – №3. – С. 32-45.

3. Груза Г. В. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова. – Обнинск : ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. – 194 с.

4. Дмитриева В.А. Гидрологический режим рек Донского бассейна / В.А. Дмитриева // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология. – 2018. – №4. – С. 77-84.

5. Дмитриева В. А. Изменчивость водного режима в верховье донского бассейна в современный климатический период / В. А. Дмитриева, С.В. Маскайкина // Вест. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. – 2013. – №1. – С. 17-21.

6. Agafonova S.A., Dangerous ice phenomena on the lowland rivers of European Russia. Frolova N.L., Krylenko I.N., Sazonov A.A., Golovlyov P.P. // Natural Hazards, 2017. – Vol. 88, № S1. – Pp. 171-188.

ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА АРКТИЧЕСКИХ РЕК РОССИИ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Д.В. Магрицкий
magdima@yandex.ru

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, г.Москва, Россия

Влияние речных факторов на геоэкологическое состояние обширной территории водосборного бассейна арктических морей России и отдельно арктического побережья весьма разнообразно. Оно тесно связано с величиной стока и его пространственно-временной изменчивостью. Из всех составляющих речного стока максимальное воздействие на природу региона, ландшафтный облик речных долин, гидрологические процессы в речных руслах, устьях и на морском побережье, условия функционирования аквальных экосистем, безопасность населения и хозяйства, возможность и эффективность природопользования оказывает сток воды. Он определяет перемещение и формирование всех других вещественных потоков и энергии в речных системах. Уже происходящие и будущие изменения условий формирования стока воды – причина нарушений фоновых природных условий на водосборах и побережьях арктических морей. В первую очередь, они связаны с климатически обусловленными и антропогенными изменениями величины стока рек и их водного режима. Учет этой изменчивости позволяет получить целостную картину изменений условий природопользования в регионе.

Особенности многолетних изменений годового стока арктических рек. Результаты, приводимые в этом и следующем разделах, получены при обработке данных многолетних стационарных гидрологических наблюдений на постах, главным образом, расположенных в Арктической зоне России и на прилегающих территориях, а также относящихся к замыкающим створам основных арктических рек, по состоянию на 2016 г. Согласно им, установлено, что многолетний ход годового стока зональных средних и полизональных больших арктических рек имеет как общие черты, так и различия.

Многолетние колебания стока характеризует нечеткая цикличность и чередование периодов разной продолжительности и водности (рис. 1). У многих рек нормированная разностная интегральная кривая имеет "корытообразную" форму. Синфазность в колебаниях стока присуща рекам, расположенным относительно рядом и в одном и том же гидрологически однородном районе, например отдельные реки Кольского п-ова, Карелии, реки северо-западной и отдельно северо-восточной части Архангельской области, включая Ненецкий АО, реки Обского Севера, реки западной части водосбора моря Лаптевых, реки Яно-Алазейского района (к ним в какой-то мере близки разностные интегральные кривые стока рр. Лены и Колымы).

Поступление речных вод в устья арктических рек РФ увеличилось – в среднем на 5,8% (в сравнении с 1936–1975 гг.), находясь в диапазоне от 0,5 до 20% и больше (рис. 1, 2). Максимальные значения оно имеет у рек европейского сектора российской Арктики и в Якутии. Для второго региона этот рост продолжился – тренды в 1976–2015 гг. не только положительные, но и статистически значимые: Анабар – 8,6, Оленёк – 6,3, Лена – 6,1, Индигирка и Яна – 5–6, Алазея – 17, Колыма – 7,4%/10 лет. В устьях рек Обского Севера сток речных вод стабилен или даже немного сократился, но однозначно это утверждать нельзя из-за недостаточной надежности исходных данных по Надыму, Пуру и Тазу. Многолетние колебания годового стока Оби содержат статистически незначимый (*Spearmen RCC*=0,12; p=0,27>α=0,05), но все же возрастающий тренд, особенно за счет его роста с середины 1990-х гг.

Причинами более слабой положительной тенденции могут быть расположение значительной части бассейна р. Оби в южных, засушливых широтах и увеличение (в условиях климатического потепления) потерь стока на испарение и водохозяйственная деятельность. Уменьшение стока Мезени парадоксально с учетом характера тенденций на соседних реках, но подтверждается непрерывными наблюдениями на замыкающем створе. Уменьшение стока, с высокой долей вероятности, происходит и на водосборе Чукотского моря. Но надежных данных подтвердить выдвинутый тезис нет! Положительный тренд в многолетнем ходе годового стока арктических рек существует, главным образом, за счет увеличения среднегодовых расходов воды со второй половины 1980-х гг., у рек крайнего северо-восточного сектора – с середины и второй половины 1990-х гг., на северо-западе – с конца 1970-х гг.. В последние несколько лет на замыкающих створах арктических рек к западу от Лены наблюдается противоположная тенденция – стабилизация или даже снижение среднегодовых расходов воды.

Циклические и направленные изменения годового стока основных арктических рек пока не привели к статистически значимым (при 5%-ном уровне значимости) нарушениям стационарности рядов за редким исключением. Это, а также тенденции колебаний стока последних лет, несколько уменьшают остроту проблемы проведения стандартных гидрологических расчетов в условиях не соблюдения гипотезы стационарности колебаний речного стока. Лишь у рек Онега и Северная Двина обнаружены, согласно критерию Фишера, нарушения стационарности по дисперсии ($f(D)$=1,95 и $f(D)$=1,80), у р. Енисей – по среднему (согласно критерию Стьюдента – $t(M)$=2,82). В случае с р. Енисей не последнюю роль сыграло сооружение и наполнение в 1950–1970-х гг. каскада Ангаро-Енисейских и других водохранилищ.

Изменения стока гидрологических сезонов. Изменения годового стока – лишь отражение трансформации водного режима рек, в целом, и водности гидрологических сезонов, характерных расходов воды, в отдельности. Изменения годовых величин стока со-

провождались в основном снижением максимальных расходов воды и, наоборот, увеличением минимальных за год расходов (рис. 2). То есть половодье становится более низким, в какой-то мере более распластанным. Исключением являются реки Лена (+0,8%/10 лет), Алазея (+2,7%/10 лет) и Колыма (+6,3%/10 лет). У зарегулированных рек существенное увеличение минимальных расходов воды поддерживается как естественными причинами, так и за счет внутригодового перераспределения стока. Мало того, в течение второго подпериода минимальные расходы рек продолжают расти.

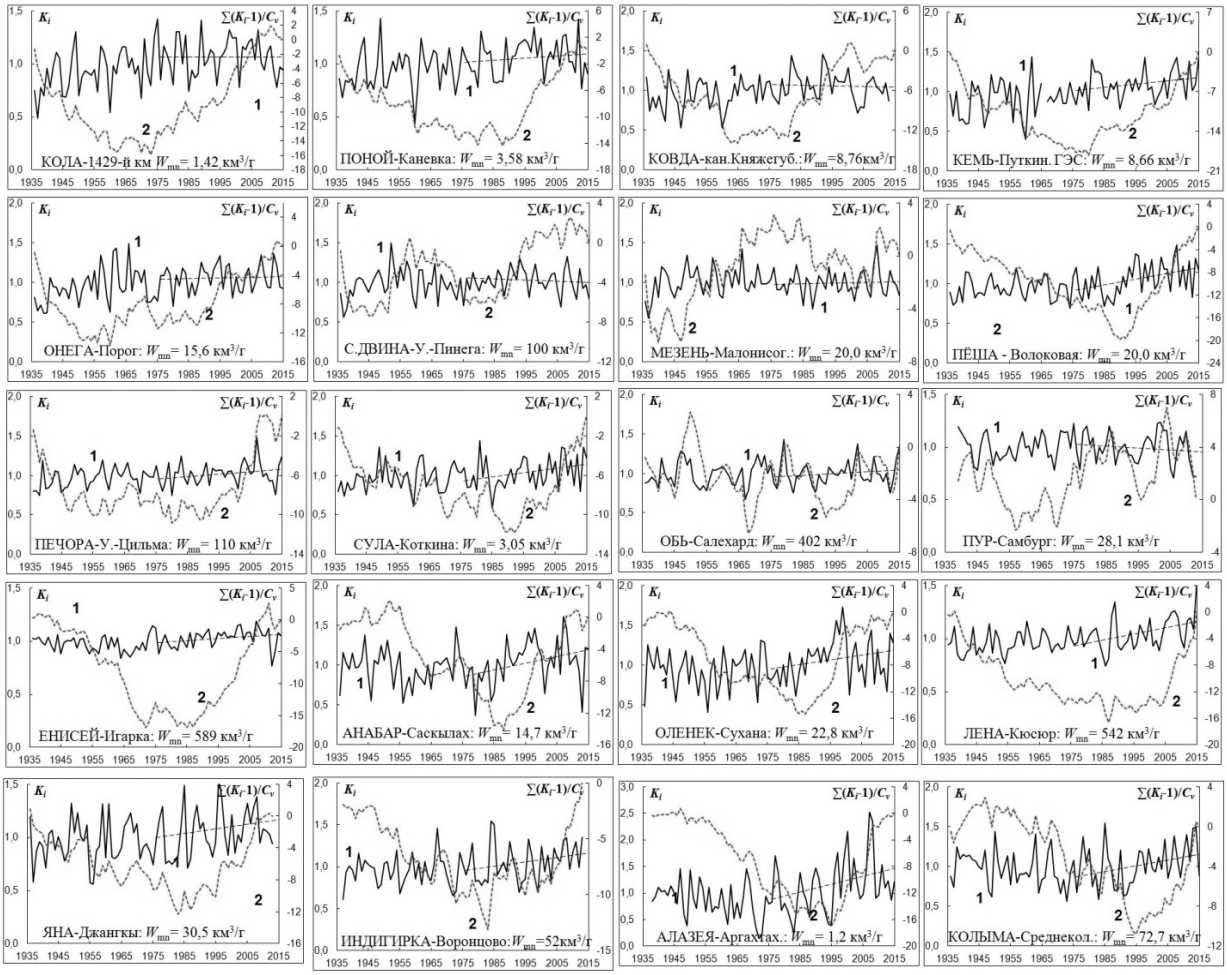


Рис. 1. Графики изменений годового стока арктических рек. 1 – кривая модульных коэффициентов годового стока с линейным трендом за 1976–2015 гг.; 2 – нормированная разностно-интегральная кривая годовых объемов стока воды

У рек Европейского Севера, включая реки Кольского п-ова и Карелии, рек Якутии увеличение годового стока обеспечено ростом водности практически во все гидрологические сезоны (рис. 3). Исключение составили р. Мезень, р. Колыма, некоторые правобережные притоки Северной Двины. Сток половодья вырос на 1,5–7,5%: наименьший у Мезени (0,7%), наибольший у незарегулированных рек Кольского п-ова и Карелии (до 10-20%). В низовьях Оби и Енисея, зарегулированных водохранилищами, уменьшение стока имеют половодье и летне-осенний сезон, в низовьях Колымы – лишь половодье. Диапазон изменений стока в летне-осенний сезон довольно широкий – от -10,6% у Мезени до 46% у рек Яна и Индигирка. Почти у всех арктических рек динамика зимнего стока существенно положительная. Отрицательные или близкие к нулю значения отклонения величин зимнего стока в сравнении с 1936–1975 гг. у некоторых рек Якутии – следствие очень малых значений зимних расходов воды в реках этого региона, прерывистости и низкой точностью исходных данных. Заметное повышение водности зимней межени отмечено у рек Кольского п-ова и Карелии (до 20–25% и даже больше), Онеги, Северной Двины, Пе-

чоры, Оби, Анабара и Оленека, но особенно – у рек Енисей, Лена и Колыма (68,4, 46,7 и 174% соответственно), как следствие сезонного регулирования стока этих рек и их крупных притоков водохранилищами. Схожая ситуация на зарегулированных реках Кольского п-ова и Карелии, например на Туломе.

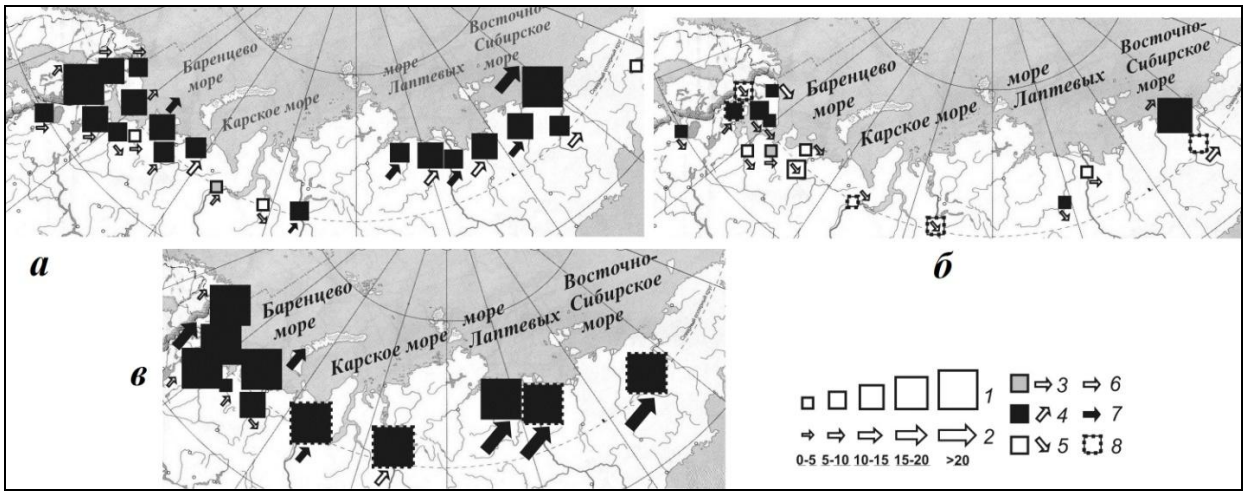


Рис. 2. Карты-схемы изменения среднегодовых (а), максимальных годовых (б) и минимальных годовых (в) расходов воды в низовьях некоторых арктических рек. 1 – относительная величина превышения стока в 1976–2015 гг. над стоком в 1936–1975 гг. (%); 2 – величина линейного тренда за 1976–2015 гг. (в % величины за 1936–1975 гг. и за 10 лет); 3 – изменения незначительные (–1%>x<1%);4 – рост, 5 – уменьшение; 6 – тренд статистически незначим; 7 – тренд статистически значим; 8 – влияние водохозяйственной деятельности на многолетние изменения характеристики стока

В бассейне Оби роль естественных изменений характеризуется практически повсеместным увеличением зимнего стока (с бóльшими величинами – 15–25% – в южной части водосбора), в частности, со второй половины 1970-х гг. и особенно в 1990-х гг., уменьшением стока апреля–августа в южной части бассейна и его ростом в северной, неоднозначными и малыми по величине изменениями стока сентября–октября [3].

Влияние хозяйственной деятельности на сток и водный режим арктических рек. Антропогенные изменения величины и режима стока арктических рек связаны с освоением гидроэнергетических ресурсов и с безвозвратным изъятием речных вод, главным образом, на нужды предприятий и населенных пунктов, переброску стока (в бассейне Иртыша), а также связанных с реками озерных и подземных вод [1, 4].

Водопотребление в Арктической зоне России (АЗР) и на водосборах арктических морей России, несмотря на огромные размеры этих регионов и их долю в общей площади страны (~18 и 71% соответственно), сравнительно небольшое. Это объективное следствие очень малой заселенности и хозяйственного освоения этих территорий. На водосборах арктических морей изымалось в 2006–2017 гг. в среднем 21,26 км^3 свежей воды в год, а в пределах АЗР – 2,56 км^3/год, или соответственно 28,8 и 3,5% общероссийской величины. Эти результаты получены на основе обработки данных из «Водного кадастра РФ. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество», издаваемых с 1981 г., «Водные ресурсы и водное хозяйство России. Статистический сборник», издаваемых с 2006 г., «Докладов о состоянии и об охране окружающей среды», составляемых с конца 1990-х – начала 2000-х гг., а также с дополнительным привлечением материалов из обновленных к 2015 г. «Схем комплексного использования и охраны водных объектов», открытых документов муниципальных образований, в первую очередь, «Схем водоснабжения и водоотведения, теплоснабжения», «Программ комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры» арктических населенных пунктов по состоянию на 2017 г. Наибольший вклад в эту величину дает водохозяйственный комплекс в бассейне Оби

(14,7 км3/год: 60,5% – доля РФ, 19,0% – Казахстана, 20,5% – КНР), Енисея (2,77 км3/год) и Северной Двины (0,64 км3/год), Мурманской обл. (1,72 км3/год). Объемы сброса использованных вод на водосборах морей Российской Арктики сопоставимы с объемами водозабора – 15,17 км3/год, или 71%. Еще меньше разница между ними в пределах АЗР. Поэтому статистически значимого влияния водопотребления на водные ресурсы арктических рек, дефицита водных ресурсов в регионе нет и не прогнозируется. Исключением, пожалуй, следует считать р. Обь и, особенно, южные и уральские районы бассейна. Также, современное водопотребление характеризуется, по сути, его отсутствием на многих территориях; существенно меньшими величинами (на 30–50%) в сравнении с показателями 1980-х гг. и, наоборот, его увеличением в районах развития нефтегазовой добычи – Ненецком и Ямало-Ненецком АО.

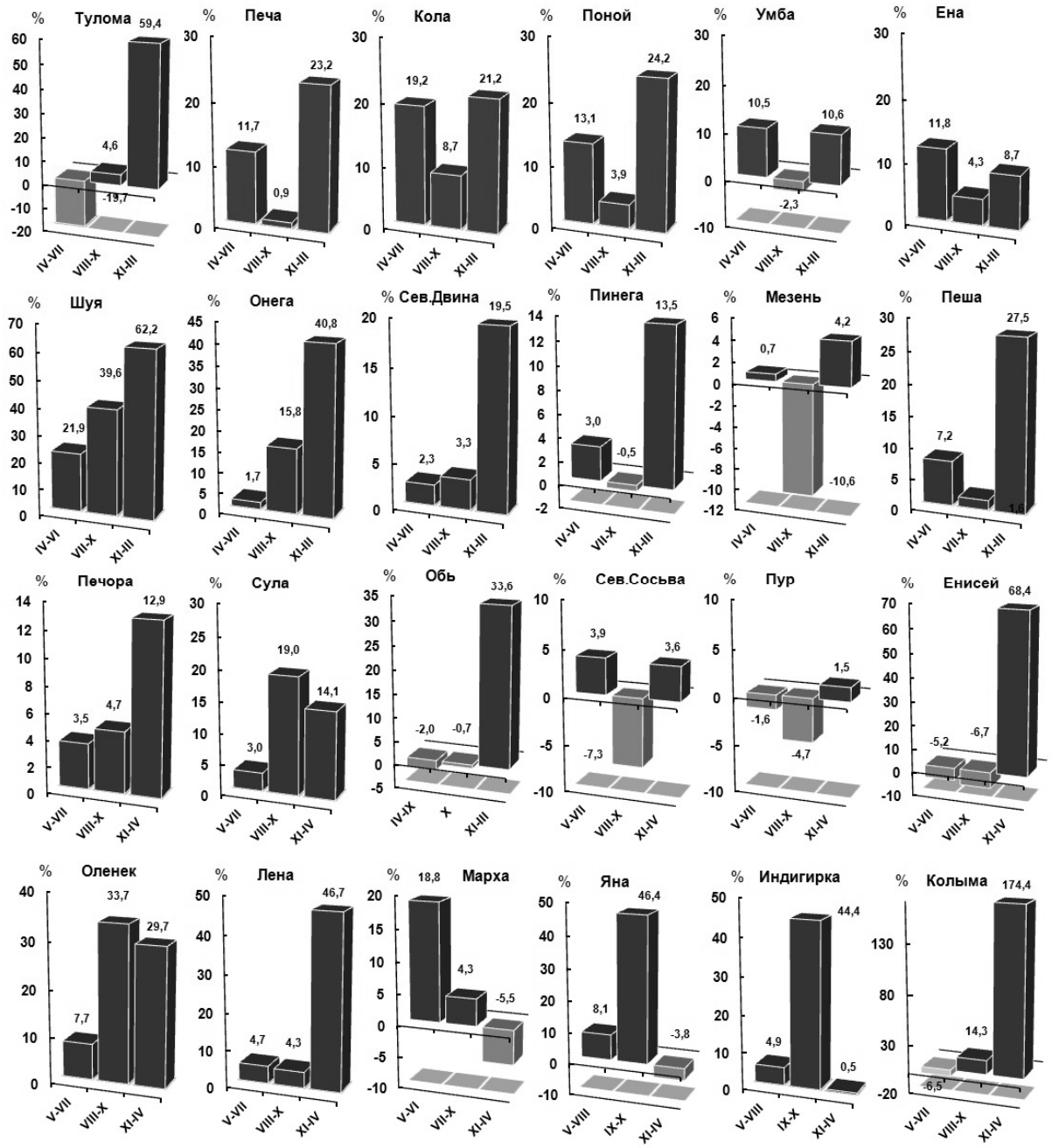


Рис. 3. Изменения величины сезонного стока рек российской Арктики в 1976–2016 гг. относительно величины стока в 1936–1975 гг. По оси X отложены гидрологические сезоны с указанием входящих в них месяцев

Крупные водохранилища функционируют на многих реках Кольского п-ова и Карелии; в Сибири и на Дальнем Востоке (в пределах арктического водосбора) размещено до 17 крупных и ~300 меньшего размера. На северо-европейских реках значимых водохранилищ и ГЭС нет. Единовременные потери речного стока на их заполнение наибольшие в бассейне Енисея – почти 50% нормы годового стока. Поэтому статистически значимое снижение стока пришлось на 1960–1970-е гг. и, особенно, на год активного заполнения Братского водоема. Причем "провал в стоке" в эти годы разделил многолетний ход годового стока р.Енисей на две части (нисходящую и восходящую ветви) (рис. 1), аппроксимируемые лишь нелинейным трендом. С 2012 г. функционирует Богучанское водохранилище, чье заполнение сопровождалось уменьшением стока Енисея на фоне маловодья в бассейне Селенги. На Вилюе и в нижнем течении Лены характер многолетних колебаний годового стока был заметно нарушен в 1967–1973 и в 1969–1973 гг. соответственно. Испарение воды с водохранилищ максимально у рек, имеющих каскады крупных водохранилищ (Енисей и Ангара), на территориях с большой концентрацией водоемов (Карелия и Кольский п-ов), а также в случае их сосредоточения в аридных районах бассейна (Обь и Иртыш). Всего может испаряться ~27,5 км3 воды в год[1]; однако, как известно, дополнительные потери на испарение существенно меньше, особенно если принять во внимание тот факт, что значительная часть водохранилищ – это подпертые естественные водоемы. Поэтому испарение с водохранилищ практически не влияет на водные ресурсы арктических рек. Кроме того, «срезание» паводков водохранилищами приводит к сокращению площади и продолжительности затопления поймы в нижних бьефах гидроузлов и, следовательно, к уменьшению потерь воды на испарение и инфильтрацию в почвогрунты. Многолетнее регулирование стока способно изменять водные ресурсы рек конкретного года, но почти не нарушает норму стока, нарушая лишь его естественную дисперсию. Но оно мало заметно в низовьях сибирских рек. Наоборот, установлено, что у таких рек как Енисей, Лена и Колыма дисперсия во второй период даже выше, чем в первый. То есть климатические факторы превалируют. Предельная величина многолетнего регулирования стока ограничивается полезным объемом водохранилища.

Наоборот, внутригодовое регулирование стока водохранилищами существенно преобразует сезонные водные ресурсы арктических рек и прослеживается на расстоянии в сотни километров; достигает, хотя и в трансформированном виде, устьев Оби, Енисея, Колымы и даже Лены. Дальше всего распространяются изменения стока и режима зимней межени. Например, крупномасштабные климатические изменения в бассейне и эксплуатация Вилюйского водохранилища (добавочный сток зимой ~700 м^3/с) заметно улучшили гидрологические условия зимней межени в низовьях Лены: объем стока за ноябрь–апрель вырос с 34,1 (1935–1979) до 51,5 км^3/год (1980–2012), т.е. на 51%, а минимальный Q – с 992 до 1950 м^3/с [2]. Начало первого значимого роста пришлось на 1978–1979 гг., второго – на 2004 г. Роль естественных и антропогенного факторов в этом процессе оказалась почти равнозначной. В итоге стационарность стока зимней межени оказалась нарушенной ($t(D)$=5,18 >$F_{крит.}$=2,77 для $Q_{мин}$; то же – в отношении $Q_{мес}$ с ноября по апрель). Кроме того, доля зимнего сезона в годовом стоке увеличилась примерно на 2,7%. Сроки начала зимней межени не изменились, поскольку различие между датами появления первых ледовых явлений, а также замерзания реки для двух сравниваемых периодов не превышает 1–2 сут. Другие характерные расходы воды (средние годовые, максимальные за год, минимальные летне-осеннего периода, средние месячные с июня по октябрь) проверку на стационарность ряда проходят. На Кольском п-ове и в Карелии водохранилища буквально примыкают к морскому побережью и максимально воздействуют на гидрологический режим устьевых областей зарегулированных рек. Эксплуатация водохранилищ вызвала уменьшение весеннего и увеличение зимнего стока в устьях рек Паза, Туломы, Вороньей, Нивы, Ковды и Нижнего Выга. Ежемесячно в море поступает практически постоянная доля (7–9%) годовой величины стока. Лишь в июне (мае) она выше на 1–2%. Режим Кеми значимых изменений пока не претерпел, но отмечено заметное увеличение расходов воды в зимнюю межень.

Проблемы информационного обеспечениямасштабных исследований гидрологических процессов в российской Арктике. Надежные оценки стока воды, поступающего в устья арктических рек и, в целом, в моря, его внутригодового режима, особенностей и причин его изменений (в течение года, в многолетнем разрезе, по территории, в контексте глобальных и региональных гидроклиматических изменений), их прогноз на XXI в. требует, в первую очередь, обширных, многолетних и равномерно распределенных по территории материалов стационарных наблюдений за стоком воды.

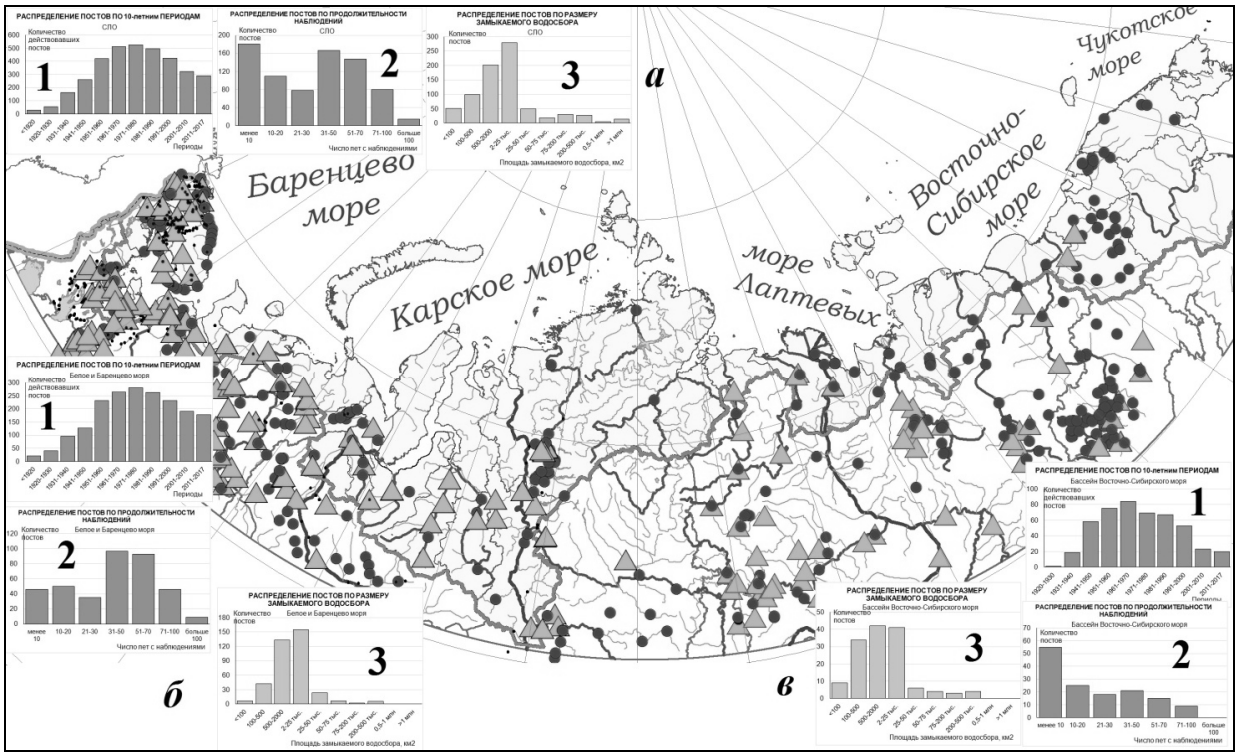


Рис. 4. – Карта-схема размещения стоковых постов в Арктической зоне России и на прилегающих территориях. Кружком показаны закрытые посты, треугольником – действующие посты. Диаграммы распределения стоковых постов по 10-летним хронологическим периодам (1), продолжительности наблюдений (2), размеру замыкаемого водосбора (3) водосборов СЛО (к северу от 60-й параллели) (а), Белого и Баренцева (б), Восточно-Сибирского (в) морей

Однако, несмотря на огромные просторы сухопутной части российской Арктики (2,2 млн км^2 в границах по указу Президента РФ от 2 мая 2014 г.) и многочисленность рек (1500 длиной более 10 км, непосредственно впадающих в моря, т.е. без учета их притоков; еще около 400 рек впадает с арктических островов; 19 рек относится к категории больших с площадью >50 тыс. км^2) гидрологических постов с полноценными наблюдениями очень немного (рис. 4). Всего 266 постов (включая посты Карелии на водосборе Белого моря), т.е. 0,12 поста на 1000 км^2. Действующих постов (по состоянию на 2016 г.) 82, или уже 0,04 поста на 1000 км^2. Но это только одна из проблем полноценного информационного обеспечения гидрологических исследований в российской Арктике. Вторая – значительный объем постов расположен на малых (с площадью замыкаемого водосбора <2000 км2) и очень малых (менее 500–100 км2) реках, данные по которым отражают азональные, местные условия стокоформирования и, по сути, пространственно нерепрезентативны. Например, в бассейне р. Пясины из 42 стоковых постов, всего функционировавших в XX в. и начале XXI в., в настоящее время только 3–4 не закрыты, 79% постов были расположены на реках с площадью водосбора <500 км^2. Третья – неравномерное распределение постов, особенно ныне действующих, по арктической территории и в пределах бассейнов больших рек. Так, на огромную территорию от р. Пясины до м. Дежнев приходится всего 61 пост, из которых в настоящее время работают лишь 7 стоковых по-

стов. В арктических частях бассейнов рр. Печоры, Пясины, Колымы, рек к востоку от р. Колымы почти все посты были размещены в районах масштабной горнодобывающей деятельности – Воркутинского, Норильского, Анюйско-Билибинского и Певекского промышленных узлов. На арктических островах постов нет вовсе. Практически нет постов на реках п-овов Ямал, Гыданский, Таймыр, в восточной части Чукотского п-ова. Очень мало постов на реках приморских равнин и низменностей побережья арктических морей. Четвертая – небольшая продолжительность и прерывистость наблюдений за стоком воды на имеющихся постах. Необходимо отметить, что в европейской части арктической зоны России острота обозначенных вопросов существенно снижается.

Еще одна серьезная проблема, имеющая отношение к арктическим устьям главных рек региона, на которые приходится около 84% суммарного притока в арктические моря России [4], – отсутствие стоковых постов и гидростворов в больших и многорукавных дельтах (на единственных таких пунктах в дельте Лены измерения прекращены в 2005–2007 гг.), прекращение полноценных измерений расходов воды на некоторых замыкающих створах, например Колымское-1 (в устье р.Колымы), Воронцово (в устье Индигирки), Юбилейная (Яны), Хатанга (Хатанги), Зеленый Яр (Нижней Таймыры), Баскаков (в устье Пясины).

Серьезный дефицит в данных требует более расширенного подхода при их отборе: даже с одним годом наблюдений, а также расположенным на прилегающих территориях, т.е. за пределами Арктической зоны России (в официальных ее границах), порой далеко к югу с учетом их такого же редкого размещения на прилегающих территориях, неполного охвата представленных в регионе физико-географических районов, малой длины рядов и др. Пример – катастрофическая ситуация с постами на северо-востоке АТР (в бассейнах Яны, Индигирки, Алазеи, Колымы, рек арктического склона Чукотского АО): в 1950–1960-е гг. здесь функционировало до 107 постов, сейчас 31; всего стоковых постов было 163. В соседнем бассейне большой р. Анадырь действующих стоковых постов не осталось вовсе. В итоге число таких постов может составлять уже 770 (из них 290 действующих). Посты расположены к северу от 60-й параллели с полным охватом бассейнов рр. Колымы, Алазеи, Индигирки, Яны, Оленька, Анабара, Пясины, Пура, Таза, Надыма, Печоры, Мезени, Северной Двины, Онеги, рек в беломорской части Карелии, рек Кольского п-ова, бассейнов притоков в низовьях Оби, Енисея и Лены. 23% постов имеют ряды длиной до 10 лет, 14% – 10-20 лет, 10% – 21-30 лет, 21% – 31-50 лет, 19% – 51-70 лет, 10% – 71-100 лет, 2% – свыше 100 лет. 62% постов, т.е. большинство, имеют оптимальную площадь водосбора от 500 до 25 тыс. км^2. Еще 8% – от 25 до 75 тыс. км^2.

Исследование выполнено по гранту РФФИ №18-05-60021

ЛИТЕРАТУРА

1. Магрицкий Д.В. Антропогенные воздействия на сток рек, впадающих в моря Российской Арктики // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35. – № 1. – С. 1–14.

2. Магрицкий Д.В. Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты Нижней Лены и Вилюя // Вестн. Моск. ун-та. Сер.5. География. – 2015. – №6. – С.85–95.

3. Магрицкий Д.В., Чалов С.Р., Агафонова С.А., Кузнецов М.А., Банщикова Л.С.Гидрологический режим нижней Оби в современных гидроклиматических условиях и под влиянием крупномасштабной водохозяйственной деятельности // Научный Вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. – 2019. – Выпуск №1 (102). – С.106-115.

4. Magritsky D.V., Frolova N.L., Evstigneev V.M., Povalishnikova E.S., Kireeva M.B., Pakhomova O.M. Long-term changes of river water inflow into the seas of the Russian Arctic sector // Polarforschung. – 2018. – No 87 (2). – P. 177–194.

СОВРЕМЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НИЗОВЬЕВ Р.ОБИ

Д.В. Магрицкий, С.А. Агафонова, С.Р. Чалов, М.А. Кузнецов, Л.С. Банщикова
magdima@yandex.ru

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, г.Москва, Россия
Ямало-Ненецкий ЦГМС, г.Салехард, Россия
Государственный гидрологический институт, г.Санкт-Петербург, Россия

Обь – крупнейшая и главная река Западной Сибири и ее северной (арктической) части, одного из наиболее динамично развивающегося региона России. Среди разнообразных и многочисленных факторов успешности и устойчивости этого развития особое место занимают водные и водно-транспортные ресурсы территории, в первую очередь, реки и речной сток. Их наличие и доступность в значительной мере регулируют существование и развитие водного транспорта, нефтегазодобывающих предприятий региона и связанной с ними инфраструктуры по транспортировке производимого продукта, размещению населения и, в частности, вахтовых поселков. Рост нефтегазодобычи в регионе, строительство предприятий по сжижению природного газа и необходимость круглогодичных морских перевозок привели к «всплеску» общественного и гидрологического интереса прежде всего к Обской губе. При этом остается необходимость исследований факторов и последствий гидрологических изменений р. Оби, чей сток (водный, наносов, тепловой и растворенных веществ) является как раз определяющим для гидрологического режима Обской губы и южной части Карского моря, не говоря уже о природном и социально-хозяйственном комплексах в нижнем течении р. Оби (нижней Оби, низовьях Оби), в пределах которого расположен в том числе г. Салехард. Эти изменения есть, и они, как считают авторы, у ряда элементов гидрологического режима существенные. Обнаружены и последствия этих изменений. Прийти к таким выводам позволили детальные исследования авторов на основе обширных данных гидрологических наблюдений (за уровнями и расходами воды, расходами взвешенных наносов, температурой воды и ледовыми явлениями) на постах, как в низовьях рек, так и на выше расположенных участках, на основных притоках, и за период с их открытия по 2016/2017 гг. В качестве современного периода приняты 1976–2017 гг., т.е. уже в условиях глобального потепления климата, а сравниваемого – 1936–1975 гг. Данные по объемам и структуре водопотребления взяты ежегодных справочников «Водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество», издаваемых с 1982 г.

Сток воды и его изменения. Средний за многолетний период годовой объем стока р. Обь у г. Салехард равен 401 км^3/год; к Обской губе он увеличивается до 411 км^3/год. С конца апреля по начало сентября, т.е. за половодье проходит 70% этой величины. Максимальные расходы воды, опять же во время половодья, проходят обычно в конце мая – начале июня. Самый большой расход, в 44,9 тыс. м^3/с, измерен 23 июня 1999 г. Осенняя межень (О) полноводная, сменяет половодье в среднем 10 сентября и заканчивается с установлением ледостава и началом зимней межени. Ее доля в годовом стоке 11,3%. Зимняя межень (З) – самый продолжительный, маловодный, с наименьшими за год расходами воды (Q) гидрологический сезон на нижней Оби. Уточненные и актуализированные значения характеристик этих сезонов, востребованные в водохозяйственной практике расчетов, приведены в таблице 1.

Первой отличительной особенностью многолетних изменений водного стока и соответственно водных ресурсов нижней Оби является его невысокая межгодовая изменчивость (C_v=0,16), как следствие огромных размеров и регулирующей способности Обского бассейна. Вторая особенность – цикличность (~7–8, 11–13 и 23–25 лет) и чередование периодов разной продолжительности и водности. Третья – многолетние колебания содержат статистически незначимый, но тем не менее возрастающий тренд, в первую очередь за счет роста с середины 1990-х гг., в пределах нижней части Обского бассейна (севернее 60-й параллели) и стока р. Иртыша (как это не удивительно!). Объяснением столь слабой, в сравнении с другими основными сибирскими реками и региона [7], положительной тен-

денции служит нахождение значительной части бассейна в южных, засушливых широтах; хозяйственное водопотребление. В 2006–2017 гг. в российской части бассейна водозабор составил ~8,9 км^3/год, в казахской ~2,8 км^3/год, в китайской 3,0 км^3/год, что вместе с потерями на испарение с водохранилищ дает почти 20 км^3/год. Четвертая – циклические и направленные изменения годового стока не привели к статистически значимым нарушениям стационарности ряда (по *F*- и *t*-тест).

Еще более значимо изменились параметры внутригодового режима стока (табл. 1) – от объемов стока и расходов воды за сезон до дат. И не последнюю роль в этом сыграла регулирующая деятельность Обь-Иртышских водохранилищ [3, 5], особенно зимой, в экстремальные по водности годы и ниже впадения зарегулированного Иртыша. Хотя уже к Колпашево Новосибирского водохранилища сильно ослабевает. У Салехарда отмечено статистически значимое увеличение стока осенней и зимней межени, незначительное снижение стока половодья. Причем, нарушение стационарности рядов стока летне-осенней межени наблюдается в 1970-х гг. и особенно на рубеже 1970–1980-х гг., зимней межени – с конца 1950-х гг., большее по величине – с начала 1970-х гг., еще большее – с начала 1990-х гг.

Таблица 1. Основные характеристики гидрологических условий нижней Оби (пост – г. Салехард)

Характеристика	Период		
	1936–2017	1936–1975	1976–2017
Среднемноголетний $Q_{ср}$, м^3/с	12800 (0,16; 3,0; 0,38)[1]	12700 (0,15; - ;0,47)[1]	12900 (0,16; -; 0,32)[1]
Объем стока за половодье, км^3	285 (168–457)[2]	291	279
Средняя дата начала половодья	28.04	29.04	28.04
Средняя дата оконч-я половодья	9.09	14.09	04.09
Среднемноголетний $Q_{макс}$, м^3/с	36600 (0,10; 0,0; 0,28)[1]	37000 (0,10; 0,0; 0,64)[1]	36200 (0,10; 0,0; 0,04)[1]
Наивысший $Q_{макс}$ и его дата	44900 (23.06.99)	43800 (5.07.71)	44900 (23.06.99)
Объем стока за О межень, км^3	45,8 (11,9–91,6)[2]	39,2	52,1
Объем стока за З межень, км^3	76,4 (51,6–121)[2]	70,2	82,4
Среднемноголетний $Q_{мин\ з}$, м^3/с	3300 (0,23; 3,7; 0,61)[1]	2830 (0,18; 2,5 ;0,56)[1]	3740 (0,19; 4,0; 0,34)[1]
Наинизший$Q_{мин\ з}$ и его дата	1650 (5.03.69)	1650 (5.03.69)	2610 (11.04.98)
Сток взвешенных наносов, тыс. т/год	16090 (0,28; 2,5; 0,21)[1]	16150 (0,31; 1,0; 0,40)[1]	16040 (0,25; 4,5; 0,09)[1]
Средняя мутность воды, г/м^3	39,8	40,3	39,4
Средняя температура воды, ^{o}С: май / июнь / июль / август / сентябрь / октябрь[4]	0,6 / 9,2 / 16,6 / 15,1 / 8,8 / 1,7	0,4 / 8,5 / 16,1 / 15,1 / 8,7 / 1,7	0,7 / 10,0 / 17,0 / 15,1 / 8,8 / 1,7
Средняя дата начала ледостава	29.10	29.10	30.10
Средняя дата вскрытия	25.05	28.05	24.05
Средняя дата очищения от льда	29.05	31.05	29.05
Продолж-ть ледостава, сут.	208 (12;0,1)[3]	210	205
Длительность ледовых явлений,сут.	225 (11;0,1)[3]	227	223
Максимальная толщина льда, см	103 (72–159)[2]	111	99
Средний максимальный уровень весеннего ледохода, см	553 (39;0,1)[3]	551	556
Наивысший максимальный уровень и его дата	643 (30.05.1979)	621 (25.07.1971)	643 (30.05.1979)

Примечания. [1]В скобках – значения коэффициента вариации C_v,принятого отношения C_s/C_v и исправленного коэффициента автокорреляции (лаг 1); [2]в скобках – максимальные и минимальные за период значения; [3]в скобках – значения среднеквадратического отклонения и коэффициента автокорреляции.

Сток наносов. Его естественные и антропогенные изменения. При небольших средних значениях мутности воды ~40 г/м^3 (табл. 1) годовой сток взвешенных наносов огромен и равен почти 16,1 млн т, меняясь от 5,8 в 1966 г. до 27,1 млн т в 2007 г. Сток влекомых наносов оценивается в 2,9 млн т/год [3]. Значительная часть стока наносов (85%) проходит в период половодья. Это же и период основных русловых переформирований, деформаций берегов. Средняя мутность во время него возрастает до 52 г/м^3. 11% годового стока наносов проходит в сентябре–октябре. В зимнюю межень мутность воды снижается до 10 г/м^3 и практически уже не измеряется на сети.

Межгодовые колебания стока речных наносов, в целом, неплохо соответствуют таким же колебаниям стока воды (R=0,73). Главная же особенность многолетних колебаний в низовьях Оби – отсутствие выраженной реакции характеристик стока взвешенных наносов на эксплуатацию крупных водохранилищ, как это имело место на рр. Енисей, Вилюй и Колыма [6]. Мало того, многолетний тренд возрастающий (+0,25 млн т/10 лет), хотя и статистически незначимый. Таким образом, сохраняется стабильность в отношении русловых процессов и, следовательно, дноуглубительных работ в низовьях Оби и на барах Обской губы, качества воды в контексте приемлемой концентрации взвесей в речной воды.

Новосибирское водохранилище задерживает почти 91% взвесей и все влекомые наносы [3, 6]. К г. Новосибирску расходы наносов и мутность увеличиваются до 16% их величины до 1956 г., а к г. Колпашево – до 60%. Однако, со второй половины 1970-х гг. здесь произошло более значимое снижение стока наносов, возможно, связанное с уменьшением стока воды и активной добычей нерудных материалов из речного русла. Ниже устья р. Иртыш и у г. Салехарда влияние Новосибирского и иртышских водохранилищ в явном виде уже не видно. А косвенное влияние выражено посредством меньшей интенсивности нарастания расходов взвешенных наносов вслед за современным увеличением водности реки.

Температурный и ледовый режим. Его климатически обусловленные и антропогенные нарушения. Температурные условия – фактор гидроэкологического состояния реки, Обской губы и морского взморья, ледового режима, русловых процессов и переформирования берегов в районах распространения вечной мерзлоты, доказанного влияния такой огромной реки на местный климат и биоту. В створе г. Салехард средняя продолжительность периода с положительными температурами воды составляет 153 сут. (с 23 мая по 23 октября). Средняя температура воды июля – самого теплого месяца – 16,6°С; максимальное значение в +25,4°С измерено 19 июля 1989 г.

Первый лед на нижней Оби появляется 17 октября в районе г. Салехард и 25 октября в районе пос. Горки. В среднем через 2 нед. устанавливается ледостав. В ноябре идет интенсивное нарастание толщины ледяного покрова. К концу месяца значениям 90% обеспеченности соответствуют 20–30 см. В среднем толщина льда достигает 40% от максимальных значений к концу ледостава. Нарастание ледяного покрова продолжается до апреля, а к началу весеннего ледохода он значительно теряет свою толщину и прочность, что способствует снижению опасности заторов льда. Здесь они не такие опасные, как например в устьях Северной Двины, Печоры или Лены [1, 3, 4]. Наивысшие значения толщины льда в створе г. Салехард отмечены в 1956 г. (159 см), для Аксарки в 1971 г. (178 см), для Яр-Сале в 1969 г. (209 см). Средняя продолжительность ледостава по длине нижней Оби варьирует от 190 до 215 сут. Весенний ледоход наблюдается в среднем во второй декаде мая, средняя его продолжительность – 3–5 сут. Весенний ледоход в 90–100% случаев сопровождается выходом воды на пойму.

Изменение температуры воздуха в средней и северной частях Обского бассейна привели к заметному росту температуры воды, прежде всего с мая по июль. У Салехарда увеличение температуры воды в мае составило 0,3°С, в июне – 1,5°С, в июле – 0,9°С.Первый рост отмечен с конца 1980-х гг., второй, более значимый – с начала 2000-х гг. При этом значимого смещения сроков перехода температуры воды через 0°С пока не отмечено. Кроме того, как установлено, влияние водохранилищ на температуры воды до низовьев Оби «не дотягивается». Пока неизвестно как это влияет и способно влиять на местный климат, ММП, которые «островами» присутствуют в устье Оби.

Изменения ледового режима связаны прежде всего с изменениями температуры воздуха и воды. Согласно [2], коэффициенты линейного тренда температур воздуха, особенно зимнего сезона, увеличиваются на нижнем участке р. Обь в направлении к устьевому створу. Вследствие этого смещение сроков появления льда к более поздним значениям статистически значимо (по t-тест) для поста Салехард (стационарность нарушена с 1975 г.) и незначимы для постов выше по течению. Изменения сроков вскрытия проявляются на всей Нижней Оби. Смещение сроков на более ранние даты статистически значимо, начиная с 1971 г. для постов г. Салехард и с. Аксарка и с 1984 г. для постов пос. Горки и с. Мужи. Изменения дисперсии (по F-тест) статистически незначимы также, как и для осенних сроков ледовых явлений. Вслед за ледовыми сроками меняется продолжительность ледостава и периода с ледовыми явлениями (табл. 1): после 1975 г. сокращение составляет 5 сут, после 1987 –7 сут.

Изменения сроков начала и окончания ледовых явлений влияют на ситуацию с завершением осенью навигационного сезона и, особенно, серьезно на функционирование ледовой переправы («зимника») между городами Лабытнанги и Салехард – единственного пути для грузов и автомобилей с левого на правый берег Оби зимой. В последние несколько лет ее открывают аномально поздно из-за позднего, растянутого начала зимы и установления устойчивого ледостава. Последний такой случай пришелся на начало зимы 2018–2019 гг.

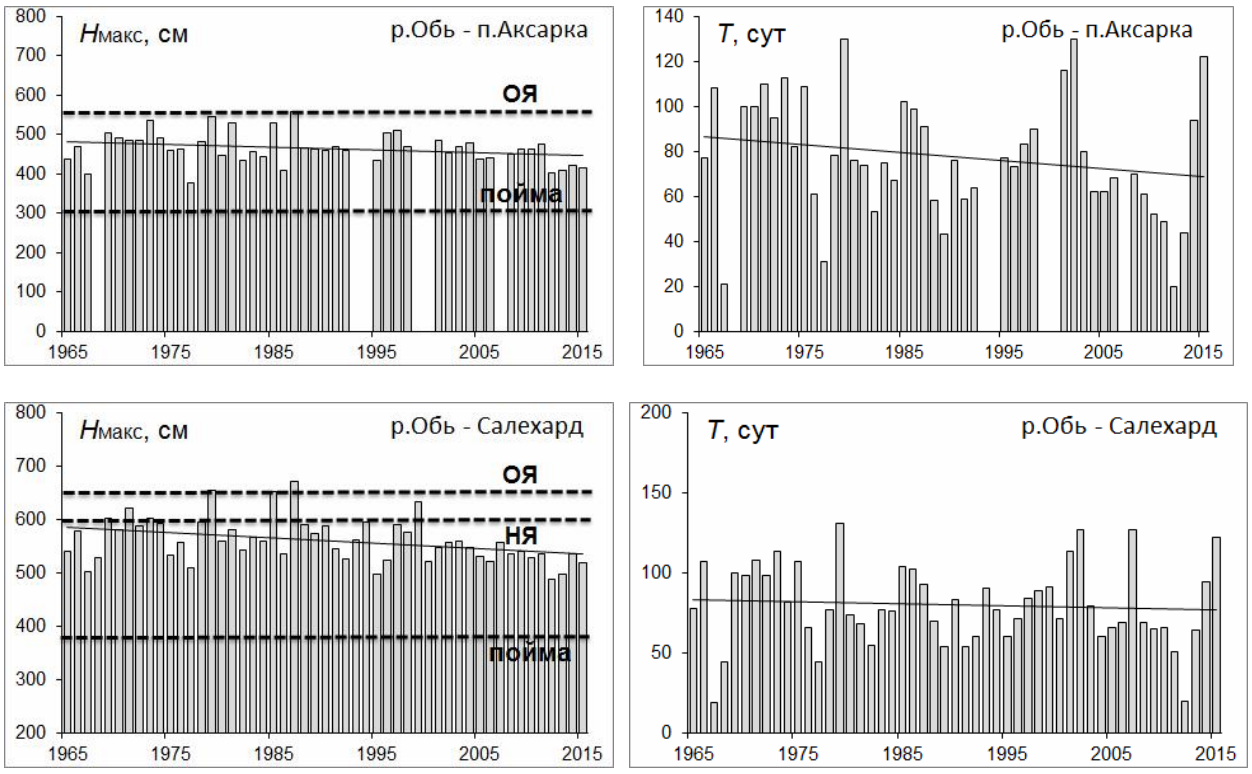


Рис. 1. Многолетняя динамика максимальных уровней воды и их превышения над критическими отметками (левый ряд) и продолжительности затопления речной поймы (правый ряд) в период с 1965 по 2015 гг. НЯ – высотная отметка неблагоприятного гидрологического явления, ОЯ – опасного явления

Максимальные уровни воды и затопления. Во время половодья и максимальных расходов воды затопляется пойма Нижней Оби и порой объекты на ней расположенные. Масштабы затопления и ущербы от него значительно увеличиваются в экстремальные по водности половодья и во время заторов льда, которые как уже ранее отмечено здесь большой мощности не достигают (по разным причинам). Среди населенных пунктов, подверженных

частично затоплению в период весеннего ледохода, следует указать пос. Аксарки, пос. Горки, с. Мужи, г. Салехард. В пос. Салемал затопление происходит не каждый год – 46% случаев с 1978 по 1990 гг.; в пос. Аксарка, Яр-Сале и г. Салехард – каждый год.

Установлено, что в низовьях р. Оби наблюдается снижение опасности затоплений за счет убывающего тренда в многолетних колебаниях максимальных уровней воды и продолжительности затопления поймы (рис. 1). Это следует из некоторого уменьшения максимальных расходов воды и мощности ледяного покрова, общего потепления весной.

Исследование выполнено по грантам РФФИ №18-05-60021 (водный, термический и ледовый режим, его изменения) и №18-05-60219 (сток речных наносов и его изменения)

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В., Айбулатов Д.Н. Особенности и оценки пространственно временной изменчивости речного стока в многорукавной дельте р. Лены // В сб.: Меняющийся климат и социально-экономический потенциал Российской Арктики. – М.: Лига-Вент, 2016. – Том 2. – С. 65–95.

2. Второй оценочный доклад Росгидромете об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – Москва, 2014. – 1008 с.

3. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / под ред. Н.И.Алексеевского. – М., 2007. – 585 с.

4. Козлов Д.В., Бузин В.А., Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Банщикова Л.С. и др. Опасные ледовые явления на реках и водохранилищах России: Монография / под. общ. ред. Д.В.Козлова. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева. – 2015. – 348 с.

5. Магрицкий Д.В. Антропогенные воздействия на сток рек, впадающих в моря Российской Арктики // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35. –№ 1. – С. 1–14.

6. Магрицкий Д.В. Факторы и закономерности пространственной и многолетней изменчивости поступления речных наносов в моря Российской Арктики // Вопросы географии. Сер. География полярных регионов. – 2016. – Вып. 142. – С. 444–466.

7. Румянцева Е.В., Шестакова Е.Н., Муждаба О.В. Динамика водных ресурсов рек Арктической зоны Западной Сибири // Научный Вестник Ямало-Ненецкого АО. – 2008.– Вып. 3(96). – С. 53-61.

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Ж.К. Наурозбаева, В.А. Лобанов
naurozbaeva.zhanar@mail.ru

Российский государственный гидрометеорологический университет, г.Санкт-Петербург, Россия

Как известно Каспийское море относится к частично замерзающим морям. В его северо-восточной части, как и на всем Северном Каспии ежегодно устанавливается устойчивый ледяной покров, отличающийся большой динамичностью. Он препятствует нормальному судоходству, способствует разрушению береговых гидротехнических сооружений. Ледовые условия оказывают влияние не только на многие морские отрасли хозяйства, но и на экологическую ситуацию в регионе, например, смещение сроков ледовых явлений оказывает влияние на биологические циклы в экосистемах, что отражается, в свою очередь, на рыбопродуктивности.

Современное потепление климата проявляется во многих природных факторах, в том числе и в инерционных характеристиках криосферы, к которым относится морской и речной лед.

Анализируются климатические изменения максимальной толщины льда в пунктах измерений на акватории Северного Каспия и в одном пункте в дельте Волги. Установлены влияющие метеорологические факторы на основе построенных зависимостей между максимальной толщиной льда и температурой воздуха. Получено, что максимальная толщина льда уменьшается на всех станциях, но в большей степени на северо-востоке, в меньшей на северо-западе, а на южных станциях уже достигает критических значений, при которых лед в отдельные годы не формируется. Основной причиной является уменьшение сумм отрицательных температур воздуха за холодный период и повышение температуры в марте, в то время как температура в остальные месяцы холодного периода пока изменяется мало

Цель настоящей работы заключается в оценке изменений максимальной толщины льда в северной части Каспийского моря и изучении климатических факторов, которые эти изменения определяют.

Для оценки территориальных изменений климата в районе северной и центральной части Каспийского моря была привлечена дополнительная информация — многолетние ряды среднемесячной температуры воздуха на 29 метеостанции вблизи рассматриваемой акватории моря.

В ходе работы выполнены следующие задачи:

- сформирована база данных по многолетним рядам наблюдений за толщиной льда и другими характеристиками ледового режима на станциях Северного Каспия (российский и казахстанский сектора) и в дельте Волги (Астрахань);

- построены эмпирические зависимости между толщиной льда и факторами, которые позволили в качестве климатических характеристик выбрать среднемесячные температуры воздуха с октября по март и суммы отрицательных температур за зимний период;

- сформирована база данных по температурам воздуха на метеостанциях в районе Северного Каспия и осуществлено восстановление пропусков наблюдений и приведение рядов толщин льда и температур к одинаковому многолетнему периоду по уравнениям связи с аналогами и факторами;

- осуществлено статистическое моделирование временных рядов максимальных толщин льда и их климатических факторов, установлены преобладающие виды нестационарных моделей и определены годы, в которые ступенчато повышалась температура и уменьшались толщины льда;

- получены количественные оценки изменения норм для модели ступенчатых изменений и скоростей изменения для модели линейного тренда в рядах максимальных толщин льда и температур воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухарицин П.И. Характерные особенности ледовых процессов в мелководной северной части Каспийского моря ISBN 978-5-9908460-0-5. Комплексные исследования морей России: оперативная океанография и экспедиционные исследования. Материалы молодежной научной конференции, г. Севастополь, 25-29 апреля 2016 г. // Севастополь: ФГБУН МГИ. – 2016. – С. 13-20. – http://mhi-ras.ru/news/news_201605201055.html.

2. Бухарицин П.И. Обледенение на Каспийском море. Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2007. – № 6(41), ноябрь-декабрь. – С. 154-156.

3. Гидрометеорология и гидрохимия морей. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – Том VI. Каспийское море. – Вып. 1. Гидрометеорологические условия. – 359 с.

4. Ивкина Н.И., Наурозбаева Ж.К. Изменение характеристик ледового режима казахстанской части Каспийского моря, в связи с изменением климата // Гидрометеорология и экология. – 2015. – № 2. – С. 28-35.

5. Ивкина Н.И., Наурозбаева Ж.К., Клове Б. Влияние изменения климатических условий на ледовый режим Каспийского моря. – 2017. – 15 с.[http://www.water-ca.org/article/2589] – 12.11.2017 г.

6. Лобанов В.А., Шадурский А.Е. Применение эмпирико-статистических методов для моделирования и анализа климатических изменений. Ученые записки РГГМУ. – 2010. – №14. – С. 73-88.

7. Лобанов В.А., Наурозбаева Ж.К. Климатические изменения толщины льда на северном Каспии // Ученые записки РГГМУ. – 2018. – № 53. – С. 172-187 http://www.rshu.ru/university/notes/archive/issue53/ – 27.01.2019 г.

ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В РАЗЛИЧНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗОНАХ Г. ВОРОНЕЖА

Е.Г. Нефедова
nefenok@mail.ru

Воронежская областная клиническая больница №1, г.Воронеж, Россия

Реки, протекающие в городской черте, как правило, испытывают сильную антропогенную нагрузку, которая приводит к их трансформации [1, 2]. Эти изменения могут затрагивать различные аспекты гидрологического режима водотоков. В данной работе рассматривается термический режим двух малых рек – Песчанка и Тавровка, протекающих в различных функциональных зонах г. Воронежа. Точки наблюдений расположены, соответственно, в истоке и устье обеих рек для установления особенностей термического режима водотоков в верхнем и нижнем течении (рис. 1).

Река Песчанка протекает в промышленной зоне города, большая часть ее водосбора представлена запечатанными территориями. Исток реки расположен вблизи промышленных площадок ОАО «Воронежсинтезкаучук». Правый берег реки в месте отбора проб (точка 2) крутой, покрыт растительностью (поросль тополя и акации, у уреза воды произрастает тростник обыкновенный). Левый берег пологий, преимущественно порос тростником. С обеих сторон от водотока располагаются автомобильные дороги: на правом берегу – подъездная дорога предприятия ОАО «Воронежсинтезкаучук» (примерно в 25 м от уреза воды), на левом берегу – автомобильная трасса Р-298 Курск – Воронеж – «Каспий» (Р-22) (приблизительно в 50 м от уреза воды). То есть, несмотря на смягчающее воздействие, которое оказывает растительность, эта точка наблюдений на реке, тем не менее, подвержена влиянию заасфальтированных участков, которые обусловливают отепляющий эффект.

Устье р. Песчанка расположено вблизи ТЭЦ-1. На участке отбора проб (точка 1) русло реки расширяется. Это обусловливает существенное изменение гидрологического режима в сравнении с истоком реки: водообмен здесь замедлен, течение практически отсутствует, что способствует более интенсивному прогреванию воды в сравнении с точкой 2. На правом берегу реки в этой точке расположены гаражные кооперативы, на левом берегу приблизительно в 25 м от уреза воды проходит трасса Р-298 Курск – Воронеж – «Каспий» (Р-22). По берегам произрастает древесная (тополь, яблоня) и травянистая (горец птичий, люцерна серповидная и др.) растительность, в непосредственной близости от уреза воды преобладает тростник обыкновенный.

Бассейн р. Тавровка испытывает абсолютно иное по характеру воздействие в сравнении с р. Песчанка. В устьевой части реки (точка 3) на левом берегу раскинулся сосновый бор, по правобережью тянутся дачные участки. Вместе с тем, пойма реки остается свободной от застройки и занята преимущественно луговой растительностью. Отсутствие запечатанных территорий вблизи точки наблюдений, а также сохранение естественной растительности способствуют тому, что отепляющего эффекта городской застройки как в точках наблюдения, расположенных на р. Песчанка, здесь не наблюдается.

В истоке р. Тавровка (точка 4) приблизительно в 10 м от уреза воды с обоих берегов расположены дачные участки. По обоим берегам реки до хозяйственных построек тянется лесополоса. Наличие древесной растительности в непосредственной близости от уреза воды приводит к тому, что на этом участке русло реки почти полностью затенено в течение всего года, в особенности в теплое время.

Для выявления особенностей термического режима рек Песчанка и Тавровка были проведены полевые наблюдения за период 28.07.2015 – 17.08.2017 гг. Измерения температуры воды осуществлялись в среднем 1 раз в месяц.

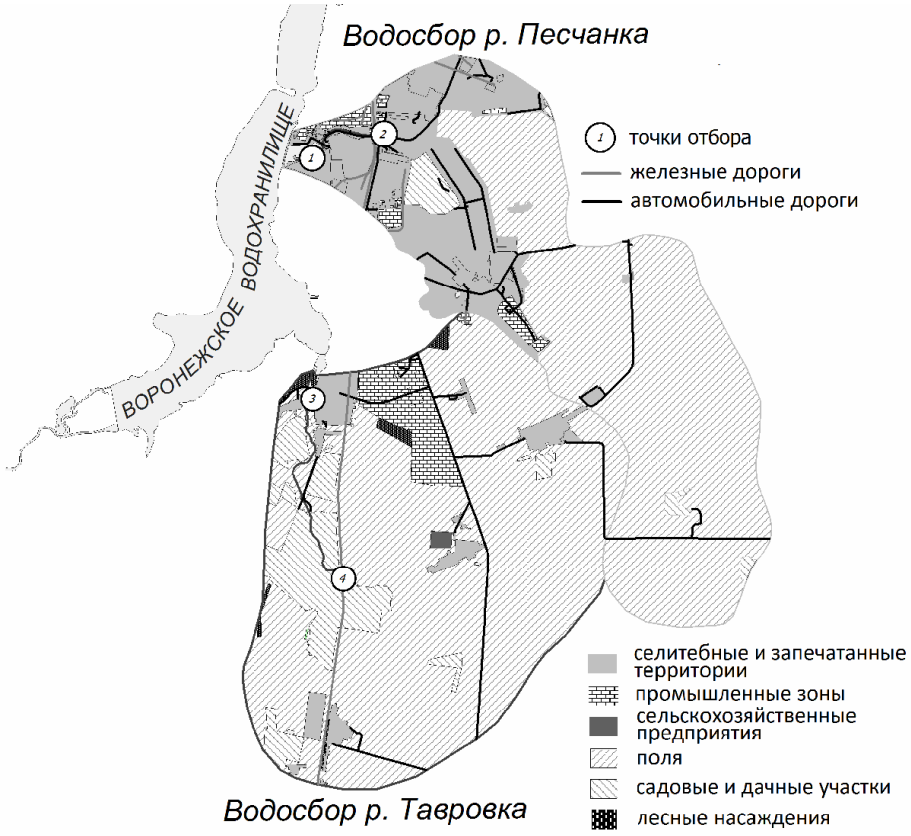


Рис. 1. Расположение точек наблюдения на реках Песчанка и Тавровка

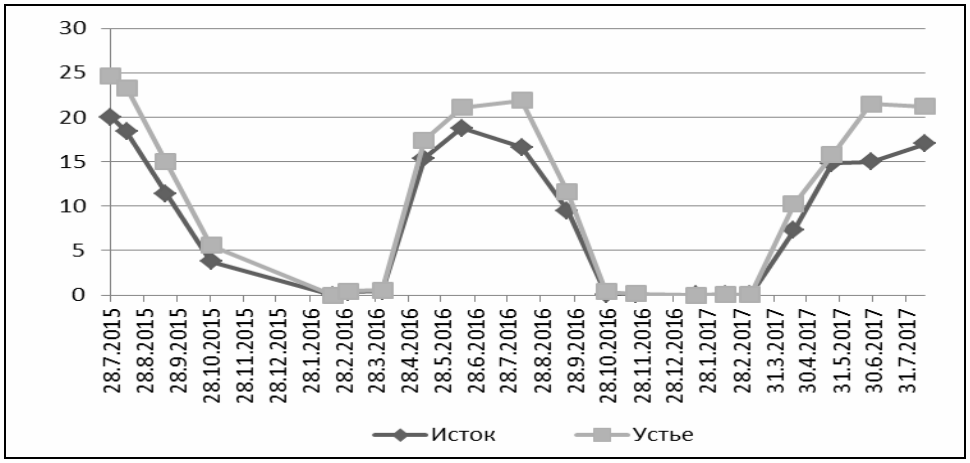


Рис. 2. Термический режим р. Песчанка

В р. Песчанка значения температуры колеблются в диапазоне 0-20,0 °С в истоке и 0-24,6°С в устье. Максимальная температура в обеих точках зафиксирована 28 июля 2015 г. Средние значения за период исследований составляют 8,4 °С в истоке и 10,5 °С в устье (рис. 2).

В р. Тавровка температуры воды ниже, их значения составляют 0,12-17,6 °С в истоке и 0,2-15,8 °С в устье. Средняя температура за весь период исследований в истоке р. Тавровка составляет 7,1 °С и 7,2 °С в устье реки (рис. 3).

Исследованиями [3, 4] установлено, что в городской черте микроклиматические параметры трансформируются под воздействием антропогенных факторов, что обусловливает возникновение «острова тепла». Это происходит в основном за счет изменения баланса солнечной радиации в условиях преобладания искусственных поверхностей (зданий, автомобильных дорог, тротуарной плитки и т.п.), избыточного поступления тепла от промышленных предприятий и автомобильных дорог, дефицита озелененных участков и ряда других факторов.

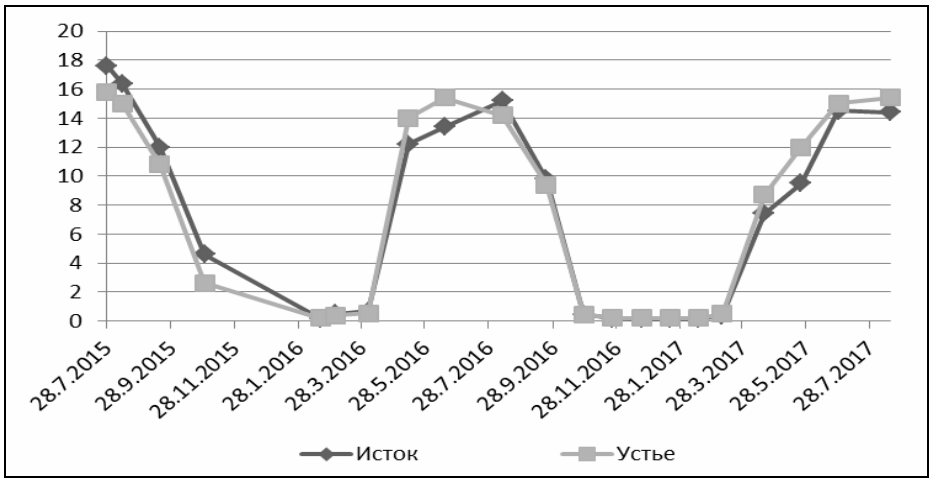


Рис. 3. Термический режим р. Тавровка

Существенно разные антропогенные условия в бассейнах исследуемых рек, в частности преобладающее воздействие перечисленных «отепляющих факторов» в бассейне р. Песчанка и близкие к естественным условия в бассейне р. Тавровка делают выбранные водные объекты интересными для сравнения. Согласно анализу полученных температурных рядов (см. рис. 2 и 3), средние и абсолютные значения температуры воды в истоке и устьевой части р. Песчанка превышают соответствующие значения в р. Тавровка. Вместе с тем, для корректной интерпретации полученных данных прежде, чем делать вывод о различиях в температурных режимах рек, протекающих в различных функциональных зонах, необходимо проверить статистическую достоверность полученных результатов.

Для проверки гипотезы о принадлежности выборок, включающих температурные ряды отдельно для истоков и устьевых частей рассматриваемых рек, к одной генеральной совокупности нами был применен непараметрический критерий Манна-Уитни. Данный критерий был выбран, так как в ходе обработки данных нормальность распределения температурных рядов не подтвердилась.

Согласно проведенным расчетам, критические значения критерия для уровня значимости 5 % оказались меньше вычисленных для рассматриваемых выборок. Это позволяет говорить о том, что различия между температурными рядами в истоках и устьевых частях рек Песчанка и Тавровка не подтвердились на выбранном уровне значимости.

Таким образом, температурный режим р. Песчанка, протекающей в промышленной зоне города, характеризуется большими амплитудами температуры воды, а также большими средними и максимальными значениями температуры, чем в р. Тавровка, как в истоке, так и в устье. Разница между средними температурами в истоках рассматриваемых рек составляет 1,3 °С, а в устьях – 3,3 °С. Разница между максимальными наблюденными значениями еще выше и составляет, соответственно, для истоков – 2,4 °С, а для устьев – 8,8 °С. В то же время выявленные различия между выборками не подтверждаются с достаточным уровнем значимости. Есть вероятность того, что это обусловлено небольшой продолжительностью температурных рядов, что делает необходимым проведе-

ние дальнейших наблюдений на рассматриваемых водотоках с целью уточнения полученных зависимостей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриева В.А. Гидрологическая реакция на меняющиеся климатические условия и антропогенную деятельность в бассейне Верхнего Дона / В.А. Дмитриева, Е.Г. Нефедова // Вопросы географии. – 2018. – Сб. 145. – С. 285-297.

2. Никаноров А.М. Методы экспериментальной гидроэкологии / А.М. Никаноров, М.М. Трофимчук, Б.Л. Сухоруков. – Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2012. – 309 с.

3. Попова И.В. Моделирование «городского острова тепла» средствами геоинформационного анализа / И.В. Попова, С.А. Куролап, П.М. Виноградов // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2018. – № 2 (5). – С. 87-95.

4. Haddad L. Impact of the transport on the urban heat island / L. Haddad, Z. Aouachria, D. Haddad // International journal for Traffic and Transport Engineering. – 2015. – № 5 (3). – Pp. 252-263.

АНАЛИЗ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА НИЖНЕЙ ВОЛГЕ

А.Ю. Овчарова
Ovcharova_82@list.ru

Городищенская средняя школа № 1, р.п. Городище Волгоградской обл., Россия

С возведением Волжского гидроузла и созданием Волгоградского водохранилища в 1961 году сформировавшаяся природно-техногенная система является экологически неустойчивой и зависит во многом от хозяйственной деятельности человека. Её создание привело к изменению гидрологического режима на Нижней Волге, особенно это ощущается с началом XXI в. Например, 2006 г. – максимальные расходы воды в весеннее половодье составили 18000 м^3/с, в 2015 г. – 16000 м^3/с (при оптимуме 26000-28000 м^3/с). В то время как в зимний период расходы воды увеличились от 20 до 100 %. Разгорелись споры о факторах, влияющих на гидрологических режим Волги – естественные или искусственные.

Для выяснения причин увеличения попусков воды в зимнее время и сокращение максимальных расходов воды в половодье мы проанализируем климатические (естественные) факторы изменения гидрологического режима на Нижней Волге в последнее десятилетие.

Согласно исследованиям Сажина А.Н., Кулика К.Н. и Васильева Ю.И. [6], с 1960-х гг. и по настоящее время наблюдается тенденция увеличения среднегодовых температур и уменьшения общего количества осадков, что они связывают с глобальным потеплением. Оно способствует аридизации степей Нижнего Поволжья. Свидетельством этого является то, что четыре года подряд с 2009 по 2012 гг. были характерны жесткие весенние и раннелетние засухи, чего не отмечалось за весь период инструментальных наблюдений [7]. Что касается количества осадков то, начиная с 1970-х гг. XX в., можно заметить цикличность в их повышении и понижении, примерно в 10-11 лет, в течение которых первые и последние 2-3 года держатся в пределах многолетних значений, а в середине их количество возрастает, но в целом среднее количество осадков колеблется в пределах от 340 до 380 мм в год, что соответствует климатической норме географической широты, на которой располагается Волгоград.

Анализ климатических показателей (температуры и количества осадков) последнего десятилетие на Нижней Волге, составленный по данным метеостанции «Волгоград-СХИ», Брылёва В.А. [1] и Сажина А.Н. [7], показал, что средняя годовая температура по-

высилась с 7,6 °С до 9 °С (на 18 %). Наиболее значительные повышения температуры отмечаются с ноября по апрель - с – 3,15 °С до – 0,82 °С (на 26 %) (рис. 1), это способствует увеличению количества осадков в зимний период. С апреля по октябрь средние значения температур почти не изменились.

Согласно Докладу о состоянии окружающей среды Волгоградской области, зимой в последнее десятилетие выпадает осадков больше нормы. Например, в зимний период 2008 г. выпало 93 мм, 2009 г. – 86 мм, 2010 г. – 195 мм, 2012 г. – 178 мм, 2013 г. – 135 мм, 2014 г. – 118 мм.

Рис. 1. Средняя месячная многолетняя температура и средняя месячная температура с 2005 по 2015 гг. в Волгограде, составлено по данным метеостанции «Волгоград-СХИ» и В.А. Брылева [1]

Увеличилось не только количество осадков, но и количество дней с осадками. Например, при норме 125 дней в течение года, в 2009 г. незначительное превышение – 127 дней, при этом за год выпало 318 мм осадков. В 2010 г. составило 149 дней с общим количеством осадков 434 мм. В 2011 г. – 157 дней, в 2012 г. – 163 дней с общим количеством осадков в 392 мм, в 2013 г. – 155 дней и 397 мм, в 2014 г. – 147 дней при 333 мм осадков (рис. 2) [2-5].

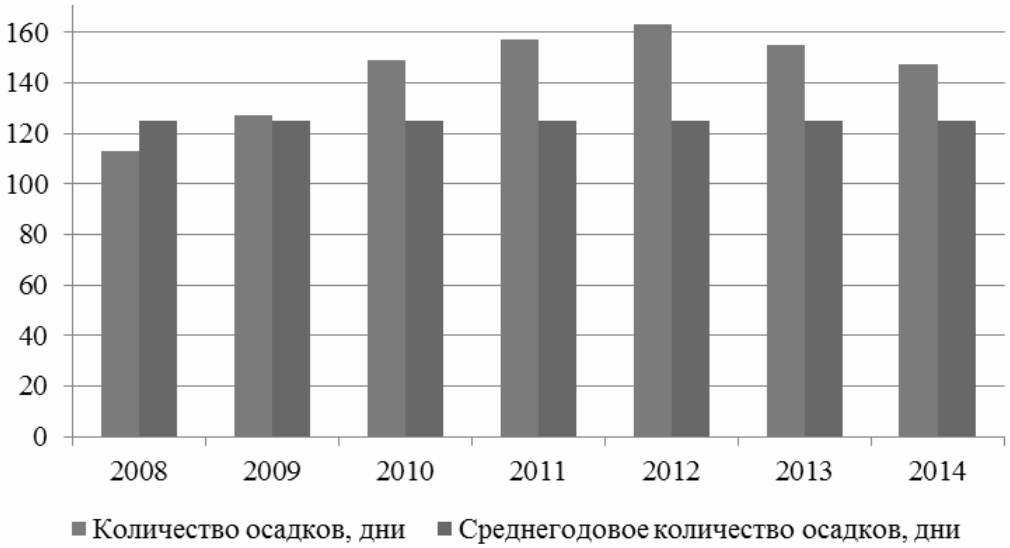


Рис. 2. Среднегодовое и ежегодное количество дней, выпавших осадков составлено автором по данным Доклада о состоянии окружающей среды Волгоградской области…; [2-5]

Изменилось также распределение количества дней по месяцам в сторону их увеличения в зимнюю межень (табл.1) [2-5]. Например, в 2011 г. с января по март составило 52 дня (41,6 % от годовой нормы), в 2012 г. – 48 дней (38,4 %), в 2013 г. – 56 дней (45 %), в 2016 г. – 77 дней (61,6 %). Количество дней с осадками в период весеннего половодья остается на уровне средних значений, что позволяет сделать вывод о том, что регулирование стока весной носит больше управленческих характер, чем климатический (табл. 1).

Таблица 1. Распределение количества дней с осадками по месяцам по данным Доклада о состоянии окружающей среды Волгоградской области…; [2-5]

Годы	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2010	15	10	10	4	13	6	7	6	11	7	9	15
2011	20	18	14	4	10	5	6	9	5	9	7	20
2012	20	13	15	7	17	3	4	3	7	15	21	24
2013	17	20	19	10	9	8	4	6	13	14	20	17
2014	27	26	24	9	7	6	8	10	6	10	9	21
2015	24	16	12	12	9	9	9	8	8	6	16	18
2016	22	16	14	7	10	8	7	8	10	12	18	20
2017	20	18	15	7	10	7	8	7	11	11	17	18

Анализ искусственных и естественных факторов показал, что основные изменения гидрологического режима на Нижней Волге произошли в конце 1950-х – 1960-х гг. XX в. после строительства Куйбышевского, Волгоградского и Саратовского водохранилищ. Анализ причин изменения гидрологического режима показал, что на ситуацию влияет комплекс естественных (климатических) и искусственных (управленческих) факторов. Например, увеличение попусков воды в зимний период обусловлено климатическим фактором (повышением средних месячных температур, количества осадков и количество дней, в течение которых выпадают осадки), снижение максимальных расходов воды в период половодья связано с управленческим фактором.

ЛИТЕРАТУРА

1. География и экология Волгоградской области. Учебное пособие. – 3-е изд., перераб. и доп. / авт. кол. под общ. ред. В.А. Брылева. – М.: Глобус, 2010. – 152 с.

2. Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2010 году. – Волгоград: «СМОТРИ», 2011. – 351 с.

3. Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2012 году. – Волгоград: «СМОТРИ», 2013.–346 с.

4. Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2014 году. – Волгоград: «СМОТРИ», 2015.–299 с.

5. Доклад о состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2016 году. – Ижевск: ООО «Принт-2», 2017. – 300 с.

6. Сажин А.Н., Кулин К.Н., Васильев Ю.И. Погода и климат Волгоградской области. – Волгоград: ВНИАЛМИ, 2010. – 306 с.

7. Сажин А.Н., Судаков А.В. Почвенно-климатический потенциал развития зерноводства в Нижнем Поволжье // География и природные ресурсы. – 2013. – № 4. – С.84-93.

РЕГИОНАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР КОМПЛЕКСА ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Т.С. Пантелеева
tatjanapanteleewa@gmail.com

Воронежский государственный университет, г.Воронеж, Россия

К основным физико-географическим факторам, влияющих на формирование водных ресурсов относятся климат, рельеф, состав и свойства рельефообразующих пород, особенности почвенного покрова и геолого-гидрогеологические условия. Отличительной особенностью водных ресурсов является их двойственная природа, обусловленная, с одной стороны, динамичностью вследствие постоянного возобновления, а с другой – некоторым постоянством, определяемым подстилающей поверхностью [3].

Обеспечение качества и количества водных ресурсов региона является важнейшей задачей современности. Антропогенный пресс на окружающую среду в сочетании с естественными факторами изменения природных процессов формирует сложные условия, влияющие на количество и качество водных ресурсов. Анализ факторов формирования водных ресурсов и параметров изменения внешней среды – существенное условие стабилизации ситуации [5].

Климат Курской области - умеренно-континентальный. Климатические условия складываются под влиянием солнечной радиации, рельефа и растительного покрова, на которые накладывается атмосферная циркуляция [2]. Изменение теплового баланса и увлажнения происходит с северо-запада на юго-восток [1]. На величину отдельных компонентов водного баланса наибольшее влияние оказывают: количество осадков и характер их распределения по территории, увлажнение почвы, ход и интенсивность снеготаяния.

Осадки имеют наибольшее значение в формировании водных ресурсов. На увеличение уровня осадков влияют высота местности, расчлененность рельефа, лесные массивы. По количеству осадков Курская область относится к зоне неустойчивого увлажнения [4]. Большая часть осадков выпадает в теплый период, однако, хорошая инфильтрационная способность типичных для области черноземов и высокие летние температуры воздуха, способствуют значительному испарению, приводя к тому, что почти все выпавшие летом осадки просачиваются в почву, и поверхностный сток, как правило, не формируется. Поверхностный сток формируют осадки холодного периода и связанные с ним водноэрозионные процессы, миграция растворенных химически веществ и взвесей. Неравномерность выпадения осадков также связана с характером рельефа. Большое количество осадков выпадает преимущественно на склонах возвышенностей, обращенных в сторону преображающих влажных и относительно теплых ветров. В Курской области такими несущими влагу являются ветры, дующие с запада и с юго-востока.

На количество атмосферных осадков воздействуют также крупные лесные массивы, расположенные преимущественно в северо-западной части области. Лесные насаждения оказывают пространственное влияние на условия формирования поверхностного стока. Оно проявляется в увеличении мощности снежного покрова, уменьшении промерзания почвы, предотвращении образования или уменьшения толщины площади покрытия почвы ледяной коркой, увеличении инфильтрационной способности почвы. Лесные массивы препятствуют сдуванию снега с полей в овраги и понижения, способствуют снижению паводков на реках и выравнивают внутригодовое распределение стока поверхностных вод.

Основным источником питания рек и пополнения запасов подземных запасов подземных вод являются талые снеговые воды. Снежные ресурсы определяют максимальный расход воды и объем стока весеннего половодья, влагозапасы верхнего слоя почвогрунтов.

Большое влияние на формирование водных ресурсов оказывают геологическое строение и состав рельефообразующих пород. В геологическом строении Курской области принимают участие девонские, каменноугольные, юрские, меловые, палеогеновые,

неогеновые и четвертичные осадочные отложения, залегающие на докембрийском кристаллическом фундаменте [4]. Условия формирования водных ресурсов в значительной степени определяются фильтрационными свойствами рельефообразующих пород, так как водопроницаемость рельефообразующих пород на рассматриваемой территории неодинакова. Наибольшей водопроницаемостью обладают верхнедевонские трещиноватые закарстованные известняки, коэффициент фильтрации которых достигает 250 м/сутки.

Территория области характеризуется орографически неоднородностью. Высота местности определяет количество выпадающих осадков и оказывает влияние на водность рек. С увеличением высоты местности несколько уменьшается испарение с водной поверхности, транспирация водной растительности, температура воздуха. К числу факторов, существенно влияющих на водный баланс, относится степень расчленения территории. Густота овражно-балочной сети оказывает воздействие на формирование водного баланса в основном периоде весеннего снеготаяния, поскольку зимой в оврагах и балках скапливаются большие запасы снега, сдуваемого с плоских водоразделов и склонов [1].

Гидрологогеологические условия Курской области складываются под влиянием многих физико-географических факторов. Район обладает сравнительно развитой речной сетью, принадлежащей бассейнам рек Днепра и Дона. Общее количество больших и малых рек в рассматриваемой области- 902, большинство из них являются малыми и очень малыми водотоками. Необходимо отметить тесную гидрографическую связь речного стока с верхними водоносными горизонтами, за счёт которых происходит питание рек в летнюю и зимнюю межень. В вертикальном гидрогеологическом разрезе выделяются три зоны: свободного, затрудненного и весьма затрудненного водообмена [4]. Зоной свободного водообмена является верхняя часть гидрогеологического разреза, где подземные воды имеют наиболее тесную связь с компонентами географической оболочки. Важным элементом этой зоны является поток подземных вод, изучение которого помогает выявлению и систематизации гидродинамических условий их формирования. Подземные воды свободного водообмена в Курской области имеют преимущественно безнапорный характер. Основные особенности зоны свободного водообмена заключаются в следующем: сформировавшиеся в этой зоне подземные воды дренируются гидрографической сетью; водосодержащие породы имеют разную степень водопроницаемости и подвержены активным процессам физического и химического воздействия; ресурсы и качество подземных вод определяются свойствами и состоянием компонентов природной системы, а также интенсивной хозяйственной деятельности человека.

Изучая антропогенные изменения поверхностных и подземных вод Курской области Г.М. Чернышева и Е.П. Чернышев отмечают, что наиболее существенное преобразование речного стока связано с развитием земледелия, что определяется высокой степенью распаханности под зябь и другими агротехническими мероприятиями [4]. Прямое воздействие хозяйственной деятельности на водные ресурсы производится при интенсивном водоотборе подземных и поверхностных вод для промышленного, сельскохозяйственного и коммунального водоснабжения, вследствие сбрасывания промышленно – бытовых и животноводческих стоков в местную гидрографическую сеть, регулирование местного стока прудами и русловыми водохранилищами.

Промышленное производство в целом является одним из наиболее мощных потребителей водных ресурсов. Наибольшее воздействие на состояние вод оказывает водоотбор поверхностных и подземных вод [6, 7].

Косвенное влияние на природную среду и водный режим территории может происходить при сельскохозяйственном освоение земель, сопровождающемся вырубкой лесов и распахиванием целинных степей, при загрязнении атмосферного воздуха и почвенного покрова. Что приводит к загрязнению верхних водоносных горизонтов подземных вод сельского хозяйства и загрязнение атмосферного воздуха [6, 7].

На формирование поверхностных и подземных вод значительное влияние оказывает изменение водного режима территории. В связи с вырубкой лесов и распахиванием степей происходит заметное сокращение атмосферных осадков и значительные измене-

ние соотношения между поверхностным и подземным стоком. Инфильтрационное питание подземных вод атмосферными осадками сокращается, а объем поверхностного стока возрастает. В настоящее время лишь относительная часть паводковых вод задерживается на речных водосборах рассматриваемого региона. Большая часть образует склоновый сток, вызывающий линейную и плоскостную эрозию [4].

Существенное влияние на качество и количество водных ресурсов оказывает воздействие сельскохозяйственного производства.

Так же, фактором преобразования водных ресурсов является гидромелиорация. Особенно оно усиливается при нарушении технологии полива, что может приводить к засолению и осолонцеванию почв, подъему уровней грунтовых вод, увеличению минерализации поверхностных вод. На орошаемых полях происходит усиление подземного питания рек за счет избытка поливных вод [4].

К агротехническим мероприятиям, преобразующим водный баланс территории, относится зяблевая пахота, в результате которой поверхностный весенний сток уменьшается. При этом наибольшее влияние на величину поверхностного стока, оказывает степень увлажнения почвенного покрова, от которой зависит инфильтрационная способность почв в период весеннего снеготаяния. К мероприятиям, оказывающих влияние на формирование водного баланса следует отнести способы обработки почв такие, как глубокая отвальная и безотвальная пахота, которые направлены на повышение впитывающей и водозадерживающей способности пашни, и, следовательно, на снижение поверхностного стока с нее.

На местный сток Курской области оказывает определенное влияние агролесомелиоративные мероприятия, за счет которых весенний сток на площади речных водосборов задерживается и частично переводится в подземный.

Подземные воды на рассматриваемой территории испытывают техногенное воздействие и имеют нарушенный режим. В местах с плохой геологической защитой верхних водоносных горизонтов в поймах и на надпойменных террасах рек, проникающие с поверхности промышленные сточные воды оказывают существенно влияние на гидрохимический состав подземных вод, ухудшая их качество и делая непригодным для питьевого водоснабжения [4].

В настоящее время на рассматриваемой территории под влиянием интенсивного водоотбора из основных водоносных горизонтов происходит сокращение подземного стока. В связи с тем, что подземный сток здесь тесно связан с поверхностным, его сокращение приводит к уменьшению меженного питания рек. В результате водопонизительных откачек и работы подземных водозаборов, произошло нарушение естественного гидродинамического режима подземных вод. Так, в результате работы водозаборов городов Курска и Железногорска, произошло понижение уровней подземных вод в юрско-девонском горизонте и водоносной зоне трещиноватых архейско-протерозойских кристаллических пород. Нерациональная эксплуатация подземных вод приводит к истощению водоносных горизонтов и образованию депрессионных воронок. Одна из таких воронок образовалась при работе городского водозабора г. Курска. Она имеет радиус 70 км, максимальное снижение уровня подземных вод в центре депрессии- 71,94 м.

Анализ регионального характера природных и антропогенных факторов формирования водных ресурсов выступает основой для разработки географического прогноза и мероприятий по ландшафтной организации территории речного бассейна, обеспечивающих количество и качество водных ресурсов [5].Таким образом, анализ природных и хозяйственных условий для территории Курской области позволяет сделать следующие выводы: на формирование водных ресурсов в значительной степени влияют, как природные, так и антропогенные факторы (при этом техногенное воздействие в наибольшей степени проявляется около городов Курск, Курчатов и Железногорск); антропогенное воздействие на водные ресурсы определяется воздействием сельскохозяйственного и техногенного производства. В результате воздействия на природную среду, а именно на водные ресурсы, произошло развитие негативных процессов, которые в значительной степени ухудшают их качество.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кабанова Р.В. Рельеф / Р.В. Кабанова // Природа Курской области и ее охрана. – Воронеж: Центр.-Черноземное кн. изд-во, 1985 – Вып. 1. – С. 30-42.

2. Коронкевич Н.И. Современные антропогенные воздействия на водные ресурсы / Н.И. Коронкевич // Изв. РАН. Сер.: Геогр. – 1998. – № 5. – С. 55-68.

3. Проскурина Н. В. Водные (гидрологические) ресурсы как фактор туристско-рекреационного освоения Липецкой области / Н. В. Проскурина, С. В. Щербинина // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. География. Геоэкология, 2015. – № 4. – С. 24-27.

4. Смольянинов В.М. Комплексная мелиорация и орошение земель в Центрально-Черноземном регионе: Состояние, условия развития: монография / В.М. Смольянинов, П.П. Стародубцев. – Воронеж: Изд-во «Истоки», 2011. – 179 с.

5. Щербинина С.В. Эколого-гидрологическая оценка состояния речных водосборов для уточнения комплекса водоохранных мероприятий (на примере Воронежской области) / С.В. Щербинина // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук / Воронежский государственный педагогический университет. – Воронеж, 2006.

6. Щербинина С.В. Интегральные показатели в оценке комплекса природно-хозяйственных условий на речных водосборах / С.В. Щербинина // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. – 2008. – № 2. – С. 39-46.

7. Щербинина С.В. Эколого-гидрологический риск в анализе последствий природопользования в речных бассейнах / С.В. Щербинина // Географические проблемы сбалансированного развития староосвоенных регионов: материалы третьей Международной научно-практической конференции. – Брянск, 2013. – С. 182-186.

ХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МОРФОМЕТРИИ ПРИТОКОВ РЕКИ СОСНА (БЫСТРАЯ СОСНА)

Н.Р. Поваляев, В.А. Дмитриева
verba47@list.ru, verba47@list.ru

Воронежский государственный университет, г.Воронеж, Россия

Изучение водотоков центральной части России указывают на отрицательную современную динамику их протяжённости. В текущем столетии изменения длин водотоков приобрели угрожающий характер, поэтому изучение трансформации рек является важной научной и практической задачей. Особого внимания требуют малые водотоки, представляющие подавляющее большинство водотоков гидрографической сети [2,3,5]. К числу таких рек, подверженных активным гидрологическим изменениям, относятся притоки реки Сосна, впадающей с правого берега в реку Дон. Река Сосна (Быстра Сосна) относится к числу наиболее крупных притоков Верхнего Дона. Она вносит заметную долю в формирование водных ресурсов главной водной артерии Липецкой области. Объем годового стока в устье реки составляет 4,75 км^3. Поэтому состояние рек ее речной системы прямо или косвенно отражается на водных ресурсах и качестве воды главной реки Дон. В настоящем исследовании особое внимание уделено трем притокам Сосны: Пальна, Тальчик, Корытино (Корытня), протяженность которых существенно изменилась. По гидрографической длине реки Сосна они расположены ближе к устью.

Река Пальна – левый приток Сосны, один из 178 притоков в речной системе Сосны. По своим морфометрическим параметрам водоток относится к малым рекам речной системы Верхнего Дона. (рис. 1).

Исток реки расположен в Становлянском районе Липецкой области, севернее села Красная Пальна. Устье реки лежит южнее села Трубицино в Елецком районе, где река впадает в Сосну на 24-ом километре от устья. В своём среднем течении река пересекает Краснинский район. Протяжённость водотока по состоянию на летнюю межень 2018 года – 46,4 км. Площадь речного водосбора – 462 км^2. Наиболее протяжёнными притоками реки являются ручьи Палёнка и Ястребиновка (Ястребин Колодезь).

Корни происхождения названия реки Пальна вызывают множество споров и разногласий. В бассейне более крупной р. Ока, притока Волги, один из малых притоков р. Вожа зовётся также Пальна. Существует мнение, что название реки произошло от слова поле, полевая, и ранее имела название Польна. Данную версию подтверждают старинные картографические материалы. Другая точка зрения связывает название со степными палами – степными пожарами, которые использовались для уничтожения травяного покрова, чтобы создать проблемы захватчикам–кочевникам [4]. По названию реки получили свои имена несколько населённых пунктов в Липецкой области – Пальна-Михайловка, Аргамач-Пальна, Красная Пальна и Палёнка.

Рис 1. Река Пальна у села Аргамач-Пальна

Долина р. Пальна удивительно живописна и на протяжении многих лет привлекает огромное количество туристов, а также является местом отдыха местных жителей. Наибольший интерес представляет низовье реки, начиная от села Аргамач-Пальна до села Трубицино. В 1 км к востоку от с. Аргамач-Пальна и 1 км к северо-западу от д. Трубицыно в 1993 году был создан ландшафтно-биологический памятник природы регионального значения «Аргамач-Пальна». Общая площадь особо охраняемой природной территории (ООПТ) 136,9 га. Основной целью создания ООПТ является сохранение редкого в ландшафтном и биологическом отношениях каньонообразного участка долины реки Пальна. На данном участке сохранились петрофитные реликтовые растительные сообщества с участием редких видов, которые занесены в Красную книгу Липецкой области. Памятник природы имеет важное средообразующее, ресурсосберегающее и научное значение [6]. В 2015 году был создан археологический парк «Аргамач» для популяризации богатейшего археологического наследия Липецкой области и Елецкого района в частности. Основными видами деятельности парка является социально-досуговый, научно-образовательный, спортивно-развлекательный блоки.

В ходе полевых обследований и проведения дистанционного зондирования р. Пальна в летне-осеннюю межень 2017-2018 гг. обнаружились новые изменения в морфометрии. За последнее десятилетие значительные изменения в протяжённости характерны для каждого водотока, включая главную реку. Река Пальна утратила в длине 7 км. Трансформация отмечается и у притоков Пальны – ручья Палёнка и Ястребин Колодезь (Ястребиновка). Длина рек сократилась на 1,7 км (13,8 %) и 1,2 км (14,6 %) соответственно. Полученные данные сведены в таблицу 1.

Река Тальчик – левый приток Быстрой Сосны. Первоначально река зарождалась в деревне Гудаловка Краснинского района. В настоящее время исток реки переместился вниз по течению. Ее начало выявляется в непосредственной близости с урочищем Алексеевка, что севернее деревни Поповка Елецкого района. Устье реки расположено в селе Талица Елецкого района. В настоящее время протяжённость реки составляет 6,5 км, а площадь водосбора 69,9 км^2. По данным прошлых лет [2] длина река достигала 13 км, и в речной системе насчитывалось 4 водотока, включая Тальчик. К ним относятся река Ржавец, длина которой достигала 9,6 км, и её приток без названия у населённого пункта Дворики с длиной 1,6 км, а также ручей без названия, который впадал в верховье Тальчика.

Таблица 1.Сведения об изменении морфометрии в речной системе реки Пальна

№ п/п	Название водотока	Куда впадает и с какого берега	Длина, км 2010 г. [2]	Длина, км 2018 г.	Умень-шение длины, %
1	Пальна	Сосна (лв)	53,4	46,4	13,1
2	Б/н на Вокр. н.п. Красная Пальна	Пальна (лв)	2,4	-	100
3	Б/н у н.п. Красная Пальна	Пальна (пр)	5	-	100
4	руч. Палёнка	Пальна (пр)	12,3	10,6	13,8
5	Б/н у н.п. Палёнка	Палёнка (лв)	2,6	-	100
6	Б/н у н.п. Покровское	Палёнка (лв)	3,5	-	100
7	Ястребин Колодезь	Пальна (пр)	8,2	7	14,6
8	Б/н в 1,3 км к ЮВ от н.п. Сухонино	Пальна (лв)	6,8	6,5	4,41
9	Б/н у н.п. Пальна-Михайловка	Пальна (лв)	7,1	4,3	39,4
10	Б/н в 1,1 км к ЮЗ от н.п. Морево	Б/н у н.п. Пальна-Михайловка (лв)	2,2	0,5	77,3
11	Б/н в 0,4 км к ЮЗ от н.п. Морево	Б/н в 1,1 км к ЮЗ от н.п. Морево (пр)	1,3	-	100
12	Б/н у н.п. Морская	Пальна (пр)	1,4	-	100
13	Б/н у н.п. у Хрущёво-Востовцево	Пальна (лв)	2,2	-	100
14	Б/н в 1,1 км к С от н.п. Михайловка	Пальна (пр)	4,9	2,9	69
	Сумма		113,3	78,2	31

Начиная с истории Руси, река играла важную роль в быте людей, проживающих в её долине. В конце XVI века, вблизи города Талецка (ныне Талица), построен острог, входивший в оборонительную систему Ельца. В начале XVIII века большая группа из города Талецка переселяется на новое место — в устье реки Чамлык и основывают село Талицкий Чамлык. Позже Талицк потерял свой городской статус и превратился в село Талица [1].

Маршрутное обследование реки Тальчик проводилось в период межени летом 2017 и 2018 годов. В ходе полевых обследований и проведения дистанционного зондирования с помощью ГИС технологий удалось получить данные о современном состоянии речной системы Тальчика. Сравнение полученных результатов обследования наземными и дистанционными методами с ранее опубликованными данными о реке [2] отражает существенные изменения в длине водотоков (таблица 2).

За столь непродолжительный промежуток времени река Тальчик пересохла на половину своей длины. При этом река лишилась всех своих притоков, а в целом гидрографическая сеть Тальчика сократилась на 76%.

Ниже по течению и в непосредственной близости к устью реки Сосна впадает река Корытино. На протяжении долгого времени она являлась полноводным, с постоянно действующим руслом водотоком, впадающим в главную реку. В низовье реки в 1993 году был организован памятник природы регионального значения. Целью создания является сохранение редкого в ландшафтно-биологическом отношении участка реки Корытня, с хорошо сохранившимися нагорными дубравами и внесёнными в Красные книги РФ и Липецкой области видами. Протяжённость реки в границах ООПТ – 7,8 км. Долина реки изобилует выходами известняков и карстовыми формами рельефа. Преобладающим типом рельефа является склоновый. Ширина поймы водотока не превышает 15-20 м. На охраняемой природной территории Корытино образует несколько петлеобразных изгибов (меандров). Пойма реки слабо выражена, имеет асимметричный характер. Русло врезано в рыхлые пойменные отложения на глубину 1-3 м и имеет каньонообразную форму, с крутыми каменистыми или глинистыми стенками. На территории памятника природы почвенный покров водотока представлен пойменными луговыми почвами.

Таблица 2.Сведения о морфометрии речной системы реки Тальчик

№ п/п	Название водотока	Куда впадает и с какого берега	Длина, км 2010 г. [2]	Длина, км 2018 г.	Уменьшение длины, %
1	Тальчик [Талица]	Сосна (лв)	13	6,5	50
2	Б/н, в 0,8 км к СЗ от н.п. Васильевка	Тальчик (лв)	2,9	-	100
3	руч. Ржавец	Б/н, в 0,8 км к СЗ от н.п. Васильевка(пр)	9,6	-	100
4	Б/н, в 2,1 км к В от н.п. Дворики	Ржавец (пр)	1,6	-	100
	Суммарное значение		27,1	6,5	76

В текущем столетии река деградирует. По данным [2] протяжённость данного водотока составляла 31,0 км. В настоящее время Корытино полностью безводное русловое углубление на протяжении большей части года, наполняемое водой только в период весеннего половодья и дождевых паводков. По состоянию на 2010 год гидрографическая сеть была представлена восемью водотоками, включая главную реку, а в настоящее время в ходе хронологических изменений вся речная сеть Корытино трансформировалась во временные водотоки (таблица 3).

Таблица 3. Динамика речной системы реки Корытино

№ п/п	Название водотока	Куда впадает и с какого берега	Длина, км 2010 г.[2]	Длина, км 2018 г.	Уменьшение длины, %
1	Корытино[Корытна]	Сосна (лв)	31,2	-	100
2	Б/н, в 0,6 км к ЮЗ от н.п. Дерновка	Корытино (лв)	0,3	-	100
3	Б/н, в 0,4 км к ЮЗ от н.п. Дерновка	Корытино (лв)	1,3	-	100
4	Б/н, в 0,7 км к СЗ от н.п. Знаменка	Корытино (лв)	3,6	-	100
5	Б/н, в 1,2 км к В от н.п. Лысовка	Корытино (пр)	2,1	-	100
6	Б/н, у н.п. Выглядовка	Корытино (лв)	4,3	-	100
7	Б/н, в 0,6 км к С от н.п. Голиково	Корытино (лв)	9,2	-	100
8	Б/н, у н.п. Верхне-дрезгалово	Б/н, в 0,6 км к С от н.п. Голиково(пр)	0,4	-	100

Начиная с 2010 г., речная система Корытино утратила статус постоянных водотоков. Главная река, а также семь её притоков в настоящее время имеют сток только во время снеготаяния и редких дождевых паводков.

В заключении можно сказать, что за короткий промежуток времени речные системы трёх ближайших к устью притоков Сосны претерпели существенные изменения. Гидрографическая длина Пальны утратила 35,1 км, что составляет 31% от первоначальной суммарной протяжённости. Тальчик уменьшился на половину своей длины и лишился всех своих притоков или 76% от начальной протяжённости гидросети. Наибольшая деградация отмечается у реки Корытино и семи её притоков, которые теперь представляют только суходолы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горлов В.П., Новосельцев А.В. Елец веками строился. – Липецк: Липецкое издательство, 1993. – 439 с.

2. Дмитриева В.А., Илатовская Е.С. Гидрография рек Липецкой области. Каталог водотоков. – Липецк: БИ, 2010. – 149 с.

3. Дмитриева В.А., Поваляев Н.Р. Временная трансформация морфометрии реки Сосна (Быстрая Сосна) – притока реки // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов. Матер. XIII Междунар. ландшафт. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Ф.Н. Милькова. Воронеж, 14-17 мая 2018 г. в 2 т./ ред. В.Б. Михно [и др.]. – Воронеж: ИСТОКИ, 2018. – Т. 1. – С. 187-190.

4. Липецкая область в географических названиях / Липец.обл. отд-ние обществ. орг. Всерос. об-во охраны природы (ВООП) ; [сост. В. А. Маликов]. – Липецк : Ориус, 2009. – 251 с.

5. Поваляев Н.Р. Современная морфометрия реки Каменка – притока реки Дон // Геоинформационное картографирование в регионах России: мат-лы X Всерос. науч.-практ. конф. (Воронеж, 14-16 ноября 2018 г.) / Воронежский государственный университет. – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2018. – С. 125-128.

6. Сарычев В.С. Природное наследие Липецкой области: каталог особо охраняемых ландшафтов и объектов. – Кемерово: Азия-Принт, 2014. – 256 с.

ДИНАМИКА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА И РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД В БАССЕЙНЕ Р. СОХ

Т.И. Прядуненко
pryadunenko_t@mail.ru

Институт ГИДРОИНГЕО, г.Ташкент, Узбекистан

Бассейн р. Сох расположен на северном склоне Алайского хребта. В строении бассейна четко выделяется зона формирования стока – горная часть бассейна, замыкаемая постом «кишлак Сарыканда». Ниже поста река на протяжении 40км не принимает ни одного притока, при этом часть стока забирается на орошение, а в половодье теряется на пополнение своих подрусловых аллювиальных потоков и частично подстилающих их средненеоплейстоценовых конгломератов [1]. Далее, в низовьях река прорезает гряду адыров и выходит на подгорную равнину сохского конуса выноса, где разбирается веером ирригационных каналов.

Характерной особенностью рельефа горной части является наличие грядовых поднятий – крупных хребтов с высотой гребней 4000-5000 м, расположенных преимущественно параллельно главному хребту. Это придает бассейну характерное ступенчатое, кулисообразное строение и более значительное, чем в бассейнах других рек северного

склона Алайского хребта, расчленение. Нередко встречаются участки, где гребни гор превышают дно долины на 1,8-2 км [2].

Значительная высота хребтов и, как следствие, сравнительно большое количество осадков и низкая среднегодовая температура воздуха способствовали развитию оледенения в бассейне, наличие которого сильно влияет на формирование стока и его режим. Река Сох является самой ледниковой рекой района [4]. По данным каталога ледников на начало 70-х годов прошлого века, в бассейне реки насчитывалось 276 ледников общей площадью 258,7 км^2 [3].

Климатические условия определяются региональными закономерностями и влиянием местных орографических условий. Влияние орографических условий на климатические показатели проявляется в изменении высоты фирновой линии, снижении средних многолетних значений температуры воздуха на 0,3-0,6°С и годовой суммы атмосферных осадков на 13мм на каждые 100 м высоты [4]. С высотой изменяется и вариация среднемесячных значений. В предгорьях (м.ст.Фергана) наиболее изменчива температура холодных месяцев (ноябрь-февраль). С высотой местности коэффициенты вариации среднегодовых температур холодных месяцев снижаются, теплых – возрастают, месячных и годовых сумм атмосферных осадков снижаются [4].

Климатические изменения в многолетнем разрезе характеризуются ростом среднегодовых температур воздуха и снижением внутригодовых амплитуд, что свидетельствует о более быстром росте температуры холодного периода (рис. 1) Потепление климата привело к сокращению оледенения в бассейне, площадь которого уменьшилась с 258,7 до 198 км^2 (на 60,7 км^2) [4].

Рис. 1. Многолетние изменения среднегодовой температуры воздуха и внутригодовых амплитуд по метеостанции Фергана

Река Сох относится к рекам с ледниково-снеговым типом питания (средняя высота водосбора > 3200 м; отношение стока за июль-сентябрь к стоку за март-июнь (δ) >1.0; коэффициент вариации стока 0,10 – 0,18; месяцы с максимальным стоком VII – VIII [6]) и отличается от бассейнов расположенных рядом рек с высокой удельной водоносностью. Модуль стока р. Сох (кишл. Сарыканда) – 17,7 л/с км^2, тогда как модули соседних бассейнов рек Шахимардан и Исфары равны 6,66 и 9,31 л/с км^2 [6] соответственно, что отчасти объясняется более высокой расчлененностью рельефа, обеспечивающей дренаж грунтовых и, особенно, трещинных вод известняков и гранитных интрузий [2].

В результате анализа временных рядов среднегодовых расходов воды выявлено стабильное повышение стока с конца 70-х годов, при этом до 2000г. отмечалось постоянное нарастание тренда. Величина прироста среднего за десятилетие расхода составляла с 1970 по 1980 г. 0,75 м^3/с, с 1980 по 1990 г. – 2,29 м^3/с, с 1990 по 2000 г. – 4,61 м^3/с. Мак-

симальные (средние за десятилетие) расходы наблюдались в 1999 и 2000 гг., с 2002 г. величина годового стока стабилизируется и намечается тенденция к ее снижению [4].

В многолетнем разрезе значительные изменения наблюдаются во внутригодовом распределении стока. Анализ кривых многолетних изменений температуры воздуха, объемов ледникового половодья и величины δ (отношение объема ледникового половодья (Wледн.) к объему снегового половодья (Wснег.) показал, что со второй половины 70-х годов рост температуры воздуха сопровождается ростом объема ледникового половодья. Это происходит за счет более интенсивного таяния снегозапасов расположенных выше фирновой линии и действия «компенсаторных факторов», приводящих к увеличению объема талых ледниковых вод при деградации ледников – увеличение площади деятельной поверхности за счет роста расчлененности тела ледника, повышение температуры воздуха над его поверхностью в процессе отступания [5].

Рис. 2. Изменение объема стока ледникового половодья и величины δ (отношения объема ледникового половодья к объему снегового)

С конца 1990-х годов по мере сокращения снегозапасов и исчерпания действия «компенсаторных факторов» объем ледникового стока снижается (рис. 2). Снижение величины δ начинается значительно раньше при продолжающемся росте ледникового стока. Это связано с более интенсивным ростом температуры воздуха холодного периода, что увеличивает долю межени и снегового половодья в годовом объеме стока.

Таким образом, изменение климатических условий в сторону потепления привело к сокращению оледенения в бассейне р. Сох и значительным изменениям во внутригодовом распределении стока. Рост объема ледникового половодья с конца 70-х годов в условиях деградации оледенения связан с интенсивным таянием снегозапасов, влиянием «компенсаторных факторов», исчерпание которых к началу 90-х годов проявляется в снижении величины δ, а позже (с 1999г.) и в снижении объема ледникового половодья. Дальнейшее потепление климата приведет к деградации оледенения в бассейне р. Сох, трансформации внутригодового гидрографа стока и приближению его к гидрографу рек снегового, а в дальнейшем снегового-дождевого питания, увеличит изменчивость и экстремальные значения годового стока. Предполагаемое изменение стока приведет к ухудшению условий питания Сохского месторождения подземных вод.

Сохское месторождение подземных вод приурочено к конусу выноса р. Сох и ограничено с юга адырными поднятиями, с востока и запада межконусными понижениями, на севере примыкает к аллювиальной долине р. Сырдарьи. В геолого-литологическом строении Сохского конуса выноса четко выделяется головная часть, сложенная мощной толщей неоплейстоценовых (Q_{I-III}) валунно- и гравийно-галечниковых отложений. По ме-

ре удаления от головной части галечниковая толща погружается под покров суглинков и расщепляется в вертикальном разрезе прослоями супесчано-суглинистых пород на отдельные слои, которые постепенно полностью замещаются песчаными и более тонкими литологическими разностями. К этим отложениям приурочены разновозрастные комплексы неоплейстоценовых отложений, которые в головной части конуса образуют единую водоносную толщу. Выходы нижне- и средненеоплейстоценовых конгломератов в пределах адыров и галечниковая часть конуса выноса представляют собой область питания подземных вод Сохского месторождения. В галечниковой части формируются потоки грунтовых вод, которые по мере движения на север в соответствии с литологическим строением приобретают напор.

Основными источниками питания грунтовых вод являются подземный приток со стороны адыров и фильтрационные потери стока из русел р. Сох и ирригационных каналов. До конца 1950-х годов все магистральные каналы в пределах галечниковой зоны протекали в земляных руслах и суммарные потери поверхностного стока на фильтрацию составляли от 45 - 55% в период половодья и до 80 – 85% в межень [1]. Режим грунтовых вод в галечниковой части конуса выноса обусловлен особенностями геолого-литологического строения конуса и режимом источников питания. Характерной особенностью режима подземных вод в галечниковой зоне является четкий внутригодовой ход уровня, отражающий гидрологический режим реки с запаздыванием наступления максимумов и минимумов относительно поверхностного стока в 2 – 3 месяца (рис. 2). В 1958-64 гг. были выполнены работы по облицовке каналов, что привело к сокращению фильтрационных потерь из их русел. На режиме грунтовых вод это отразилось в виде резкого снижения уровня, составившего за 4 года 3,5 – 7 м [1], при этом внутригодовой ход уровня не изменился, однако интервал между наступлением максимальных и минимальных расходов и уровней увеличился до 4 – 6 месяцев.

Несмотря на то, что внутригодовые изменения уровня подземных вод соответствуют (с учетом запаздывания) гидрологическому режиму реки, корреляция между годовыми изменениями уровня грунтовых вод и водностью р. Сох весьма незначительна (коэффициенты корреляции составляют 0,20 – 0,22).

До начала массовой бетонировки каналов (1959-60 гг.) годовые изменения уровня в галечниковой части конуса выноса, в целом хорошо соответствовали интегральной кривой приращений стока, что свидетельствует о многолетнем регулировании подземного стока на сохском конусе выноса [1]. Это соответствие сохранилось и после облицовки каналов и других преобразований ирригационной сети (реконструкция ирригационной сети, строительство и расширение дренажной сети) вплоть до 1992 – 93г. (рис. 3).

Соотношение годовых изменений уровня (использовались минимальные значения) и ординат интегральной кривой стока характеризуется полиномиальной зависимостью второй степени с коэффициентом корреляции 0,89 (рис. 4)

В конце 1979-80гг. началось освоение Бургандинского массива, расположенного в заадырной впадине к югу от Сох-Шахимарданской адырной гряды, ограничивающей месторождение с юга.

Орошение массива осуществляется водами р. Сох, которые подаются по Сохскому Правобережному каналу, головное сооружение которого расположено у поселка Ак-Турпак, в 12 км от выхода реки на подгорную равнину конуса выноса. К 1993 году было завершено строительство первой очереди канала. С тех пор орошаемая площадь массива постоянно расширялась (в 2011-12 гг. было освоено 3,5 тыс. га новых орошаемых земель, в 2013-17 гг. 3,8 тыс. га).

В результате с начала 1990-х годов зависимость (рис. 5) резко нарушается, что связано с изъятием стока реки до выхода ее на подгорную равнину и отведение ее за пределы зоны формирования подземных вод Сохского месторождения. Несмотря на то, что интегральная кривая стока характеризуется подъемом, уровни грунтовых вод остаются на прежнем уровне.

Рис. 3. Интегральная кривая стока р. Сох – кишл. Сарыканда и глубина залегания уровня в галечниковой части Сохского месторождения подземных вод (скв. 136)

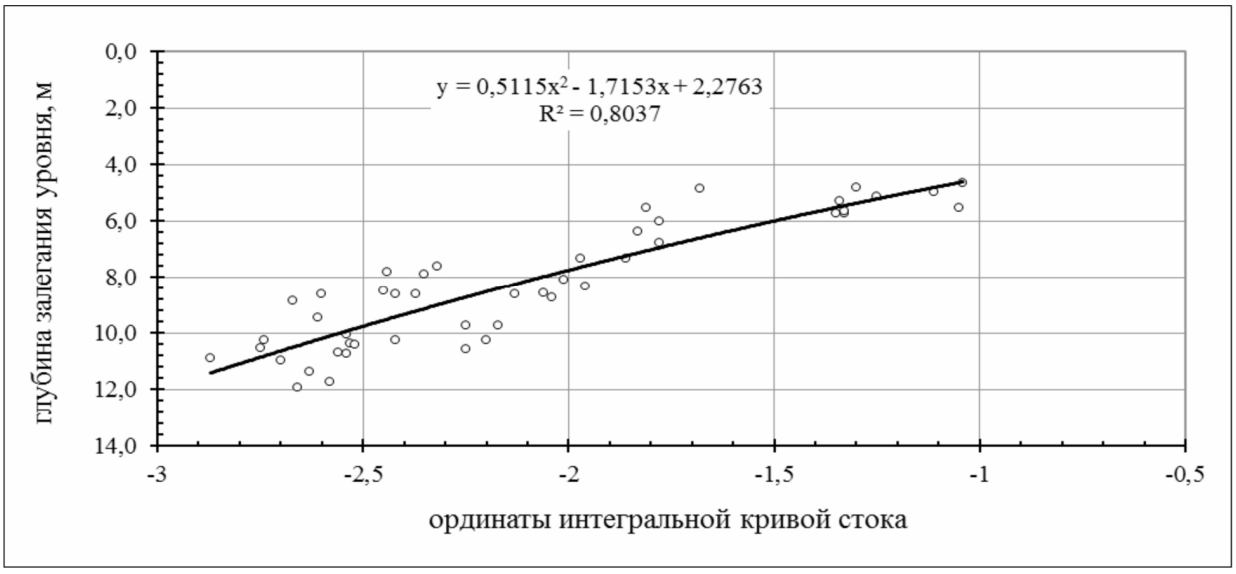


Рис. 4. Зависимость глубины залегания уровня грунтовых вод в галечниковой части Сохского месторождения (скв. 136) от ординат интегральной кривой стока

Таким образом, изъятие стока реки привело к сокращению ресурсов (приходной части баланса) подземных вод Сохского месторождения. Учитывая выявленные тенденции изменения стока реки Сох под влиянием изменения климата и изъятие стока реки из зоны формирования, риск сокращения запасов подземных вод Сохского месторождения значительно возрастает.

Сложность природных процессов формирования и регулирования подземного стока Сохского месторождения, изменение формирования стока р.Сох в современных климатических условиях, приводящее к сокращению объема стока ледникового половодья, а в перспективе и общего объема стока, высокая техногенная нагрузка на подземные воды требуют детального изучения этих процессов с целью принятия решений по смягчению последствий климатических изменений и рациональному использованию водных ресурсов в регионе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гейнц В.А. Подземные воды четвертичных отложений юго-западной Ферганы, их режим и баланс в связи с водохозяйственными мероприятиями. – Ташкент: ФАН, 1967 – 107 с.

2. Ильин И.А. Водные ресурсы Ферганской долины – Л.: Гидрометеоиздат, 1959 – 246 с.

3. Каталог ледников СССР. Ресурсы поверхностных вод. – Т. 14. Средняя Азия. – Вып. 1. Сырдарья. – Ч. 10. Бассейны левых притоков р. Сырдарьи от устья р. Аксу и ниже. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 87 с.

4. Прядуненко Т.И. Чертков Ю.Т. Тенденции изменения стока р. Сох в современных климатических условиях // Тезисы Республиканской научно-технической конференции «Проблемные вопросы гидрогеологии, инженерной геологии и пути их решения» Ташкент 4 сентября 2012 г. – Ташкент: ГП «НИМР», 2012. – С. 43-46.

5. Томашевская И.Г. Структура изменения ледникового стока в условиях дегляциации: Автореф.дисс. … канд.геогр. наук. – Т., 2002.

6. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1965. – 691 с.

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ МОЖАЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В.В. Пуклаков, О.Н. Ерина, Д.И. Соколов, К.К. Эдельштейн
puklakov@mail.ru

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия

Введение. По данным метеорологических наблюдений с конца 40-х годов прошлого века по всему земному шару отмечается тенденция потепления климата [1]. В Московском регионе переход к относительно безвозвратному росту среднемноголетней температуры воздуха по мере увеличения периода её осреднения произошел в начале 1970-х годов и продолжается по настоящее время. Этот рост обеспечивался в основном потеплением климата в зимние месяцы: скорость изменения среднемесячной температуры воздуха в январе-марте за период 1988-2012 годы по данным метеостанции г. Можайска составляла 0,36-0,55 °С/10 лет [2]. При этом потепление в Московском регионе было более значительным, чем на территории России и в её Европейской части, а его скорость после 1975 г. была существенно выше, чем в среднем за столетие [6]. Все это существенным образом сказалось на гидрологическом режиме водоемов Подмосковья, поэтому в настоящее время весьма актуальным является оценка этих изменений и их тенденций.

Материалы и методы исследования. Рассмотрим эти изменения на примере Можайского водохранилища, используя материалы наблюдений Красновидовской лаборатории по изучению водохранилищ географического факультета МГУ, работающей на водохранилище с 1965 г., а также ближайшей к водоему метеостанции г. Можайска (рис. 1), имеющей данные наблюдений с 1936 г. и материалы гидрометрических постов основных притоков водохранилища (р. Москва-Барсуки и р. Лусянка-Черники) с 1960 года. На водохранилище с 1971 г. ведутся режимные наблюдения на водомерном посту Красновидово по стандартной методике Гидрометслужбы, практически ежегодно в различные сезоны года проводятся гидролого-гидрохимические съемки по сетке станций плотностью 1 станция на 0,5 км^2 акватории водоема с отбором проб воды для лабораторных анализов и вертикальным термо-окси-кондуктометрическим зондированием водной толщи. Количество станций наблюдений за структурой льда во время зимних съемок составляло от 5-7 в районе выклинивания подпора (РВП) до 10-20 в остальных районах водоема (ВР, СР и НР).

Рис. 1. Карта-схема Можайского водохранилища (РВП – район выклинивания подпора; ВР – верхний, СР – средний и НР – нижний районы водоема)

Можайское водохранилище – типичный для средней полосы России водоем долинного типа, созданный в 1960 г. в верхнем течении р. Москвы и осуществляющий многолетнее регулирование ее стока. Объем водохранилища при НПУ 0,23 км^3, площадь водной поверхности 30,7 км^2, длина 28 км, ширина – до 2,6 км, максимальная глубина – до 22 м у плотины гидроузла. Водоем имеет асимметричный продольный профиль с увеличивающейся от верховьев к плотине глубиной, обладает слабой проточностью (средняя величина коэффициента водообмена КВ = 1,8 год-1), ежегодно стратифицирован и летом, и зимой. Размах внутригодовых колебаний уровня в нем варьирует от 2,7 до 7,2 м [7]. Основное его назначение – питьевое водоснабжение Московского мегаполиса.

Результаты и обсуждение. ***Изменения климатических характеристик.*** Для оценки влияния современных климатических изменений на гидрологический режим Можайского водохранилища в первую очередь рассмотрим тренды изменений климатических характеристик в районе водохранилища с момента его образования в 1960 г. до настоящего времени.

На рис.2 представлена тенденция изменения среднемноголетней температуры воздуха (нормы) на метеостанции г. Можайска по мере увеличения периода ее осреднения, начиная с 1936 г., которая показывает, что с 1960 по 1987 г. температурная норма колебалась в пределах 4,05-4,19 °С, а начиная с 1987 г. она устойчиво увеличивалась со средней интенсивностью 0,17 °С/10 лет и к 2018 г. достигла величины 4,66 °С. Аналогично рассчитанные изменения среднемноголетней температуры воздуха каждого календарного месяца показали, что ее переход к относительно устойчивому росту начался для них не одновременно и протекал с разной интенсивностью в разные периоды времени (табл. 1). Учитывая характер изменения с течением времени среднегодовой и среднемесячных температурных норм, нами условно были выделены три периода климатических изменений за время существования Можайского водохранилища:

1) 1960-1986 гг. – период относительно стабильных климатических условий, в течение которого средняя скорость изменения нормы температуры воздуха была равна 0,0 °С/10 лет, тренды к потеплению имели место в марте-мае и в октябре-ноябре, а в остальные месяцы, наоборот, имели место тренды к похолоданию;

2) 1987-2000 гг. – период интенсивного потепления в зимне-весенние месяцы (декабрь-апрель) при сохранении слабых трендов к похолоданию в августе, сентябре и ноябре;

3) 2001-2018 гг. – период устойчивого тренда к потеплению в течение всего года.

Из климатических характеристик для гидрологического режима водохранилища кроме изменений температуры воздуха наиболее важны 1) количество атмосферных осадков, определяющих водность речных притоков, 2) облачность, влияющая на поступление солнечной радиации в водоем, 3) скорость ветра, от которой в безледный период зависит гидродинамическая активность водных масс. В табл. 1 представлены скорости

изменения среднемноголетних значений выбранных климатических характеристик в выделенных периодах климатических изменений.

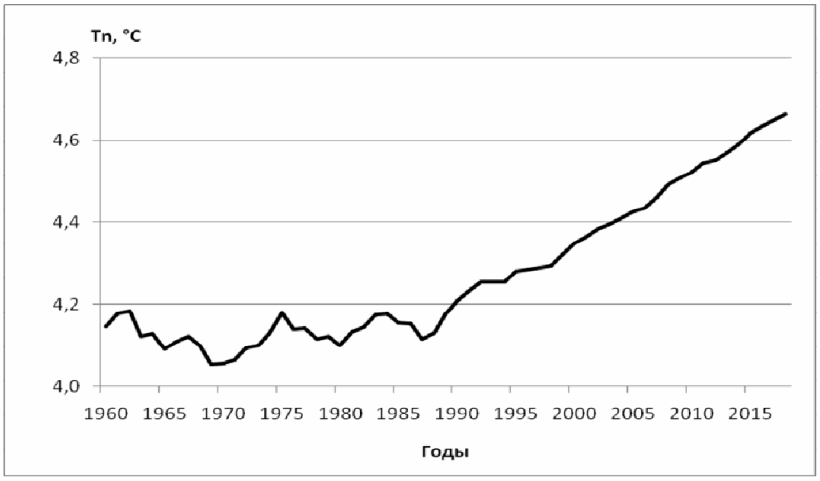


Рис. 2. Изменение среднемноголетней температуры воздуха на м/ст Можайск по мере увеличения периода ее осреднения

Таблица 1. Скорость изменения среднемноголетних значений характеристик метеорологического режима

Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
	Температура воздуха, ^{o}C/10 лет												
1960-1986	-0,12	-0,03	**0,27**	**0,17**	**0,20**	-0,09	-0,15	-0,14	-0,03	**0,11**	**0,08**	-0,01	0,00
1987-2000	**0,59**	**0,56**	**0,42**	**0,27**	0,00	**0,14**	**0,07**	-0,02	-0,01	**0,10**	-0,15	**0,07**	**0,17**
2001-2018	**0,18**	**0,15**	**0,23**	**0,13**	**0,20**	**0,03**	**0,18**	**0,18**	**0,16**	**0,09**	**0,21**	**0,28**	**0,17**
	Сумма атмосферных осадков, мм/10 лет												
1960-1986	**3,0**	**2,0**	**1,5**	**3,8**	-0,3	**1,7**	**3,0**	**1,7**	**0,2**	**2,2**	**4,1**	**4,8**	**25,9**
1987-2000	**2,1**	**2,2**	**1,3**	-0,5	-0,6	**1,3**	-1,1	**0,9**	**1,5**	**1,8**	**1,0**	**1,4**	**10,7**
2001-2018	**1,5**	**1,1**	**1,0**	**0,4**	**1,7**	**1,8**	**0,2**	**0,7**	-0,2	**2,2**	**1,4**	**1,7**	**12,9**
	Общая облачность, балл/10 лет												
1960-1986	**-0,15**	**-0,22**	**-0,05**	0,0	**-0,06**	0,01	**-0,03**	**-0,05**	**-0,07**	**-0,06**	**-0,04**	**-0,06**	**-0,06**
1987-2000	0,05	0,04	**-0,07**	**-0,03**	**-0,05**	**-0,03**	0,01	**-0,04**	**-0,01**	**-0,08**	**-0,06**	**-0,01**	**-0,02**
2001-2018	0,00	**-0,02**	**-0,05**	**-0,05**	**-0,08**	**-0,02**	**-0,04**	**-0,07**	**-0,05**	0,02	0,02	0,05	**-0,02**
	Скорость ветра, м·с$^{-1}$/10 лет												
1960-1986	**-0,10**	**-0,16**	**-0,08**	**-0,04**	**-0,11**	**-0,04**	**-0,08**	**-0,06**	**-0,05**	**-0,04**	**-0,09**	**-0,02**	**-0,06**
1987-2000	**-0,07**	**-0,01**	**-0,04**	**-0,10**	**-0,08**	**-0,11**	**-0,07**	**-0,06**	**-0,13**	**-0,13**	**-0,18**	**-0,14**	**-0,09**
2001-2018	**-0,16**	**-0,17**	**-0,13**	**-0,12**	**-0,12**	**-0,08**	**-0,11**	**-0,09**	**-0,13**	**-0,18**	**-0,19**	**-0,16**	**-0,14**

Анализ таблицы показывает, что за время существования водохранилища наряду с ростом температуры воздуха наблюдался устойчивый рост среднегодового количества атмосферных осадков, которое увеличилось с 636 мм/год за период 1960-1986 гг. до 696 мм/год в 2001-2018 гг. Наиболее интенсивно норма осадков увеличивалась с 1960 до 1987 г. (со скоростью 25,9 мм/10 лет, в основном за счет апреля и ноября-декабря), затем скорость её роста снизилась до 10,7 мм/10 лет, а в последние 18 лет она составила 12,9 мм/10 лет. Максимальная скорость роста количества осадков имела место в осенне-зимние месяцы. Больше всего осадков выпадало летом (70-90 мм/месяц), меньше – зимой (30-50 мм/месяц).

В отличие от осадков и температуры воздуха, количество общей облачности в районе водохранилища в целом снижалось: норма среднегодового значения облачности уменьшилась с 7,3 баллов в 1960 г. до 7,0 баллов в 2018 году. Изменение количества облачности наиболее важны для гидрологического режима водохранилища в вегетационный период, т.е. с мая по октябрь. В этот период уменьшение среднемесячной нормы облачности быстрее всего происходило в мае и в августе-октябре.

Средние значения скорости ветра в районе водохранилища с начала 60-х годов прошлого века постоянно уменьшались, причем как среднемноголетние, так и среднемесячные значения. Наиболее интенсивно этот процесс происходил в последний период 2001-2018 гг. По сравнению с 60-ми годами средняя скорость ветра в 2001-2018 гг. уменьшилась на 26-38%.

Термический режим водохранилища. В качестве характерных показателей для оценки изменчивости термического режима водохранилища приняты средние даты перехода значений температуры воды через 4°С и 10°С, а также количество дней ($N_{\geq 20}$°С) с температурой поверхностного слоя 20-30°С, среднее ($T_{\geq 20}$°С) и максимальное (T_{max}, °С) значения температуры воды для выделенных периодов времени. Первая из этих температур соответствует началу весенней и окончанию осенней гомотермии, вторая обычно совпадает с началом формирования слоя температурного скачка и моментом его полного разрушения осенью в наиболее глубоководных районах водохранилища, а выбранный диапазон летних температур соответствует наиболее благоприятным температурным условиям для развития теплолюбивых видов фитопланктона, в частности цианобактерий. Полученные по данным в/п Красновидово показатели термического режима водохранилища представлены в табл. 2.

Таблица 2. Средние значения характерных показателей термического режима Можайского водохранилища

Период, годы	Даты характерных температур				Оптимальные условия		
	4°С весна	10°С весна	10°С осень	4°С осень	$T_{\geq 20}$°С	$N_{\geq 20}$°С	T_{max}, °С
1971-1986	26.IV	16.V	3.X	1.XI	21,6	38	24,2
1987-2000	21.IV	13.V	8.X	4. XI	21,8	47	24,5
2001-2017	21.IV	7.V	12.X	9. XI	22,7	64	26,5

Данные таблицы показывают, что за время потепления климата средняя длительность летней вертикальной стратифицированности водной толщи водохранилища увеличилась на 18 суток и в настоящее время составляет 158 дней, длительность весенней гомотермии сократилась на 4 дня, а осенней осталась практически неизменной – 28 суток. Количество дней с температурой воды более 20°С увеличилось на 26 суток, максимально зафиксированное значение температуры – на 2,3°С, а среднее за вегетационный сезон значение оптимальных температур – на 1,1°С. Причем наибольший рост этих значений наблюдался в 2001-2017 гг.

Ледовый режим. До начала устойчивого потепления климата ледостав на водоеме устанавливался в среднем 26 ноября, в 2000-х годах эта дата сместилась на 8 декабря, т.е. на 12 суток. Основное влияние на столь значительное смещение сроков ледостава оказало повышение средней температуры воздуха в ноябре с -1,9°С в начале периода потепления до +0,1°С в 2000-х годах. В зимние месяцы (декабрь-март) это повышение было еще более значительным, сумма среднесуточных значений отрицательных температур уменьшилась с 1014°С до 695°С, а сумма положительных температур увеличилась с 20,3°С до 67,0°С, число дней с положительной температурой воздуха (оттепелей) возросло с 15 до 31. Все это привело к уменьшению максимальной толщины ледяного покрова на 11 см, с 63 до 52 см, а средней за сезон толщины льда – на 12 см, с 49 до 37 см.

Увеличение количества атмосферных осадков в зимний период 2000-х годов на 18% (со 143 до 169 мм) привело к увеличению средней толщины снега на льду на 17% (с 8,3 до 9,7 см). Наибольший рост осадков наблюдался в январе (с 32,5 до 43,5 мм), что сказалось на формировании в это время полей водно-снегового льда. Этот лед образуется в результате смерзания снега, пропитанного водой, выходящей по трещинам кристаллического льда либо образующейся при таянии снега во время оттепелей. При наличии большого количества снега на льду и чередовании в ходе зимы резких похолоданий и оттепе-

лей, толщина водно-снегового льда в отдельные годы может превышать толщину кристаллического льда, что делает ледяной покров значительно менее прочным.

Толщина водно-снегового льда в верховьях водохранилища всегда больше, чем в районах крупных плесов средней и нижней части водоема. Это связано с тем, что зимой в узостях речной долины верховьев водохранилища между лесозащитными полосами и крутыми берегами на льду всегда наметается и остается больше снега, который быстро пропитывается водой, выходящей по трещинам льда, образующимся при зимней сработке водохранилища. На рис. 3 показано соотношение водно-снегового и кристаллического льда в различных районах водохранилища (см. рис.1), характерное для холодной, малоснежной (А), и теплой, многоснежной зимы (Б). Как видно из рисунка, в конце холодной зимы во всех районах водохранилища (кроме РВП) ледяной покров состоит в основном из кристаллического льда (от 70% в ВР до 90% в НР). В РВП его толщина составляет 42% от общей толщины льда. В теплую зиму с большим количеством оттепелей по всему водоему в структуре льда преобладает водно-снеговой лед (более 50%, в РВП – до 80%).

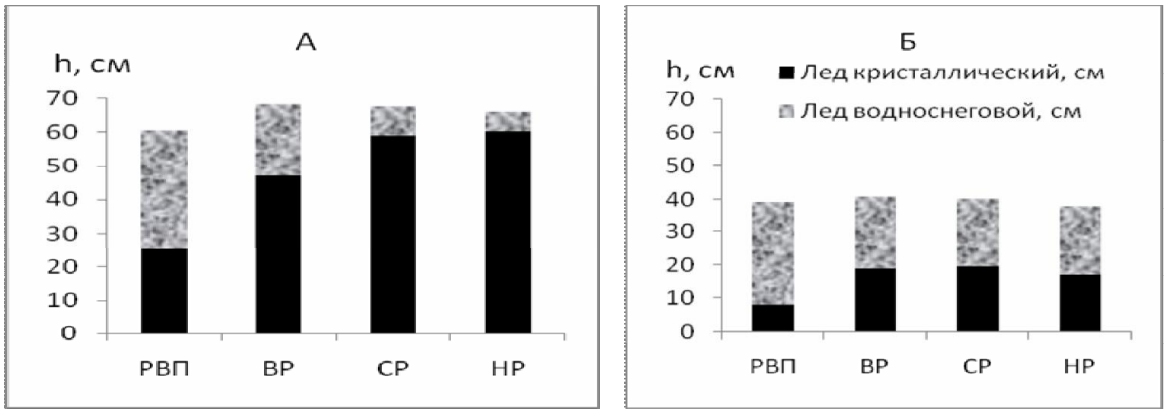


Рис. 3. Структура ледяного покрова по продольному профилю водохранилища, характерная для А) холодной (1983-84 гг.) и Б) теплой (1982-83 гг.) зим

Потепление климата в зимнее время выразилось не только в увеличении количества оттепелей, но и в более раннем стаивании снега с поверхности льда. В настоящее время полное очищение льда от снега происходит на 5 суток раньше, чем в 70-80-е годы. Соответственно, раньше начинается и процесс весеннего разрушения ледяного покрова. Дата полного очищения акватории ото льда в районе водомерного поста также сместилась на 5 суток, с 25 на 20 апреля. Таким образом, учитывая более позднее замерзание, общая длительность ледостава уменьшилась на 17 суток и сейчас составляет в среднем 134 дня.

Сход снега со льда во время зимних оттепелей и ранней весной способствует увеличению поступления солнечной радиации под ледяной покров. В сочетании с повышенным притоком биогенных веществ в водоем во время зимних паводков это создает благоприятные условиям для развития холоднолюбивых видов фитопланктона в подледном слое воды. Ежедневные наблюдения за содержание растворенного кислорода на рейдовой вертикали Красновидовского плеса зимой 2016 г. с отбором проб воды в ходе съемки всего водоема во время массового развития зимнего фитопланктона 26-27 марта показали следующее. Во время зимних оттепелей (февраль – март) при отсутствии снега на льду пересыщение подледного слоя воды кислородом может достигать 120 % и проникать до глубины 1-2 м. В конце марта – апреле его максимальная концентрация может достигать 220 %, а толщина пересыщенного кислородом слоя воды по мере развития весенней подледной конвекции – 6-7 м. Зимний фитопланктон в это время на 95 % был представлен диатомовыми рода *Stephanodiscus sp*., биомасса которых превышала 3 мг/л, численность – 15 млн кл/л [4]. Распределение кислорода в водоеме во время съемки представлено на рис. 4.

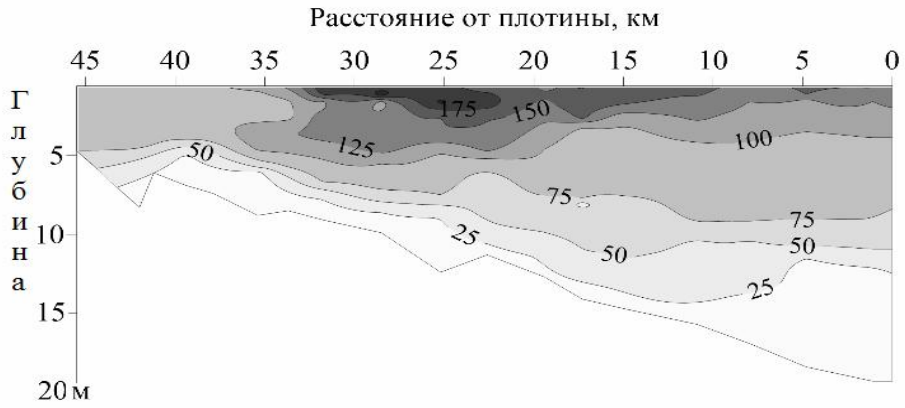


Рис. 4. Распределение растворенного кислорода (% насыщения) по длине Можайского водохранилища 26-27 марта 2016 г.

Водный и химический режим. Водный и химический режим долинного водохранилища в основном определяется изменчивостью водного стока с его водосбора и генетическим типом поступающих в водоем водных масс [5]. Их состав и характер поступления в водоем зависит от природных условий водосбора и климата данной территории. Наибольшие различия объемов притока и химических характеристик имеют речные водные массы зимней межени, зимних паводков, весеннего половодья, летней межени и летнее-осенних паводков. Отмеченные выше изменения климата существенным образом повлияли на структуру притока воды в водохранилища и, соответственно, на режим химического состава его водных масс. На рис. 5 показаны изменения структуры водного притока в водохранилище за время его существования.

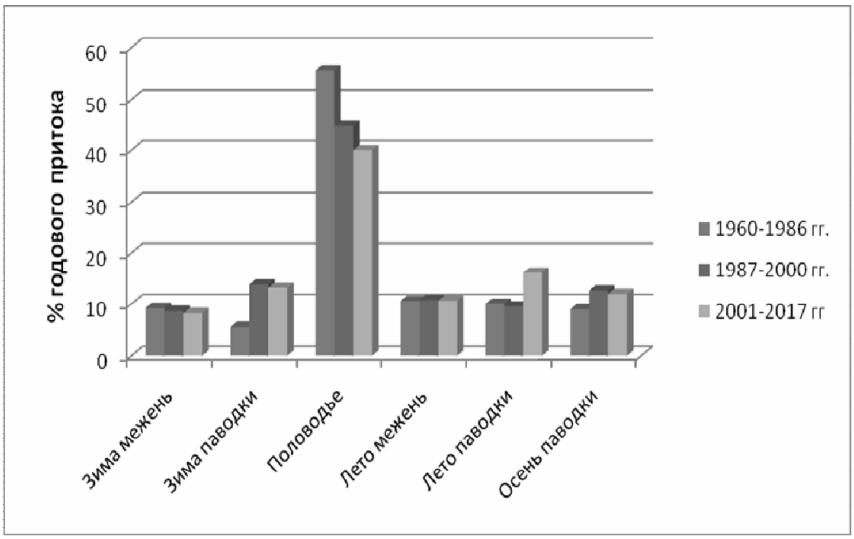


Рис. 5. Средняя для выделенных периодов климатических изменений структура водного притока в Можайское водохранилище

В период 1960-86 гг. в весеннее половодье в водоем поступало 56% годового притока воды, в меженные периоды – 20%, во время паводков – 24%. В 2000-х годах доля притока в половодье снизилась до 40%, доля меженных вод практически не изменилась, зато доля паводковых вод увеличилась до 41%. Вследствие увеличения количества осадков и объемов паводкового стока средняя величина годового притока воды в водохранилище в 2000-х годах увеличилась на 12%. Таким образом, с потеплением климата в формировании водных масс водохранилища уменьшился вклад талых вод половодья и значительно увеличился объем воды зимних (в 2,3 раза), летних (в 1,7 раза) и осенних (в 1,2 раза) паводков с соответствующими им характеристиками её химического состава. Оценка притока в водоем химических характеристик по их эмпирическим связям с расходом

воды р. Москвы, полученным для различных фаз ее водного режима, показала, что потепление климата привело к росту поступления в водохранилище основных ионов солевого состава (минерализации) на 21%, органического вещества (по бихроматной окисляемости) – на 11%, аммония – на 3%, минерального фосфора – на 39%.

Климатически обусловленное преобладание в настоящее время в притоке не предсказуемого паводкового стока над неплохо прогнозируемым стоком воды в половодье существенно осложняет управление водными ресурсами. Преобладание паводкового притока приводит к формированию в течение года полифазного режима уровня воды с частой сменой относительно коротких фаз частичной сработки и наполнения рабочего объема водохранилища, что способствует росту внутренней биогенной нагрузки водохранилищной экосистемы и, тем самым, увеличению опасности ее эвтрофирования.

Биологический режим. Данных регулярных наблюдений за биологическим режимом водохранилища, в частности за режимом развития в водоеме фитопланктона, крайне недостаточно. Поэтому для анализа многолетних изменений биомасс фитопланктона в Можайском водохранилище нами использована математическая двумерная боксовая гидроэкологическая модель водохранилища ГМВ-МГУ, детально верифицированная по данным наблюдений на водохранилищах Московского региона [2]. По результатам расчета суточных биомасс фитопланктона (диатомовых, синезеленых и прочих видов) за 55 лет эксплуатации водохранилища на фоне климатических изменений выявлен устойчивый тренд увеличения средней за вегетационный сезон биомассы фитопланктона в Можайском водохранилище [3]. Этот тренд обусловлен в первую очередь ростом биогенного притока при увеличении объемов паводкового стока, снижением средних значений скорости ветра и увеличением количества штилевых условий погоды в летний период. Увеличение средней за вегетационный сезон биомассы водорослей с начала потепления климата составило 23%, а по сравнению с 60-ми годами прошлого века – 42%. При этом, особенности изменения климата и гидрологического режима водохранилища привели к тому, что в его верхнем районе биомасса диатомовых водорослей снизилась на 3%, а синезеленых – увеличилась на 67%, в среднем районе биомасса диатомовых увеличилась на 5%, а синезеленых – на 35%, в нижнем районе, соответственно, на 17% и на 30%. Для биомассы основного вида водорослей – синезеленых – значимой корреляционной связи с температурой воды не обнаружено, но зато отмечена положительная значимая связь с продолжительностью «цветения» водоема. Следует отметить, что большое разнообразие действующих на биологический режим водоема факторов и сложная опосредованность их влияния на развитие фитопланктона обуславливают относительно низкие значения парных корреляций абиотических предикторов и характеристик фитопланктона.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ
(проекты № 18-05-01066 а и 19-05-00087 а)

ЛИТЕРАТУРА

1. География, общество, окружающая среда. Том VI: Динамика и взаимодействие атмосферы и гидросферы / под ред. проф. Н.И. Алексеевского и проф. С.А. Добролюбова. – М.: Издательский дом «Городец», 2004. – 592 с.

2. Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз) / под ред. К.К.Эдельштейна. – М.: Издательство «Перо», 2015. – 286 с.

3. Даценко Ю.С., Пуклаков В.В., Эдельштейн К.К. Анализ влияния абиотических факторов на развитие фитопланктона в малопроточном стратифицированном водохранилище// Тр. Карельского НЦ РАН. Серия: Лимнология. – 2017. – №10. – С. 75-85.

4. Ерина О. Н., Пуклаков В. В., Соколов Д. И., Гончаров А. В. Подледное цветение фитопланктона в Можайском водохранилище // Экологический сборник 7: Труды молодых ученых. Всероссийская (с международным участием) молодежная научная конференция. – Тольятти: ИЭВБ РАН, «Анна», 2019. – С. 158–162.

5. Комплексные исследования водохранилищ, вып.3. Можайское водохранилище / под ред. В.Д. Быкова, К.К. Эдельштейна. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. – 467 с.

6. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Аблеева В.А., Быховец С.С. Климат южного Подмосковья: Современные тренды и оценка аномальности // Фундаментальная и прикладная метеорлогия. – 2017. – Т.4. – С. 66-82.

7. Эдельштейн К.К., Ершова М.Г., Гречушникова М.Г., Пуклакова Н.Г. Климатическая трансформация гидрологического режима и планктона в Можайском водохранилище // Метеорология и гидрология. – 2002. – № 7. – С. 71-82.

ВЛИЯНИЕ РАВНИННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ НА КЛИМАТ ОКРУЖАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

И.А. Репина, М.Г. Гречушникова, В.М. Степаненко, М.И. Варенцов, А.Ю. Артамонов
repina@ifaran.ru

Институт физики атмосферы имени А.М. Обухова РАН, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия

Введение. Водохранилища стали неотъемлемой частью жизни и развития равнинных регионов России. Там, где раньше были лишь небольшие речки, теперь простираются водные просторы – не случайно их называют «морями». И берега этих «морей» интенсивно заселены и являются регионами активной экономической деятельности. Характеристики водной поверхности существенно отличаются от характеристик суши, что вносит существенные изменения в режим взаимодействия атмосферы и поверхности [1]. Поэтому, кроме очевидного хозяйственного значения, водохранилища стали и источником проблем, с которыми раньше жители удаленных от морей равнин не сталкивались – это и изменение ветрового режима, и повышенное влагосодержание атмосферы, которое приводит к туману, гололедам и изморози. Большие резервуары воды изменили климат прилегающих территорий, и эти изменения продолжают происходить, часто бывая причиной экстремальных погодных явлений. Кроме того, водохранилища являются источниками эмиссии парниковых газов, в особенности метана и углекислого газа, что также вносит вклад в глобальные климатические изменения [2]. Изучение последствий создания искусственных водоемов было начато в 50-х годах прошлого века и продолжается до сих пор. Исследования, в том числе и образования туманов и гололеда, проводятся как на основе данных мониторинга, так и помощью моделей различного пространственного разрешения [3, 4].

Возникающие над водохранилищами ветровые циркуляции и конвективные явления могут носить опасный и даже катастрофический характер. Над акваторией крупных водохранилищ изменяется радиационный баланс, температура воздуха на прилегающих к водохранилищу территориях понижается весной и в первую половину лета (охлаждающее воздействие) и повышается во второй половине лета и осенью (отепляющее воздействие); происходит сдвиг дат перехода температур воздуха через основные градации, увеличивается абсолютная и относительная влажность воздуха. Увеличивается скорость и меняется направление ветра, возникают ветры типа бризов. Водохранилища оказывают влияние на облачность и осадки, вызывая явления, подобные озерным снегопадам. Создание водохранилищ на равнинной части России привело к ослаблению континентальности климата их побережий. Крайне неблагоприятным последствием создания крупных водохранилищ, вызванным изменением термического режима, является незамерзающая полынья в нижнем бьефе, способствующая туманообразованию.

Исследование влияния водохранилищ на климат на примере Горьковского водохранилища

На рис. 1 и 2 представлено изменение температуры воздуха в окрестностях Горьковского водохранилища с 1948 года по н.в. Видно, что создание водохранилища в 1958

году изменило температурный режим региона. Ниже представлены результаты анализа метеорологического режима Горьковского водохранилища. Создание водохранилища привело к более резким колебаниям температуры между летним и зимним сезоном. Увеличилась продолжительность переходного периода (весна, осень).

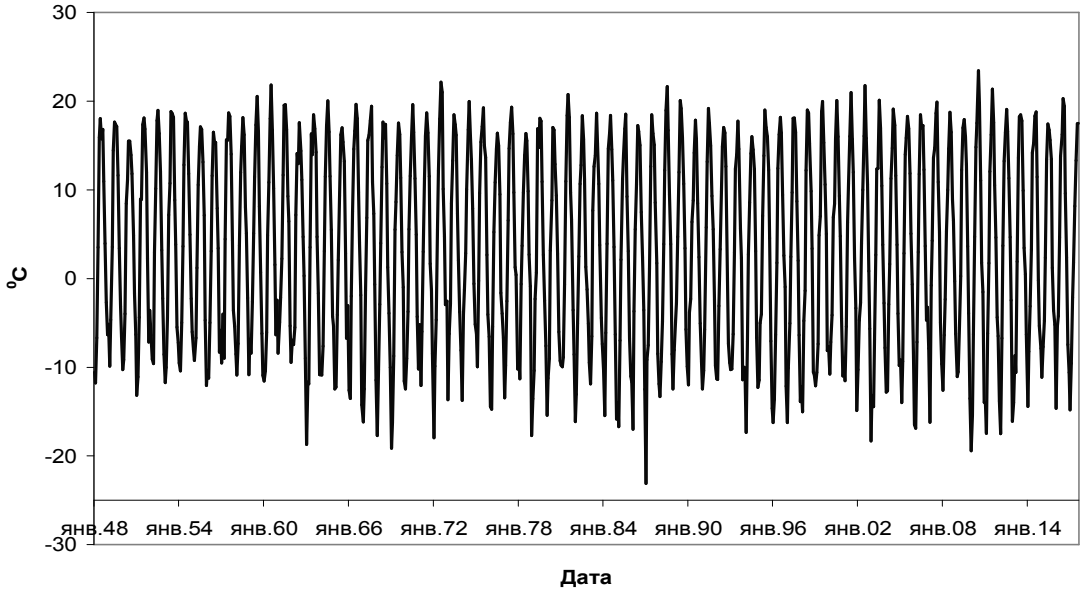


Рис. 1. Среднемесячная температура воздуха в окрестностях Горьковского водохранилища по данным реанализа ERA-INTERIM

В рамках решения задачи по исследованию влияния водохранилищ на местные климатические особенности и повторяемость неблагоприятных явлений погоды на прибрежных территориях проведена работа по анализу данных наблюдений регулярных метеорологических наблюдений в регионе Горьковского водохранилища.

Результаты анализа станционных данных позволили диагностировать характерные местные климатические особенности береговой зоны водохранилища, выраженные в термическом и влажностном режиме. Влияние водохранилища на термический режим выражено в уменьшении амплитуды суточного хода и увеличении ночных температур, что особенно заметно в летние месяцы. Так, средние ночные температуры для летних месяцев превосходят среднее по региону фоновое значение на 1 – 1.5 °С, что выходит за рамки региональной изменчивости (рис. 3). Для дневных температур показателен отрицательный экстремум аномалии средних дневных температур температуры в апреле, ярко выраженный для Волжской ГМО: вероятно, он связан с таянием ледяного покрова на водохранилище в то время, когда суша уже освободилась от снега. Летом отрицательная аномалия температуры сохраняется для Юрьевца, а Волжская ГМО оказывается теплее регионального фона, что, видимо, связано с широтным градиентом температуры и не характеризует влияние водохранилища. Зимой различия между термическим режимом прибрежных станций и окружающими территориями невелики и не выходят за рамки внутрирегиональной изменчивости.

Годовой ход аномалий относительной влажности повторяет динамику аномалий температуры, так как эти параметры тесно связаны. Влияние водохранилища весной и летом приводит к уменьшению относительной влажности ночью и ее увеличению днем, таким образом, суточный ход влажности сглаживается.

Аналогичное исследование было проведено для скорости ветра, по его результатам не удалось выявить значимых (значительно выходящих за рамки внутрирегиональной изменчивости) особенностей ветрового режима прибрежных метеостанций. Это можно объяснить тем, что измерения на метеостанциях проводятся внутри слоя трения, где особенно велико влияние локальных элементов шероховатости. Поэтому станции не позволяют диагностировать ожидаемое для открытой водной поверхности водохранилища увеличение скорости ветра.

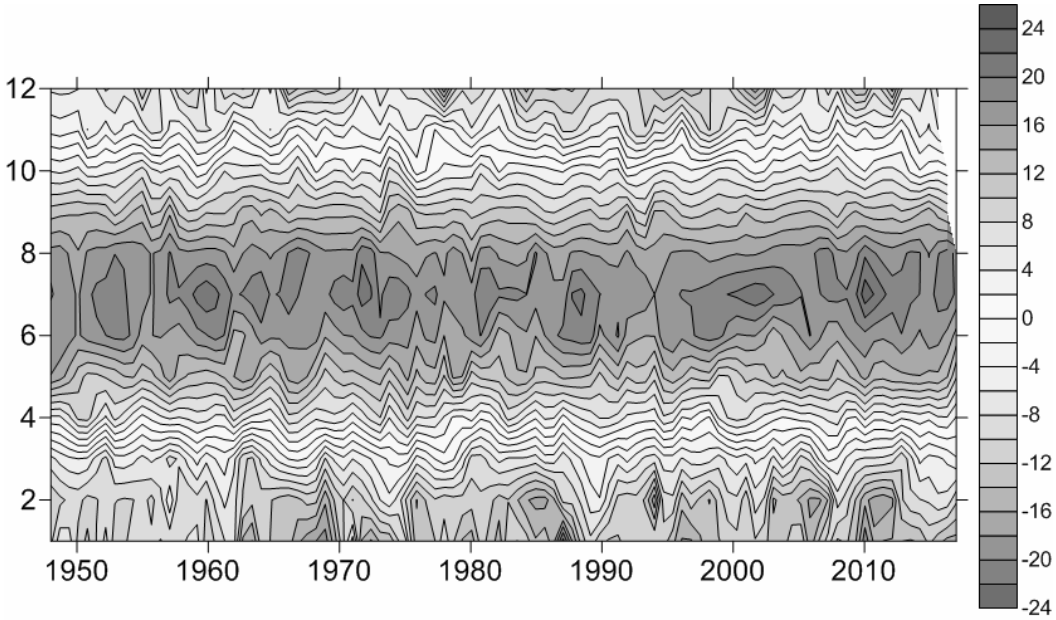


Рис. 2. Сезонное изменение температуры в районе Горьковского водохранилища по данным реанализа ERA-INTERIM

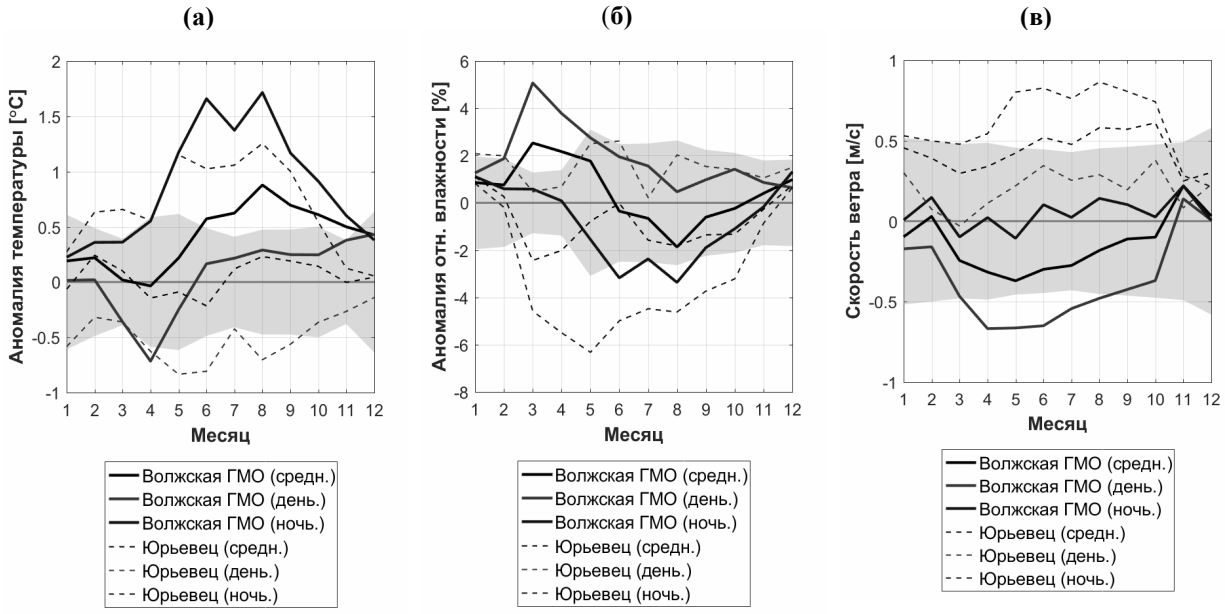


Рис. 3. Годовой ход аномалий (отклонений от среднего по исследуемому региону фонового значения) температуры (а), относительной влажности (б) и скорости ветра (в) для прибрежных метеорологических станций Волжская ГМО и Юрьевец. Отдельно показаны аномалии среднесуточных, средних ночных и средних дневных значений. Серой заливкой показан диапазон в ±1 стандартное отклонение каждой из метеовеличин по пространству в пределах региона исследования, характеризующий внутрирегиональную изменчивость

Прибрежные метеорологические станции позволяют диагностировать местные климатические особенности, формирующиеся под влиянием водохранилища, а именно снижение амплитуды суточного хода температуры и относительной влажности в теплый сезон года. Наиболее ярко выражено увеличение ночной температуры.

Плотность наблюдательной сети не позволяет изучать пространственную структуру местных климатических особенностей, формируемых под влиянием водохранилища. Для решения этой задачи целесообразно применять методы детализированного регионального климатического моделирования с использованием современных мезомасштабных моделей.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-РГО 17-05-41095

ЛИТЕРАТУРА

1. Williamson C.E. Lakes and reservoirs as sentinels, integrators, and regulators of climate change / C.E. Williamson, J.E. Saros, W.F. Vincent, J.P. Smold // Limnology and Oceanography. – 2009. - V. 54(6part2). - P. 2273-2282.

2. Tremblay A. Gas Emissions: Fluxes and ProcessesHydroelectric Reservoirs and Natural Environments / A. Tremblay, L. Varfalvy, C. Roehm, M. Garneau // Environmental Science Series. – New York: Springer, 2005. – 732 p.

3. Henderson-Sellers B. Calculating the surface energy balance for lake and reservoir modeling: A review / B. Henderson-Sellers // Reviews of Geophysics. – 1986. – V. 24(3). - P. 625-649.

4. Надеждина Е.Д. Модельные оценки параметров туманов на побережье водоемов Сибири / Е.Д. Надеждина, В.И. Мацак, А.А. Семиошина, И.М. Школьник // Метеорология и гидрология. - 2010. - №9. - С. 20-28.

ИЗМЕНЕНИЕ ИСПАРЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ ОЗЕР ЩУЧИНСКО-БОРОВСКОЙ КУРОРТНОЙ ЗОНЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

М.Т. Садуокасова
saduokasova.marzhan@gmail.com

Казахский Национальный университет имени Аль Фараби, г.Алматы, Казахстан

Озера Шортан, Бурабай и Улькен Шабакты расположены на севере Акмолинской области Республики Казахстан, они входят в систему озер Щучинско-Боровской курортной зоны. Кроме указанных водоемов в эту систему входят: Киши Шабакты, Катарколь, Жукей, Майбалык, Текеколь, Карасье и Сулуколь. Значимость для Казахстана Щучинско – Боровской курортной зоны (ЩБКЗ) не вызывает сомнений. Регион широко известен уникальной природной средой и высоким рекреационным потенциалом. Постоянные наблюдения за гидрометеорологическими характеристиками ведутся на озерах Шортан, Бурабай и Улькен Шабакты. Озера являются бессточными. Впервые озера ЩБКЗ фундаментально были исследованы в 1954-1956 гг., результатом работ стали монографии «Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель (Акмолинская и Кокчетавская области)». Состояние ЩБКЗ в основном определяется климатическими условиями, в первую очередь количеством атмосферных осадков и величиной испарения, зависящего от температуры и дефицита влажности воздуха.

Для оценки испарения с водной поверхности озер использованы данные о месячных величинах испарения с водной поверхности испаромеров ГГИ-3000, расположенных на поверхности водоемов за период с июня по октябрь 1955 г. В результаты наблюдений, полученные с помощью испаромеров, были введены поправки на смачивание внутренних стенок испарителя и забрызгивание воды в дождемер [1,2]. Введение общего поправочного коэффициента в данные наблюдений испаромеров позволило получить значения испарения с водной поверхности озер, которые являются достаточно репрезентативными для рассматриваемой территории Северного Казахстана. Материалы этих наблюдений за 1955 г. позволили установить зависимость месячных значений испарения с водной поверхности от температуры воздуха. Она имеет следующий вид [4, 5]:

$$E=8{,}28*t_{в\text{-}ха}+11{,}3, \quad (1)$$

E - испарение с водной поверхности, мм;

$t_{в\text{-}ха}$ - температура воздуха, °С.

Коэффициент корреляции составляет r =0,99.

На рисунке 1 приведена разностно-интегральная кривая температуры воздуха за год по метеорологической станции Щучинск.

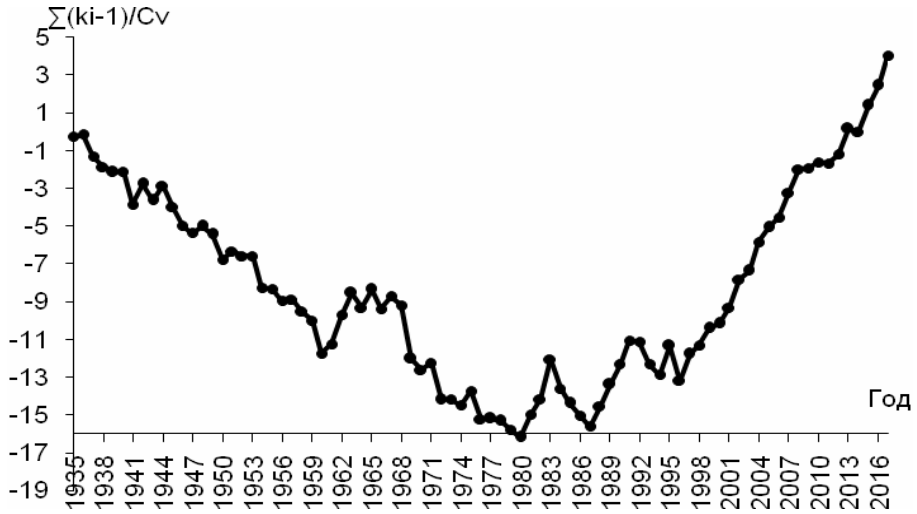


Рис. 1. Разностно-интегральная кривая температуры воздуха за холодный период 1935 - 2017 гг. метеорологической станции Щучинск

В ходе анализа кривой температуры воздуха, приведенной на рисунке 1, было выделено 3 периода:

1-й период длиной в 38 лет (1935..1973 гг.) составляет $1{,}03^0$С, характеризующий климатические условия середины 20 века;

2-й период длиной в 20 лет (1974…1993 гг.) равен $1{,}47^0$С, показывает повышение среднегодовой температуры воздуха при переходе к новому климатическому периоду;

3-й период длиной в 23 года (1994…2017 гг.) – $2{,}03^0$С, характеризующий увеличение среднегодовой температуры воздуха в конце 20 века – начале 21 века.

Разностно-интегральная кривая среднегодовой температуры воздуха показывает тенденцию увеличения среднегодовой температуры воздуха на $1{,}0…1{,}5^0$С.

По формуле 1 производится расчет испарения за теплый период (апрель-октябрь) по данным наблюдений по метеорологической станции Щучинск, результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Средние значения испарения за различные периоды по данным метеорологической станции г. Щучинск

Период	Испарение, мм	Превышение испарения, мм
1935-1973	681	0
1974-1993	700	19
1994-2017	720	39

Для указанных выше периодов средняя величина испарения с водной поверхности составила в среднем для периода 1935-1973 гг. – 681 мм, для 1974-1993 гг. - 700 мм и для периода 1994-2017 гг. – 720 мм. Превышение испарения за второй период по сравнению с первым составило 19 мм, а превышение третьего с первым периодом – 39 мм.

Суммарная расчетная площадь ЩБКЗ в естественных условиях составляет 99 км^2. Для этой площади увеличение испарения с водной поверхности озер на 39 мм составляет объем 3,86 млн. м^3 в год. В начале второго десятилетия 21 века при сокращении площади ЩБКЗ до 87,3 км^2 испарение с водной поверхности составляет 3,40 млн. м^3 в год.

Испарение за холодный период гидрологического года (ноябрь-март) определялись как разность месячного количества атмосферных осадков и испарения с поверхности снега [1,5]. Для расчета использовались месячные значения осадков по метеорологиче-

ской станции г. Щучинск. Испарение с поверхности снега определялось по методике, предложенной Семеновым В. А. для районов Северного и Центрального Казахстана [3]. Эта формула имеет следующий вид:

$$E = n(0.35d - 0.06) \quad (2)$$

где E - испарение, мм;

n - число суток расчетного периода;

d – дефицит влажности воздуха, гПа, средний за n суток.

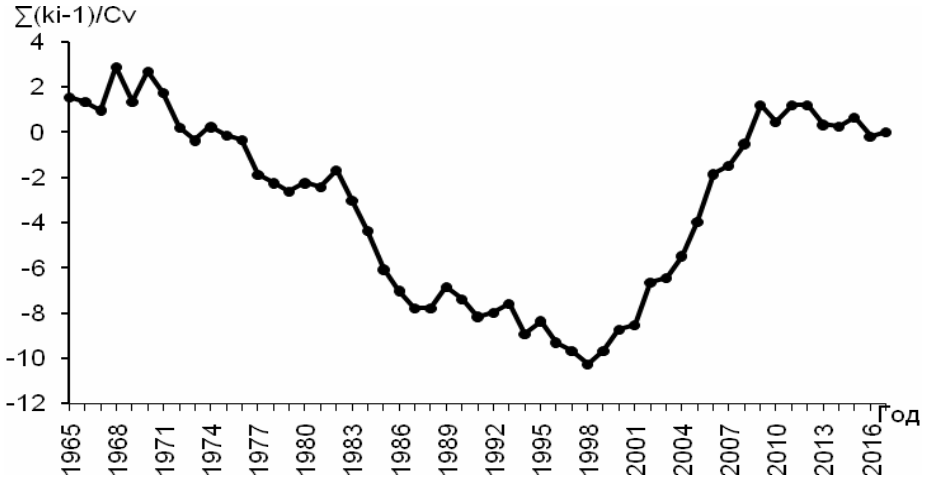


Рис. 2. Разностно-интегральная кривая дефицита влажности воздуха за холодный период 1965 - 2017 гг. метеорологической станции Щучинск

Анализ интегральной кривой дефицита влажности воздуха за холодный период показывает, что начиная с конца 20 столетия, наблюдается тенденция увеличения дефицита влажности воздуха, которая приводит к увеличению испарения со снежного покрова. Средний дефицит влажности воздуха за период с 2000-2017 гг. по сравнению с его значением за период с 1965-1999 гг. увеличился с 0,53 до 0,63 гПа, т.е. на 0,10 гПа. В соответствии с формулой 2 – это приведет к увеличению испарения со снега на ледяном покрове озер (ноябрь-март) с 19 до 24,2 мм, т.е. на 5,2 мм в год. Для суммарной расчетной площади ЩБКЗ в естественных условиях, равной 99 км^2 – это увеличение испарения со снега за холодный период составит 0,52 млн. м^3 в год. В последние годы (2011-2017 гг.) при сокращении площади ЩБКЗ до 87,3 км^2 увеличение испарения составит 0,46 млн. м^3 в год.

Таким образом, испарение с водной поверхности и испарение снега с ледяной поверхности озер при естественном режиме в условиях современного климата должно увеличиться на 4,58 млн. м^3 в год. В настоящее время испарение с водной поверхности и испарение снега с ледяной поверхности озер составляет 3,86 млн. м^3 в год. Кроме этого увеличение температуры и дефицита влажности воздуха оказывает определенное влияние на увеличение суммарного испарения с поверхности водосборов озер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель / Под общей редакцией Урываева В.А., Выпуск 1, Акмолинская область Казахской ССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1958. – 790 с.

2. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Вып. Ш. Кокчетавская область Казахской ССР. – Л., Гирометеоиздат. 1959. – 563 с.

3. Семенов В.А. Сток рек засушливых территорий. – М.: Гидрометеоиздат, 1990. – 168 с.

4. Справочник по водным ресурсам СССР. Т. XIII. (Северный Казахстан). – Л., 1933. – 557 с.

5. Филонец П.П., Омаров Т.Р. Озера северного, западного и восточного Казахстана (Справочник). – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 138 с.

ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕК БАССЕЙНА ДОНА НА ОСНОВЕ ИМК ECOMAG

А.А. Сазонов, И.Н. Крыленко, Н.А. Варенцова, П.Г. Михайлюкова
sazonov.lesha@gmail.com

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия

Введение. Основной перспективой применения моделей формирования стока для исследования гидрологического режима рек, является возможность на основе входной метеорологической информации и характеристик подстилающей поверхности бассейна получить расходы воды в любой точке речной сети бассейна. При этом русловая сеть речного бассейна представляет собой своеобразный пространственно-временной континуум нарастающего вниз по течению расхода воды, для каждой точки которого в любой момент времени может быть организована выдача результатов и выполнено их сопоставление с фактическими характеристиками гидрологического режима.

В качестве базового программного комплекса для моделирования процессов формирования стока на водосборе в рамках данного исследования предлагается использовать российский информационно-моделирующий комплекс (ИМК) ECOMAG (ECOlogical Model for Applied Geophysics), разработанный под руководством Ю.Г. Мотовилова [3]. ИМК ECOMAG включает в себя модель формирования стока с распределенными параметрами, специализированную географическую информационную систему (ГИС), базы архивных и оперативных гидрометеорологических данных, базу данных о характеристиках территории, а также управляющую оболочку.

Модель описывает основные процессы гидрологического цикла суши: инфильтрацию, испарение, термический и водный режим почв, формирование снежного покрова и снеготаяние, формирование поверхностного, внутрипочвенного, грунтового и речного стока. Основные процессы гидрологического цикла суши: инфильтрацию, испарение, термический и водный режим почв, формирование снежного покрова и снеготаяние, формирование поверхностного, внутрипочвенного, грунтового и речного стока [1].

Перечень исходных данных для моделирования. В качестве основных видов информации для формирования баз данных моделей формирования стока необходимы следующие картографические материалы:

• цифровые топографические карты различных масштабов;

• цифровые модели рельефа (ЦМР) с разрешением 1 км и детальнее;

• векторные данные о гидрографической сети и расположении гидрологических постов и метеорологических станций;

• серии цифровых тематических карт (водных ресурсов, почвенная, ландшафтная и т.д.), отражающих характеристики и состояние природных ресурсов;

• базы данных метеорологических характеристик с суточным шагом 9температура воздуха, дефицит влажности воздуха, осадки;

• базы данных о расходах воды в различных точках речной сети (для калибровки и верификации модели).

В основном для моделей формирования стока в настоящее время находят применение цифровые модели рельефа речных бассейнов, полученные на основе радарных съемок. Для речных бассейнов площадью более 10-15 тыс. км^2 для получения удовлетворительных результатов моделирования возможно применение цифровых моделей с пространственным разрешением до 1 км (например, данные цифровых моделей GLOBE, GTOPO), для бассейнов меньшей площади необходим переход на цифровые модели разрешением 90 м и детальнее (такие как SRTM, Aster GDEM). Для более детального описания рельефа и схематизации речных водосборов в бассейне р. Дон также была адаптирована наиболее популярная модель, находящаяся в открытом доступе, SRTM (Shuttle radar topographic mission). Миссия представляет собой одно из самых значительных картогра-

фических исследований из космоса нашей планеты, которое было сделано до сих пор. SRTM использовал два радара с синтезированной апертурой, систему С-диапазона (5,6 см; C-RADAR) и систему X-диапазона (3,1 см; X-RADAR). Задача миссии - получить интерферометрические изображения SAR, предназначенной для генерации цифровой матрицы высот, также называемой ЦММ (цифровая модель местности), то есть топографических карт. Покрытие земной поверхности Земли обеспечивается между широтами от 54º ю.ш до + 60º с.ш, что составляет почти 80% поверхности суши. В данном проекте для создания цифровой модели рельефа бассейна была использована SRTMX диапазона.

Карты типов подстилающей поверхности бассейна. Географическое положение водосборного бассейна р. Дон определяет изменение природных зон с северо-запада на юго-восток, от лесостепной до степной зоны, охватывающей наибольшую часть территории. На самом севере водосбора присутствуют небольшие участки, которые захватывают зону широколиственных лесов, а на крайнем юго-востоке территории – зону полупустынь.

Южная граница лесостепи проходит по линии Лиски – Борисоглебск – Саратов. Почвенный покров лесостепи представлен серыми лесными почвами и черноземами. Серые лесные почвы на лёссах и лёссовидных суглинках преимущественно развиты в верховьях Дона и Хопра. Леса занимают малую площадь. Из древесных пород наиболее распространены: дуб, ясень, липа, осина. После активного антропогенного воздействия на природу бассейна Дона (а в частности и бассейна Цимлянского водохранилища) первичные лесные массивы остались лишь на поймах рек и террасах. Чаще встречаются небольшие участки лесозащитных полос среди сельскохозяйственных земель.

Степная зона простирается на юго-восток до р. Иловли и Дона. От Курмоярского Аксая граница ее переходит на левобережье, пересекая среднее течение Сала и Маныча.

В почвенном покрове степей преобладают черноземы различных типов (около 75% площади водобсора): типичные и обыкновенные, южные, дерновые и малогумусные. Они характеризуются глубоким залеганием карбонатного горизонта (130–150 см).

Южные черноземы супесчаные, малогумусные, обладают большой водопроницаемостью и малой влагоемкостью, глубоким промерзанием зимой. В то же время эти почвы хорошо реагируют на мероприятия по накоплению влаги. Однако в этих почвах возможно проявление вторичного засоления в условиях недостаточной дренированности.

В юго-восточной части распространены каштановые почвы, солонцы и солончаки. Материнская порода представлена лёссами. Долины больших крупных рек покрыты песчаными отложениями. Обширные песчаные пространства расположены на левобережье Среднего Дона, на правобережье выше ст. Цимлянской, а также по притокам его: р. Хопру, Медведице, Иловле. На песчаных почвах растут сосновые леса. В поймах рек развиты луговые и болотные почвы, а в пойме Дона — солончаки.

Всего при описании типов почв в бассейне р. Дон на основе региональных почвенных карт [2] задано 30 типов почв, представленных в виде векторной карты и гридтемы для учета доли каждого из типов почв в пределах элементарных водосборов модели.

Дополнительно для актуализации типов землепользования и уточнения типов подстилающей поверхности привлекались данные космической съемки. На основе дистанционных данных возможно выделить следующие виды землепользования:

-сельскохозяйственные земли;

- земли населенных пунктов;

- территории, покрытые лесной растительностью;

- водораздельные поверхности, не занятые сельскохозяйственными угодьями;

- объекты гидрографии (реки, озера).

Источниками для составления карт послужили пространственные данные разного типа, находящиеся в открытом доступе (табл. 1).

Поскольку гидрологическая модель подразумевает некоторую генерализацию при выделении удельных расчетных элементов, то данные о землепользовании также предварительно генерализовывались для создания грида с шагом 1на 1 км. В связи с подобной

генерализацией на данном этапе для дешифрирования лесной растительности, сельскохозяйственных земель и водораздельных поверхностей, не занятых сельскохозяйственными землями было достаточно использовать космический снимок, полученной съемочной системой MODIS с пространственным разрешением 250 м.

Таблица 1. Перечень геопорталов космических снимков

Картографируемый показатель	Источник
С/х земли	Космический снимок MODIS/Terra, 25.08.2018 (https://worldview.earthdata.nasa.gov)
Населенные пункты	Данные Open Street Map (https://www.geofabrik.de/data/download.html)
Лесная растительность	Космический снимок MODIS/Terra, 25.08.2018 (https://worldview.earthdata.nasa.gov)
Водораздельные поверхности, не занятые с/х угодьями	Космический снимок MODIS/Terra, 25.08.2018 (https://worldview.earthdata.nasa.gov)
Объекты гидрографии	Данные Open Street Map (https://www.geofabrik.de/data/download.html)

Выделение водораздельных поверхностей, не занятых сельскохозяйственными угодьями, выполнялось по снимку MODIS/Terra от 25.08.2018, с последующим уточнением контуров по снимку высокого пространственного разрешения, доступных на сервисе Yandex Map. Просмотр и редактирование контуров водораздельных поверхностей на основе снимков высокого пространственного разрешения выполнялся в программном обеспечении QGIS при помощи модуля QuickMapServices. Населенные пункты и объекты гидрографии были выбраны из соответствующих слоев набора данных OpenStreetMap и также генерализованы. Для главных линейных объектов гидрографии (рек) были построены буферные зоны размером 1 км, полигональные векторные объекты (озера) были отобраны по минимальной площади 2 км^2.

Территории населенных пунктов были генерализованы с привлечением космических снимков высокого разрешения, доступных на сервисе Yandex Maps. При помощи программного обеспечения QGIS и модуля QuickMapServices было подгружено покрытие снимками высокого разрешения на район Цимлянского водохранилища. Далее выполнялся анализ площади населенных пунктов и их взаимного расположения. Населенные пункты, чья площадь меньше 2 км^2, были удалены из итогового набора пространственных данных за исключением тех случаев, когда отдельные населенные пункты расположены на расстоянии менее 1-2 км. В таком случае определялась общая граница нескольких населенных пунктов.

Вся остальная территория бассейна Дона до замыкающего створа Цимлянского водохранилища, которая не вошла в классы лесной растительности, объектов гидрографии, территорий населенных пунктов, водораздельных поверхностей, не заняты с/х угодьями была отнесена к классу сельскохозяйственных земель. После того, как были созданы контура все объектов, выполнялась проверка топологии на наличие наложений и пересечений соседних контуров.

Анализ полученной по дистанционным данным карты подстилающей поверхности показал, что на территории бассейна Дона в пределах бассейна Цимлянского водохранилища наибольшую площадь занимают сельскохозяйственные угодья - 90%. Площадь территории, покрытой лесной растительностью, равна 3,8%. Наибольшее распространение леса имеют в северо-западной и центральной части бассейна, где они встречаются не только вдоль русел крупных водотоков, но и в виде достаточно больших лесных массивов. В северо-восточной части бассейна леса распространены в основном вдоль рек, а в южной части крупные группы деревьев практически отсутствуют. Полученная карта дает возможность актуализировать и уточнить расположение лесов в современных условиях по сравнению с данными региональных ландшафтных карт, основой которых являлись данные за вторую половину 20 в.

Доля площадных объектов гидрографии (крупные озера и реки) в общей площади бассейна Цимлянского водохранилища составляет 3,3%, из которых больше половины приходится на само Цимлянское водохранилище.

Гидрометеорологическое обеспечение модели. Информация сети гидрометеорологического и водохозяйственного мониторинга является одной из основ проведения гидрологического моделирования. Данные о расходах и уровнях воды сети гидрологических постов необходимы для калибровки и верификации моделей, а также для оперативной корректировки прогнозов. Основным источником перечисленных данных являются результаты режимных наблюдений сети постов Росгидромета, поступающие в Гидрометцентр РФ.

Гидрометеорологическое обеспечение на основе архивных рядов наблюдений позволяет получить статистические характеристики этих рядов для пунктов наблюдений, а также может быть использовано для калибровки параметров моделей гидрологических процессов.

В качестве архивного метеорологического обеспечения в ИМК ECOMAG используется база данных шести- и трехчасовых метеорологических наблюдений, осредненных по суткам по данным 80 метеостанций, расположенных непосредственно на территории бассейна реки Дон в пределах бассейна Цимлянского водохранилища и в его буферной зоне (не дальше 100 км от границы водосбора). На основании собранных данных модель выполняет интерполяцию значений метеопараметров методом обратных взвешенных расстояний (IDW). Данный метод основан на предположении, что каждая измеренная точка оказывает локальное влияние, которое уменьшается с увеличением расстояния. Это придает больший вес точкам, расположенным ближе всего к интерполируемому местоположению. Вес точки уменьшается как функция от расстояния. Для обеспечения входными данными в ИМК ECOMAG были собраны среднесуточные данные по температуре воздуха (°С), дефициту влажности (мбар), слой осадков (мм) за период с 1966 по 2016 год, то есть за 50 лет наблюдений.

Гидрологическая информация содержит в себе среднесуточные расходы воды по гидрологическим постам, она необходима для калибровки модели. Помимо среднесуточных расходов в модели формирования стока привлекаются среднесуточные данные сброса воды с водохранилищ для задания начальных условий на зарегулированных водосборах и данные снегомерных съемок.

Сведения о ежедневных расходах воды по гидрологическим постам были получены на основании гидрологических ежегодников за период с 1981 года по 2008, а с 2008 по 2016 год данные были получены с помощью автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО).

В бассейне р. Дон для задач калибровки и верификации модели было выбрано 6 ключевых гидрологических постов из 49 возможных.

Выводы. На данном этапе выполнения проекта подготовлена информационная основа для модели формирования стока с распределенными параметрами, включая цифровые модели рельефа пространственных масштабов 1 х 1 км и 30 х 30 м, векторные карты типов почв (30 типов) и землепользования (11 типов). Дополнительно по космическим снимкам уточнено современно состояние водосбора, на основе дешифрирования выделены классы воды, лесов, территорий населенных пунктов и показано, что более 90% территории водосбора занимают измененные ландшафты сельскохозяйственных земель, на долю лесов приходится около 3 % площади водосбора.

Подготовлена метеорологическая база данных за период с 1966 по 2016 гг., включающая данные об осадках, температуре и дефиците влажности воздуха с суточным шагом по 80 метеорологическим станциям на территории бассейна. Для калибровки и верификации модели подготовлены данные по 6 ключевым постам, включая р. Дон –Задонск, Дон – Казанская и замыкающим створам основных притоков Сосна – г. Елец, г. Битюг – г. Бобров, Хопер – Барминский, Медведица – Арчединская за аналогичный период.

Первые полученные результаты показали, что примененный метод математического моделирования речного стока с помощью ИМК ECOMAG позволяет с удовлетворительной точностью воспроизводить процессы формирования стока даже в условиях антропогенной нагрузки на водосбор.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 17-05-41030 РГО_а

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучмент Л.С., Демидов В.Н., Мотовилов Ю.Г. Формирование речного стока (Физико-математические модели). – М.: Наука, 1983. – 216 с.

2. Джамалов Р. Г., Киреева М. Б., Косолапов А. Е., Фролова Н. Л. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. – М.: ГЕОС, 2017. – 204 с.

3. Motovilov Yu., Gottschalk L., Engeland K.&Belokurov A. ECOMAG – region-almodelofhydrologicalcycle. Application to the NOPEX region. 1999. Department of Geophysics, University of Oslo, Institute Report Series no.105.

МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ ЛИВНЕВОГО ГЕНЕЗИСА НА ТЕРРИТОРИИ АЗЕРБАЙДЖАНА

С.Г. Сафаров, Э.С. Сафаров
safarov53@mail.ru

Институт Географии имени Г.А. Алиева Национальной академии наук Азербайджана, г.Баку, Азербайджан

На территории Азербайджана опасные явления ливневого происхождения, в том числе паводки и селевые потоки в основном наблюдаются в горных и предгорных местностях, которые характеризуются сложной подстилающей поверхностью. Прогноз таких явлений непосредственно связан с прогнозом обильных осадков. Однако для территорий со сложной орографией традиционные методы не позволяют надежно прогнозировать эти явления, с указанием их места и времени возникновения. Поэтому несомненный интерес представляют более простые и приемлемые методы исследования этих процессов, которые обеспечивали бы получение практически важных результатов, позволяющих разработать более надежные методы прогнозирования грозоградовых процессов и связанных с ними селевых явлений. Также для выявления факторов, влияющих на формирование селевых потоков, необходимо использование дистанционных методов и технологий наблюдения, которые позволили бы на больших расстояниях, в любое время и в любую погоду следить за накоплением обильных осадков на территории водосборов рек, а также выявить особенности динамики развития грозоградовых процессов, порождающих паводки и селевые потоки. Современные доплеровские метеорологические радары и автоматизированные системы управления радиолокационными наблюдениями (АСУ-МРЛ), созданные на базе МРЛ-5, могут с успехом справляться с этой задачей.

Радиолокационные наблюдения за облаками и осадками проводились на Акстафинской, Гейгельской и Шамахинской радиометеорологических станциях Центра радиометеорологии и аэрологии Национального департамента по гидрометеорологии в радиусе 250 км с помощью АСУ-МРЛ. Эта система позволяет в реальном масштабе времени в любой точке пространства оперативно измерить интенсивность, количество и другие характеристики выпадающих осадков, также обеспечивает получение наиболее полных данных о наличии, местоположении, направлении и скорости смещения ливневых очагов.

Радиолокационное измерение интенсивности осадков основывается на их зависимости от значения радиолокационной отражаемости [1].

При использовании АСУ-МРЛ слой выпавших осадков измеряется по алгоритму:

$$J = \sum_1^N I_i \Delta t_i \,, \qquad (1)$$

где I_i - интенсивность осадков в i – й промежутке времени; Δt_i - интервалы между циклами радиолокационного обзора, равные для автоматизированного МРЛ-5 3,5 мин; N –

число радиолокационных циклов обзора пространства. Соответствующие алгоритмы введены в подпрограмму АСУ-МРЛ для измерения интенсивности и количества осадков любого вида.

В работе путем радиолокационой оценки количества осадков, оперативного анализа особенностей динамики развития мощных конвективных процессов, а также учета характеристик местности рассмотрены возможные механизмы формирования селевых потоков ливневого генезиса. Полученные результаты сравнивались с фактическими наземными данными.

Анализ многолетних данных показывает, что на южном склоне Большого Кавказа наиболее мощные селевые потоки наблюдаются в июле-августе, когда длительный период без осадков способствует образованию достаточного количества рыхлообломочного материала, необходимого для формирования мощных структурных селевых потоков. Таким образом, в отличие от обычных паводков, наиболее мощные структурные селевые потоки в основном формируются в результате выпадения обильных ливневых осадков после длительного периода без осадков.

Как уже показано в [2], в большинстве случаев мощные селевые потоки формируются при определенном взаимном расположении вектора скорости зоны осадков и направления течения селеопасной реки. Установлено, что за период 2001-2016 гг. на южном склоне Большого Кавказа большинство структурных селевых потоков наблюдалось тогда, когда мощные зоны ливневых осадков перемещались ориентировочно в направлении против течения реки, в сторону горного хребта (рис. 1). Интенсивные осадки в селевых очагах создают благоприятные условия для развития селеформирующих процессов. С другой стороны, в результате перемещения зоны осадков по бассейну реки снизу вверх, интенсивные осадки приводят к сильному увлажнению почвы и горных пород в нижней и средней части бассейна реки, ослабляя их прочность, что создает условие для дополнительного подпитывания селя за счет осыпающихся и разрушаемых склонов долин [3, 4].

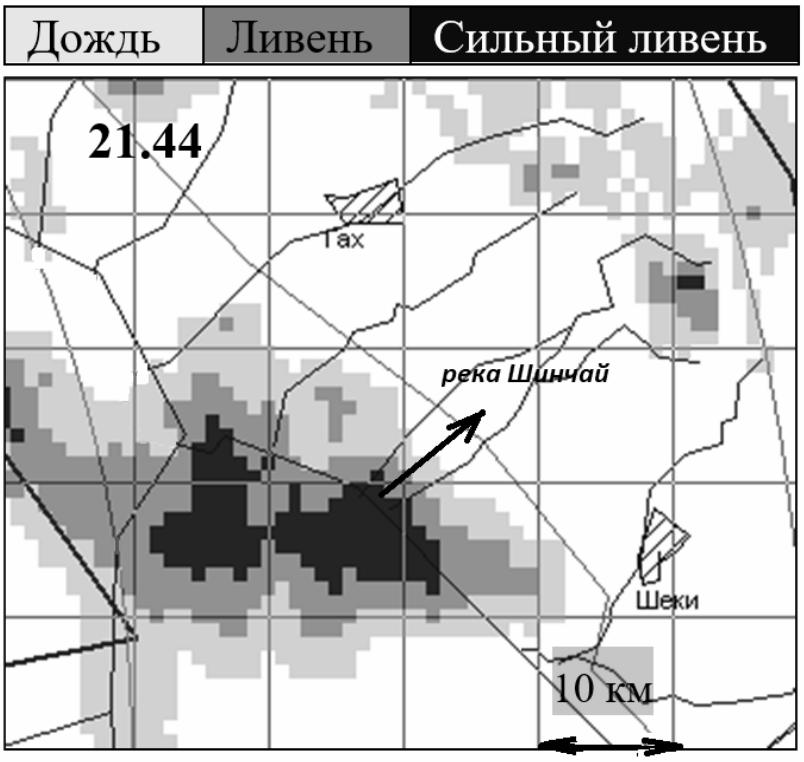


Рис. 1. Характер распространения ливневого процесса 26 июля 2004 года, приведшего к мощному селевому потоку на р. Шинчай по данным АСУ-МРЛ

→ *- направление перемещения зоны ливневых осадков*

Таким образом, взаимодействие водного потока с рыхлообломочным материалом в верхней части бассейна приводит к лавинному вовлечению твердого материала в поток и многократному увеличению его расходных характеристик и плотности.

Если учесть, что на южном склоне Большого Кавказа ориентация русла селеопасных рек в основном направлена с северо-востока на юго-запад, и их уклон достаточно большой, то надвигающийся с юго-запада ливневый очаг с повышенным водосодержанием, с большой вероятностью может вызвать селевой поток. Учитывая вышеизложенное и по результатам анализа материалов многолетних (2001-2016 гг.) радиолокационных наблюдений за селевыми процессами, вероятность возникновения селевого потока можно сформулировать следующим образом:

$$P = K_1 K_2 \left| cos\,\alpha \right|, \qquad (2)$$

где α – угол между направлением перемещения ливневого очага и направлением течения реки, K_1 – коэффициент заполнения водосбора реки слоем ливневых осадков, превышающим 10 мм, K_2 – коэффициент заполнения селевого очага слоем осадков, превышающим 20 мм при 900 < α <1800 или же превышающим 40 мм при 00 <α <900. Коэффициенты заполнения водосбора и селевого очага рассчитываются с помощью выражений:

$$K_1 = S_{10}/S_B \quad \text{и} \quad K_2 = S_{20}/S_C \text{ или } K_2 = S_{40}/S_C$$

где S_{10} – часть территории водосбора, покрытая слоем осадков, превышающий 10 мм, S_B – площадь водосбора, S_{20} или S_{40} – часть территории селевого очага, покрытая слоем осадков, превышающий 20 или 40 мм. Оба коэффициента рассчитываются по радиолокационной картине распределения количества осадков по территории.

Формула (2) показывает, что с увеличением абсолютной величнны угла α от 0 до ±900 вероятность образования селевых потоков уменьшается, а при α = ±900 они становятся невозможными из-за недостаточного для селеобразования количества осадков, выпавших в бассейн селеопасной реки.

Следует отметить, что при радиолокационном наблюдении за атмосферными осадками в большинстве случаев возникает возможность прогнозировать селевые потоки с большей заблаговременностью, чем ливневых паводков. Дело в том, что в одном и то же русле скорость паводков и турбулентных потоков больше, чем структурных селевых потоков, так как с увеличением концентрации твердой массы в потоке его скорость уменьшается. С другой стороны, при формировании мощных структурных селевых потоков, в результате образования частых заторов и запрудных озер, средняя их скорость значительно сокращается. Образование заторов и запрудных озер, в свою очередь, связано с наличием в селевой массе огромного количества крупнообломочного материала, деревьев и т.д. Из-за уменьшения средней скорости, селевой поток доходит до пункта прогноза с некоторым опозданием, что увеличивает заблаговременность радиолокационного прогноза таких явлений.

Однако анализ накопленного радиолокационного материала показывает, что на южном склоне Большого Кавказа вышеизложенный механизм образования структурных селевых потоков не является единственным.

Дело в том, что отдельные мощные селевые потоки образовались тогда, когда фактически неподвижная локальная грозоградовая ячейка образовалась непосредственно над верхней частью бассейна реки, где располагаются селевые очаги. В результате взаимодействия интенсивных ливневых осадков с рыхлообломочным материалом в селевых очагах, начинаются селеформирующие процессы. Однако, из-за того, что к этому времени в средней и нижней частях бассейна реки осадки отсутствуют, образовавшаяся густая селевая масса обычно быстро застывает, образуя мощные заторы в русле реки. Таким образом, в результате продолжающихся в верхней части бассейна реки обильных осадков и наличия заторов, образуются запрудные озера, при прорыве которых возникают сходы сильных грязекаменных селевых потоков. Подобные селевые потоки обычно характеризуются неожиданностью, и могут нанести значительный ущерб инфраструктуре территории, а в отдельных случаях сопровождаться человеческими жертвами. Таким образом, радиолокационное обнаружение неподвижных зон ливневых осадков над верхней частью

бассейнов селеопасных рек может быть важным предиктором возникновения селевых потоков в ближайшие часы.

Как и в большинстве градоопасных регионах мира, наблюдаемые на территории Азербайджана грозоградовые процессы, по ячейковой структуре и по особенностям динамики развития, в основном делятся на одноячейковые, многоячейковые и суперячейковые. Характерные особенности этих типов процессов более подробно изложены в [5]. Упорядоченные многоячейковые процессы, в свою очередь, делятся на нормальные и аномальные подтипы. В нормальных процессах из-за того, что новые конвективные ячейки образуются на правом фланге облачной системы, правее и чуть впереди относительно предыдущей ячейки, полосы осадков отдельных ячеек почти параллельны друг к другу. А при аномальных подтипах новые ячейки образуются сзади предыдущей ячейки, относительно их направления перемещения (рис. 2). При этом периодически возникающие сзади от предыдущей (относительно направления их перемещения) новые мощные конвективные ячейки, перемещаясь, практически одинаковыми траекториями (рис. 2), приводят к продолжительным и интенсивным ливням, которые иногда сопровождаются выпадением града. Нередко количество выпавших осадков составляет более 100 мм, которое в горных территориях приводят к водокаменным селевым потокам, а в равнинных местностях к опасным наводнениям.

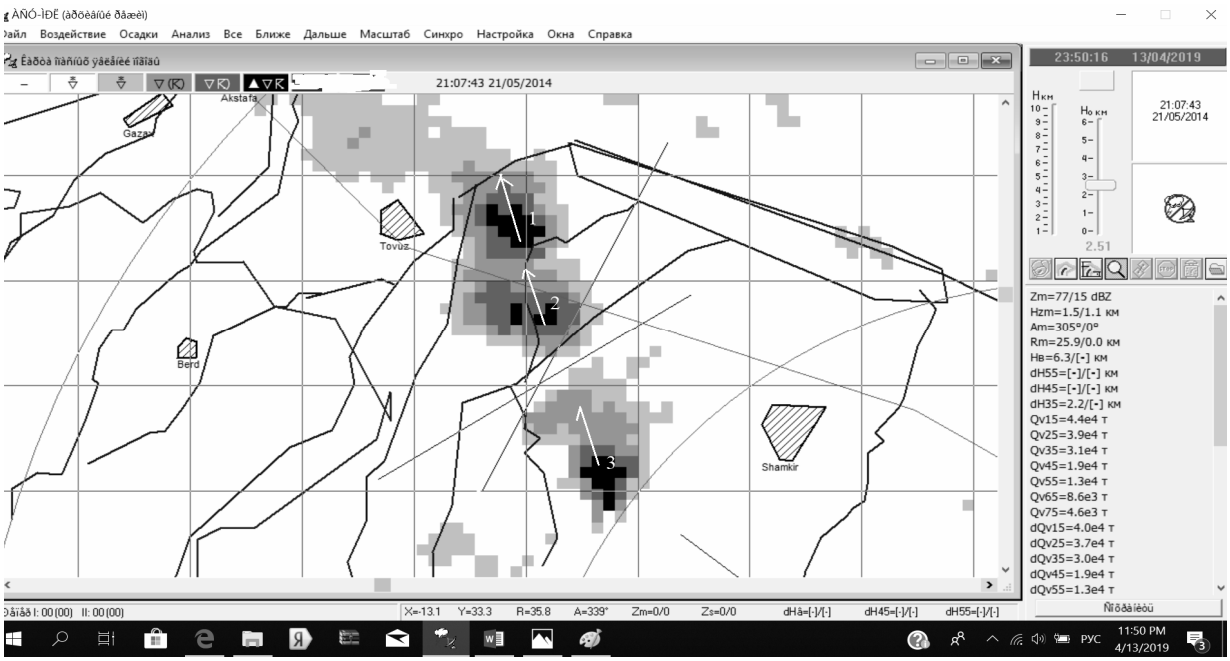


Рис. 2. Характер перемещения конвективных ячеек в аномально-упорядоченном многоячейковом грозоградовом процессе 21 мая 2014 г. на территории Товузского района

⟶ - направление перемещения конвективных ячеек;

1, 2, 3 - порядковые номера конвективных ячеек.

Следует отметить, что такие грозоградовые процессы наиболее характерны для северной и северо-восточной части Малого Кавказа.

Таким образом, радиолокационное обнаружение мощных аномально-упорядоченных многоячейковых грозоградовых процессов в любой части территории Азербайджана с учетов особенностей местности может быть предиктором возникновения селевых потоков, паводков или же наводнений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Лиев К.Б. 2008. Радиолокационный метод оповещения о ливневых паводках / Доклады Всероссийской конференции по селям, Нальчик. – М.: Издательство ЛКИ. – С. 98-106.

2. Сафаров С.Г. Влияние характера перемещения ливневых облаков на формирование селевых потоков // Известия НАН Азербайджана. Серия наук о Земле. – 2006. – №3. – С. 108-113.

3. Будагов Б.А., Сафаров С.Г. Селевые явления на южном склоне Большого Кавказа и гидрометеорологические факторы их формирования // Известия РАН. Серия географическая. – 2008. – №2. – С. 116-121.

4. Сафаров С.Г., Сафаров Э.С. Радиолокационный диагноз паводковой ситуации и прогноз селевых потоков ливневого генезиса // Труды геогр. общества Азербайджана. Том XIV. – Баку, 2009. – С. 404-409.

5. Сафаров С.Г. Грозоградовые и селевые явления на территории Азербайджана и радиолокационные методы их прогнозирования. – Баку: «Элм», 2012. – 292 с.

УСЛОВИЯ И ФАКТОРЫ ЗАТОПЛЕНИЯ И ПОДТОПЛЕНИЯ ПРИРЕЧНЫХ ПРОСТРАНСТВ ВО ВРЕМЯ ПОЛОВОДИЙ ТЕКУЩИХ ЛЕТ

М. А. Семикозов, В.А. Дмитриева
mikhail.semikozov.96@mail.ru, verba47@list.ru

Воронежский государственный университет, г.Воронеж, Россия

Половодья характеризуются значительным и длительным повышением расходов и уровней воды, часто сопровождающиеся выходом воды из русла на пойму с последующим затоплением приречных территорий [Чеботарев, 1978]. При катастрофических масштабах они способны оказывать глубокое негативное влияние, как на экономическую составляющую народного хозяйства, так и на социальную сферу жизнедеятельности людей.

На территории России наибольшую повторяемость наводнения имеют на территории Западной и Восточной Сибири, Дальнем Востоке, а также в бассейне реки Кубань [Коронкевич, 2005]. Для рек Сибири основной причиной столь значительных показателей является обильное снеготаяние в весенний период. Так как для данного региона характерны снежные, морозные зимы без оттепелей, то большая часть талых вод при таянии снега образует поверхностный сток, а, следовательно, отмечается значительное повышение расходов и уровней воды.

Для рек Дальнего Востока характерны половодья в летне – осенний период. Прежде всего, это связанно с климатическими особенностями данного региона, так как при муссонном климате именно в сезон лето – осень отмечается наибольшее выпадение атмосферных осадков.

Если рассматривать территорию Центрального Черноземья, то за последние 40 лет не наблюдались катастрофические по своим масштабам наводнения. Это связано с тем, что после 1970 года по настоящее время наблюдается тенденция к снижению максимальных расходов воды [Дмитриева, 2014]. Но быстро наступившая весна 2018 года показала, что не следует терять бдительность.

Зима 2017 – 2018 гг. была снежная, с устойчивыми минусовыми температурами воздуха, без оттепелей. Резкая смена температуры с отрицательной на положительную в конце марта – начале апреля способствовала активному снеготаянию и переходу талых вод в поверхностный сток, а, следовательно, значительному повышению расходов и уровней воды в реках Центрально – Черноземного региона. Как следует из графика хода суточных температур апреля 2018 года (рис. 1), среднесуточная температура воздуха повысилась за месяц почти на 20 градусов.

В отдельные сутки наблюдались температурные «качели» с резкими колебаниями метеорологической характеристики, как внутри одних, так и смежных суток, что создавало благоприятные условия для активного снеготаяния и схода снежного покрова в короткие сроки.

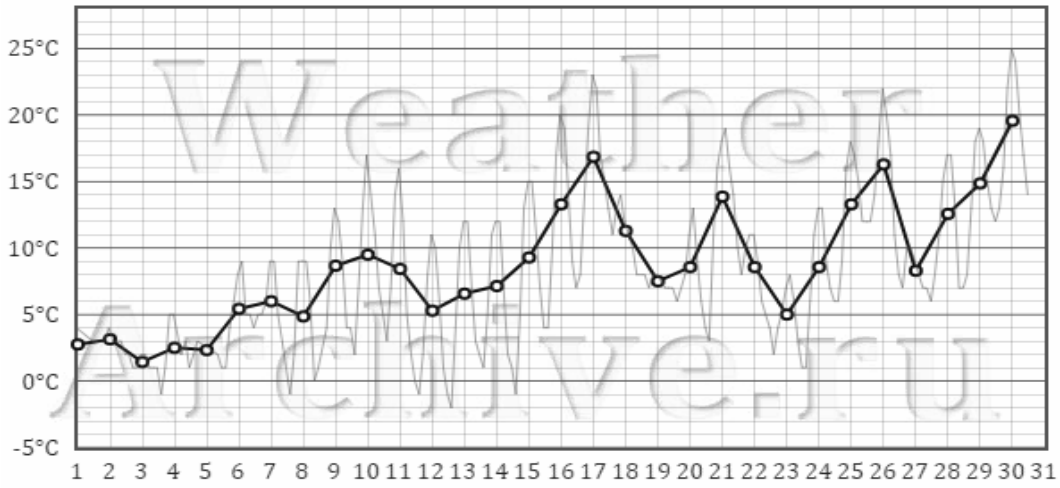


Рис. 1. График среднесуточных температур в Воронежской области за апрель 2018 года [1]

Большие объемы воды, образовавшиеся при скоротечном таянии снега, создали благоприятные условия затопления и подтопления приречных территорий в поймах рек Усмань, Битюг, Ведуга и других в Воронежской области.

Самая тяжелая паводковая ситуация сложилась в апреле 2018 года в городе Калач, через который протекает река Подгорная, приток Толучеевки. Как видно из графика колебания уровней воды р. Подгорная – г. Калач (рис. 2), в этот период значения уровней были близки к максимальным (691 см над 0 ГП) за весь период мониторинга и достигли 5 апреля пиковых значений – 660 см.

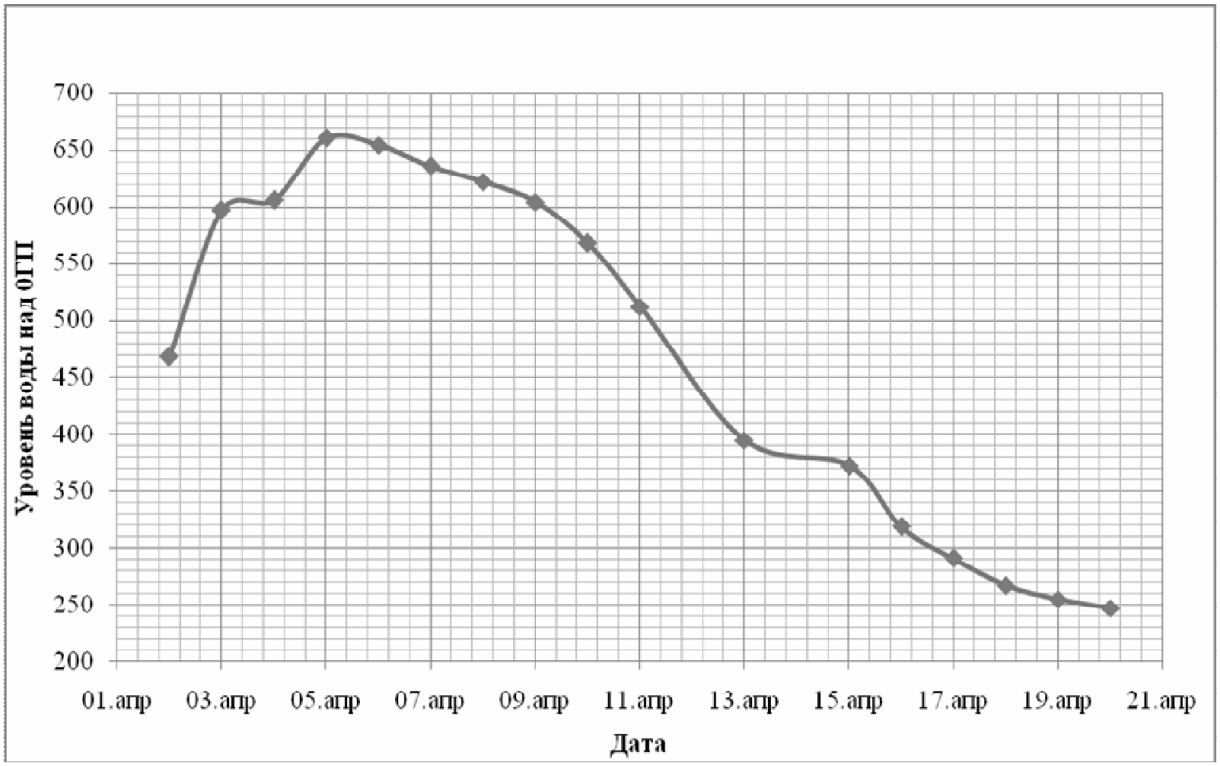


Рис. 2. График колебания уровней воды р. Подгорная – г. Калач в апреле 2018 года

Захламленность русел рек мусором и растительностью создали препятствия для прохождения больших масс воды, а застройка пойм и низинных участков поспособствовали возведению искусственного подпора воде, затоплению и подтоплению надворных построек, подвальных помещений, нижних этажей жилых зданий и, как следствие, по-

влекло за собой значительный экономический ущерб от половодья. Вследствие вышеуказанных факторов речными водами было затоплено или подтоплено 1146 земельных участков и 358 домовладений [3].

Анализ хода суточных температур воздуха за апрель 2018 года и графика колебания уровней р. Подгорная у г. Калач дает понимание того, что снежная и морозная зима, сменившаяся очень теплой весной благодаря резкому переходу температуры воздуха от отрицательных к положительным значениям, интенсивное таяние снега и высокая дружность весны являются основными причинами формирования выдающегося за последние десятилетия половодья, которое наблюдалось весной 2018 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. График среднесуточных температур за апрель 2018 г. – URL: http://weatherarchive.ru/Temperature/Voronezh/April-2018 (дата обращения: 12.03.2019 г.)

2. Дмитриева В.А. Экстремальная водность как фактор нарушения гидроэкологической безопасности в бассейне Дона / В.А. Дмитриева // Аридные экосистемы. – 2014. – №2. – С. 12-18.

3. Коронкевич Н. И. Экстремальные гидрологические ситуации. – Москва: 2005. – 368 с.

4. Паводок в Воронежской области. – URL: https://www.vrn.kp.ru/daily/26816.5/3852292/ (дата обращения: 20.03.2019 г.)

5. Чеботарев А. И. Гидрологический словарь. – Ленинград: Гидрометиздат, 1978. – 308 с.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФЛОРЫ ЭКОТОНОВ МАЛЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ НЕУСТОЙЧИВОГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

В.В. Соловьева
solversam@mail.ru

Самарский государственный социльно-педагогический университет, г.Самара, Россия

Малые водохранилища, созданные в долинах рек и оврагах, оказывают существенное влияние на ландшафты, преобразуя микроклимат, воздействуя на грунтовые воды, почвы, растительность и животный мир. В связи с этим они должны быть объектами мониторинга и комплексных экологических исследований. Динамика флоры экотонов «вода – суша» в различные годы исследований объясняется флуктуацией и импульсивной динамикой условий среды, связанными с гидрологическими и антропогенными изменениями. Реакция переходной зоны экосистем на природные и антропогенные изменения нашла отражение в таком структурном показателе, как флора. Изучение фиторазнообразия водоемов в разные годы является основой экологического мониторинга [3-6]. Ниже приведем анализ результатов мониторинга флоры экотонов пяти малых водохранилищ, созданных в условиях лесостепной и степной зон Среднего Поволжья (в границах Самарской области).

Кондурчинское водохранилище. Создано в 1981 году на базе р. Кондурчи, правобережном притоке реки Сок. Расположено оно в 2 км западнее села Славкино Сергиевского района. Расстояние от устья реки до гидроузла 253 км. Длина водоема 7 км. Максимальная ширина 2,5 км, минимальная – 0,9 км. Наибольшая глубина 11,5 м, средняя – 3,81 м. Площадь водного зеркала при НПУ равна 6,93 км^2. Площадь мелководий с глубиной до 2 м составляет 2,0 км^2. При создании водохранилища зарегулирован водоток рек Сок и Кондурчи. Площадь водосборного бассейна 388 км^2.

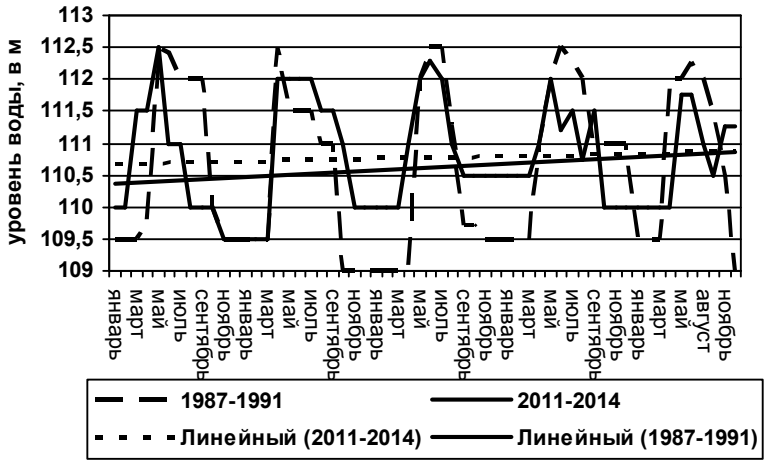


Рис. 1. Динамика и тренды гидрорежима Кондурчинского водохранилища

Водохранилище имеет мелиоративное значение. Благодаря Кондурчинской оросительной системе до 1990 г. под поливом было 4849 га, в 2014 г. – только 1604 га. В результате сокращения объемов водопользования происходил резкий спад уровня воды с отметки 112,5 до 109,5 см, то есть уровень воды с весны до осени изменялся в пределах 300 см (рис. 1). Это сдерживало развитие водных растений и способствовало формированию широкой зоны временного затопления, благоприятной для развития гигрофильного разнотравья. В последние годы в летний период амплитуда колебания уровня воды составила не более 100 см, что нашло отражение в изменении состава флоры экотонной зоны водоема.

Рассмотрим динамику флоры экотонной зоны Кондурчинского водохранилища за последние 25 лет. В 1990 году водную и прибрежно-водную флору водохранилища слагали 88 видов. В 1992 году было отмечено 95 макрофитов, в том числе, *Chara fragilis* Desv. и *Fontinalis antipyretica* Hedv. В 2015 г. на Кондурчинском водохранилище зарегистрировано 112 видов. В целом, флору образуют обычные, широко распространенные растения. Из водных заслуживают внимания *Myriophyllum verticillatum* L. и *Utricularia vulgaris* L., сравнительно редко встречающиеся в малых искусственных водоемах Самарской области и изредка – в прудах Среднего Поволжья.

За последние годы произошло увеличение видового состава растений всех экологических типов. В первые годы исследований было отмечено только 7 гидрофитов – *Ceratophyllum demersum* L., *Fontinalis antipyretica* Hedw., *Lemna minor* L., *Persicaria amphibia* (L.) S.F.Grey, *Potamogeton crispus* L., *P. pectinatus* L., *P. perfoliatus* L. В 1992 году среди выше названных, были отмечены *Potamogeton lucens* L. и *Lemna trisulca* L. В последнее время в приплотинном районе акватории появились *Myriophyllum verticillatum* L., *Spirodela polyrhiza* (L.) Schleid. и *Utricularia vulgaris* L. Ранее эти растения отмечались в русле Кондурчи, расположенном ниже плотины. Состав гелофитов изменился в первые годы наблюдений с 5 до 8 видов за счет появления таких растений как *Alisma gramineum* Lej., *Equisetum fluviatile* L. и *Scirpus lacustris* L. За период с 1992 по 2005 гг. состав гелофитов и гигрогелофитов остался почти неизменным [5]. Увеличение гигрофитов произошло с 20 до 30 видов. Ранее не отмечались *Bidens cernua* L., *Alopecurus aequalis* Sobol., *Equsetum palustre* L., *Epilobium roseum* Schreb., *Lycopus exaltatus* Fil., *Myosoton aquaticum* (L.) Moench, *Salix alba* L., *S. cinerea* L., *S. fragilis* L. и *Veronica anagallis-aquatica* L. Среди мезофитов появились *Melilotus dentatus* Waldst. et Kit.) Pers., *Rumex stenophyllus* Ledeb. и *Tussilago farfara* L.

По результатам мониторинга флоры в 2015 году экологический спектр экотонной зоны образуют 12 гидрофитов (11%), 8 гелофитов (7%), 12 гигрогелофитов (11%), 30 гигрофитов (27%) и 50 (45%) гигромезофитов и мезофитов.

Кутулукское водохранилище расположено на территории Богатовского и Борского районов, оно создано в среднем течении реки Кутулук, левого притока р. Большой Кинель. Водохранилище спроектировано в 1935 году, в 1939 году закончено строительство гидроузла, в 1941 году начато его наполнение. Нормальный подпорный уровень достигнут в 1943 году. Водохранилище представляет собой вытянутый водоем с мало изрезанной береговой линией и в большей части с приглубыми берегами. Питается водохранилище преимущественно за счет талых вод (89 %) и речной воды (11 %). Роль грунтовых вод незначительна. За время половодья в водохранилище поступает 105 млн. м3 талой воды. По характеру гидрологического режима водоем относится к типу с неустойчивым уровнем воды сезонного регулирования. Амплитуда колебания уровня превышает 100 см, в разные годы составляя от 150 до 250 см (рис. 2).

Первые сведения о флоре и растительности водохранилища приводятся С.М. Ляховым [1, 2]. Изучая водоем в 1945-1947 гг., он отмечал, «что вследствие приглубости берегов, периодического осушения и берегового прибоя, макрофиты в водохранилище развиты слабо и локализованы лишь в верховьях и некоторых левобережных заливах. Среди них доминируют стрелолист и рогоз. Реже распространены сусак, ежеголовник. Берега совершенно открыты, и на них до сих пор отсутствует какая-либо древесная или кустарниковая растительность, если не считать зарослей тальника, развившихся в последние годы по левому берегу в нижней его части» [1, с. 7].

В результате изучения флоры экотонной зоны Кутулукского водохранилища в 1991-2015 гг. было выявлено 97 видов высших растений, из которых 2 принадлежит к отделу Equisetophyta, а 95 – к Magnoliophyta. Из них 62 вида относятся к классу Magnoliopsida и 35 к – Liliopsida. Отмеченные виды относятся к 71 роду из 34 семейств, 20 из которых представлены 1 родом. Наибольшим числом родов и видов представлены семейства: Asteraceae – 16 видов, Poaceae – 9, Cyperaceae и Potamogetonaceae – по 7 видов, Salicaceae – 6, Lamiaceae – 5, Polygonaceae – 4 вида. Остальные 27 семейств содержат менее 3 видов, из них 14 представлены одним видом растения. Водное ядро флоры, или гидрофиты представлены 12 видами из 5 родов и 4 семейств. Прибрежную флору слагают 85 видов из 29 семейств и 65 родов.

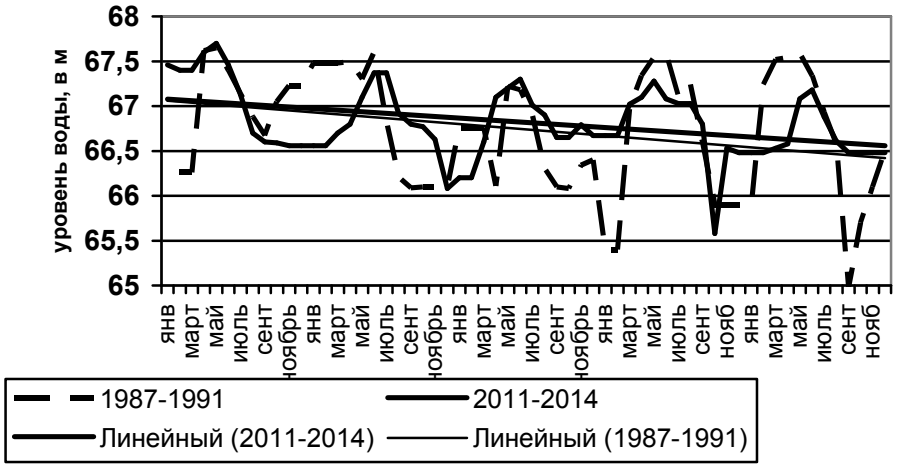


Рис. 2. Динамика и тренды гидрорежима Кутулукского водохранилища

Экологический спектр флоры экотонов представляют гидрофиты – 12 видов, гелофиты - 10, гигрогелофиты – 12, гигрофиты – 19, гигромезофиты и мезофиты – 44 вида. По сравнению с 1991 годом [4], видовой состав растений водохранилища изменился с 77 до 97 видов. Причиной изменения видового состава служат различные факторы. Состав гидрофитов изменился за счет появления во флоре гидрохорных и орнитохорных растений – *Ceratophyllum demersum* L., *Lemna trisulca* L., *Spirodela polyrhiza* Schleid, *Potamogeton biformis* Hagstr и *P.* x *biformoides* Papch.

Из гелофитов появилось анемохорное растение *Alisma gramineum* Lej. и гидрохор *Sparganium erectum* L. Не отмечались ранее во флоре и такие гигрогелофиты как *Hyppuris vulgaris* L. и *Rorippa amphibia* (L.) Bess. Среди гигрофитов появились антропохорное растение – *Bidens frondosa* L., анемохорное – *Salix viminalis* L., а также *Myosoton aquaticum* (L.) Moench.

Состав заходящих в воду береговых растений – гигромезофитов и мезофитов увеличился с 33 до 39 за счет появления таких видов как *Ambrosia trifida* L., *Cucubalis baccifer* L., *Persicaria lapatifolia* (L.) S.F. Gray, *Solanum dulcamara* L., *Tussilago farfara* L.

Черновское дохранилище расположено на территории Волжского района. Создано оно в 1953 году на базе левобережного притока р. Самары – реке Черной, в 3 км от с. Черноречье. Площадь водосбора составляет 196 км^2. Мезорельеф пологоувалистый со слабой расчлененностью балками и оврагами. При минимальном наполнении водоема его поверхность достигает 455 га. Черновское водохранилище имеет длину до 6 км при ширине около 1 км. Наибольшая глубина составляет 11,6 м. Дно илистое, с примесью песка, мелкозема и растительных остатков. Гидрорежим неустойчивый, амплитуда колебания в разные годы составляет от 1,5 до 2,5 м (рис. 3). Тренды гидрорежима показывают, что в последние годы для водоема отмечается небольшое повышение уровня воды, что связано со снижением водопоотребления на орошение с 6752 га до 2987 га.

Впервые флора Черновского водохранилища изучалась сотрудниками кафедры ботаники Куйбышевского пединститута в 1974 году. Тогда было отмечено 66 видов растений из 18 семействами и 46 родов. В процессе изучения водоема и его побережий в 1989 году было отмечено 79 видов высших растений. Экологический спектр флоры представляли мезофиты - 35 видов, гигрофиты - 17, гигрогелофиты - 8, гелофиты – 8 и гидрофиты - 11 видов растений. В 1989 году не были отмечены виды – *Typha laxmannii* Lepech. и *Alisma lanceolata* L. Из гидрофитов ранее не произрастал *Potamogeton gramineus* L.

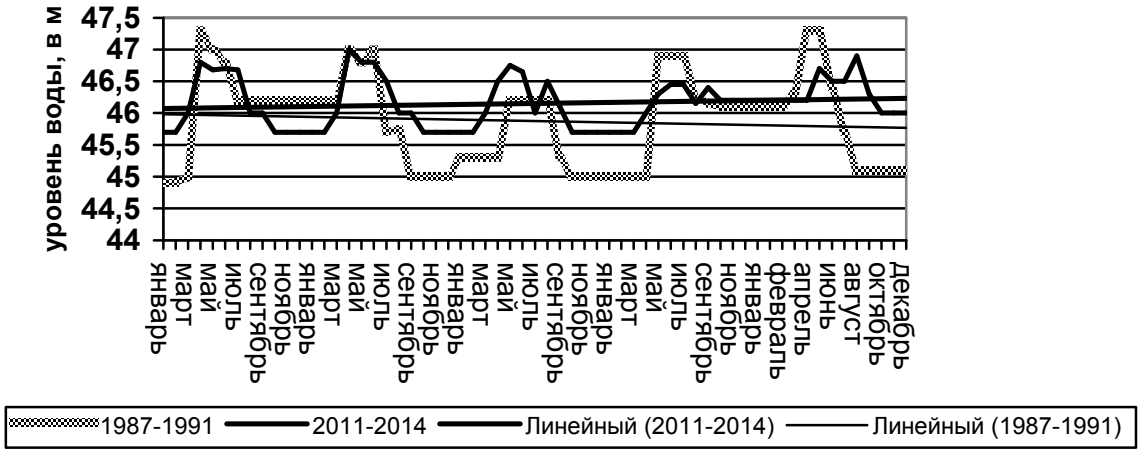


Рис. 3. Динамика и тренды гидрорежима Черновского водохранилища

После 1974 года во флоре Черновского водохранилища были инвентаризированы *Carex acuta* L., *Scirpus lacustris* L., *Eleocharis palustris* (L.) Roem et Schult), *Bolboschoenus koshevnikovii* (Litv.) A.E. Kozhevnikov, *Mentha arvensis* L., *Scutellaria galericulata* L., *Stachys palustris* L., *Tussilago farfara* L., *Alopecurus geniculatus* L., то есть растения переувлажненных и достаточно услажненных местообитаний. Ранее на сыром побережье не произрастали *Lysimachia vulgaris* L., *L. nummularia* L., *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert и другие гигромезофиты.

В результате гидроботанических исследований 29-31 июля 2005 г. во флоре экотонной зоны Черновского водохранилища зарегистрировано 90 видов растений, из них 12 гидрофитов, по 9 видов гелофитов и гигрогелофитов, 20 гигрофитов и 40 гигромезофитов и мезофитов. Увеличение числа видов, составляющих основу растительного покрова вре-

менно затопляемой части побережья водохранилища происходит, главным образом, за счет гирофитных и гигромезофитных групп растений. За последние годы появились – *Potamogeton perfoliatus* L., *Phragmites altissimus* (Benth.) Nabille, *Oenanthe aquatica* (L.) Poir., *Carex melanostachya* Bieb ex. Willd., *Epilobium hirsutum* L., *Rorippa austriaca* (Crantz.) Bess., *Angelica archangelica* L., *Calystegia sepium* (L.) R. Br., *Euphorbia palustris* L., *Rumex stenophyllus* Ledeb., *Senecio tataricus* Less.

Ветлянское водохранилище расположено на территории Нефтегорского района в бассейне реки Самары. Оно создано в 1951 г. на базе р. Ветлянки, притоке р. Съезжей, впадающем в реку Самару. Длина водоема – 7 км, максимальная глубина до 12 м. Максимальная ширина 2,05 км. Мелководья с глубиной до 2 м занимают 3,45 км^2. Площадь водосбора 366 км^2. В связи с развитием сельского хозяйства водосборная территория реки Ветлянки в настоящее время более чем на 75 % распахана, что привело к уменьшению ее водности, увеличению потока твердого материала в водохранилище и, как следствие этого, его интенсивному заилению.

По наблюдениям в 2005-2015 гг., гидроузел не функционировал, подача воды из водохранилища прекращена, шлюзы закрыты, трубы, связывавшие водоем с нижнем бьефом реки забетонированы. На водоеме продолжается снижение уровня воды, обмеление и активный процесс зарастания. Вероятно, что прекращение действия гидротехнического сооружения связано не только с сокращением орошаемых сельхозугодий, но и с активизацией в последние годы работ по нефтедобыче на территории Нефтегорского района.

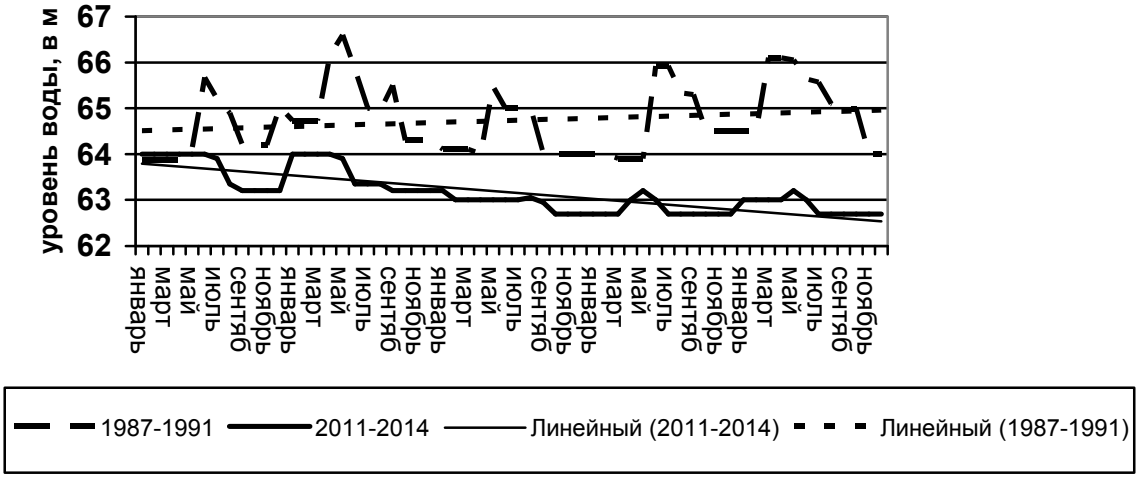


Рис. 4. Динамика и тренды гидрорежима Ветлянского водохранилища

Впервые Ветлянское водохранилище изучалось в 1987 году [6]. Тогда в составе флоры указывалось 61 вид прибрежно-водных и водных растений. В 1996 году проводилось повторное изучение флоры, в результате зарегистрировано 63 вида высших растений из 23 семейств и 45 родов. По последним данным (25-28 августа 2005 г.) в экотонной зоне водохранилища зарегистрировано 84 вида растений из 28 семейств и 77 родов. Экологический спектр флоры экотонов в настоящее время представляют: 34 гигромезофита и мезофита, 21 гигофит, 6 гигрогелофитов, 10 гелофитов и 13 гидрофитов. Стабильный состав характерен для гелофитов и гигрогелофитов. Основные изменения в составе флоры коснулись крайних групп гидрофитов, гигрофитов и гигромезофитов. Таким образом, переменность режимов экологической среды является важным фактором повышения видового богатства экотонов.

Таловское водохранилище расположено в степной зоне, на территории Сыртовой равнины, в провинции Сыртового Заволжья. Водохранилище создано на р. Таловке, левобережном притоке р. Журавлихи, впадающем в р. Большой Иргиз. Водоем находится в 4,5 км ниже села Благодатовка Большеглушицкого района. Он создан в 1951 году, в

1953 году начато его наполнение, до проектной отметки заполнен в 1955 году. Площадь водосбора 90 км^2. При создании водохранилища зарегулирован водоток рек Таловка, Журавлиха и Большой Иргиз. Водоем имеет вытянутую форму и слабоизрезанную береговую линию.

Площадь водного зеркала 1,72 км^2, длина около 4,5 км, максимальная ширина 1,05 км, минимальная – 0,38 км. Средняя глубина водоема – 2,5 м, максимальная - 11,3 м. Лед появляется обычно в конце ноября, а сходит в начале апреля. Толщина льда достигает 0,8 м. Период половодья длится с 29 марта по 10 апреля. Дно покрыто слоем ила с примесью песка, мелкозема и растительных остатков. Таловское водохранилище относится к водоему с неустойчивым уровнем воды сезонного регулирования (рис. 65). Вода используется для мелиорации. В 1990-е годы площадь орошаемых земель составляла 474 га, по данным управления ФГУ «Самарамелиоводхоз» в 2014 году Таловской оросительной системой производится полив 442 га, то есть площадь гидромелиорации изменились незначительно, сократившись всего на 32 га. Однако характер гидрологического режима в последние годы стал более резким с явной тенденцией к понижению уровня воды до 1 м, что иллюстрирует на графике линия тренда за 2000-2014 гг.

Впервые водохранилище изучалось в 1990 году. Тогда в составе флоры экотонов отмечалось 65 видов растений. В 2005 г. – 89 видов, из которых 30 принадлежит к классу Liliopsida и 59 – к Magnoliopsida из отдела Magnoliophyta, кроме того, отмечен один вид харовой водоросли – *Chara vulgaris* L. emend. Wallr. При изучении флоры встречено редкое растение, рекомендованное для занесения в Красную книгу Самарской области – *Caulinia minor* (All.) Coss. et Germ. Прибрежную флору слагают 76 видов из 27 семейств и 58 родов. К классу Magnoliopsida относится 41 вид растений, к Liliopsida – 17 видов. По числу видов преобладают семейства Asteraceae – 13 видов, Poaceae – 8, Cyperaceae – 7 и Polygonacea – 5 видов, 14 семейств представлены 1 видом.

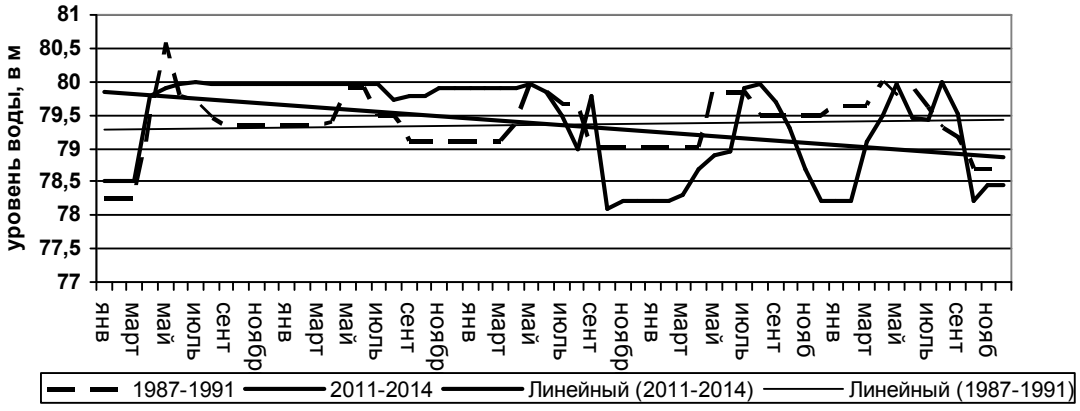


Рис. 5. Динамика и тренды гидрорежима Таловского водохранилища

Все встреченные виды относятся к 5 экологическим типам: гидрофиты – 12 видов, гелофиты и гигрогелофиты – по 9, гигрофиты – 26 видов, гигромезофиты и мезофиты – 33 вида. Сравнение экологического состава флоры в различные годы исследований показало, что как и на других водоемах, наиболее стабильной по числу видов являются гелофиты и гигрогелофиты. Сильно изменился состав заходящих в воду береговых видов растений – гигрофитов с 28 до 33 видов, что связано с резким изменением гидрорежима и появлением в период обсыхания обширной зоны временного затопления, благоприятной для произрастания гигрофитов.

Изменился качественный состав флоры. Так среди гидрофитов в 2015 году не были отмечены *Potamogeton gramineus* L., *Utricularia vulgari*s L. и *Riccia fluitans* L., входившие в состав водных фитоценозов в 1990-1991 годах. В 2015 году в составе водного ядра появились *Chara vulgaris* L. emend. Wallr., *Najas major* All., *Caulinia minor* (All.) Coss. Et

Germ., *Ceratophyllum demersum* L. Из гелофитов ранее не отмечались *Alisma gramineum* Lej., *Sparganium erectum* L., *Typha latifolia* L. Среди гигрогелофитов впервые отмечен *Rorippa amphibia* (L.) Bess. жерушник земноводный. В 2015 году в составе гигрофитов появились *Alopecurus aequalis* Sodol., *Bidens frondosa* L., *Eleocharis acicularis* (L.) Roem. & Schult., *Cyperus fuscus* L., *Lythrum salicaria* L., *Mentha aquatica* L., *Ranunculus sceleratus* L. и другие виды растений. Увеличение числа гигромезофитов произошло за счет появления таких видов как *Amoria repens* L., *Persicaria lapathifolia* (L.) S.F. Gray, *Rumex marschallianus* Reichenb**.** и других растений.

Различные экотипы растений, входя в состав экотонных растительных сообществ, могут обеспечить их устойчивость при чередующихся условиях обводнения [7]. Благодаря механизму обратной связи, поддерживается возможная гомеостатичность и жизнеспособность экологической системы, в результате она может не только сопротивляться внешним нагрузкам, но и восстанавливаться, после разрушения структуры, когда внешняя нагрузка снята. Способность экосистемы противостоять изменениям внешних условий характеризует ее выносливость. Функционирование экотонной экосистемы в асинхронных динамичных условиях среды происходит благодаря свойству экологической гибкости. При этом под *экологической гибкостью* понимается свойство экосистемы легко изменяться в ответ на внешнее управление и восстанавливаться, когда внешняя нагрузка снята. Таким образом, экотонная экосистема не простая совокупность элементов смежных подсистем (наземной и водной), а система с качественно новыми, эмерджентными свойствами. Ведущим фатором функционирования прибрежно-водных экотонных систем является гидрорежим. В условиях динамичности факторов среды, при изменении уровня воды в сторону максимума (высокий уровень воды) не создаются условия для развития всех структурных элементов, обеспечивающих необходимую устойчивость, выносливость и упругость переходной зоны (экотонной системы). Фактор случайности или неустойчивости экосреды одновременно выступает фактором стабильности, поскольку он приводит к отбору адаптаций гидробионтов к изменчивым условиям среды через морфологическую и генетическую вариабельность (водных, наземных, земноводных, стерильных, миниатюрных, гибридных форм).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ляхов С.М. Бентос Кутулукского водохранилища // Автореф. дис. канд. биол. наук. – 1949. – 7 с.

2. Ляхов С.М. О значении полезащитных лесных полос для повышения биологической продуктивности степных водоемов // Природа. – 1949. – N5. – С. 64 - 68.

3. Соловьева В.В. Динамика флоры речных водохранилищ Самарской области за период с 1984 по 2005 гг. // Доклады Московского общества испытателей природы. Т. 39: Биотехнология охране окружающей среды. – М.: МГУ, 2006. – С. 161-165.

4. Соловьева В.В. Геоэологические условия и динамика растительного покрова Кутулукского водохранилища // Известия Самарского Научного Центра РАН. Т. 8, № 1. Спец. выпуск «Актуальные вопросы экологии». – 2006. – Вып. 5. – С. 316-331.

5. Соловьева В.В. Динамика флоры и растительности Кондурчинского водохранилища за период 1990-2005 гг. // Современные проблемы ботаники: Материалы конференции, посвященной памяти В.В. Благовещенского. Ульяновск, 28 февраля – 1 марта 2007 г. Сборник научных статей. – Ульяновск: УлГПУ, 2007. – С. 183-192.

6. Соловьева В.В. Матвеев В.И. Флора и растительность Ветлянского водохранилища // Интродукция, акклиматизация, охрана и использование растений. – Куйбышев: Куйб. гос. ун-т, 1991. – С. 32-46.

7. Соловьева В.В. Структура и динамика растительного покрова экотонов природно-технических водоемов Среднего Поволжья. Дисс. на соиск. …. д.б.н. Тольятти. – 2007. – 494 с.

КАМЕННЫЕ ГЛЕТЧЕРЫ И ПРИЛЕДНИКОВЫЕ ОЗЕРА КАК СЛЕДСТВИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА

Д.И. Тебиева, Г.А. Туаев
d_tebieva@mail.ru

Северо-Осетинский государственный университет, г.Владикавказ, Россия

Глобальное сокращение оледенения в восточной части Центрального Кавказа (в административных границах РСО-Алания) привело к расширению перигляциальной зоны – субнивального пояса, и усложнению его морфологической структуры. Освободившиеся ото льда пространства осваивались каменными глетчерами и приледниковыми озерами. Эти образования занимают высотный интервал от 3200 м до 1600 м, и являются неотъемлемой частью высокогорий восточной части Центрального Кавказа.

Наблюдаемые в высокогорьях изменения природы представляют собой сложную динамику, которая включает самые разнородные явления и процессы, в связи с этим различают хорологическую, структурную, временную, и направленную динамику.

Хорологическая динамика проявляется в пространственном изменении границ ландшафтных комплексов, в частности, в отступании кромки ледников и поднятии верхней границы субнивального пояса.

Структурная динамика – это изменение морфологического строения ландшафтного комплекса и взаимосвязей между слагающими его структурными частями. В нашем случае происходит усложнение структуры высокогорных ландшафтов за счет появления новых морфологических элементов: приледниковых озер и каменных глетчеров. Причем, если озера можно рассматривать как недолговечную структуру, тесно связанную с ледником и его отложениями, то каменные глетчеры в течение длительного времени создают сложные разновозрастные комплексы, способные выходить за границы материнского высотного пояса в нижележащие пояса.

В понятие временной динамики включаются все циклические, ритмические и периодические изменения. Это могут быть моментальные (катастрофические) изменения, например, прорыв приледникового озера, сход лавины, селя и т.п., суточные и сезонные ритмы, обеспечивающие функционирование ландшафта, периодические изменения, связанные с повторением состояний ландшафта. На фоне всех этих изменений проявляется направленная динамика – это развитие, предполагающее односторонние направленные изменения ландшафта. В настоящее время в высокогорьях Восточной части Центрального Кавказа наблюдается прогрессивное развитие от низшего к высшему, от простого к более сложному. Несмотря на регресс оледенения, происходит прогрессивное развитие нижележащих высотных поясов.

Новейшие исследования высокогорий восточной части Центрального Кавказа, выявили повсеместное распространение в субнивальном поясе каменных глетчеров и приледниковых озер. К настоящему времени выявлено более 148 каменных глетчеров и около 140 приледниковых озер. Проведена их генетическая классификация, определены морфология и морфометрия [2, 4].

Каменные глетчеры формируются в субнивальном поясе под скальными стенками хребтов чуть ниже снеговой линии, то есть вслед за отступающими ледниками. Накопленные за сотни лет обломки горных пород, цементируются, талыми водами и атмосферными осадками путем повторной кристаллизации и, благодаря пластичности льда, сползают вниз по склону. Различают активные, неактивные и отмершие (древние) каменные глетчеры. Само по себе выделение столь разных по функционированию типов каменных глетчеров говорит о длительном периоде их формирования: начиная с позднего неоплейстоцена до настоящего времени [1].

Приуроченность каменных глетчеров к формам различной крутизны приводит к возникновению различных практических эффектов. Будучи расположенными на днищах крутизной 20-30°– они могут являться очагами зарождения селевых потоков. А каменные глетчеры, приуроченные к пологим днищам ущелий до 5-15°, дают начало многочисленным водотокам, которые уже сейчас стихийно используются местным населением. Детальное изучение топографии источников, стекающих с каменных глетчеров, позволит более широко и экономично использовать практически дистиллированную воду в промышленных, хозяйственно-бытовых целях, для водоснабжения рекреационных учреждений и других социально-экономических объектов. А в случае полной деградации ледников, талые воды каменных глетчеров способны в будущем неопределенно долго поддерживать водный режим бассейна р. Терек [3].

В конце 20 века на территории Северной Осетии насчитывалось не более десятка приледниковых озер, сейчас они встречаются повсеместно. Размеры озер колеблются от 10 до 900 м, большинство из них (более 90) относится к морено-запрудному типу. Для них характерна недолговечность и прорывоопасность и как следствие – селевая опасность.

Озера, возникшие в понижениях коренных кристаллических пород долговечны, не являются прорывоопасными и увеличивают рекреационный потенциал территории (фото, рис. 1).

Эти факты позволяют по-новому трактовать последствия сокращения оледенения, дополнить характеристику высокогорных ландшафтов новыми элементами, расширить представления о возможных источниках зарождения опасных природных процессов.

С прикладной точки зрения, пересмотр пространственно-временной структуры ландшафтов Северной Осетии, дает основание для проведения инвентаризации природных ресурсов, прежде всего водных, и оценки рекреационного потенциала территории.

Рис 1. Ледники и каменные глетчеры Дигории (РСО-Алания) (Фото Р.А. Тавасиева)

ЛИТЕРАТУРА

1. Растворова В.А. Формирование рельефа гор (на примере Горной Осетии). – М.: «Наука», 1973. – 143 с.

2. Тавасиев Р.А., Тебиева Д.И. Приледниковые озера Северной Осетии и опасность их прорыва // ГеоРиск. – 2013. – №3. – С. 30-33.

3. Тавасиев Р.А., Тебиева Д.И. Альтернативные источники водоснабжения высокогорного курорта «Мамисон» // Устойчивое развитие горных территорий. – 2014. – № 4. – С. 80-83.

4. Тебиева Д.И., Тавасиев Р.А. Пояс каменных глетчеров в структуре высотной поясности высокогорий восточной части Центрального Кавказа // Устойчивое развитие горных территорий. – 2014. – № 2. – С. 76-83.

УЧЕТ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ НА РЕКАХ ПРИМАГАДАНЬЯ

М.В. Ушаков
mvilorich@narod.ru

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт имени Н.А. Шило ДВО РАН, г.Магадан, Россия

В муниципальное образование «Город Магадан» входят г. Магадан, поселки Дукча, Снежный, Снежная Долина, Уптар, Сокол, Сплавная и аэропорт «Магадан» - далее Примагаданье. Реки Примагаданья служат для водоснабжения населения и предприятий. В отдельные годы Примагаданье испытывает дефицит воды, несмотря на то, что здесь функционирует три водохранилища [3].

На планете наблюдаются глобальные изменения климата. В течении XXI века средняя температура воздуха будет продолжать повышаться [2]. Климатические изменения приводят и к изменениям гидрологического режима рек [10; 11; 12]. Поэтому перед гидрологами встает вопрос, как определять расчетные гидрологические характеристики в условиях меняющегося климата.

В данной работе ставится цель разработать схему расчета модуля годового стока рек Примагаданья различной обеспеченности при разных сценариях потепления климата.

Все реки исследуемого района принадлежат бассейну северной части Охотского моря и расположены в зоне островного и прерывистого распространения многолетней мерзлоты [1].

В работе использованы данные о годовом стоке рек Примагаданья на 10 гидрологических постах (табл. 1).

Таблица 1. Параметры кривых обеспеченности годового стока рек Примагаданья, рассчитанные по рядам за 1987-2016 гг.

Река - пункт	Площадь водосбора, км^2	Средний модуль годового стока, л/(с·км^2)	C_v	C_s/C_v
р. Дукча – п. Снежная Долина	119	26,1	0,34	2,5
р. Дукча – устье	330	18,5	0,28	0,5
р. Магаданка – г. Магадан	48,5	25,8	0,27	2
р. Магаданка – устье р. Каменушки	74,7	23,1	0,29	2
р. Магаданка – мост Колымского шоссе	155	19,5	0,31	1,5
р. Каменушка – в 8 км от устья	40,3	20,9	0,29	1
р. Каменушка – в 3,3 км выше плотины	58,8	19,6	0,34	0,5
руч. Спутник – устье	2,25	24,2	0,49	2,5
руч. Солнечный – устье	3,57	13,3	0,27	5,5
р. Уптар – п. Уптар	265	17,6	0,31	4

Примечания: C_v – коэффициент вариации; C_s – коэффициент асимметрии.

Восстановление пропусков наблюдений и удлинение рядов производилось методом гидрологической аналогии.

Многолетние данные о температуре воздуха и атмосферных осадках получены на сайте Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации–Мирового центра данных.

Все ряды стока однородны по дисперсии, однако имеются тренды на повышение, так среднемноголетние модули годового стока выросли на 10-27 % (табл. 2). Поэтому в таблице 1 параметры кривых обеспеченности годового стока рассчитаны по рядам за период 1987-2016 гг.

Ряды годового стока, среднегодовой температуры воздуха и годовой суммы атмосферных осадков в г. Магадане были представлены в виде скользящих 30-летних средних (рис. 1). По графикам скользящих 30-летних средних можно видеть, как со временем меняются «нормы». Так, например, увеличение суммы осадков и речного стока за год началось с «нормы», рассчитанной за период 1977-2006 гг., а рост температуры начался еще раньше. Учитывая это, рассмотрим корреляционные связи рассматриваемых гидрометеорологических характеристик, начиная с «норм» рассчитанных за 1977-2006 гг. и заканчивая «нормами» за 1987-2016 гг. (рис. 2).

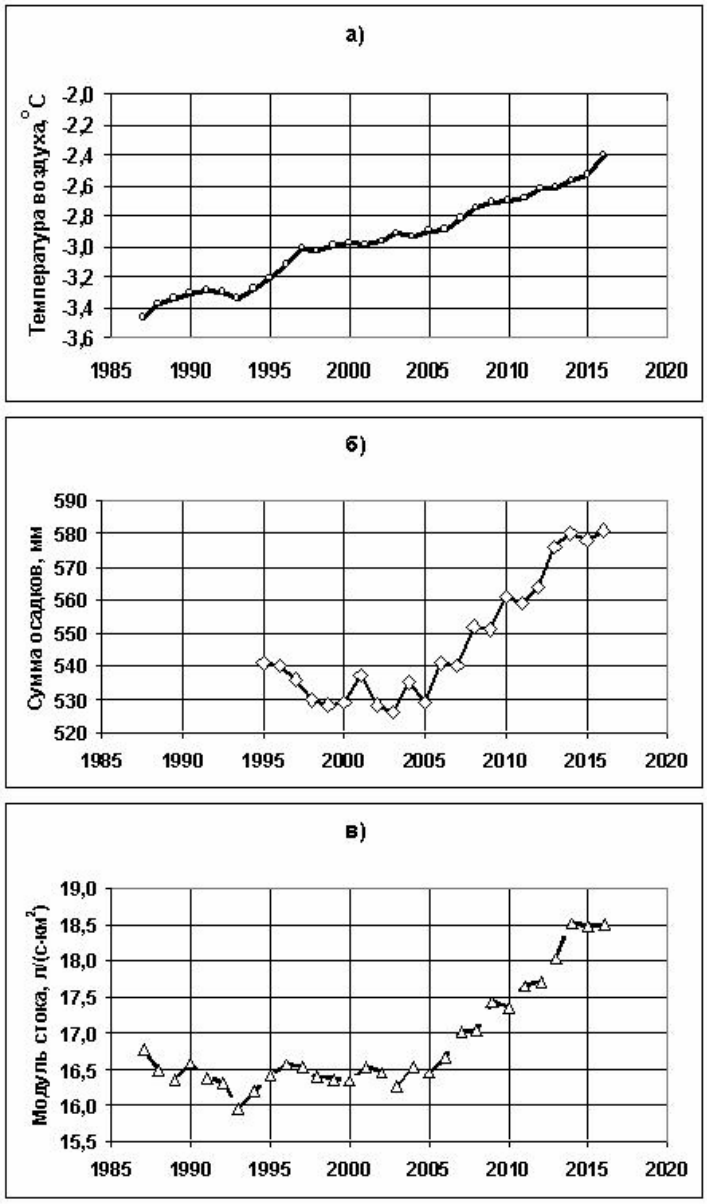


Рис. 1. Многолетний ход 30-летних скользящих средних температуры воздуха (а), годовой суммы осадков (б) в г. Магадане и модуля годового стока р. Дукчи в устье (в). По оси абсцисс – годы окончания 30-летних периодов осреднения.

Судя по коэффициентам корреляции r, связи довольно тесные

$$P30_i = 103t30_i + 836,\ r = 0{,}93, \quad (1)$$

$$M30_i = 0{,}041P30_i - 5{,}38,\ r = 0{,}96, \quad (2)$$

$$M30_i = 4{,}46t30_i + 29{,}54,\ r = 0{,}94, \quad (3)$$

где $P30_i$, $t30_i$, $M30_i$ – скользящие 30-летние средние годовой суммы осадков (мм), среднегодовой температуры воздуха (°С) и модуля годового стока р. Дукчи в устье (л/(с·км^2)) соответственно; i – год окончания 30-летки (i = 1986, 1987, …, 2016).

Существует множество сценариев повышения среднегодовой температуры воздуха на планете в XXI веке. Поэтому по формулам (1), (2), (3) можно рассчитывать «нормы» годовой суммы осадков в г. Магадане и модуля годового стока р. Дукчи при различных вариантах потепления. Так, например, если к 2050 г. среднегодовая температура воздуха в г. Магадане поднимется на 1°С по отношению к «норме», рассчитанной за 1987-2016 гг. (достигнет величины -1,4°С), то «норма» модуля годового стока за 2021-2050 гг. увеличится на 26 % и составит 23,3 л/с (с·км^2). По аналогичной схеме можно составить расчетные формулы вида (3) и для других рек Примагаданья.

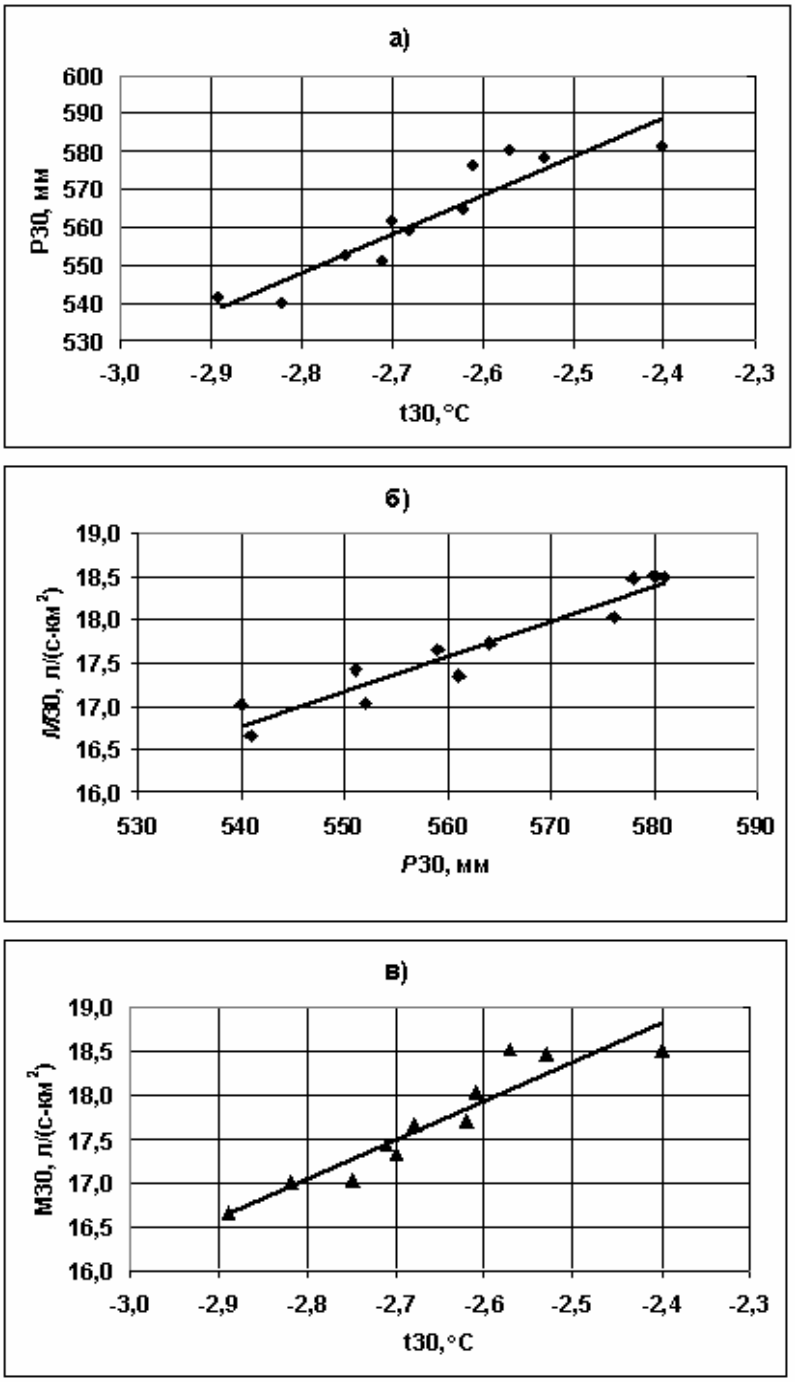


Рис. 2. Связи скользящих 30-летних средних: годовых сумм осадков со средними температурами воздуха за год в г. Магадане (а), модулей годового стока р. Дукчи в устье с годовыми суммами осадков (б) и температурой воздуха за год (в).

Таким образом, при построении кривых обеспеченности годового стока для различных сценариев потепления климата в табл. 1 необходимо вносить исправленную

«норму» модуля стока по формуле (3). Для примера в табл. 3 приведены ожидаемые «нормы» модулей стока р. Дукчи в устье при трех сценариях климатических изменений.

Таблица 2. Среднемноголетние модули годового стока

Река - пункт	Средний модуль годового стока за	
	1958-1986 гг.	1987-2016 гг.
р. Дукча – п. Снежная Долина	22,5	26,1
р. Дукча – устье	16,8	18,5
р. Магаданка – г. Магадан	21,8	25,8
р. Магаданка – устье р. Каменушки	19,4	23,1
р. Магаданка – мост Колымского шоссе	17,7	19,5
р. Каменушка – в 8 км от устья	18,3	20,9
р. Каменушка – в 3,3 км выше плотины	16,8	19,6
руч. Спутник – устье	19,1	24,2
руч. Солнечный – устье	11,6	13,3
р. Уптар – п. Уптар	15,7	17,6

Таблица 3. «Нормы» модуля годового стока р. Дукчи в устье при различных сценариях потепления климата

Река - пункт	Средний модуль годового стока (л/с(с·км^2)) при повышении «нормы» среднегодовой температуры воздуха на		
	0°С	1°С	2°С
р. Дукча – устье	18,5	23,3	27,8

Для этих сценариев построены кривые обеспеченности модуля годового стока р. Дукчи (рис. 3).

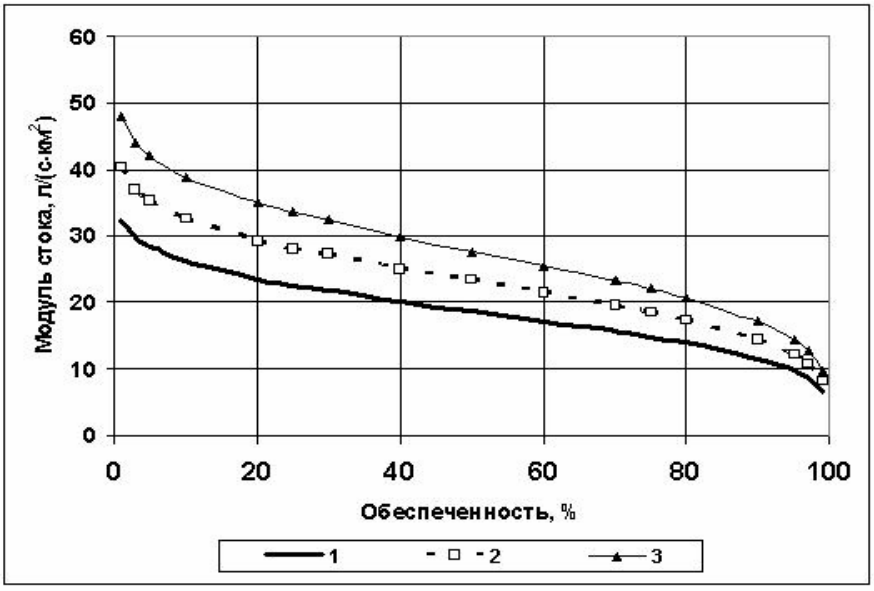


Рис. 3. Кривые обеспеченности модуля годового стока р. Дукчи в устье в современных условиях (1), при увеличении «нормы» среднегодовой температуры воздуха в г. Магадане на 1°С (2) и на 2°С (3)

Таким образом, для учета климатических изменений предложена следующая схема расчета годового стока рек различной обеспеченности:

1. По натурным рядам наблюдений строим связь скользящих 30-летних средних модулей годового стока в исследуемом створе реки и среднегодовой температурой воздуха ближайшей метеорологической станции и получаем параметры формулы (3).

2. Пользуясь формулой (3) определяем, какая «норма» ожидается при выбранном проектировщиком сценарии изменения климата.

3. По полученным параметрам кривой обеспеченности определяем модули годового стока различной обеспеченности.

(Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-60036)

ЛИТЕРАТУРА

1. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 515 с.

2. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1: Изменение климата. – М.: Росгидромет. 2008. – 277 с.

3. Ушаков М.В. Гидрометеорологические аспекты рационального использования водных ресурсов Магаданской области / В сб.: Тезисы докладов Региональной научной конференции «Северо-Восток России: прошлое, настоящее, будущее». – Магадан, Администрация Магаданской области, 1998. – с. 240-241.

4. Gartsman B. I., Lupakov S. Yu. Effect of Climate Changes on the Maximal Runoff in the Amur Basin: Estimation Based on Dynamic–Stochastic Simulation // Water Resources, 2017. – Vol. 44. – No. 5. – Pp. 697–706. DOI: 10.1134/S0097807817050062.

5. Khazheeva Z. I., Plyusnin A. M. Variations in Climatic and Hydrological Parameters in the Selenga River Basin in the Russian Federation // Russian Meteorology and Hydrology, 2016. – Vol. 41. – No. 9. – Pp. 640–647. DOI: 10.3103/S1068373916090077.

6. Makhmudov R. N. Regional Climate Changes and River Runoff in Azerbaijan // Russian Meteorology and Hydrology, 2016. – Vol. 41. – No. 9. – Pp. 635–639. DOI: 10.3103/S1068373916090065.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РЕК ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ПО ДИСТАНЦИОННЫМ И НАЗЕМНЫМ ДАННЫМ

Н.Л. Фролова, В.Ю. Григорьев, М.Б. Киреева, М.А. Харламов
frolova_nl@mail.ru

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия

Введение. На европейской территории России (ЕТР) в последние десятилетия происходят заметные изменения в стоке рек. Его колебания зачастую представляют в виде двух условно стационарных периодов. Временем нарушения стационарности для большинства рек является 1977 - 1978 гг. Подобный выбор даты нарушения стационарности обусловлен с одной стороны результатами статистической проверки, а с другой – наблюдаемым в середине 1970-х годов «климатическим сдвигом» [4], выразившимся прежде всего в интенсивном росте температуры воздуха. При этом для метеорологических параметров (температура воздуха, количество осадков, дефицит влажности и др.), в отличие от речного стока, период с 1976 г. не рассматривается как стационарный. Целью данной работы является анализ изменения основных составляющих водного баланса (осадков (*P*), испарения (*E*) и бассейновых влагозапасов (*TWS* – terrestrial water storage), а также потенциального испарения (PET)) и связанными с ними изменениями речного стока (*R*) - многолетних и сезонных изменений характеристик водного режима рек ЕТР и метеорологических факторов, их обусловливающих.

Материалы и методы. В работе использованы данные 416 гидрометрических постов (с суточными данными 27), 705 метеостанций (625 из которых находятся в пределах ЕТР), включающие срочные измерения и суточные величины, данные о запасах воды в

снежном покрове по 284 снегомерным маршрутам по данным ВНИИГМИ – МЦД, влажность почвы по данным ре-анализа ERA-Interim. Для сравнения слоя годовых осадков за 1945-1977 гг.и 1978-2015 гг.использован массив откорректированных среднемесячных осадков, включающий, однако, лишь 163 станции. В работе использовался также сеточный набор данных E-OBS. Он был получен путем интерполяции данных станции ECA&D (European Climate Assessment and Data). Набор данных станции включает в себя сеть из 2316 станций с самой высокой плотностью станций в Ирландии, Нидерландах и Швейцарии и самой низкой плотностью в Испании, Северной Африке, на Балканах и в Северной Скандинавии. Количество станций, используемых для интерполяции, различается по времени и по переменным. Полный период записи, используемый для интерполяции методом кригинга - 1950–2013 гг. Формат данных представляет собой $0{,}25^{o}$ x $0{,}25^{o}$ сетку для всей Европы, включая ЕТР.

Кроме того, в работе использованы величины бассейновых влагозапасов по данным проекта GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment), находящиеся в открытом доступе в сети интернет. Спутники-близнецы GRACE работали на орбите 15 лет, выполняя мониторинг гравитационного поля Земли. В 2017 г. им на смену последовала миссия GRACE FO. Гравиметрические спутники предоставляют гидрологическую и геодинамическую информацию, позволяют отслеживать последствия изменений климата. Аномалии бассейновых влагозапасов рассчитываются по изменению гравитационного поля Земли [3].Эти данные имеют разрешение порядка 1°x1°, с временной дискретностью 1 месяц и доступны начиная с апреля 2002 г. Ошибка данных составляет порядка 20-25 мм и убывает при увеличении площади осреднения, для крупных речных бассейнов (F> 1 млн км^2) она составляет 7-10 мм.

Результаты и обсуждение. *Осадки.* В целом для ЕТР за 1978 – 2015 гг. по сравнению с 1945 – 1977 г. произошел рост слоя осадков. Уменьшение слоя осадков (в пределах 3%) наблюдается лишь на Черноморском побережье, на севере между 40° и 50° восточной долготы и на юге Урала. На большей части ЕТР рост составил 6-9%. Наибольший рост (свыше 9%) имеет место на юге бассейна Дона, на севере бассейна Камы, в бассейне Волги между Казанью и Саратовом, некоторых районах Кубани, Терека, западе ЕТР и Кольского полуострова. Таким образом, единственным вододефицитным регионом, где произошло некоторое снижение слоя осадков, является юг бассейна Урала. Неравномерность осадков теплого периода с 1976 г. в целом немного снизилась, увеличившись лишь на севере ЕТР и в районе Прикаспия. Уменьшение неравномерности осадков связано с уменьшением их количества. Максимальные суточные осадки, напротив, несколько выросли, хотя картина их изменений на ЕТР весьма пестрая. Наиболее значительные изменения произошли с количеством дней с осадками за теплый период. Почти на трети станций (33.1%) наблюдаются значимые при α=5% изменения (по коэффициенту корреляции Пирсона), причем лишь у 2.9% станций они положительные.

Средняя интенсивность осадков теплого периода увеличилась практически на всей ЕТР. Наравне со средней интенсивностью осадков выросла и их максимальная величина, местами более чем на 15%. Наиболее значимые последствия рост максимальных суточных осадков имеет в районе Кавказа, являющегося, по совокупности природных и социально-экономических факторов, одним из наиболее уязвимых к наводнениям. Рост максимальных суточных осадков наблюдается и в других районах ЕТР, подверженных наводнениям, но там генезис наводнений связан, главным образом, со снеготаянием и заторно-зажорными явлениями.

Одним из факторов, обусловливающих рост средней интенсивности осадков, является сокращение количества дней с осадками. Наибольший интерес вопрос изменения количества дней с осадками представляет для малых водосборов, не имеющих устойчивого подземного питания, на которых возможно явление отсутствия стока.

Для некоторых из таких районов количество дней с осадками выросло – часть бассейна Дона и Терека, бассейн Волги ниже Волгограда. Однако для большей их части –

Нижняя Волга выше Волгограда, большая часть бассейнов Урала, Дона, Днепра и частично Оки – произошло уменьшение количества дней с осадками.

Но изменению подвергается не только общее количество осадков, но и их структура. Так, для всей ЕТР характерно уменьшение доли твердых осадков и увеличение доли жидких и смешанных. Увеличение доли жидких осадков в холодный период года за 1979 – 2018 гг. по сравнению с 1959 – 1978 г. характерно южнее 60 с.ш. и до предгорьев Кавказа, составляя от 50 до 100% в бассейне Верхней Волги и 20-50% в бассейне Дона. Уменьшение данной величины характерно для бассейна Северной Двины, Мезени, верховьев Печоры.

Испарение и потенциальное испарение (*PET).* В целом для ЕТР характерен небольшой рост испарения, наиболее существенный в бассейне Дона – более 8 % в створе Цимлянского гидроузла. Причиной такого значительного роста испарения является как рост PET в этом регионе, так и то, что в целом после 1978 г. величина водопотребления в бассейне была больше, чем в предшествующий период. Также выросло испарение в бассейнах рек Печора и Нева – на 4.2 и 6.7% соответственно. Единственным водосбором из 10 представленных, где испарение значительно снизилось, является бассейн р. Мезень, что связано как со снижением слоя осадков, так и небольшим снижением потенциального испарения.

Потенциальное испарение увеличилось практически на всей ЕТР в пределах 3%. При этом ряды *PET* не являются стационарными (имеется линейный тренд). На значительной части ЕТР годом перелома является 1977 г. Для востока и юго-востока ЕТР изменения произошли позже, в 1978-1993 гг. Максимальный рост (> 3%/10 лет) имеет место в бассейнах рек Дона, Верхней Волги, Оки, Западной Двины и частично Камы. При этом, в среднем для ЕТР, тренд за 1976 – 1993 гг. описывает лишь 3% изменчивости PET, в то время как для промежутка 1994 – 2014 гг. уже более 40%. Учитывая рост дефицита влажности воздуха в среднем с 1989 г., прямой солнечной радиации с начала 1990-ых и уменьшение скорости ветра, можно сказать, что рост *PET* на ЕТР начался с начала 1990-ых гг.

Речной сток. В целом для ЕТР величина годового речного стока выросла с максимумом (15-30%) в полосе 53-60° с.ш. К югу и северу от этой полосы рост менее значителен, так на севере он не превышает 10%, а в бассейне Дона наблюдается даже сокращение, связанное, вероятно, с антропогенным воздействием. Для рек Кавказа картина сложная и в силу сильного антропогенного воздействия в этом регионе не совсем ясная, но, видимо, имеет место рост годового стока, причем наиболее интенсивный для высокогорных водосборов. Как показали расчеты по формуле Шрайбера, практически на всей ЕТР главной причиной изменения речного стока является рост осадков. Вклад изменения *PET* в основном меньше 20%, хотя локально достигает 40-50%. Изменение величин минимальных среднемесячных расходов летней и особенно зимней межени куда значительней, для бассейнов Дона и частично Камы со Средней Волгой превышает 50-70%. В тоже время для северных рек изменения незначительны – в низовьях и среднем течении роста практически не наблюдается.

Бассейновые влагозапасы. Во второй половине XX в. на ЕТР произошел рост бассейновых влагозапасов, как за счет роста увлажненности почвы, так и подъема уровня грунтовых вод[1]. Средний рост влажности почвы в последнюю декаду сентября можно оценить в 50 мм, а рост запасов подземных вод в 100 мм. За 1966 – 2015 гг. максимальный запас воды в снежном покрове изменился незначительно, увеличившись на полевых маршрутах и уменьшаясь на лесных. При этом, за 2002-2015 гг. бассейновые влагозапасы (по данным GRACE) претерпели некоторое изменение. Минимальные за год влагозапасы (август на севере и октябрь на юге ЕТР) на севере практически не изменились. Рост более 5 мм/год наблюдается лишь на северо-западе (местами) и северо-востоке (преимущественно в бассейне Печоры). Для бассейнов Камы, Урала, Верхней Волги и особенно Оки произошло некоторое уменьшение влагозапасов, в пределах 10 мм/год. Наиболее значимое снижение произошло в бассейне Дона (в меньшей степени в бассейне Хопра и Медведицы) и Кубани, где оно превысило 15 мм/год. Изменение максимальных влагозапасов (март-май), было не столь существенным – положительные тренды не превышают 10 мм/год, а отрицательные 15 мм/год. Практически для всего северо-запада ЕТР и крайнего

северо-востока наблюдается рост *TWS*. Области понижения максимальных влагозапасов на ЕТР во многом совпадают с таковыми для минимальных влагозапасов.

Изменение водного режима. На Европейской территории России современные изменения водного режима проявляются по-разному в различных районах. Основная тенденция, которая характерна для большинства рек Центральной и южной России, заключается в выравнивании годового гидрографа стока. Все чаще на реках наблюдаются оттепельные паводки, что в свою очередь приводит к сокращению стока весенних месяцев.

На реках ЕТР максимальные расходы воды в значительной степени формируются во время весеннего половодья. Наблюдаемые изменения водного режима неизбежно приводят к изменению рассматриваемых характеристик. Увеличение потерь во время снеготаяния обусловливает снижение максимальных расходов весеннего половодья. Особенно ярко этот процесс выражен в центральной, западной и южной частях Европейской России. Наиболее интенсивное уменьшение весенних расходов воды с конца 1970-х годов фиксируется в бассейне Дона и Оки. Здесь снижение максимальных расходов воды в среднем по бассейнам составляет 46 и 37% соответственно. Одновременно с этим заметно увеличивается разброс дат их прохождения: если раньше в среднем максимумы водности наблюдались в 1-2 декаде апреля, то в последние четыре десятилетия все чаще они наблюдаются в середине, а иногда и в начале марта. На западе ЕТР также фиксируется снижение максимумов весеннего половодья, но здесь оно носит характер тенденции. Иная картина характерна для северных и восточных районов ЕТР. Здесь на средних и крупных реках тенденция снижения максимумов весеннего половодья практически не выражена. Ряды максимальных расходов однородны, для некоторых рек колебания носят циклический характер. На крупнейшей реке Кольского полуострова – р. Поной тенденция к некоторому снижению максимальных расходов воды, наметившаяся в последние два десятилетия, в основном проявляется в чередовании высоких и низких максимумов, то есть в увеличении дисперсии колебаний. Незначимая тенденция к увеличению максимальных расходов воды наблюдается и для левобережных притоков средней Волги – Унжи, Ветлуги и Костромы, в то время как в бассейне Вятки максимальные расходы весеннего половодья несколько снижаются. В бассейнах рек Русского Севера – Северной Двины, Печоры, Мезени максимальные расходы воды не изменились. По тенденциям к ним же тяготеют реки бассейна Камы.

Одновременно с этим процессом наблюдается увеличение стока в маловодные периоды года – во время летне-осенней и зимней межени. Сокращение глубины промерзания почвы, происходящее из-за более теплых зим, приводит к увеличению питания грунтовых горизонтов. Одновременно потери стока на поверхностное задержание и испарение в течение зимнего и особенно весеннего периода – увеличиваются. Трансформация водного режима наименее выражена в северных регионах Европейской России[5]. Здесь в отличии от бассейнов Волги и Дона наименее явно проявляется неустойчивость зимнего периода. В то же время в северной и западной частях бассейна Оки и части притоков Верхней Волги минимальные месячные зимние расходы в период 1978–2010 гг. выше соответствующих значений за период 1945–1977 гг. на 60–90%, в южной части бассейна Оки – более чем на 120%, на левобережье нижнего течения Волги – на 75–100%, в бассейне Дона – на 60–100%. Несколько меньшее увеличение (20–60%) характерно для бассейна Камы, для части бассейна Верхней Волги и ее притоков. Значимое увеличение минимальных месячных зимних расходов воды наблюдается и для западной части Северного края: бассейнов рек Онега (15–20%) и Северная Двина (15–35%). Так же, хоть и не столь значительно, выросли расходы за всю зимнюю межень. Более чем на 95% рассмотренных постов наблюдается повышение величины зимнего стока. Для 82% постов рек бассейна Дона и Волги (Верхняя Волга, Нижняя Волга, бассейн Камы, бассейн Оки) и для 43% рек Северного края (Онега, Мезень, Печора, Северная Двина) это изменение оказалось значимым по критерию Стьюдента ($\alpha = 5\%$). Изменения в водном режиме рек выражены тем ярче, чем южнее находится бассейн реки. Так, для рек бассейна Дона увеличение водности за зимний период составило от 20 до более чем 100%. Для рек бассейна Ка-

мы в среднем изменение составляет 40%, Верхней Волги – 50%, Нижней Волги – 70%, для рек Севера ЕТР оно не превышает 30% [2].

Оценка соотношения источников питания рек ЕТР и их изменение в последние десятилетия. На основе автоматизированного расчленения гидрографа с использованием суточных данных о расходах воды, осредненной температуре воздуха и атмосферных осадков были получены суммарные или средние (на единицу площади) величины подземного стока, формирующегося в речном бассейне выше замыкающего створа. Для рек Русского Севера изменения источников питания в основном наблюдаются на западе региона – в бассейне Северной Двины. Здесь доля снегового питания сократилась с 53 до 37%. Больше половины стока осуществляется за счет грунтовой составляющей и большей водности зимней межени. На востоке региона – в бассейне Мезени и Печоры эти изменения заметны гораздо слабее и перераспределение источников питания составляют менее 5%. В бассейнах рек центральной части и северо-запада ЕТР (Верхняя Волга), фиксируется значительное перераспределение источников питания. В бассейне Оки до 1978 г. подземное питание составляло лишь 40% от общего объема стока, а доля снегового питания превышала 50%. В настоящий момент эти значение практически сменили друг друга, на долю талого стока приходится лишь 37% от общего, в то время как за счет грунтовых воды река получает 55% своего питания. Для восточных притоков Оки, например, р. Мокша – г. Темников перераспределение источников питания также заметно, но выражено чуть менее, если раньше на долю грунтового стока приходилось 22%, то сейчас – 44 %, при этом доля снегового питания все же превышает пороговое значение для преимущественного типа питания по классификации Львовича и составляет 51%. Для рек бассейна Камы перераспределение типов источников питания заметно не столь сильно, как для правобережных притоков Волги, здесь по-прежнему снеговое питание имеет главенствующую роль, его доля для всех рек превышает 50%, при этом увеличение грунтового питания составляет 10-15%. В бассейнах рек-притоков средней течения Волги, как и для рек бассейна Оки, наблюдается ситуация, близкая к смене преобладающего источника питания рек. Так, например, для р. Самара доля снегового питания раньше составляла 67%, в настоящий момент доля талых вод снизилась до 50%, а грунтовая составляющая возросла в 1,5 раза, достигнув 49%.Что же касается юга Европейской России, здесь уже наблюдается смена преобладающего источника питания. Так в бассейне Дона на долю подземного питания в среднем за период 1978-2015 гг. приходится уже 55% стока, а на долю талого снегового питания – лишь 39%. Такая ситуация характерна в меньшей или большей степени для всех рек Донского бассейна: доля талого снегового питания составляет от 25% для наиболее южных притоков и до 45% для северо-восточных притоков. Таким образом в бассейне Дона можно констатировать факт смены преобладающего источника питания с талого снегового на подземное.

Выводы. За 1945-2015 гг. на ЕТР произошло изменение структуры водного баланса, выразившееся, прежде всего в росте величин годового стока (и в большей степени меженного), осадков, испарения и потенциального испарения. Неравномерность стока внутри года уменьшилась, но выросла за период межени. Рост бассейновых влагозапасов во второй половине XX в. на ЕТР для южной ее половины в XXI в. сменился снижением. После середины 1970-х годов на гидрографах отчётливо видна трансформация внутригодового распределения речного стока. Снижение стока половодья происходит в основном за счёт роста грунтовой составляющей, а также числа зимних паводков, объём которых на большинстве рек увеличивается на 10–20%. Также за счёт оттепелей повышается и питание подземных вод. Таким образом, некоторые реки ЕТР по классификации Б. Д. Зайкова с трудом можно относить к рекам с Восточно-Европейским типом водного режима, поскольку сток весеннего половодья составляет менее 50% годового стока.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ (*проекты № 18-05-60021-Арктика- статистический анализ гидрометеорологической информации и № 17-05-41030 РГО_а- анализ влагозапасов и внутригодового распределения стока*)

ЛИТЕРАТУРА

1. Водные ресурсы России и их использование // Под ред. И. А. Шикломанова. – СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008. – 600 с.

2. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Киреева М.Б. и др. Современные ресурсы подземных и поверхностных вод Европейской части России: Формирование, распределение, использование. – М.: ГЕОС, 2015. – 315 с.

3. Зотов Л.В., Фролова Н.Л., Григорьев В.Ю., Харламов М. А. Использование спутниковой системы измерения поля гравитации (GRACE) для оценки водного баланса крупных речных бассейнов // Вестник Московского Университета, серия география. – 2015. – №4. – С. 27–33.

4. Полонский А.Б., Башарин Д.В. Влияние климатического сдвига 1976-1977 гг. на крупномасштабную структуру приземных метеорологических полей Евразии // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 5. – С. 16–30.

5. Magritsky D.V., Frolova N.L., Evstigneev V.M., Povalishnikova E.S., Kireeva M.B., Pakhomova O.M. Long-termPolarforschung. –2018. – No 87 (2). – Pp. 177-194. doi:10.2312/polarforschungchanges of river water inflow into the seas of the Russian Arctic.

ГИС-ТЕХНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННЫХ МЕЛИОРАТИВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ БАССЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Э.И. Чембарисов, М.Н. Рахимова, С.Р. Шодиев, Г.Т. Ахмеджанова, З.У. Тиллаева
echembar@mail

Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, г.Ташкент, Узбекистан
Навоийский педагогический институт, г.Навои, Узбекистан
Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства, г.Ташкент, Узбекистан

Введение. Географическая информационная система (ГИС) - это возможность нового взгляда на окружающий нас мир. Если обойтись без обобщений и образов, то ГИС - это современная компьютерная технология для картирования и анализа объектов реального мира, также событий, происходящих на нашей планете. Эта технология - объединяет традиционные операции работы с базами данных, такими как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет карта [1-3].

Материалы и методы исследований. Эти возможности отличают ГИС от других информационных систем и обеспечивают уникальные возможности для ее применения в широком спектре задач, связанных с анализом и прогнозом явлений и событий окружающего мира, с осмыслением и выделением главных факторов и причин, а также их возможных последствий, с планированием стратегических решений и текущих последствий предпринимаемых действий. Создание карт и географический анализ не являются чем-то абсолютно новым. Однако технология ГИС предоставляет новый, более соответствующий современности, более эффективный, удобный и быстрый подход к анализу проблем и решению задач, стоящих перед человечеством в целом, и конкретной организацией или группой людей, в частности. Она автоматизирует процедуру анализа и прогноза. До начала применения ГИС лишь немногие обладали искусством обобщения и полноценного анализа географической информации с целью обоснованного принятия оптимальных решений, основанных на современных подходах и средствах [1].

Использование ГИС-технологий, в частности программы ArcViev GIS поможет выполнить различные научные задачи при создании водохозяйственных и экологических карт, предоставив возможность географически, то есть в наиболее наглядной и удобной

для восприятия форме отображать, исследовать и анализировать собранные вами данные. Поэтому термин ГИС- географическая информационная система подробно описывает сущность этой программы. Как известно карта наиболее емкая и наглядная система изучения пространственных взаимосвязей. С помощью ГИС появилась возможность наглядно показывать в виде картографического изображения экологическую ситуацию в динамике. Поэтому при решении этих задач ArcViev GIS предоставляет готовый набор средств, который может быть сразу использован при создании сотен различных карт. Дополнительную информацию можно получить в ESRI(США) по сети Интернет. С помощью ArcViev вы можете получить доступ к данным в формате шейп-файла (формат ArcViev), а также использовать данные во многих других форматах. Вы также можете использовать ArcViev, чтобы создавать свои собственные географические данные. С помощью ГИС-технологий исследователь может:

• открывать существующий проект ArcViev;

• выбирать географические объекты, изображенные на карте;

• увеличивать масштаб интересующей вас территории;

• подписывать объекты, изображенные на карте;

• получить доступ к базе данных; печатать карту с заголовком, легендой, масштабной линейкой.

Объект исследования - бассейны рек Амударья и Сырдарья. Бассейн реки Амударья - самая многоводная река Центральной Азии, охватывает более 80 крупных рек, расположенных на территории Узбекистана, Таджикистана, Туркмении.

Амударья протекает по территории Узбекистана в пределах среднего и нижнего течения. Образуется Амударья слиянием рек Пяндж и Вахш.

Река Сырдарья - вторая после Амударьи по водоносности река Центральной Азии. По Узбекистану она протекает в верхнем и частично в среднем течении.

Результаты исследований. В составленную карту легко добавлять табличные данные. Водохозяйственные и гидроэкологические проблемы часто требуют незамедлительных адекватных действий, эффективность которых напрямую связана с оперативностью обработки и представления информации. Технологии географических информационных систем (ГИС) позволяют создавать многослойные тематические электронные карты и оптимизировать информационную поддержку принятия экологически значимых решений на всех уровнях государственного и территориального управления. В данной статье представлен опыт работ по созданию ГИС карты для информационной поддержки принятия экологически значимых решений на уровне бассейна Аральского моря.

Положение постов мониторинга показывается на карте, большинство постов введено в интерактивную карту в виде таблиц банка данных. При этом использовались компьютерные программы, дополнительно развивались следующие методы:

- бассейновый метод для исследования поверхностных вод областей с аридным климатом, который дополнен и улучшен;

- водохозяйственное и гидрохимическое районирование коллекторно-дренажных вод бассейна Аральского моря;

- были предложены критерии для гидрологического районирования, были выделены различные гидроэкологические районы на основе этих критериев;

Заключение. Целью проведенных исследований является создание комплекса электронных водохозяйственных и гидроэкологических карт бассейна Аральского моря, базы данных, содержащих атрибутивную информацию о гидрологическом и гидроэкологическом состоянии водных ресурсов, а также средства расчета и отображения комплексных показателей качества воды на основе разнородных пространственно распределенных данных. На созданной карте экологического мониторинга бассейна Аральского моря, были представлены гидрохимические данные за 2000-2014 гг., в двух формах: в виде диаграмм или таблиц, где можно получить практические результаты, нажимая «мышкой» компьютера на пункт наблюдения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Насрулин А.Б. Методы ГИС-технологии для гидроэкологического мониторинга Узбекистана // Проблемы питьевого водоснабжения и экологии. – Ташкент, Университет. – 2002. – С. 251-266.

2. Чембарисов Э.И. Бахритдинов Б.А. Гидрохимия речных и дренажных вод Средней Азии. – Ташкент, Укитувчи, 1989. – 232 с.

3. Чембарисов Э.И., Хожамуратова Р.Т. Коллекторно-дренажные воды Республики Каракалпакстан. – Нукус, «Билим», 2008. – С 56.

ДИНАМИКА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ПОД ВЛИЯНИЕМ ИЗМЕНЕИЯ КЛИМАТА

Александр В. Чередниченко, Алексей В. Чередниченко, В.С. Чередниченко
geliograf@mail.ru

НИИ Проблем биолоии и биотехнолоии Казахского национального университета им. Аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан

Введение. Республика Казахстан расположена в центре Евразийского материка и занимает 9 место в мире по площади своей территории (около 2.72 млн км^2) и является беднейшей по водным запасам среди стран СНГ [1-2]. Причиной этого является значительная удалённость территории от океанов, в первую очередь от Атлантического (более 5000 км), и особености общей циркуляции атмосферы, способствующие выносу сухого тропического воздуха в течение тёплой части года и влиянию Сибирского антициклона – в зимний период, тоже не способствующего облако- и осадкообразованию.

Согласно оценкам, выполненным Российским ГГИ в начале девяностых годов прошлого века, средний многолетний сток оценивался в 126.0 км^3, из которых местный сток составлял 66.8 км^3 и 59.8 км^3 – трансграничный. Следовательно, поверхностный сток уменьшился за это время примерно на 25.3 км^3, из которых местный сток уменьшился на 10.3 км^3 и трансграничный на 15.2 км^3. Причинами такого изменения стока принято считать, как интенсификацию хозяйственной деятельности, особенно в зарубежье, так и изменение климата. Отсюда видно, что оценка возможного изменения стока на ближайшие десятилетия на территории Республики в связи с изменением климата очень важна. Этой проблеме и посвящено наше исследование.

При изучении временной динамики температуры и осадков [3] мы аппроксимировали наши ряды полиномом шестой степени, который, с одной стороны, хорошо сглаживает временной ряд, сохраняя, однако, климатические экстремумы, а с другой полином достаточно чутко реагирует на изменение знака динамики всего за несколько лет. Одновременно с аппроксимацией временного ряда полиномом шестой степени мы широко использовали гармонический анализ рядов, который, как известно, подразумевает разложение исходного временного ряда на тригонометрические функции [4].

Если полином шестой степени сглаживает временной ряд, быстро реагируя на тенденции в его динамике, то гармоники характеризуют внутреннюю структуру ряда. Каждую из гармоник, по крайней мере, основных, принято интерпретировать как результат воздействия определенной группы факторов. Нет оснований считать, что факторы, существовавшие в процессе формирования климата ранее, вдруг исчезнут.

Климатические колебания температуры и осадков в прошлое столетие на всей территории Казахстана и сценарий ожидаемых изменений до 2050 г.

Проблема достаточно обстоятельно изложена в работе одного из соавторов [5]. Ограничимся, поэтому только изложением результата на основе данных таблицы 1.

Максимальную амплитуду имеет вековая гармоника, 2.7…1.5^{0}С. Амплитуды вторых гармоник повсеместно меньше. Время наступления экстремумов вековых гармоник заметно различается по территории.

Установлены связи каждого из случаев климатических похолоданий и потеплений с характеристиками общей циркуляции атмосферы [5].

Таблица 1. Амплитуды климатических колебаний температуры (^{0}С)

Станции	Экстремумы						
	max 30-40г	min 40-50г	max 65-75г	min 80-90г	max 2003г	Вековая гармоника	0,5 веков.гарм., годы
Уральск	0,7	0,8	0,3	0,3	1,2	2,2	60
Иргиз	0,3	0,5	0,1	0,3	0,7	2,0	54
Караганда	0,3	0,4	0,4	0,4	1,1	1,5	51
Джезказган	0,6	0,6	0,2	0,3	0,1	2,4	53
Семипалатинск	1,0	1,0	0,1	0,1	1,5	1,5	51
Усть-Каменгорск	1,2	1,0	0,3	0,2	1,0	1,2	50
Кзылорда	0,9	0,9	0,1	0,2	0,3	2,3	50
Аральское море	0,6	0,5	0,1	0,1	1,0	2,7	50
Павлодар	0,2	0,3	0,1	0,1	1,3	1,9	42
Балхаш	0,3	-	0,3	-	0,1	1,4	-
Кустанай	0,8	0,9	0,3	0,3	0,7	2,4	54
Астана	0,2	0,3	0,2	0,3	0,8	2,1	54
Талдыкурган	0,4	0,5	0,3	0,2	0,7	2,2	52
Чимкент	1,0	0,6	03	04	0,3	1,8	50
Форт Шевченко	1,0	0,9	04	0,6	0,3	1,7	60

Представляло интерес рассмотреть внутригодовую структуру нынешнего похолодания. Первые признаки похолодания появились в декабре 1995 г., и к концу 2010 г. суммарное похолодание в этот месяц составило 3^{0}С. В январе похолодание появилось всего на год позже, в 1996 г., но к 2010 г. оно составило 9^{0}С. В феврале похолодание начало фиксироваться только с 2000 г., т.е. через пять лет после его первого появления в декабре, и к 2010 г. составило 6^{0}С. В марте похолодание началось только в 2006 г. и составило 2,5^{0}С до контрольного срока. В апреле похолодание начало отмечаться только с 2007 г. и составило к 2010 г. всего 0,2^{0}С.

Таким образом, в период с декабря по апрель похолодание, впервые проявившись в декабре 1995 г, постепенно распространялось на последующие месяцы до апреля включительно в течение 12 лет. За это время наиболее значительные понижения температуры произошли в зимние месяцы в декабре (3^{0}С), январе (9^{0}С) и феврале (6^{0}С).

В остальные месяцы года похолодание распространялось без выраженной закономерности.

Сценарий ожидаемых изменений температуры на период до 2050 г. По результатам гармонического анализа временных рядов температуры и осадков по станциям Казахстана выделены наиболее значимые по амплитуде гармоники с периодом, превышающим 10 лет, и на их основе построены сценарии изменения температуры и осадков к 2050 году. Температура к тому времени понизится практически на всей территории на 1.1-:3.0^{0}С, опустившись до уровня шестидесятых годов XIX века.

Используя информацию, содержащуюся в нашей [6], мы выполнили такие расчеты на основе гармонического анализа в предположении, что обнаруженные во временных рядах температуры и осадков основные гармоники сохранятся.

На рис. 1 представлена карта пространственного распределения средних годовых величин температуры (числитель) и ожидаемой величины изменения средней годовой

температуры, с момента начала похолодания, т.е. примерно за 40 лет (знаменатель). Она построена по методике [7], в основе которой лежит предположение, что имеющие место гармоники сохранятся и в будущем.

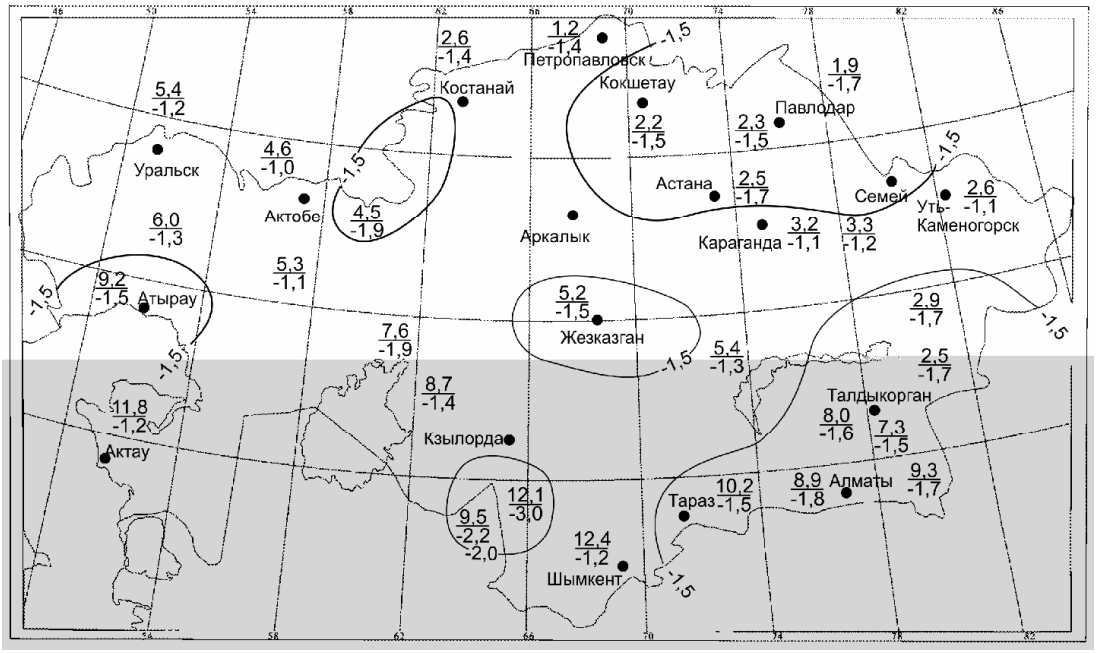


Рис. 1. Сценарий изменения поля температуры по территории Казахстана к 2050 г.

Можно видеть, что на всей территории Республики температуры понизятся. Понижения следует ожидать в пределах от 1.0 до 3.0^{0}С. Величины похолодания примерно соответствуют имевшим место в последние десятилетия величинам потепления [5]. Это и естественно, поскольку основной вклад в колебания температуры вносит вековая гармоника, (около 110 лет), максимум которой имел место около 2000 г. Соответственно, самое значимое похолодание, до 3^{0}С, ожидается в районе Туркестана, а также на юго-востоке Республики, 1,5-1,8^{0}С. Такой же величины похолодание ожидается на северо-востоке в районе Астаны-Павлодара-Семипалатинска. Над центральными и западными районами ожидается несколько меньшее понижение температуры 1.1-1.3^{0}С.

Таблица 2. Чередование экстремумов температуры (t) и осадков (Q) (годы)

Станции	Экстремумы								
	Maxt	MinQ	min t	MaxQ	Maxt	MinQ	min t	MaxQ	Maxt
Павлодар	39	-	54	64	74	-	85	98	0,2
Уральск	35	48	44	48	68	72	88	99	98
Туркестан	37	37	52	59	69	84	84	05	06
Жаркент	42	41	57	58	76	78	91	92	06
Астана	39	-	49	60	72	85	88	03	05
Куйган	42	40	58	70		88		06	
Самарка	42	36	59	56	-	82	88	98	03
Атырау	38	37	51	51	72	76	89	02	06
Караганды	40	39	51	59	73	81	88	04	04
Джамбул	40	38	54	58	74	82	88	03	06
Уст-Каменгорск	42	37	58	68	77	92	92	07	06
Кустанай	35	42	43	56	66	76	84	00	04

Средние годовые температуры воздуха к 2050 г. опустятся до нормы, рассчитанной за период наблюдений, предшествующий росту температур в конце XX века.

Климатические колебания осадков и осадков в прошлое столетие и сценарий ожидаемых изменений до 2050 г.

В таблице 2 представлено время наступления экстремумов осадков в сравнении с экстремумами температуры.

Из таблицы 2 следует важный для прогноза вывод, что экстремумы температуры и садков по территории Республики между собою не связаны ни временем наступления. ни тенденцией.

*Сценарий изменения поля осадков на перспективу***.** Изменение количества осадков к 2050 г. будет неоднозначным (рис. 2).

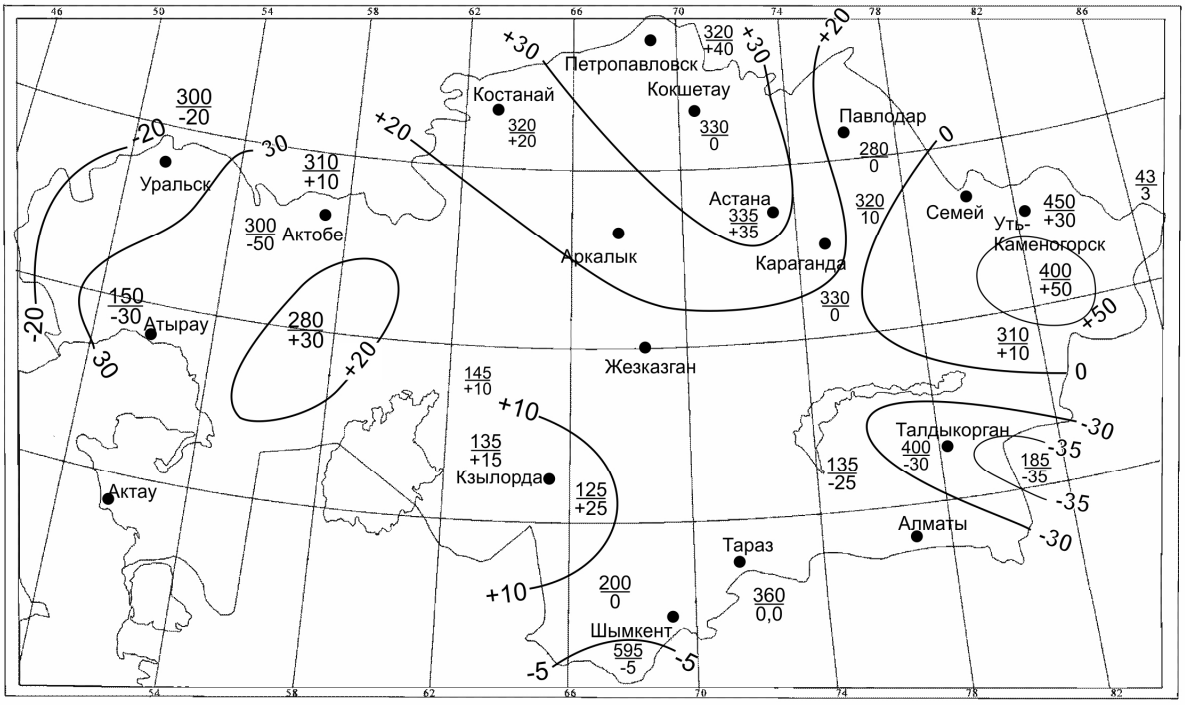


Рис. 2. Сценарий изменения поля осадков по территории Казахстана к 2050 г.

Здесь в числителе приведена норма количества осадков, а в знаменателе – их ожидаемые изменения к 2050 г. Как видно из рис. 3, количество осадков претерпит разнонаправленные изменения. По северу, и востоку и юго-западу Республики осадки увеличатся на 20…30 мм, а на западе и юго-востоке территории они примерно на столько же уменьшатся. На востоке Республики количество осадков увеличится на 10…50 мм. Примерно такое же увеличение осадков ожидается над Северным Казахстаном, 20…40 мм. В районе Арала - Кзылорды осадки тоже увеличатся на 10…25 мм.

В полосе Павлодар-Чимкент изменения количества осадков не ожидается. На западе Республики, а также на юго-востоке ожидается уменьшение количества осадков на 20…35 мм/год.

Только на небольшой части территории Казахстана количество осадков к 2050 г. уменьшится более чем на 10% от нормы. На северо-западе Республики ожидаемое снижение несколько превышает эту долю. В основном земледельческом районе, Северном Казахстане, количество осадков даже увеличится. Следовательно, условия для сельскохозяйственной деятельности останутся, как и в настоящее время не простыми, но они не ухудшатся.

Выводы. В результате выполненных исследований динамики стока в условиях изменения климата в Казахстане получено следующее:

По климатическим колебаниям температуры и осадков:

- климатические колебания и температуры и осадков, формирующие поверхностный сток, имели место не только в настоящее время, но в прошлом веке. Такие колебания

никогда не случаются одновременно на всей территории Республики. Они появляются где-нибудь на её границе, а затем постепенно в течение нескольких лет распространяются на всю территорию;

- между климатическими колебаниями температуры и осадков не обнаружено синхронности или согласованности. Следовательно, построение сценариев их изменения для всей территории Республики возможно только по отдельности и порегионально;

- по причинам, указанным выше, построение сценариев климатического изменения стока возможно только для каждой отдельной реки, т.е. по бассейнам;

- наблюдавшийся в последние десятилетия рост температуры в начале XXI века прекратился. Похолодание началось на северо-востоке и к 2010г охватило всю территорию;

- во временных рядах температуры имеют место вековая, полувековая и четвертьвековая гармоники, выбирающие до 95% дисперсии. Максимальную амплитуду, до 2.1^0С, амплитуда последующих гармоник быстро уменьшается. Данные гармоники могут служить основой для построения сценариев изменения температуры на перспективу;

- во временных рядах осадков имеют место полувековая, и гармоники меньшей продолжительности. Амплитуда первых гармоник не зависит от длины. Первые четыре гармоники выбирают до 90% дисперсии и могут служить основой для построения сценариев;

- при условии сохранения основных гармоник в рядах температуры и осадков построены сценарии ожидаемых изменений температуры и осадков к 2050 г. Температура будет понижаться и достигнет к тому времени уровня минимума, наблюдавшегося около тридцатых годов прошлого века. Количество осадков будет колебаться, оставаясь на большей части территории около нормы. Межгодовая изменчивость осадков останется значительной.

Наши результаты, в первую очередь результаты гармонического анализа и анализ пространственно-временного перемещения климатических экстремумов температуры и осадков, хорошо согласуются с результатами исследований общей циркуляции атмосферы, а также с результатами анализа динамики атмосферы по спектральным моделям.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан, в рамках проекта AP05131867

ЛИТЕРАТУРА

1. Национальный атлас Республики Казахстан. Том 1: Природные условия и ресурсы. – Алматы, 2010. – 150 с.

2. Атлас. Водные ресурсы Казахстана в новом тысячелетии. – Астана. 2008. – 35 с.

3. Научно-прикладной справочник по климату СССР, Серия 3, Многолетние данные, Части 1 - 6, Выпуск 18, Казахская ССР, Книга 2. –Л.: «Гидрометеоиздат», 1989. – 440 с.

4. Sneyers R. On the statistical analysis of series of observations / R. Sneyers WMO. Technical Note, 143. – 1990. – 190 p.

5. Чередниченко А.В. Динамика климата Казахстана. Начало эпохи похолодания / А.В. Чередниченко. – Алматы: Изд-во КазНУ, 2015. – 208 с.

6. Чередниченко,А.В. Временные ряды температуры и осадков. Статистический анализ / А. В. Чередниченко, А. В.Чередниченко, В.С. Чередниченко. – Алматы, 2013. – 365 с.

7. Бабкин А.В. Методология оценки периодичностей изменений уровня и элементов водного баланса Каспийского моря / А.В. Бабкин // Метеорология и гидрология. – 2005. – № 11. – С. 63-73.

Научное издание

ГЛОБАЛЬНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ: РЕГИОНАЛЬНЫЕ ЭФФЕКТЫ, МОДЕЛИ, ПРОНОЗЫ

Материалы международной научно-практической конференции (г.Воронеж, 3 – 5 октября 2019 г.)

Том 1

Под общей редакцией
Куролапа Семена Александровича
Акимова Леонида Мусамудиновича
Дмитриевой Веры Александровны

Компьютерная верстка (подготовка оригинал-макета) осуществлена в научно-исследовательской лаборатории по проблемам устойчивого развития и региональным основам рационального природопользования факультета географии, геоэкологии и туризма Воронежского государственного университета
Ломовой Тамарой Васильевной и Смирновой Анной Аркадьевной

Подписано в печать 05.09.2019г.
Формат 60х84/8. Объем 66,5 п. л.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Тираж 300 экз. Заказ № 1279.

Издательство ООО «Цифровая полиграфия»
394036, г. Воронеж, ул. Ф. Энгельса, д. 52.
Тел.: (473) 261-03-61, e-mail: zakaz@print36.ru
http://www.print36.ru

Отпечатано с готового оригинал-макета
в ООО «Цифровая полиграфия»
394036, г. Воронеж, ул. Ф. Энгельса, д. 52.