

DOI:10.17308/978-5-9273-3692-0-2023-111-113

ЖИЗНЕННЫЕ ЗОНЫ ХОЛДРИДЖА И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ЗОНЫ КЕППЕНА-ГЕЙГЕРА ПО РЕГИОНАЛЬНОМУ АНСАМБЛЮ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗНОГО ЛАНДШАФТНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ В ЯКУТИИ

HOLDRIDGE LIFE ZONES AND KÖPPEN-GAUGE CLIMATE ZONES USING A REGIONAL ENSEMBLE OF GLOBAL CLIMATE MODELS FOR PREDICTIVE LANDSCAPE MAPPING IN YAKUTIA

Захаров М.И., Тананаев Н.И., Данилов Ю.Г.
Zakharov M.I., Tananaev N.I., Danilov Yu.G.

e-mail: mi.zakharov@s-vfu.ru

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К.Аммосова, Якутск, Россия
M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

Аннотация. Биом как совокупность, схожих по климатическим условиям, природно-территориальных комплексов является пространственной единицей, которую можно использовать для выделения типов ландшафтов. Зависимость от климатических переменных позволяет использовать биомы для прогнозирования ландшафтных изменений в условиях изменения климата. В статье рассматривается моделирование биомов по схеме жизненных зон Холдриджа и классификации климатических зон Кёппена-Гейгера с помощью пакета MacroBiome в среде программирования R. Для моделирования использованы среднемесячные значения температуры и суммарных осадков по верифицированным региональным моделям исторического климата для территории Республики Саха (Якутия). Нами получены сведения по 9 жизненным зонам и 6 типам климатических зон для базового климата в период 1971-2000 гг.

Abstract The biome as a set of climatically compatible terrestrial ecosystems is a spatial unit that can be used to determine landscape types. The dependence from climatic variables makes it possible to use biomes to predict landscape changes under climate change scenarios. This article discusses the modeling of biomes using the Holdridge life-zones scheme and the Köppen-Heiger classification of climate zones using the MacroBiome package in the R programming environment. Monthly average values of temperature and sum precipitation from verified regional models of historical climate for the territory of the Republic of Sakha (Yakutia) have been used for modeling. We obtained values for 9 life zones and 6 types of climatic zones for the basic climate for the period 1971-2000.

Ключевые слова: Биом, изменение климата, ландшафтный прогноз, биом, жизненные зоны Холдриджа, климатические зоны Кёппена-Гейгера

Keywords: Biome, climate change, landscape forecast, biome, Holdridge life zones, Köppen-Geiger climate zones

Введение. Прогнозы шестого оценочного доклада межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) указывают на неминуемость климатического кризиса даже при сценариях с низким уровнем выбросов парниковых газов [1]. Для Российской Федерации, по данным третьего оценочного доклада Росгидромета, темпы потепления климата будут превышать среднемировые показатели при любом из новых сценариев изменения содержания парниковых газов до 2100 года (низкий уровень выбросов (SSP1-2.6), средний уровень выбросов (SSP2-4.5) и очень высокий уровень выбросов (SSP5-8.5))[2]. Повышение температуры и изменение осадков неизбежно приводит к изменениям биоклиматических условий для ландшафтов.

Регион исследования Республика Саха (Якутия) является крупнейшей административно-территориальной единицей РФ с широким спектром зональных и высотно-поясных ландшафтов, усложненных почти полным распространением сплошной криолитозоны. Для изучения ландшафтной структуры на уровне типов ландшафтов согласно методике мерзлотно-ландшафтного картографирования [3] критерием выделения является биом, как пространственная единица отражающая сочетание тепла и влаги. Биомы, моделируемые биоклиматическими показателями, часто используются для составления среднесрочных и долгосрочных прогнозов динамики растительности и ландшафтов на региональном [4,5] и глобальном [6,7] уровнях.

В современных публикациях по оценке климатообусловленных сдвигов границ природных систем используются биомы составленные по схемам и концепциям Генриха Вальтера, Зигмар-Вальтера Брекле, Лесли Холдриджа, Джерри Олсона, Владимира Петровича Кёппена, Рудольфа Гейгера и др. В этой работе мы рассчитали распределение биомов по схеме жизненных зон Холдриджа [8] и типам климатических зон Кёппена-Гейгера [9] по двум биоклиматическим переменным (среднемесячные температуры и месячные суммарные осадки) для базового климата по историческому реанализу климатических моделей. В контексте разработки региональных планов адаптации к изменениям климата составления прогнозных ландшафтных карт по моделям распределения биомов является актуальной.

Методика и материалы. Для территории Республики Саха (Якутия) были проведены исследования по выбору наиболее подходящей модели исторического реанализа температур и осадков путем тестирования с данными метеорологических наблюдений [10] и составлен региональный ансамбль глобальных климатических моделей. Для моделирования биомов базового климата в период 1971-2000 мы используем растровые данные по среднемесячной температуре модели GHCN-CAMS и по месячным суммарным осадкам модели CRU TS 4.04 с разрешением 0.5 градусов и размерностью 115x45. Работа выполнена в интегрированной среде разработки RStudio (язык программирования R) с использованием

функций `cliHoldridgeGrid` для жизненных зон Холдриджа и `cliKoppenGrid` для классификации климатов Кёппена-Гейгера в пакете `MacroBiome`. Общая методологическая схема моделирования жизненных зон Холдриджа представлена на рисунке 1. Функции расчета моделей жизненных зон и типов климатических зон используется в пакете `MacroBiomes` требует в качестве исходных данных многослойные растры 12-ти месячных данных среднемесячных температур и месячные суммы осадков. Для составления многослойных растром мы использовали функцию `stack`. Макет компоновки карты и предобработка биоклиматических показателей сделана в настольном ГИС QGIS версии 3.28.



Рис. 1. Методологическая схема моделирования биомов по биоклиматическим показателям с использованием пакета `MacroBiome` в `RStudio`.

Использованные в моделировании климатические показатели представлены в Веб-ГИС лаборатории климата и северных экосистем СВФУ (Климат Якутии. Лаборатория климата и экосистем северных регионов (nextgis.com)).

По схеме Холдриджа можно выделить 39 жизненных зон [11] которые используются Международным институтом прикладного системного анализа (IIASA) и широко используется для прогнозирования изменения растительности. Классификация климата Кёппена-Гейгера [9] позволяет выделить типы климата по естественным условиям тепла и влаги для основных видов растительности. Существенным недостатком моделирования по данным схемам является отсутствие учета рельефа.

Результаты. Нами выделено 9 жизненных зон приполярной тундры и бореальных лесов, которые отражают различия гидротермических условий растительных формаций (Рис.2). Значительная часть Якутии расположена в зоне бореальных мокрых лесов к которому относится средняя тайга Центральноякутской низменности и северные редколесья Среднесибирского плоскогорья. Севернее 70 широты наступает зона влажной тундры, которому относится экотонные северные лиственничные редины и типичная тундра, которые на побережье переходят в сухую тундру, представленной арктической травянистой тундрой и полярными пустынями. Горные хребты Северо-Востока Сибири и Вилюйское плато заняты зоной приполярной мокрой тундры.

В Якутии мы выделили 6 типов климатических зон Кёппена-Гейгера (Рис.2). Большая часть Якутии представлена зонами холодного климата с различиями засушливости сезонов. Если сравнивать с распределением жизненных зон, то границы выделяемых пространственных единиц практически не совпадают. В зоне бореальных мокрых лесов мы видим распределение холодного климата с сухим и холодным летом и холодного климата с сухим и очень холодным климатом. Тундровый климат начинается с 71 широты, то есть гораздо севернее нежели широтная жизненная зона тундры. В целом можно отметить значительное разнообразие климатических и жизненных зон Северо-Востока Сибири по сравнению с Средней Сибирью. Различия пространственного распределения жизненных зон и климатических зон при более детальном и длительном исследовании в перспективе может раскрыть некоторые особенности в эволюционной динамике ландшафтов и выделении экотонных состояний.

Заключение. Представленные сообщения по моделированию биомов по жизненным и климатическим зонам является первым шагом в прогнозировании эволюции ландшафтов по сценариям изменения климата до 2100 г. Создание региональных ансамблей климатических моделей с избирательным отбором и оценкой эффективности для исследуемой территории в перспективе даст возможность улучшить прогнозирование сдвигов границ типов ландшафтов, особенно на экотоне тундры и тайги. Одной из актуальных задач остается `downscaling` климатических показателей используемых в моделировании биомов и сравнительный анализ различных концептуальных подходов классификации и расчета биомов для наиболее эффективного представления распределения типов ландшафтов и прогноза их динамики.



Рис. 2. Жизненные зоны Холдриджа и типы климатических зон Кеппена-Гейгера в Якутии

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект 22-27-00344 «Климатические изменения и деградация криолитозоны в северных регионах Российской Федерации: Регионально-специфические стратегии адаптации»

Литература

1. IPCC (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegria, A. et al. (eds.). Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press. 3056. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
2. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В. М. Катцова; Росгидромет. – Санкт-Петербург: Научно-технологический институт, 2022. – 676 с.
3. Федоров А.Н. Мерзлотные ландшафты Якутии: методика выделения и вопросы картографирования / А.Н. Федоров. – Якутск, 1991. – 140 с.
4. Gonzalez, P., Neilson, R.P., Lenihan, J.M. and Drapek, R.J. (2010), Global patterns in the vulnerability of ecosystems to vegetation shifts due to climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 19: 755-768. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00558.x>
5. Anisimov, O., Kokorev, V., & Zhiltcova, Y. (2016). Arctic Ecosystems and their Services Under Changing Climate: Predictive-Modeling Assessment. *Geographical Review*, 107(1), 108–124. <https://doi.org/10.1111/j.1931-0846.2016.12199.x>
6. Boonman, C. C. F., Huijbregts, M. A. J., Benitez-López, A., Schipper, A. M., Thuiller, W., & Santini, L. (2022). Trait-based projections of climate change effects on global biome distributions. *Diversity and Distributions*, 28, 25– 37. <https://doi.org/10.1111/ddi.13431>
7. Dobrowski, S.Z., Littlefield, C.E., Lyons, D.S. et al. Protected-area targets could be undermined by climate change-driven shifts in ecoregions and biomes. *Commun Earth Environ* 2, 198 (2021). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00270-z>
8. Holdridge L.R. (1967) Life zone ecology. Tropical Science Center, San Jose, Costa Rica
9. Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA (2007) Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol Earth Syst Sci* 11(5):1633–1644. doi:10.5194/hess1116332007
10. Tananaev, N., Kirillina, K., Olenov, K. Regional ensemble of global climate models for Sakha (Yakutia) Republic, Northern Eurasia. Proceedings of the Seventh International Symposium on Arctic Research, March 6-10, 2023. Tachikawa, Japan. 56
11. Szelepcsényi, Z., Breuer, H., Kis, A. et al. Assessment of projected climate change in the Carpathian Region using the Holdridge life zone system. *Theor Appl Climatol* 131, 593–610 (2018). <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1987-3>