

DOI:10.17308/978-5-9273-3692-0-2023-151-154

**ЭВОЛЮЦИЯ БОЛОТНЫХ ГЕОСИСТЕМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ В ГОЛОЦЕНЕ
(НА ПРИМЕРЕ КЛЮЧЕВОГО УЧАСТКА ИГАРКА)****EVOLUTION OF PEATLAND GEOSYSTEMS IN WEST SIBERIA IN THE HOLOCENE
(IGARKA PEATLAND CASE STUDY)****Макарова Е.А.¹, Мазей Н.Г.¹, Куприянов Д.А.¹, Прокушкин А.С.^{3,4}, Шатунов А.Е.¹, Новенко Е.Ю.^{1,2}****Makarova E.A.¹, Mazei N.G.¹, Kupriyanov D.A.¹, Prokushkin A.S.^{3,4}, Shatunov A.E.¹, Novenko E.Yu.^{1,2}**

e-mail: katmak2001@gmail.com

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия²Институт географии РАН, Москва, Россия³Институт леса им. В. Н. Сукачёва СО РАН, Красноярский научный центр СО РАН, Красноярск, Россия⁴Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia²Institute of Geography RAS, Moscow, Russia³Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk Science Center SB RAS, Krasnoyarsk, Russia⁴Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Аннотация. В работе представлены результаты палеоэкологических исследований крупнобугристого болота Игарка (Туруханский район, Красноярский край). Выполнена интерпретация и обобщение результатов различных видов анализов, предложена концептуальная схема развития бугра пучения в голоцене. В ходе исследования болота изучена его современная ландшафтная структура, выполнены определения видов мхов, которые показали преобладание олиготрофных местообитаний. Согласно полученным данным, болото Игарка начало формироваться около 6200 кал. л. н. на месте влажного лиственничника путем суходольного заболачивания во время потепления среднего голоцена. Появление признаков промерзания торфяного бугра и его интенсивный подъем соотносятся с временными рубежами 5360 и 2250 кал. (калиброванных) л.н., что можно объяснить региональным похолоданием. Развитие торфяного бугра пучения было связано как с процессами саморазвития, так и с климатическими изменениями в Российской Арктике.

Abstract. This study presents a synthesis of palaeoecological materials revealed from multi-proxy analyses of Igarka peatland (Turukhansk district, Krasnoyarsk region), a principal scheme of palsa evolution during the Holocene was suggested. In a frame of the investigation of the modern landscape structure of the palsa mire 87 samples of moss were determined at species level indicating the prevalence of oligotrophic habitats. According to obtained data the peatland initiation at Igarka started about 6200 cal. years BP replacing a wet larch forest during the the Middle-Holocene climatic warming. Appearance of signs of palsa's freezing and its intensive rising are compared with time intervals 5360 and 2250 cal. years BP that is correspond to the climate cooling in this region. The evolution of palsa was obviously a self-development process as well as that was affected by climate changes in Russian Arctic.

Ключевые слова: ботанический состав торфа, бугры пучения тупа пальза, голоцен, Западная Сибирь, Игарка, палеоэкологические реконструкции, пальза, торфяники

Keywords: Igarka, Holocene, palaeoecological reconstruction, palsa, peatland, plant macrofossil, West Siberia

Болота служат источником информации об изменениях окружающей среды в прошлом. С помощью палеоэкологических данных можно выявить основные эволюционные закономерности и спрогнозировать возможные изменения геосистем в будущем. В Сибири, где большие территории заняты областью многолетней мерзлоты, природные комплексы особенно уязвимы к изменениям климата и антропогенному воздействию, что определяет актуальность данной работы. Исследования эволюции болотных геосистем Западной Сибири в голоцене, представленные в работе, выполнены на примере ключевого участка, расположенного в Туруханском районе Красноярского края в окрестностях города Игарка.

Изучаемая территория находится на границе между Западной и Средней Сибирью, что обусловило большую контрастность природных условий [2]. Рельеф довольно однообразный, преимущественно плоский, с высотами до 200 м. Климат изучаемого региона – умеренный, резко континентальный. Большое влияние на ландшафты района исследований оказало распространение многолетнемерзлых пород. Рассматриваемая территория расположена в зоне северной тайги с преобладанием березово-лиственничных лесов на криоземах и торфяно-криоземах. Для изучаемого района характерно сочетание лесных массивов и крупнобугристых болот.

Объектом исследования было выбрано болото Игарка, расположенное примерно в 8 км к северу от одноименного города в бассейне речки Гравийки (приток Енисея). Болото сформировалось в пределах пологохолмистой моренной равнины ермаковского оледенения. Оно относится к крупнобугристотопяно-озерковым комплексам [7] и состоит из крупных бугров пучения типа пальза и межбугорных понижений с различными типами минерального питания шириной 200-300 м.

В рамках полевых работ в августе 2021 г. были выполнены комплексные ландшафтные описания 40 местообитаний, отобрано 87 образцов мхов. При отборе мхов подробно описывался биотоп и измерялся уровень болотных вод (УБВ). С помощью специальных атласов [3, 4] выполнено определение их видовой принадлежности для уточнения полевых описаний. Также были проведены бурение болота Игарка в нескольких скважинах в мочажине и отбор торфяных колонок. Отбор образцов скважины, заложенной на 5-ти метровой вершине торфяного бугра пучения, выполнено с помощью переносной

буровой станции. Для нее было получено 20 AMS датировок, выполненных в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН и Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США). Калибровка радиоуглеродных датировок проведена при помощи программы Calib 8.2 с использованием калибровочной кривой IntCal20. Модель роста отложений построена в программе Bacon. Определение потерь при прокаливании проводилось методом сухого озоления в муфельной печи при температуре 550°C. Определение степени гумификации торфа основано на измерении его оптической плотности [9]. Анализ ботанического состава торфа выполнен по методике, разработанной Тюремновым [6]. Интервал отбора образцов составлял 3 см.

На основании результатов определения видовой принадлежности мхов и изучения их экологической приуроченности была составлена диаграмма распределения встречающихся на болоте Игарка видов мхов в зависимости от трофности и влажности (рис. 1). Анализ полученных данных показал, что по видовому разнообразию лидируют сфагновые мхи (13 видов). Наиболее часто на болоте Игарка встречается *Sphagnum capillifolium*, на втором месте – *S. angustifolium*. Редкими для болота Игарка стали *S. quinquefarium*, *S. tenellum* и *S. balticum*. Большинство из определенных сфагновых мхов – олиготрофные виды, что указывает на преобладание верховых участков болота. К низинным видам относятся *S. riparium* и *S. teres*. *S. subfulvum* и *S. subnitens* предпочитают мезотрофные условия. На болоте Игарка распространены как виды, обитающие на кочках (*S. capillifolium*), так и предпочитающие понижения (*S. riparium*). Зеленые мхи характеризуются меньшим разнообразием (всего 9 видов). Наиболее распространены *Aulacomnium palustre* и *Calliergon stramineum*. Довольно часто можно наблюдать виды рода *Polytrichum* (*P. commune* и *P. strictum*). По сравнению со сфагновыми мхами зеленые мхи по местообитаниям распределены более равномерно.



Рис. 1. Схема распределения мхов в зависимости от трофности и увлажнения

На основе результатов различных видов анализов, выполненных для болота Игарка, и с использованием концептуальной модели развития торфяного бугра типа пальза, предложенной М. Seppälä [11], была составлена схема развития бугра пучения, из которого были отобраны торфяные керны (рис. 2).

Согласно данным радиоуглеродного датирования, изучаемое болото начало свое формирование около 6200 кал. л.н. (калиброванных лет назад) путем суходольного заболачивания [10]. На начальном этапе развития болота на ключевом участке произрастал влажный лиственный лес на тяжелых суглинках (этап 1), в которых сохранились остатки древесины *Larix sp.* и *Alnus fruticosa*. Вероятно, до развития болота здесь существовала локальная депрессия рельефа на поверхности пологохолмистой моренной равнины ермаковского оледенения. На 2 этапе (6200–5360 кал. л.н.) болото находилось на эвтрофной стадии развития с большим количеством обводненных мочажин. Этому соответствует первичная субаквальная стадия формирования бугра пучения [1]. На данном этапе развития локальную растительность болота составляли гипново-осоковые и гипново-вахтовые растительные сообщества с участием *Drepanocladus aduncus*, *Hamatocaulis vernicosus* и *Scorpidium scorpioides*. Климат был теплее современ-

ного, что соответствует среднеголоценовому термическому максимуму. Очевидно, благодаря потеплению климата активно развивались термокарстовые процессы и образовывались многочисленные озёрки. Во время 3 этапа (5360-4465 кал. л.н.) в болотных геосистемах происходила довольно частая смена увлажнения и соответствующих им растительных сообществ. В начале этапа (до 5060 кал. л.н.) преобладал *Sphagnum teres*, достаточно требовательный к минеральному питанию [3]. Изменения в растительном покрове скорее всего связаны с формированием сфагновой гряды или небольшого бугра. Для торфа описываемой глубины характерны минимальные значения степени гумификации, что, вероятно, объясняется началом промерзания бугра, замедлившего разложение. В период 5060-4970 кал. л.н. преобладали травы и гипновые мхи (*Calliergonella cuspidata* и *Scirpus*). Это может говорить о частичном протаивании бугра и, в результате этого, проседании его поверхности. Когда процесс криогенеза возобновился, ведущую роль снова получили сфагновые мхи (4970-4465 кал. л.н.). В течение 4 этапа (4465-2250 кал. л.н.) изучаемое болото находилось в низинной стадии развития. Для него была характерна частая смена растительных сообществ, указывающая на процессы саморазвития геосистемы. Изменчивость условий увлажнения связана с неравномерным промерзанием болота. На это указывают изменения в видах торфа и степени его гумификации. В начале этапа (до 2960 кал. л.н.) уменьшилось обводнение болота, и стали преобладать осоки, гипновые и сфагновые мхи (*Drepanocladus* sp., *Scorpidium scorpioides*, *Sphagnum teres*, *Mnium cinclidioides* и *Meesia trifaria*). В течение 2960-2800 кал. л.н. происходило сильное обводнение болота, которое привело к широкому распространению *Warnstorfia exannulata*. Далее (2800-2250 кал. л.н.) наибольшее значение получили различные виды осок. На 5 этапе (2250-1700 кал. л.н.) благодаря накоплению торфа и увеличению мощности, произошла смена минерального питания, и болото перешло из эвтрофной стадии в мезотрофную. Об этом говорит появление *Eriophorum vaginatum* и *Scheuchzeria palustris*. На данном этапе наблюдается резкое повышение гумификации торфа, что связано с уменьшением влажности поверхности болота. Это указывает на переход бугра из субаквальной стадии в субаэральную, т.е. его возраст составляет около 2250 кал. л.н. Поднятие бугра произошло на фоне общего похолодания климата в регионе (около 2500 кал. л.н.), отмеченном во многих литературных источниках [5, 8]. В течение 6 этапа (1700 кал. л.н. – наст. время) происходило иссушение поверхности бугра в рамках субаэральной фазы развития. В растительном покрове стали преобладать виды, которые способны переносить засушливые условия. К ним относятся *Polytrichum strictum*, *Ledum palustris*, *Betula nana*, а также лишайники *Cladonia* и *Cetraria*. Большинство бугров, описанных в ходе полевых работ на изучаемом болоте, находятся на этой стадии.

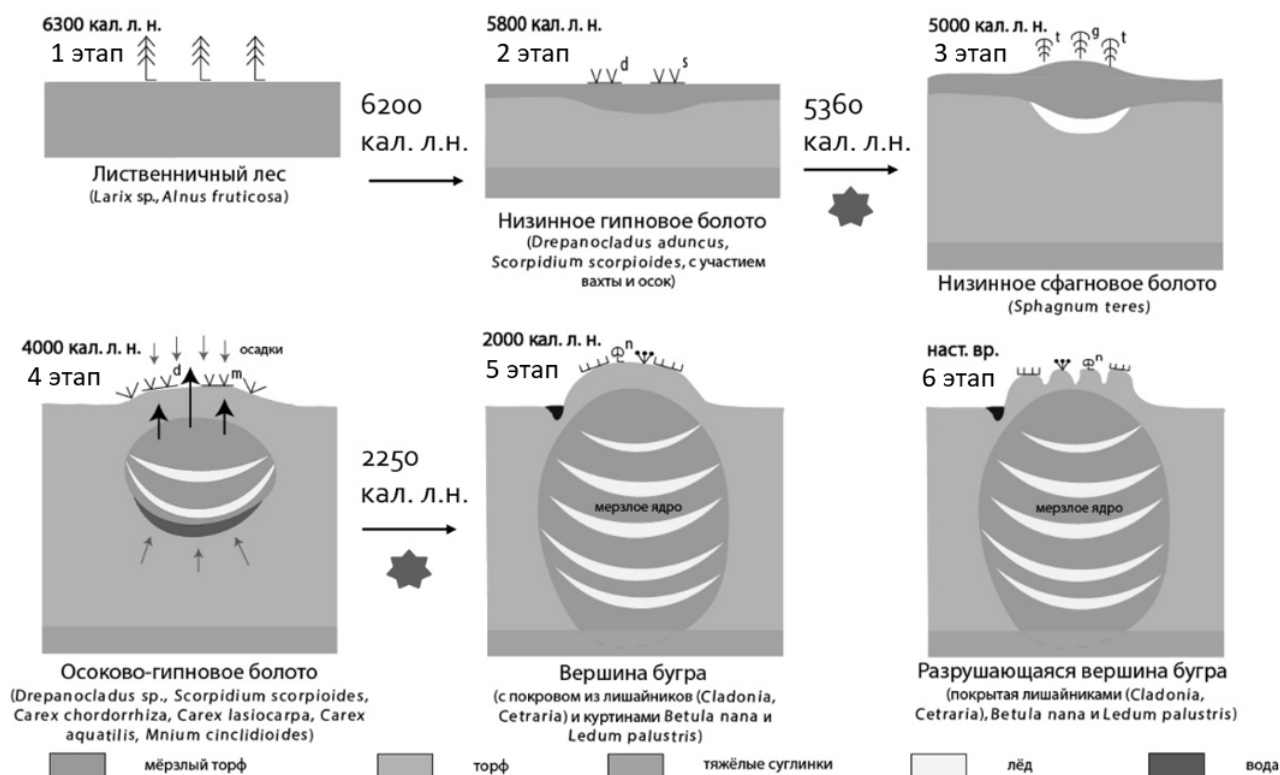


Рис. 2. Схема развития бугра пучения

Определение видов мхов и анализ их распределения показал, что в пределах болота Игарка, несмотря на высокое разнообразие видов и биотопов, преобладают олиготрофные местообитания. Сфагновые мхи отличаются большим разнообразием (13 видов). Наиболее распространенными видами из сфагновых мхов стали *S. capillifolium* и *S. angustifolium*, а из зеленых – *Aulacomnium palustre* и *Callier-*

gon stramineum. Рассмотренные палеоэкологические данные для бугра пучения на изучаемом болоте показали, что зарождение и развитие многолетнемерзлого торфяного бугра, накопление торфа и смена растительных сообществ были обусловлены не только процессами саморазвития ПТК, но и находились под влиянием климатических изменений в Российской Арктике. Согласно результатам исследований, формирование болота началось около 6200 кал. л.н. в период потепления климата среднего голоцена, условия которого были благоприятны для накопления торфа. Появление признаков промерзания торфяного бугра и его интенсивный подъем соотносены с временными рубежами 5360 и 2250 кал. л.н. соответственно и сопоставлены нами с периодами похолодания в Российской Арктике и развитием криогенных процессов.

Литература

1. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов / под ред. действ. члена РАЕН, проф. Ю.К. Васильчука. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2008. – 571 с.
2. Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И. Физическая география СССР. Азиатская часть: Учебник для студентов геогр. фак. ун-тов. – М.: Мысль, 1978. – 447 с.
3. Игнатов М.С., Игнатова Е.А. Флора мхов средней части Европейской России: в 2-х т. – М.: КМК, 2003, 2004. – 944 с.
4. Носкова М.Г. Полевой атлас-определитель сфагновых мхов таежной зоны Европейской России. – Тула: Аквариус, 2016. – 112 с.
5. Палеоклимат полярных областей Земли в голоцене / под общ. ред. Д.Ю. Большакова и С.Р. Веркулича. – СПб.: ААНИИ, 2018. – 204 с.
6. Тюрменов С.Н. Атлас растительных остатков, встречаемых в торфе. М.–Л.: Госэнергоиздат, 1959. – 90 с.
7. Усова Л.И. Практическое пособие по ландшафтному дешифрированию аэрофотоснимков различных типов болот Западной Сибири. – СПб.: Нестор-История, 2009. – 80 с., ил.
8. Andreev A.A., Tarasov P.E., Klimanov V.A., Melles M., Lisitsyna O.M., Hubberten H.-W. Vegetation and climate changes around the Lama Lake, Taymyr Peninsula, Russia during the Late Pleistocene and Holocene // Quaternary International. – 2004. – Vol. 122. – P. 69–84.
9. Chambers F.M., Beilman D.W., Yu Z. Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics // Mires and Peat. 2010. Vol. 7. P. 1-10.
10. Novenko E.Yu., Mazei N.G., Prokushkin A.S., Kupryanov D.A., Shatunov A.E., Andreev R.A., Serikov S.I. The Holocene palaeoecology of the palsa mire near Igarka (Yenisei Siberia) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. 9 p.
11. Seppälä M. Synthesis of studies of palsa formation underlining the importance of local environmental and physical characteristics // Quaternary Research. – 2011. – Vol. 75. – P. 366-370.