

УДК 581.9

ПОЗДНЕЛЕДНИКОВАЯ И ГОЛОЦЕНОВАЯ ИСТОРИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ, КЛИМАТА И ПОЖАРОВ В ПРЕДГОРЬЯХ АЛТАЯ ПО ДАННЫМ КОМПЛЕКСНЫХ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ БОЛОТА МОХОВОЕ

Т. А. Бляхарчук^{1,2*}, М. А. Пупышева¹, П. А. Бляхарчук¹

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН (пр. Академический 10/3, Томск, Россия, 634055), *blyakharchuk@mail.ru

² Томский государственный университет (просп. Ленина, 36, Томск, Россия, 634050)

Сопряженный анализ палеоэкологических данных (спорово-пыльцевых и ботанического анализа торфа) с угольковыми данными (микроугольковых и макроугольковых) на основе единой временной шкалы, построенной по 5 радиоуглеродным (УМС) датировкам из разреза отложений торфяного болота Моховое, расположенного в предгорьях Алтая, выявил комплексную картину изменений растительного покрова, климата и пожарной активности за последние 16 285 лет. Оценка ландшафтных изменений проведена с использованием метода биомизации Прентиса. Сопоставление палеопожарных реконструкций с результатами спорово-пыльцевого и макрофоссильного анализов выявили периодичность крупных пожарных событий, происходивших на фоне изменений климата, растительного покрова и эволюции болотного массива. Интенсивные и частые пожары ускоряли смены в растительном покрове как болота, так и окружающих суходольных ландшафтов. После очередной смены фитоценозов интенсивность горения ландшафта обычно снижалась. Болотные стадии: древесно-осоковая – 8,5–5,5 тыс. календарных лет назад (кал. л. н.); кочкарно-осоковая – 5,5–3 тыс. кал. л. н. и топяно-осоковая – 3–1 тыс. кал. л. н. начинались после периодов мощной интенсификации пожаров. Наиболее интенсивные и длительные пожарные эпизоды приводили к смене господствующих биомов в регионе. Так, пожары 11,5–10,5 тыс. кал. л. н. привели к смене степных биомов на лесостепные. Мощные пожары среднеголоценового оптимума 5,5–5,1 тыс. кал. л. н. привели к увеличению в лесах роли пирогенно устойчивой сосны. Корреляция максимумов пожаров с реконструированными биомами показала, что в раннем и позднем голоцене интенсификация пожаров происходила в периоды аридизации климата (расширение степного биома), а в среднем голоцене, напротив, в более влажные периоды (расширение биома тайги) за счет усиления грозовой активности.

Ключевые слова: спорово-пыльцевой анализ; голоцен; позднеледниковье; Алтай; растительность; климат; пожары; болото

Для цитирования: Бляхарчук Т. А., Пупышева М. А., Бляхарчук П. А. Позднеледниковая и голоценовая история растительности, климата и пожаров в предгорьях Алтая по данным комплексных палеоэкологических исследований болота Моховое // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С. 85–89. doi: 10.17076/eco1837

Финансирование. Финансовое обеспечение исследований осуществлялось за счет средств гранта РФФИ № 23-27-00217.

T. A. Blyakharchuk^{1,2*}, M. A. Pupysheva¹, P. A. Blyakharchuk¹. LATE GLACIAL AND HOLOCENE HISTORY OF VEGETATION, CLIMATE AND FIRES IN ALTAI MOUNTAIN PIEDMONTS ACCORDING TO MULTI PROXY PALAEOECOLOGICAL INVESTIGATION OF MOKHOVOE MIRE

¹ Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (10/3 Akademicheskoy Ave., 634055 Tomsk, Russia), *blyakharchuk@mail.ru

² Tomsk State University (36 Lenin Ave., 634050 Tomsk, Russia)

Conjugate analysis of paleoecological data (spore-pollen and macrofossil analysis of peat) with charcoal data (microcharcoal and macrocharcoal) based on a single time scale constructed using 5 radiocarbon (AMC) dates from a section of the deposit of Mokhovoe peat bog, located in the foothills of Altai Mts., produced a comprehensive image of the changes in the vegetation cover, climate and fire activity over the past 16 285 years. Landscape changes were assessed using the Prentice biomization method. A comparison of charcoal analysis data with spore-pollen and macrofossil analysis data revealed the periodicity of large fire events that occurred against the backdrop of changes in climate, vegetation cover, and the evolution of the mire. Intensive and frequent fires accelerated changes in the vegetation cover of both the mire and the surrounding upland landscapes. After each change in vegetation, the intensity of landscape burning usually decreased. Paludal stages: woody-sedge (8.5–5.5 ka BP), hummock-sedge (5.5–3 ka BP) and flark-sedge (3–1 ka BP), began after periods of high fire intensity. The most intensive and prolonged fire episodes led to a change in the dominant biomes in the region. Thus, fires at 11.5–10.5 ka BP triggered a change from steppe biomes to forest-steppe ones. The strong fires of the mid-Holocene optimum at 5.5–5.1 ka BP led to an increase in the share of the fire-resilient pine in the forests. The correlation of fire periods with the reconstructed biomes showed that in the early and late Holocene, intensification of fires occurred during periods of climate aridization (steppe biome expansion), while in the mid-Holocene, on the contrary, it happened in wetter periods (taiga biome expansion) due to higher thunderstorm activity.

Keywords: spore-pollen and macrofossil analyses; Holocene; Late Glacial; Altai; vegetation; climate; fire; mire

For citation: Blyakharchuk T. A., Pupysheva M. A., Blyakharchuk P. A. Late Glacial and Holocene history of vegetation, climate and fires in Altai Mountain piedmonts according to multi proxy palaeoecological investigation of Mokhovoe mire. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2023. No. 8. P. 85–89. doi: 10.17076/eco1837

Funding. The study was funded under Russian Scientific Foundation grant #23-27-00217.

Введение

Данные комплексных палеоэкологических исследований торфяных отложений болот несут уникальную информацию о развитии болота и об истории окружающего ландшафта, охватывающей многие тысячелетия. Интересным регионом для таких исследований являются западные предгорья Алтая, поскольку географически эта территория находится на границе между степной зоной и горными лесами. Это природный экотон, гиперчувствительный к любым изменениям климата. Кроме того, Предалтайская равнина и Алтайские горы в течение всего позднего голоцена были ареной развития различных археологических культур. Все это подчеркивает важность проведения здесь

детальных палеоэкологических исследований. До настоящего времени для предгорий Алтая нет достаточно репрезентативных палеопалинологических разрезов, охватывающих без перерыва все послеледниковое время и включающих также параллельное исследование эволюции болотного массива и пожарных событий в регионе. Появившиеся в последние годы публикации подобного рода охватывают лишь вторую половину голоцена [Бляхарчук и др., 2015; Rudaya et al., 2016; Blyakharchuk, Pupysheva, 2022]. Нами были исследованы спорово-пыльцевым, радиоуглеродным, макрофоссильным и угольковым методами отложения мощностью 640 см из торфяного болота Моховое, расположенного около поселка Ая на границе между Алтайским краем и Республикой Алтай.

Материалы и методы

Из торфяных отложений болота Моховое, расположенного в предгорьях Алтая у поселка Ая (51,907160 с.ш. 85,846734 в.д.), с помощью торфяного бура был отобран керн озерно-болотных отложений мощностью 640 см. Спорово-пыльцевым, микроугольковым и макроугольковым методами изучено 130 образцов из отобранного керна. Подробное описание результатов спорово-пыльцевого и макроугольного анализов опубликовано [Бляхарчук, 2022; Пупышева, Бляхарчук, 2023]. Получено пять радиоуглеродных дат методом УМС в радиоуглеродной лаборатории Национального Университета Тайваня. Проведен ботанический анализ торфа с реконструкцией стадий развития болота. По данным пыльцевого анализа проведена реконструкция биомов методом Прентиса [Prentice et al., 1996]. Полученные результаты сопоставлялись графически на основе равномерной временной шкалы, основанной на имеющихся радиоуглеродных датировках. С помощью программы Bacon [Blaauw, Chisten, 2011], в которую вводились некалиброванные датировки, рассчитан календарный возраст каждого образца. Полученная серия расчетных датировок использовалась в программах Exel, Char Analysis и Tilia для построения графиков и сопоставления микроугольковых и макроугольковых данных с реконструкциями биомов (по пыльцевым данным) на единой временной шкале.

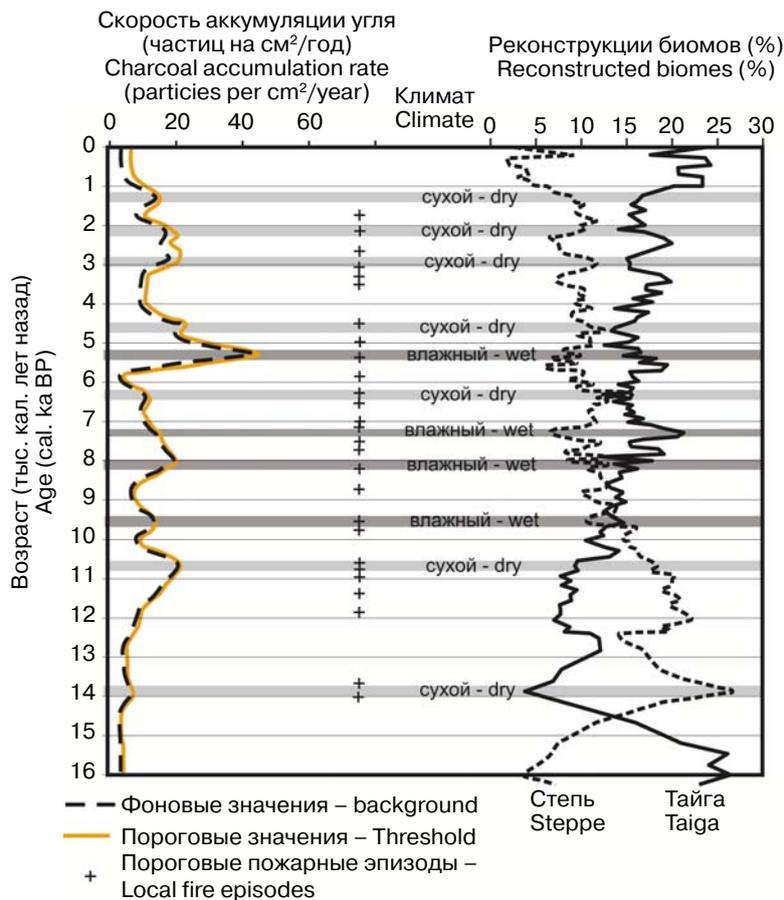
Результаты и обсуждение

Радиоуглеродные датировки, полученные по маленьким (1 см³) образцам методом УМС, оказались в правильной последовательности, без инверсий: 2112 ± 68 (90–95 см), 4193 ± 71 (190–195 см), 7153 ± 92 (385–390 см), 10028 ± 83 (567–570 см), 13448 ± 84 (634–640 см). Исследования показали, что осадконакопление в месте исследования началось 16,185 тыс. календарных лет назад (кал. л. н.). Временное разрешение между образцами в среднем составило 25 лет (минимальное – 17,5 года, максимальное – 62 года). Полученные высокоразрешающие палеопалинологические данные раскрывают динамику растительного покрова западных предгорий Алтая с позднеледниковое времени до современности без перерывов седиментации [Бляхарчук, 2022]. На основе палеопалинологических данных и выделенных пыльцевых зон (ПЗ) выявлено шесть фаз в развитии растительности, климата и ландшафтов в предгорьях Алтая, четыре из которых, вероятно, связаны с глобальными изменениями климата.

Литологический и ботанический анализы торфа в отложениях показали, что осадки возрастом 16–14,5 тыс. кал. л. н. представлены глинами; 14,5–10,9 тыс. кал. л. н. – озерным сапропелем; а с 10,9 до 1 тыс. кал. л. н. – торфами различного состава (в основном эвтрофными: гипновым, осоковым, древесно-осоковым). Лишь верхний слой торфяника возрастом 1 тыс. лет представлен мезотрофным осоково-сфагновым торфом. Корреляция данных биомизации с результатами палеопожарных исследований выявила возможные факторы, стимулировавшие возникновение пожаров в тот или иной период (рис.). Выявлена периодичность максимальной пирогенной активности на фоне изменений климата, растительного покрова и эволюции болотного массива. Длительность таких периодов составляет от 2 до 3,5 тыс. лет. Сопряженный анализ палинологических и макрофосильных данных с угольковыми данными показал, что, хотя главным фактором, контролировавшим смену растительного покрова в послеледниковое время на исследуемой территории, являлось изменение климата (потепление/похолодание, увлажнение/аридизация), интенсивные и частые пожары способствовали ускорению смен растительности.

После очередной смены фитоценозов интенсивность горения ландшафта обычно снижалась, но практически каждый последующий период интенсификации пожарной активности приводил к смене господствующих фитоценозов либо на самом болоте, либо в окружающем ландшафте. Меньше было пожаров в период существования гипновой болотной фации в начале торфонакопления (10–8,5 тыс. кал. л. н.) и в заключительной стадии мезотрофного осоково-сфагнового болота (1 тыс. кал. л. н. – современность). Болотные стадии: древесно-осоковая (8,5–5,5 тыс. кал. л. н.), кочкарно-осоковая (5,5–3 тыс. кал. л. н.) и топяно-осоковая (3–1 тыс. кал. л. н.) начинались после периодов мощной интенсификации пожаров.

Наиболее интенсивные и длительные пожарные эпизоды приводили к смене господствующих биомов на региональном уровне. Так, пожары 11,5–10,5 тыс. кал. л. н. привели к смене степных биомов на лесостепные с березой. Наиболее интенсивные пожары голоценового оптимума (5,5–5 тыс. кал. л. н.) привели к увеличению в лесах исследуемого региона роли пирогенно устойчивой сосны и к снижению роли березы. По приуроченности пожарных максимумов к максимумам степного или лесного биомов сделан вывод о том, какие факторы могли стимулировать возгорания. В лесостепной зоне предгорий Алтая в раннем и позднем голоцене



Корреляция макроугольковых данных (обработанных программой Char Analysis) с реконструкциями биомов по пыльцевым данным болота Моховое методом биомизации. Максимумы пирогенной активности выделены серым цветом

Correlation of macrocharcoal data (developed in the Char Analysis program) with the reconstructed biomes by pollen data from the Mokhovoe mire by the biomization method. Periods of maximum pyrogenic activity are highlighted in gray

(14; 10,6; 6,3; 4,6; 2,9; 2,1; 1,3 тыс. кал. л. н.) наиболее вероятным фактором усиления пожарной активности была аридизация климата, а в среднем голоцене (9,5; 8; 7,3 и 5,3 тыс. кал. л. н.) при более влажном климате таким фактором, вероятно, являлось усиление грозовой активности.

Заключение

Проведенные комплексные палеоэкологические исследования отложений болота Моховое в предгорьях Алтая показали, что пожары в этом регионе играли и играют важную роль в естественных природных экосистемах. Пожары возникали как при аридизации климата, так и при его увлажнении. Каждый период интенсивных пожаров выступал триггером в трансформациях растительного покрова, как на болоте, так и на окружающих суходольных ландшафтах.

Авторы благодарят А. В. Гренадерову за проведение ботанического анализа торфа болота Моховое.

Литература

Бляхарчук Т. А., Митрофанова Е. Ю., Эйрих А. Н. Комплексные палеоэкологические исследования донных отложений озера Манжерокское в предгорьях Алтая // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. № 9. С. 81–99. doi: 10.17076/lim166

Бляхарчук Т. А. Динамика растительного покрова западных предгорий Алтая в позднеледниковые и голоцене по данным спорово-пыльцевому анализу торфяных отложений болота Моховое // Материалы XV Всерос. палинологической конф., посв. памяти докт. геол.-минер. наук В. С. Волковой и докт. геол.-минер. наук М. В. Ошурковой (Москва, 1–3 июня 2022 г.). М., 2022. С. 53–56.

Пупышева М. А., Бляхарчук Т. А. Реконструкция локальных пожаров на примере торфяных отложений болота Моховое (Северный Алтай) // Труды Карельского научного центра РАН. 2023. № 8. С.... doi: 10.17076/eco1835

Blaauw M., Christen J. A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // *Bayesian Anal.* 2011. Vol. 6. P. 457–474. doi: 10.1214/ba/1339616472

Blyakharchuk T. A., Pupysheva M. A. Dynamics of vegetation and fires in Gornaya Shoriya (Northern Altai Mountains) in the Late Holocene according to palynological and charcoal research in the Maly Labysh Mire // *Contemporary Problems of Ecology.* 2022. Vol. 15, no. 2. P. 109–117. doi: 10.1134/S1995425522020020

Prentice I. C., Guiot J., Huntley B., Jolly D., Cheddadi R. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka // *Clim. Dyn.* 1996. No. 12. P. 185–194. doi: 10.1007/BF00211617

Rudaya N., Nazarova L., Novenko E., Andreev A., Kalugin I., Daryin A., Babich V., Li H.-Ch., Shilov P. Quantitative reconstructions of Mid- to Late Holocene climate and vegetation in the north-eastern Altai mountain recorded in Lake Teletskoye // *Glob. Planet. Change.* 2016. No. 141. P. 12–24. doi: 10.1016/j.gloplacha.2016.04.002

References

Blaauw M., Christen J. A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Anal.* 2011;6:457–474. doi: 10.1214/ba/1339616472

Blyakharchuk T. A. Dynamics of vegetation on the western piedmonts of the Altai Mountains in Late Glacial and Holocene according to spore-pollen analysis of peat

deposits of the Mokhovoe Mire. *Materialy XV Vseros. konf., posv. pamyati dokt. geol.-miner. nauk V. S. Volkovoi i dokt. geol.-miner. nauk M. V. Oshurkovoii (Moskva, 1–3 iyunya 2022 g.) = Proceedings XV All-Russ. palynological conf. in memory of Dr. Sci. (Geol.-Miner.) V. S. Volkova and Dr. Sci. (Geol.-Miner.) M. V. Oshurkova (Moscow, June 1–3, 2022).* Moscow, 2022. P. 53–56. (In Russ.)

Blyakharchuk T. A., Mitrofanova E. Yu., Eirikh A. N. Integrated palaeoecological investigation of bottom sediments from Lake Manzherokskoye in the piedmont Altai region. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS.* 2015;9:81–99. doi: 10.17076/lim166 (In Russ.)

Blyakharchuk T. A., Pupysheva M. A. Dynamics of vegetation and fires in Gornaya Shoriya (Northern Altai Mountains) in the Late Holocene according to palynological and charcoal research in the Maly Labysh Mire. *Contemporary Problems of Ecology.* 2022;15(2): 109–117. doi: 10.1134/S1995425522020020

Prentice I. C., Guiot J., Huntley B., Jolly D., Cheddadi R. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka. *Clim. Dyn.* 1996;12:185–194. doi: 10.1007/BF00211617

Pupysheva M. A., Blyakharchuk T. A. Local history of paleofire on the example of peat sediments of the Mokhovoe Mire (Northern Altai). *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of Karelian Research Centre RAS.* 2023;8:..... doi: 10.17076/eco1835 (In Russ.)

Rudaya N., Nazarova L., Novenko E., Andreev A., Kalugin I., Daryin A., Babich V., Li H.-Ch., Shilov P. Quantitative reconstructions of Mid- to Late Holocene climate and vegetation in the north-eastern Altai mountain recorded in Lake Teletskoye. *Glob. Planet. Change.* 2016;141:12–24. doi: 10.1016/j.gloplacha.2016.04.002

Поступила в редакцию / received: 02.11.2023; принята к публикации / accepted: 22.11.2023.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Бляхарчук Татьяна Артемьевна

д-р биол. наук, главный научный сотрудник
ИМКЭС СО РАН; профессор кафедры географии ТГУ

e-mail: blyakharchuk@mail.ru

Пупышева Мария Александровна

младший научный сотрудник

e-mail: 455207@mail.ru

Бляхарчук Павел Анатольевич

инженер

e-mail: blakar@rambler.ru

CONTRIBUTORS:

Blyakharchuk, Tatyana

Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS; Professor of Geography Department, Tomsk State University

Pupysheva, Maria

Junior Researcher

Blyakharchuk, Pavel

Engineer