

The influence of palaeo-fire activity on the dynamics of vegetation cover in the piedmont of Northern Altai for the past 16000 years

Short communication

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYPupysheva M.A.^{1*}, Blyakharchuk T.A.^{1,2}¹Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Akademicheskoy av., 10/3, Tomsk, 634055, Russia²Tomsk State University, Lenin av., 36, Tomsk, 634050, Russia

ABSTRACT. This work presents results of reconstructing dynamics of palaeo-fires in the piedmont of Northern Altai over the past 16185 cal. yr BP on the example of sediments of the Mokhovoe mire (Altai krai). 27 local fire episodes were identified based on macro-charcoal analysis and statistical processing in the CharAnalysis software package in R space. According these data, 7 periods of maximum pyrogenic activity were identified over the entire period of the Mokhovoe mire existed. The obtained data were compared with published paleoecological reconstructions for the Mokhovoe mire. To identify relationship between vegetation and fires, we carried out a correlation analysis between macro-charcoal and pollen data using the Pearson method in the PAST program. As a result, the possible influence of fires on the change of vegetation cover (post-fire successions) was revealed. The study also recorded high pyrogenic activity during warm and humid climatic periods when fir (*Abies sibirica*) dominated in the vegetation cover.

Keywords: Northern Altai, palaeo-fires, Holocene, charcoal analysis, swamp sediments

For citation: Pupysheva M.A., Blyakharchuk T.A. The influence of palaeo-fire activity on the dynamics of vegetation cover in the piedmont of Northern Altai for the past 16000 years // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 588-593. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-588

1. Introduction

In the beginning of the 21st century, the global spread and occurrence of wildfires increased rapidly (Wang et al., 2021). This trend is also typical for the Altai-Sayan region of Russia. According to the forecasts, fire danger days and fire intensity are expected to increase due to climate change in Russia by the end of this century (Sherstyukov and Sherstyukov, 2014). To prevent possible devastating consequences for the environment, society and economy, as well as to draw up reliable forecasts of forest fire rates in the studied region, data on the long-term dynamics of fires and their impact on the surrounding landscape is needed. Modern palaeoecological methods of reconstruction based on the analysis of reliable natural “archives” - lake or swamp sediments can help us (Marlon, 2020). These sediments store information in the form of plant organics, palynomorphs, as well as micro- (size <125 microns) and macroscopic charcoal particles (size >125 microns) – direct indicators of palaeo-fires (Mooney and Tinner, 2011).

2. Materials and methods

As a primary object of the study, we chose one of the sites in the piedmont of Northern Altai – Mokhovoe mire. The swamp located 4 km southeast of the village Aya (Altai krai). The modern Mokhovoe mire is in a mesotrophic stage with a dominance of birch-pine swamp facies characterized by abundant swamp-shrub understorey and sphagnum moss ground cover. The landscapes surrounding the swamps are mainly represented by pine and birch forest.

During the summer expeditions in 2017, we took core of peat sediments 6.4 m. thick from the deepest part of Mokhovoe mire for multi-proxy palaeoecological research. In common, 130 samples were taken along the entire length of the core for further processing in the laboratory. Radiocarbon dating of 5 samples was carried out at the National Taiwan University by AMS method (Pupysheva and Blyakharchuk, 2023). Based on radiocarbon dates calibrated in the Bacon program (Blaauw and Christen, 2011) in R version 4.0.4 (R Core Team, 2020) in system “from the present time” (1950

*Corresponding author.

E-mail address: 455207@mail.ru (M.A. Pupysheva)

Received: June 03, 2024; **Accepted:** July 02, 2024;

Available online: August 26, 2024

© Author(s) 2024. This work is distributed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.



was set as the reference point), a depth-age model of the sediments of the Mokhovoe mire was made and the age of the remaining samples of the peat column was calculated.

To reconstruct the local history of palaeo-fires, we used the method of macro-charcoal analysis of peat sediments (Mooney and Tinner, 2011). The main stages of physical and chemical processing of samples are presented in the work (Mooney and Tinner, 2011).

The obtained palaeo-fire data were compared with previously published micro-charcoal, spore-pollen and other results for the Mokhovoe mire (Blyakharchuk, 2022; Blyakharchuk et al., 2023).

Statistical processing of the results was performed using a CharAnalysis program (Higuera, 2009) in R space (R Core Team, 2020) based on radiocarbon and macro-charcoal data. The CharAnalysis identified specific fire events, their intensity, frequency, and the rate of accumulation of charcoal particles. The data of the depth-age model of the deposits of the Mokhovoe mire were used as a chronological basis.

To identify possible connections between fire activity and vegetation cover, a correlation analysis was carried out using the Pearson method in the PAST program (Hammer et al., 2001) based on a comparison of micro- and macro-particles of charcoal with the pollen content of the predominant plant taxa for the Mokhovoe mire. The noted correlations are significant at $P < 0.05$ boxed.

3. Results and discussion

According to the data obtained, sedimentation in the Mokhovoe mire began at 16185 cal yr BP. During this time, 27 local palaeo-fires occurred with 7 periods of maximum pyrogenic activity: 14200–13600, 11500–10500, 9800–9200, 8400–6300, 5500–4300, 2900–1900, 1600–1000 cal yr BP (Blyakharchuk et al., 2023; Pupysheva and Blyakharchuk, 2023).

The most palaeo-fires occurred in the Atlantic period of the Holocene – 9 fire episodes with a maximum of fires at the AT/SB boundary – 5500-5000 cal. yr BP. The lowest pyrogenic intensity was recorded in the Middle Dryas, Allerød, Younger Dryas and at the end of the Subatlantic period. As palaeo-fires occurred, there was a change in plant communities and stages of mire evolution (Blyakharchuk, 2022; Pupysheva and Blyakharchuk, 2023). In the Middle Dryas forest-tundra landscapes were widespread and local fires were not detected. At that time neither lake nor swamp existed, and the bottom sediments were represented by clays. Climate warming at the beginning of the Allerød was marked by a change in landscapes from forest-tundra to steppe. At the same time a lake formed where Mokhovoe mire is today. The CharAnalysis program identified 3 local paleo-fires with low pyrogenic intensity. From the Preboreal to the end of the Boreal period, birch forest-steppe dominated in the vegetation cover. 10000 cal. yr BP the lake turned into eutrophic mire. Fire activity has increased at this time - 7 local paleofire episodes were noted with maximum pyrogenic activity at the end of the Preboreal. From the Atlantic period to

the present time, the birch forest-steppe turned into a mixed pine-birch forests. During this period, 17 local fires occurred with peak pyrogenic activity at the end of the Atlantic - in the beginning of the Subboreal. From 1000 cal. yr BP the intensity of fires began to decrease and reached the minimum value to the present day.

The correlation analysis showed that micro-charcoal particles positively correlated with macro-charcoal particles ($c = 0.20$), fir (*Abies sibirica*) ($c = 0.20$) and wormwood (*Artemisia*) ($c = 0.22$), and negatively with birch (*Betula pendula*) ($c = -0.28$). Macro-charcoals are positively correlated only with fir pollen ($c = 0.19$). It follows from this, the results of counting micro- and macro-charcoal particles as indicators of fire events are generally comparable with each other, confirming that accumulation of micro-charcoal and macro-charcoal took place synchronously in closed basin of Mokhovoe mire. A positive correlation of micro- and macro-charcoals with fir pollen (*Abies sibirica*) indicates high pyrogenic activity during warm and humid climatic periods, possibly due to the intensification of cyclones and increased thunderstorm activity. In addition, micro-charcoals showed a negative correlation with birch pollen (*Betula pendula*), probably due to destructive influence of fires on mire vegetation, causing the proportion of birch in the vegetation cover decreased. Later after the fires the birch storey was restored again on the mire. The sharp growth of birch just began 1000 cal. yr BP during a decrease in pyrogenic activity in the Mokhovoe mire.

4. Conclusions

From the Late Glacial to the present, the piedmont of Northern Altai has been repeatedly exposed to fires. The presented data of the Mokhovoe mire during the past 16185 cal. yr BP show a direct relationship between palaeo-fire activity and the subsequent dynamics of vegetation. A positive correlation between micro- and macro-charcoals with *Abies sibirica* was noted. Its share in sediments increased parallel to increase in pyrogenic activity. Micro-charcoals were negatively correlated with *Betula pendula*, reflecting the role of this species in post-fire succession on the mire.

Acknowledgements

The work was carried out with the support of the state budget theme of the IMCES SB RAS № FWRG-2021-0003.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest.

References

- Blaauw M., Christen J.A. 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis* 6: 457–474.
- Blyakharchuk T. A., Pupysheva M. A., Blyakharchuk P. A. 2023. Late Glacial and Holocene history of vegetation,

climate and fires in Altai Mountain piedmonts according to multi proxy palaeoecological investigation of Mokhovoe mire. Transactions of the Karelian Research Centre RAS 8: 85–89. DOI: [10.17076/eco1837](https://doi.org/10.17076/eco1837) (In Russian)

Blyakharchuk T.A. 2022. Dynamics of the vegetation cover in western foothills of the Altai mts. during Late Glacial and Holocene according to data of spore-pollen analysis of the peat deposits of “Mokhovoe” bog. Actual problems of the modern palynology: Proceedings of XV All-Russian Palynological Conference. P. 53–56. (In Russian)

Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. Past - palaeontological statistics. <http://www.uv.es/~pardomv/pe/2001>

Higuera P. 2009. CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis. Bozeman: MT, Montana State University: 27.

Marlon J. R. 2020. What the past can say about the present and future of fire. *Quaternary Research* 96: 66-87.

Mooney S., Tinner W. 2011. The analysis of charcoal in peat and organic sediments. *Mires Peat* 7: 1–18.

Pupysheva M. A., Blyakharchuk T.A. 2023. Fire activity and landscape dynamics in the piedmont of the Northern Altai from the Late Glacial to the present. XV Siberian meeting and school of young scientists on climate and environmental monitoring. Tomsk. P. 177-180. (In Russian).

R Core Team. 2020. R: a language and environment for statistical computing; R foundation for statistical computing. Vienna. (available at: www.r-project.org/index.html)

Sherstyukov B. G., Sherstyukov A. B. 2014. Estimates of trends in the intensification of forest fires in Russia until the end of the 21st century according to scenario experiments of the fifth generation climate models. *Meteorology and Hydrol. Papers* 5: 17-30. (In Russian).

Wang Z., Huang J.G., Ryzhkova N. et al. 2021. 352 years long fire history of a Siberian boreal forest and its primary driving factor. *Global and Planetary Change*. V. 207. pp. 103653.

Влияние палеопожарной активности на динамику растительного покрова в предгорьях Северного Алтая за последние 16000 лет

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYПупышева М.А.^{1*}, Бляхарчук Т.А.^{1,2}¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, пр. Академический, 10/3, Томск, 634055, Россия²Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, Томск, 634050, Россия

АННОТАЦИЯ. В работе представлены результаты реконструкции динамики палеопожаров в предгорьях Северного Алтая за последние 16185 кал. л. на примере отложений болота Моховое (Алтайский край). На основе макроуголькового анализа и статистической обработки данных в программном пакете CharAnalysis в пространстве R выявлено 27 локальных пожарных эпизодов. Согласно результатам, за весь период существования болота отмечено 7 периодов максимальной пирогенной активности. Полученные данные были сопоставлены с опубликованными палеоэкологическими реконструкциями для исследуемого болота. Для подтверждения выявленных взаимосвязей между пожарной активностью и растительным покровом проведен корреляционный анализ методом Пирсона в программе PAST. В результате выявлено возможное влияние пожаров на изменение растительного покрова (последпожарные сукцессии). В ходе исследования также зафиксирована высокая пирогенная активность в теплые и влажные климатические периоды, когда в растительном покрове доминировала пихта сибирская (*Abies sibirica*).

Ключевые слова: Северный Алтай, палеопожары, голоцен, угольковый анализ, болотные отложения

Для цитирования: Пупышева М.А., Бляхарчук Т.А. Влияние палеопожарной активности на динамику растительного покрова в предгорьях Северного Алтая за последние 16000 лет // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 588-593. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-588

1. Введение

В начале XXI века резко увеличилось распространение и возникновение лесных пожаров по всему миру (Wang et al., 2021). Эта тенденция характерна и для Алтае-Саянского региона России. По прогнозам, из-за изменения климата в России к концу текущего столетия ожидается увеличение пожароопасных дней и интенсивности пожаров (Sherstyukov and Sherstyukov, 2014). Для предотвращения возможных разрушительных последствий для окружающей среды, общества и экономики, а также для составления достоверных прогнозов интенсивности лесных пожаров в изучаемом регионе необходимы данные о многолетней динамике пожаров и их влиянии на окружающий ландшафт. В этом нам могут помочь современные палеоэкологические методы реконструкции, основанные на анализе надежных природных «архивов» - озерных или болотных отложений (Marlon, 2020). Эти отложения хранят информацию в виде растительной органики, палиноморф, а также микро- (размером < 125 мкр) и макроскопических частиц древесного угля (разме-

ром > 125 мкр) – прямых индикаторов палеопожаров (Mooney and Tinner, 2011).

2. Материалы и методы

В качестве объекта исследования мы выбрали один из участков в предгорьях Северного Алтая – болото Моховое. Болото расположено в 4 км юго-восточнее села Ая (Алтайский край). Современное болото Моховое находится в мезотрофной стадии развития с доминированием берёзово-сосновой болотной фации и довольно обильным болотно-кустарничковым ярусом. Окружающие болота ландшафты в основном представлены сосново-березовым лесом.

Во время летней экспедиции 2017 года, был отобран керн торфяных отложений мощностью 6,4 м для комплексных палеоэкологических исследований. Всего по всей длине керна было отобрано 130 проб для дальнейшей обработки в лаборатории. Радиоуглеродное датирование 5 образцов проведено в Национальном университете Тайваня

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: 455207@mail.ru (М.А. Пупышева)

Поступила: 03 июня 2024; Принята: 02 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

© Автор(ы) 2024. Эта работа распространяется под международной лицензией Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0.



методом AMS (Pupysheva and Blyakharchuk, 2023). На основе радиоуглеродных дат, откалиброванных в программе Bacon (Blaauw and Christen, 2011) в R 4.0.4 (R Core Team, 2020) в системе счисления «от настоящего времени» (за нулевую точку отсчета принят 1950 г.) рассчитан календарный возраст каждого образца.

Для реконструкции локальной истории палеопожаров мы использовали метод макроуголькового анализа торфяных отложений. Основные этапы физической и химической обработки образцов представлены в работе (Mooney and Tinner, 2011). Полученные данные по динамике палеопожаров были сопоставлены с ранее опубликованными результатами микроуголькового, спорово-пыльцевого и других анализов для исследуемого болота (Blyakharchuk, 2022; Blyakharchuk et al., 2023). Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы CharAnalysis (Higuera, 2009) в пространстве R (R Core Team, 2020) на основе радиоуглеродных и макроугольковых данных. С помощью CharAnalysis определены конкретные пожарные эпизоды, их интенсивность, частота и скорость аккумуляции частиц угольков. В качестве хронологической основы использовались данные глубинно-возрастной модели отложений болота Моховое. Для подтверждения выявленных взаимосвязей между пожарной активностью и растительным покровом проведен корреляционный анализ методом Пирсона в программе PAST (Hammer et al., 2001) на основе сравнения микро- и макрочастиц угля с содержанием пыльцы преобладающих растительных таксонов для болота Моховое. Отмеченные корреляции значимы при $P < 0,05$ boxed.

3. Результаты и обсуждение

Согласно полученным данным, осадконакопление болота Моховое началась 16185 кал. л. назад. За это время произошло 27 локальных палеопожаров с 7 периодами максимальной пирогенной активности: 14200–13600, 11500–10500, 9800–9200, 8400–6300, 5500–4300, 2900–1900, 1600–1000 кал. л. н. (Blyakharchuk et al., 2023; Pupysheva and Blyakharchuk, 2023).

Наибольшее количество палеопожаров произошло в атлантический период голоцена – 9 пожарных эпизодов с максимумом пожаров на границе атлантического и суббореального периодов – 5500–5000 кал. л. н. Наименьшая пирогенная интенсивность отмечена в среднем дриасе, аллереде, позднем дриасе и в конце субатлантического периода. По мере возникновения пожаров происходила смена растительных сообществ и стадий развития болот (Blyakharchuk, 2022; Pupysheva and Blyakharchuk, 2023). В среднем дриасе были широко распространены лесотундровые ландшафты при полном отсутствии локальных пожаров. В это время ни озера, ни болота не существовало, а донные отложения были представлены глинами. Потепление климата в начале аллереда ознаменовалось сменой ландшафтов от лесотундры к степям. Тогда же на

месте современного болота образовалось озеро. В этот период программой CharAnalysis выявлено 3 локальных палеопожара с довольно низкой пирогенной интенсивностью. С пребореала и до конца бореала в растительном покрове доминировала березовая лесостепь. 10000 кал. л. назад озеро превратилось в эвтрофное болото. В это время возросла пожарная активность – отмечено 7 локальных пожаров с максимальной пирогенной активностью в конце пребореала. С атлантического периода и до настоящего времени на смену березовой лесостепи пришли смешанные сосново-березовые леса. За этот период произошло 17 локальных пожаров с пиком пирогенной активности в конце атлантического – начале суббореального периода. 1000 кал. л. н. интенсивность пожаров стала снижаться и достигла минимального значения к настоящему времени.

Проведенный корреляционный анализ показал, что частицы микроугольков положительно коррелируют с макроуголками ($c=0,20$), пихтой ($c=0,20$) и польнью ($c=0,22$), а отрицательно с березой ($c=-0,28$). Макроуголки положительно коррелируют только с пылью пихты ($c=0,19$). Из этого следует, что результаты подсчета частиц микро- и макроугольков как индикаторов пожарных событий в целом сопоставимы друг с другом, подтверждая наличие возгораний в пределах болота Моховое. Положительная корреляция микро- и макроугольков с пылью пихты (*Abies sibirica*) свидетельствует о высокой пирогенной активности во время теплых и влажных климатических периодов, возможно за счет интенсификации циклонов и усиления грозовой активности. Кроме того, микроуголки показали отрицательную корреляцию с пылью березы (*Betula pendula*), вероятно, из-за сильных возгораний в пределах болота доля березы в растительном покрове снижалась, а после пожаров восстанавливалась вновь. Резкий рост березы как раз начался 1000 кал. л. н. во время снижения пирогенной активности на болоте Моховое.

4. Заключение

С позднеледниковья и до настоящего времени предгорья Северного Алтая неоднократно подвергались пожарам. Представленные данные по болоту Моховое за последние 16185 кал. л. показывают прямую связь между пожарной активностью и последующей динамикой растительности. Отмечена положительная корреляция микро- и макроугольков с пихтой (*Abies sibirica*). Ее доля в осадках увеличивалась параллельно с увеличением пирогенной активности. Микроуголки отрицательно коррелировали с березой (*Betula pendula*), что отражает роль этого вида в послепожарной сукцессии на болоте Моховое.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке государственной бюджетной темы ИМКЭС СО РАН № FWRG-2021-0003.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Blaauw M., Christen J.A. 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an 601 autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis* 6: 457–474.

Blyakharchuk T. A., Pupysheva M. A., Blyakharchuk P. A. 2023. Late Glacial and Holocene history of vegetation, climate and fires in Altai Mountain piedmonts according to multi proxy palaeoecological investigation of Mokhovoe mire. *Transactions of the Karelian Research Centre RAS* 8: 85–89. DOI: [10.17076/eco1837](https://doi.org/10.17076/eco1837) (In Russian)

Blyakharchuk T.A. 2022. Dynamics of the vegetation cover in western foothills of the Altai mts. during Late Glacial and Holocene according to data of spore-pollen analysis of the peat deposits of “Mokhovoe” bog. *Actual problems of the modern palynology: Proceedings of XV All-Russian Palynological Conference*. P. 53–56. (In Russian)

Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. 2001. Past - palaeontological statistics. <http://www.uv.es/~pardomv/pe/2001>

Higuera P. 2009. *CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis*. Bozeman: MT, Montana State University: 27.

Marlon J. R. 2020. What the past can say about the present and future of fire. *Quaternary Research* 96: 66-87.

Mooney S., Tinner W. 2011. The analysis of charcoal in peat and organic sediments. *Mires Peat* 7: 1–18.

Pupysheva M. A., Blyakharchuk T.A. 2023. Fire activity and landscape dynamics in the piedmont of the Northern Altai from the Late Glacial to the present. *XV Siberian meeting and school of young scientists on climate and environmental monitoring*. Tomsk. P. 177-180. (In Russian).

R Core Team. 2020. R: a language and environment for statistical computing; R foundation for statistical computing. Vienna. (available at: www.r-project.org/index.html)

Sherstyukov B. G., Sherstyukov A. B. 2014. Estimates of trends in the intensification of forest fires in Russia until the end of the 21st century according to scenario experiments of the fifth generation climate models. *Meteorology and Hydrol. Papers* 5: 17-30. (In Russian).

Wang Z., Huang J.G., Ryzhkova N. et al. 2021. 352 years long fire history of a Siberian boreal forest and its primary driving factor. *Global and Planetary Change*. V. 207. pp. 103653.