

Holocene environmental conditions in the Eastern Sayan foothills according to a comprehensive paleoecological study of the Sosnovka mire

Short communicationLIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYGrenaderova A.V.^{1*}, Mikhailova A.B.¹, Sharafutdinov R.A.¹, Stoyko T.G.²¹ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Siberian Federal University», Svobodny str, 79, Krasnoyarsk, 660041, Russia² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Penza State University», Krasnaya st., 40, Penza, 440026, Russia

ABSTRACT. This research is devoted to the study of the combined vegetation dynamics, hydroclimatic conditions and fires in the foothills of the Eastern Sayan northwestern macroslope in the Holocene. The paleoecological reconstruction results obtained on the basis of AMS-dating, pollen, macrofossils, charcoal and malacofaunal analysis of peat deposits of the Sosnovka mire (right bank of the Yenisei River), covering the last $\approx 11,000$ calendar years are presented. It was established that the process of waterlogging began at $\approx 9700-8500$ cal yr BP at the optimum heat and moisture, when the waterless valley were covered with a mixed siberian pine-spruce-fir forest, with the maximum participation of spruce and fir. According to the study of Sosnovka mire sediments the reaction of local and regional communities to the Holocene Thermal Maximum (7500-6000 years ago) was clearly manifested. The participation of spruce and fir in the trees layer stand decreased sharply. The increase in fire activity was noted, which contributed to the lightening of forests and greater development of the shrub layer. During this interval, the process of swamping actively began in the floodplains of rivers with a drainage area in the western part of the Eastern Sayan. Based on the results of charcoal analysis six stages of increased fire activity were identified: I – about 10,000-8,800 cal yr BP, II – 7500-7200, III – 5600-5000, IV – 3700-3000, V – 2100-1800, VI – 800 cal yr BP - until now.

Keywords: vegetation and climate reconstruction, Holocene, peat deposits, mollusks, fires, oxbow lake, Eastern Sayan

For citation: Grenaderova A.V., Mikhailova A.B., Sharafutdinov R.A., Stoyko T.G. Holocene environmental conditions in the Eastern Sayan foothills according to a comprehensive paleoecological study of the Sosnovka mire // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 394-399. DOI: [10.31951/2658-3518-2024-A-4-394](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-4-394)

1. Introduction

Currently, there is an acute problem of studying the natural systems response of to global climate change. Of particular interest is understanding the trends in the forest communities development in response to changes in heat and moisture conditions, including adaptation to climate drying conditions and recovery after the impact of the pyrogenic factor. At the moment, paleoecological conditions and the environmental changes in the western part of the Eastern Sayan have been studied to a lesser extent within the Altai-Sayan region.

2. Materials and methods

The object of this study is the deposits of the Sosnovka mire, which located within the right-bank floodplain complex of the Kan River (Irbeysky district, Krasnoyarsk Territory, southeast of the Irbeyskoye village), in the southern part of the Rybinsk depression, in the periorogenic region of the Eastern Sayan and the Siberian platform (Nikolaev and Chernov, 1988). The total area of the mire is 940 hectares. The modern vegetation cover is represented by a wet peatland birch forest with larch, pine, sphagnum and green moss.

Drilling was carried out using an Eijkelkamp Peat sampler, at a point with coordinates $55^{\circ}39'14.2''N$, $95^{\circ}36'27.9''E$, absolute elevation is 261 m. The total thickness of the deposits is 430 cm, sampling in 5 cm increments, the total number of samples is 71. In the depth range of 0-400 cm, sediments are represented

*Corresponding author.

E-mail address: grenaderova-anna@mail.ru (A.V. Grenaderova)

Received: June 10, 2024; **Accepted:** June 28, 2024;

Available online: August 26, 2024

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



by peat, in the range of 400-430 cm - by oxbow lakes sediments, including plant detritus and mollusk shells. The interval 400-325 cm was not covered by the analysis due to high water content, the sediments were fluid (liquid) saturated with water and could not be taken in the form of borehole cores.

The samples were studied using a complex methods: pollen (Grichuk and Zaklinskaya, 1948), macrofossils (Kulikova, 1974), charcoal (Clark, 1988) and malacofaunal analysis. Minerals of various size fractions were studied by scanning electron microscopy using a TESCAN VEGA 3 SBH microscope with an OxfordX-Act energy-dispersive microanalysis system. The main minerals composing the sediments were identified and their morphological features were established. Radiocarbon analysis of six samples was carried out in the laboratory of isotope research of the Cenozoic Geochronology Center of the Institute of Archeology and Ethnography Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences and the Accelerator Mass Spectrometry Center of the NSU-NSC. Calibration of radiocarbon dates and construction of a depth-age model was carried out using the Intcal20 calibration curve in the "Bchron" package of the R. (Reimer et al., 2020).

3. Results and discussion

The peat deposit is eutrophic type, composed almost entirely of sedge peat. At certain stages a slight increase in the role of hypnum mosses and bog herbs was noted. The lower part of the thickness is represented by alternating layers of fine-grained sand and medium-textured loam, reflecting various stages of sedimentation of floodplain and oxbow sediments under conditions of oxbow lake separation (about 11,000 cal yr BP) with its gradual siltation and overgrowth. The identified mollusk shells belong to inhabitants of open, unforested landscapes (*Vallonia pulchella* (Muller, 1774), *Vallonia tenuilabris* (Al. Braun, 1842) - an indicator of the "cold steppes" (Lozek, 1964) and the "steppe tundra" (Horsák, 2015), *Pupilla muscorum* (Linnaeus, 1758) and *Cochlicopa nitens* (Gallenstein, 1852), which may indicate cold, treeless landscapes with high humidity. According to the pollen analysis, sedge-fern communities grew in the floodplain, the tree layer of the waterless valley was sparse and represented by fir (*Abies sibirica* Ledeb.), spruce (*Picea obovata* Ledeb.) and siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour). Consistent eutrophication of the oxbow lake against the background of changes in regional heat and moisture supply led to the appearance of mire communities in place of the open water surface \approx 9700 years ago.

For \approx 9700-7500 cal yr BP the waterless valley were covered with mixed siberian pine-spruce-fir forest. The total share of pollen of dark coniferous plants in the pollen spectrum reached 68% - the maximum extreme for the entire reconstruction period. The significant participation of fir in forest ecosystems (25-32%) can be considered as a manifestation of a response to favorable conditions of heat and moisture supply.

Starting at 7500 cal yr BP in the study area the response of plant communities to the Holocene Thermal

Maximum (7500-6000 cal yr BP), which manifested itself in warming and increased aridization (Khotinsky, 1977), is clearly visible. The participation of spruce and fir of the forests has sharply decreased (by 4-5 times). An increase in fire activity (7500-7200 cal yr BP), the lightening of forests and the development of the shrub layer have been noted. The driest air is found in the interval 6800-5550 cal yr BP (fir pollen content - 1.3-2.8%). At this time, the process of bog formation of floodplains in the foothills and low mountains began actively.

Long time 5550-3800 cal yr BP on waterless valley siberian pine forests with fir, spruce and pine (*Pinus sylvestris* L.) were common with slight variations in the composition of the forest stand (the ratio of dark coniferous/light coniferous pollen averaged 44% to 39%). Based on the numerical value and species diversity of mollusk shells intervals were identified indicating an increase in water content (5450-5350 cal yr BP) and a decrease in water supply (5320-5020 cal yr BP; 4860-4150 cal yr BP).

Later (3800-3600 cal yr BP) an increase in the proportion of *Pinus sylvestris* L. was noted in the composition of the spectrum to 46% - the maximum since the beginning of the mire formation process. The share of grasses in the pollen spectrum has increased to 11%; grasses are represented by 16 taxa - maximum diversity). An increase in fire activity is recorded (the rate of accumulation of charcoal particles is about 250 particles per 1 cm² per year).

After 3600 cal. yr BP there was a gradual increase in moisture an increase in the pollen content of fir and spruce in the spectrum, moisture-loving *Typha*, *Lycopodium dubium*, ferns Ophyoglossaceae and Polypodiaceae were noted with spore composition 85%. Thanatocenosis in the range of 2960-2180 cal yr BP included maximum diversity (10 taxa), including representatives of bivalves (subfamily Euglesinae, subfamily Sphaeriinae). The proportion of aquatic mollusks shells was numerically predominant with a maximum in the interval of 2300-2230 cal yr BP. The maximum of *Pinus sibirica* pollen (38.3%) occurred at 2230-2180 cal yr BP.

Period 2000-1800 cal yr BP distinguished by the reduction of *Pinus sibirica* (28%), *Larix* was noted - 0.6%, among spores the participation of green moss reached 70%. At this time, there was an increase in fire activity, which collectively indicated a decrease in moisture. Next in 1800-1300 cal yr BP the share of dark conifers in the composition of the spectrum increased to an average of 46.5%, which may indicated a decrease in the lower limit of the forest in the western part of the Eastern Sayan. Due to the lack of reliable dates above the interval of 95-90 cm, it is very difficult to interpret the dynamics of conditions with age reference.

4. Conclusion

The resulting reconstruction of the Sosnovka mire allows us to trace changes in the environmental conditions over the last \approx 11,000 years in the forest-steppe zone ecotone - a zone of decreasing low mountains on the northwestern macroslope of the Eastern Sayan. An

integrated paleoecological approach, based on indicators of plant and animal origin, made it possible to identify the response of communities to the main climatic trends of the Holocene. Thus, the most significant expansion of the range of dark conifers (*Abies sibirica*, *Picea obovata*) occurred at \approx 9700-7500 yr BP and can be considered as a manifestation of a response to favorable conditions of heat and moisture supply. The period 1800-1300 cal yr BP (dominant *Pinus sibirica*) can be correlated with the response to the Cooling of the Dark Ages. Changes in climatic conditions towards a decrease in moisture supply, increased continentality 7500-6000 cal yr BP, 3800-3600 and 2000-1800 cal yr BP contributed to the rise of the lower limit of dark conifers and increased fire activity.

5. Acknowledgments

The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation № 23-27-00341, <https://rscf.ru/project/23-27-00341/>.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest.

References

- Clark J. S. 1988. Particle motion and the theory of stratigraphic charcoal analysis: source area, transport, deposition, and sampling. *Quaternary research* 30: 67-80. DOI: [10.1016/0033-5894\(88\)90088-9](https://doi.org/10.1016/0033-5894(88)90088-9)
- Grichuk V.P., Zaklinskaya E.D. 1948. Analysis of fossil pollen and spores and its application to paleogeography. Moscow: Geographgiz. (in Russian)
- Horsák M. 2015. European glacial relict snails and plants: environmental context of their modern refugial occurrence in southern Siberia. *BOREAS* 4 (44): 638–657. DOI: [10.1111/bor.12133](https://doi.org/10.1111/bor.12133)
- Khotinsky N.A. 1977. Holocene of Northern Eurasia: Experience of transcontinental correlation of stages of development of vegetation and climate. Moscow: Science. (in Russian)
- Kulikova G.G. 1974. A short guide to the botanical analysis of peat. Moscow: Moscow University Publishing House. (in Russian)
- Ložek V. 1964. Quartermollusken der Tschechoslowakei. *Rozpr. Ustred. Ustavu Geol.* (in German)
- Nikolaev V.A., Chernov A.F. 1988. Relief of the Altai-Sayan mountain region. Novosibirsk: Science. (in Russian)
- Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon* 62 (4): 725–757. DOI: [10.1017/rdc.2020.41](https://doi.org/10.1017/rdc.2020.41)

Природные условия голоцена в предгорье Восточного Саяна по данным комплексного палеоэкологического исследования болота Сосновка



Гренадерова А.В.¹, Михайлова А.Б.¹, Шарафутдинов Р.А.¹, Стойко Т.Г.²

¹Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041, Россия

²Пензенский государственный университет, ул. Красная, 40, Пенза, 440026, Россия

АННОТАЦИЯ. Исследование посвящено изучению динамики растительности, гидроклиматических условий и пожаров в предгорье северо-западного макросклона Восточного Саяна. Приводятся результаты палеоэкологической реконструкции, полученной на основе AMS датирования, спорово-пыльцевого, ботанического, палеоантракологического и малакофаунистического анализа отложений болота Сосновка (правобережье р.Енисей), охватывающие последние ≈ 11000 календарных лет. Установлено, что процесс заболачивания начался $\approx 9700-8500$ кал. л. н. в оптимум тепло- и влагообеспеченности, когда суходолы были покрыты смешанным кедрово-елово-пихтовым лесом с максимальным участием ели и пихты. В строении толщи Сосновка отчетливо проявилась реакция на термический оптимум голоцена (7500-6000 л. н.): сокращение участия ели и пихты в составе древостоя, усиление пожарной активности, осветление лесов, начало заболачивания в поймах рек с водосбором в предгорье западной части Восточного Саяна. Выделено шесть этапов усиления пожарной активности: I – около 10000-8800 кал. л. н., II – 7500-7200, III – 5600-5000, IV – 3700-3000, V – 2100-1800, VI – 800 кал. л. н. – по настоящее время.

Ключевые слова: реконструкция растительности и климата, голоцен, торфяные отложения, моллюски, пожары, старица, Восточный Саян

Для цитирования: Гренадерова А.В., Михайлова А.Б., Шарафутдинов Р.А., Стойко Т.Г. Природные условия голоцена в предгорье Восточного Саяна по данным комплексного палеоэкологического исследования болота Сосновка // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 394-399. DOI: [10.31951/2658-3518-2024-A-4-394](https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-4-394)

1. Введение

В настоящее время остро стоит проблема изучения отклика природных систем на глобальное изменение климата. Особый интерес представляет понимание тенденций развития лесных сообществ в ответ на изменение тепло- и влагообеспеченности, в том числе адаптации к условиям иссушения климата и восстановления после воздействия пирогенного фактора. На сегодняшний день в пределах Алтае-Саянского региона в меньшей степени изучены палеоэкологические условия в западной части Восточного Саяна.

2. Материалы и методы

Объектом исследования являются отложения болота Сосновка, которое располагается в пределах правобережного пойменного комплекса реки Кан

(Ирбейский район, Красноярский край, на юго-восток от с.Ирбейское) в южной части Рыбинской впадины в перигорной области Восточного Саяна и Сибирской платформы (Николаев и Чернов, 1988). Общая площадь болота – 940 га. Современный растительный покров представлен заболоченным березняком разнотравно-сфагново-зеленомошным.

Бурение выполнено с помощью пробоотборника Eijkelkamp Peat sampler в точке с координатами 55°39'14.2"с.ш., 95°36'27.9"в.д. и абсолютной отметкой 261 м. Общая мощность изученной колонки составляет 430 см, опробование выполнено с шагом 5 см, общее количество проб – 71 шт. В диапазоне глубин 0-400 см отложения представлены торфом, в интервале 400-430 см – старичными осадками, включающими растительный детрит и раковины моллюсков. Интервал 400-325 см не охвачен анализом, по причине высокой обводненности, отложения были текучими (жидкими).

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: grenaderova-anna@mail.ru (А.В. Гренадерова)

Поступила: 10 июня 2024; Принята: 28 июня 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

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



Образцы изучены комплексом методов: спорово-пыльцевой (Гричук и Заклинская, 1948), ботанический (Куликова, 1974), палеоантракологический (Clark, 1988) и малакофаунистический анализ. Минералы различных размерных фракций изучены методом сканирующей электронной микроскопии на микроскопе TESCAN VEGA 3 SBH с системой энергодисперсионного микроанализа OxfordX-Act. Радиоуглеродный анализ шести проб выполнен в лаборатории изотопных исследований ЦКП «Геохронология кайнозоя» ИАЭТ СО РАН и ЦКП «Ускорительная масс-спектрометрия НГУ-ННЦ. Калибровка радиоуглеродных дат и построение глубинно-возрастной модели проводилась по калибровочной кривой *intcal20* в пакете «*Bchron*» среды R. (Reimer et al., 2020).

3. Результаты и обсуждение

Торфяная залежь низинного типа, сложена преимущественно осоковым видом торфа, в отдельные этапы отмечалось незначительное усиление роли гипновых мхов и болотного разнотравья. Нижняя часть толщи представлена чередованием слоев мелкозернистых песков, тяжелых и средних суглинков, отражающих различные этапы седиментации пойменных и старичных отложений в условиях отшнуровывания старицы (около 11000 кал. л. н.) с постепенным ее заилением и зарастанием.

Идентифицированные раковины моллюсков принадлежат обитателям открытых, незалесенных ландшафтов (*Vallonia pulchella*, *Vallonia tenuilabris* – индикатор «холодных степей» (Lozek, 1964) и «степной тундры» (Horsák et al., 2015), *Pupilla muscorum* и *Cochlicopa nitens*, что может свидетельствовать о холодных безлесных ландшафтах с высоким увлажнением. Согласно данным спорово-пыльцевого анализа, в пойме произрастали осоково-папоротниковые сообщества, древесный ярус суходолов был разрежен и представлен пихтой (*Abies sibirica* Ledeb.), елью (*Picea obovata* Ledeb.) и кедром (*Pinus sibirica* Du Tour). Последовательное эвтрофирование старицы, на фоне изменения региональной тепло- и влагообеспеченности, привело \approx 9700 л.н. к появлению болотных сообществ на месте открытой водной поверхности.

На протяжении \approx 9700-7500 кал. л. н. суходолы были покрыты смешанным кедрово-елово-пихтовым лесом. Суммарная доля пыльцы темнохвойных растений в составе пыльцевого спектра достигло 68% – максимум за весь период реконструкции. Значительное участие пихты в составе лесов (25-32% в составе спектра) можно рассматривать как проявление отклика на благоприятные условия тепло- и влагообеспеченности.

Начиная с 7500 кал. л. н. в исследуемом районе хорошо прослеживается реакция растительных сообществ на термический максимум голоцена (7500-6000 кал. л. н.), проявившийся в потепление и усиление аридизации (Хотинский, 1977). Участие ели и пихты в составе древостоя резко сократилось (в 4-5 раз в составе спектра), отмечено уси-

ление пожарной активности (7500-7200 кал. л. н.), осветление лесов и развитие кустарникового яруса. Наибольшей сухостью воздуха отличается интервал 6800-5550 кал. л.н. (содержание пыльцы пихты – 1,3-2,8%), в это время активно начался процесс заболачивания пойм в предгорье и низкогорье, фиксируется высокая концентрация частиц макроугля.

Длительное время 5550-3800 кал. л. н. на суходолах были распространены кедровые с пихтой, елью и сосной (*Pinus sylvestris* L.) леса, с небольшими вариациями в составе древостоя (соотношение пыльцы темнохвойных/светлохвойных составило в среднем 44% к 39%). По структуре танатоценоза моллюсков выделены интервалы указывающие на увеличение (5450-5350 кал.л.н.) и снижение обводненности (5320-5020 и 4860-4150 кал.л.н.).

Позже, 3800-3600 кал. л. н. в составе спектра отмечено увеличение доли *Pinus sylvestris* L. до 46% – максимум с начала процесса болотообразования, доля травянистых в составе пыльцевого спектра возросла до 11%, травы представлены 16 таксонами – максимум разнообразия, фиксируется усиление пожарной активности (скорость аккумуляции частиц угля около 250 частиц на 1 см² в год). После 3600 кал. л. н. наблюдается рост содержания пыльцы пихты и ели, отмечены влаголюбивые *Typha*, *Lycopodium dubium*, папоротники сем. *Ophyoglossaceae*, доля *Polypodiaceae* в составе споровых – 85%. Танатоценоз в интервале 2960-2180 кал. л. н. включает максимальное разнообразие (10 таксонов), в том числе представителей двустворчатых моллюсков (подсемейство *Euglesinae*, подсемейство *Sphaeriinae*), доля водных моллюсков численно преобладает с максимумом в интервал 2300-2230 кал. л. н. Максимальный экстремум содержания пыльцы *Pinus sibirica* (38,3%) приходится на 2230-2120 кал. л. н.

Период 2000-1800 кал. л. н. отличается сокращением *Pinus sibirica* (28% в спс), отмечена *Larix* – 0,6%, среди споровых участие зеленого мха достигает 70%. На это время приходится усиление пожарной активности, что в совокупности указывает на снижение увлажнения. Далее 1800-1300 кал. л. н. доля темнохвойных в составе спектра увеличивается в среднем до 46,5%, что может указывать на снижение нижней границы леса в западной части Восточного Саяна. В связи с отсутствием достоверных дат выше интервала 95-90 см, интерпретировать динамику условий с возрастной привязкой весьма затруднительно.

4. Заключение

Полученная реконструкция «Болото Сосновка» позволяет проследить изменение природной среды за последние \approx 11000 лет в экотоне лесостепная зона – зона снижающихся низкогорий северо-западного макросклона Восточного Саяна. Комплексный палеоэкологический подход, опирающийся на индикаторы растительного и животного происхождения, позволил выявить отклик сообществ на основные климатические тенденции

голоцена. Так, наиболее значительное расширение ареала темнохвойных (*Abies sibirica*, *Picea obovata*) пришлось на ≈ 9700 -7500 кал. л. н. и может рассматриваться как проявление отклика на благоприятные условия тепло- и влагообеспеченности, а период 1800-1300 кал.л.н. (доминант *Pinus sibirica*) можно соотнести с откликом на Похолодание темных веков. Изменение климатических условий в сторону снижения влагообеспеченности, усиление континентальности 7500-6000 кал.л.н., 3800-3600 и 2000-1800 кал.л. способствовало подъему нижней границы темнохвойных, усилению пожарной активности.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-27-00341, <https://rscf.ru/project/23-27-00341/>.

Конфликты интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

Гричук В.П., Заклинская Е.Д. 1948. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. М.: Географгиз.

Куликова Г.Г. 1974. Краткое пособие к ботаническому анализу торфа. М.: Изд-во Московского университета.

Николаев В.А., Чернов А.Ф. 1988. Рельеф Алтае-Саянской горной области. Новосибирск: Наука.

Хотинский Н.А. 1977. Голоцен Северной Евразии: Опыт трансконтинентальной корреляции этапов развития растительности и климата. Москва: Наука.

Clark J.S. 1988. Particle Motion and the Theory of Charcoal Analysis: Source Area, Transport, Deposition, and Sampling. *Quaternary Research* 30: 67–80. DOI: [10.1016/0033-5894\(88\)90088-9](https://doi.org/10.1016/0033-5894(88)90088-9)

Horsák M., Chytrý M., Hájková P. et al. 2015. European glacial relict snails and plants: environmental context of their modern refugial occurrence in southern Siberia. *BOREAS*. 4 (44): 638–657.

Ložek, V. 1964. Quartermollusken der Tschechoslowakei. V. Ložek. – Rozpr. Ustred. Ustavu Geol.

Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*. 62(4): 725–757. DOI: [10.1017/rdc.2020.41](https://doi.org/10.1017/rdc.2020.41)