

The mid- and Late Holocene history of forest fires in Central Evenkia inferred from macrocharcoal analysis



Shatunov A.E.^{1*}, Kupriyanov D.A.¹, Prokushkin A.S.²,
Mazei N.G.³, Novenko E.Yu.¹

¹Department of Quaternary Paleogeography, Institute of Geography Russian Academy of Science, Staromonetny Lane, 29, Moscow, 119017, Russia

²V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center "Krasnoyarsk Science Center SB RAS", Akademgorodok 50/28, 660036, Krasnoyarsk, Russia

³Department of Physical Geography and Landscape Science, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Leniskie Gory 1, Moscow, 119991, Russia

ABSTRACT. The paper presents the reconstruction of the Mid- and Late Holocene frequency of forest fires in the Lower Tunguska River basin in the vicinity of the settlement of Tura (central Evenkia) revealed from plant macro remains and macroscopic charcoal analysis of peat cores from two peatlands. The results of analysis showed similar patterns of charcoal accumulation rates in peat deposits from both bogs during the Holocene and their significant temporal variability. According to the data obtained, the stages of increased frequency and intensity of fires in Central Evenkiya occurred during the periods 7800-6500 cal years BP and 3800-2900 cal years BP and were influenced by climatic factors. The period of increasing fire activity, which has been observed from the first half of the XVII century to the present day, was caused by a combination of anthropogenic and natural factors. A decline in the charcoal accumulation rate in peatlands and an increase in the length of fire return intervals were characteristic for periods 6500-3800 cal years BP and 2900-600 cal years BP. Perhaps the cooling climate created unfavorable conditions for the occurrence and spread of forest fires.

Keywords: peatlands, fire frequency, plant macro remains of peat, northern taiga, Central Siberia

For citation: Shatunov A.E., Kupriyanov D.A., Mazei N.G., Prokushkin A.S., Novenko E.Yu. The mid- and Late Holocene history of forest fires in Central Evenkia inferred from macrocharcoal analysis // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 636-641. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-636

1. Introduction

Fires are an important part of forest ecosystem functioning and development. The reconstruction of fire events in the past and the identification of their associated causes will obviously contribute to the prediction of their likely dynamics in the changing climate, that determine the importance and relevance of the present study. The frequency of forest fires in Central Evenkia has been studied by the dendrochronological method only for the period of XV-XXI centuries (Kharuk et al., 2005), while the Holocene fire history has remained unexplored.

2. Materials and methods

Reconstructions of the frequency of forest and peat fires were carried out based on the data obtained

from of two peatlands located in Central Evenkia on the Syverma plateau, at the confluence of the Kochechum with the Lower Tunguska Rivers in the vicinity of the settlement of Tura. The study area is located within the basalt plateaus dissected by river valleys. The vegetation cover is dominated by larch forests at various stages of post-fire succession. The region belongs to the area of continuous permafrost.

The sample plots were located within two peatlands: the Gornoye peatland (64°13'55.97"N, 100°02'5.21"E, H = 335 m a.s.l. (above sea level)), occupied a flat plateau in 10 km to the South from the settlement of Tura, and the Lower Tunguska peatland (hereafter LT, 64°10'49.74"N, 100°34'59.16"E, H = 220 m a.s.l.), situated on the 2nd floodplain terrace of the Lower Tunguska Rivers in 20 km to the South-east from the settlement. The peatlands under study are

*Corresponding author.

E-mail address: toxavilli@yandex.ru (A.E. Shatunov)

Received: June 06, 2024; **Accepted:** July 03, 2024;

Available online: August 26, 2024

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



located approximately 30 kilometers apart, on opposite banks of the Lower Tunguska River. The depths of the revealed peat cores were 215 cm for the Gornoye peatland and 113 cm for the LT peatland.

AMS radiocarbon dating of 6 peat samples and plant residuals from the Gornoye peatland and 4 samples from the LT peatland was performed at the the Common Use Center “Radiocarbon Dating and Electron Microscopy Laboratory” of the Institute of Geography RAS.

The sample preparation for the macroscopic charcoal (size > 125 μm) analysis was carried out according to a standard procedure (Mooney and Tinner, 2011). The CharAnalysis software package (Higuera, 2009) was used to specify the dynamics of forest fires, to determine the charcoal accumulation rate (pieces $\text{cm}^{-2} \text{yr}^{-1}$, CHAR) in peat and to identify local fire episodes. The chronological basis of the reconstruction was an age-depth model, were constrained using the Bayesian-based algorithm Bacon version 2.3.9.1 (Blaauw and Christen, 2011) in the R language environment.

LOWESS (local weighted regression) was used as a smoothing method to calculate the background and threshold rates of charcoal accumulation in the peat of the studied bogs and identify local fire episodes. The period for which data was interpolated for the Gornoye peatland was 35 years. Due to the sedimentation gap in the peat deposit of the LT peatland, the analysis was divided into two parts. The period of data interpolation for the older part of the peat core was 54 years and 17 years for the younger one. The time window for determining the local fire episodes was 2500, 1200 and 300 years respectively.

The fire return interval (FRI) was identified as the time period between fire episodes.

The analysis of plant macro-remains in peat was carried out using standard methods for the study of the botanical composition of peat (GOST 28245-09) following (Katz et al., 1977).

3. Results and discussion

Peat initiation in the Gornoye peatland occurred at 7830 ± 50 cal year BP, the rate of the vertical peat growth varied from 0.15 to 0.58 mm/years. No significant breaks in peat formation were identified. The age of the basal layer of the peat column obtained from the LT peatland was 7630 ± 45 cal. years BP. For the studied part of the peat sequences, four radiocarbon dates with one inversion were obtained. Besides, there is an obvious hiatus in these deposits at a depth of 56 cm. At this depth, the type of peat changes dramatically from grass-feathermoss (*Equisetum* sp. 30 %, *Menyanthes trifoliata* 30%, green mosses 15%) to sphagnum peat. At a depth of 56-43 cm, peat is formed mainly by *Sphagnum balticum* (70%), and starting from a depth of 40 cm *S. lindbergii* (65%) dominated. The radiocarbon date 5660 ± 60 cal years BP was obtained for a sample from the depth of 79-80 cm, and the age of the sample from the depth 55-54 cm was 830 ± 40 cal. years BP. The accumulation of 25 cm of peat over almost 3,000 years is inconsistent with its composition and low degree of decomposition. We suggest that the interruption in sedimentation was associated with permafrost uplift and loss of some of the material during the development of the perennial frost mound and its subsequent degradation.

Due to the hiatus in peat accumulation, charcoal accumulation rate analyses for the LT peat core were carried out separately for the lower and upper parts of the core. The lower part (Fig. 1 A) covered the time period from 7500 to 4500 cal. years BP, the upper part belongs to the period from 850 cal years Bp to the present (Fig. 1 B). In total 11 fire event were identified. For the Gornoye peatland (Fig. 1C), 20 fire episodes were detected for the whole time of peataccumulation, starting at about 7830 cal. years BP.

The results of analysis showed similar patterns of charcoal accumulation rates in peat deposits from both bogs during the Holocene and their significant tempo-

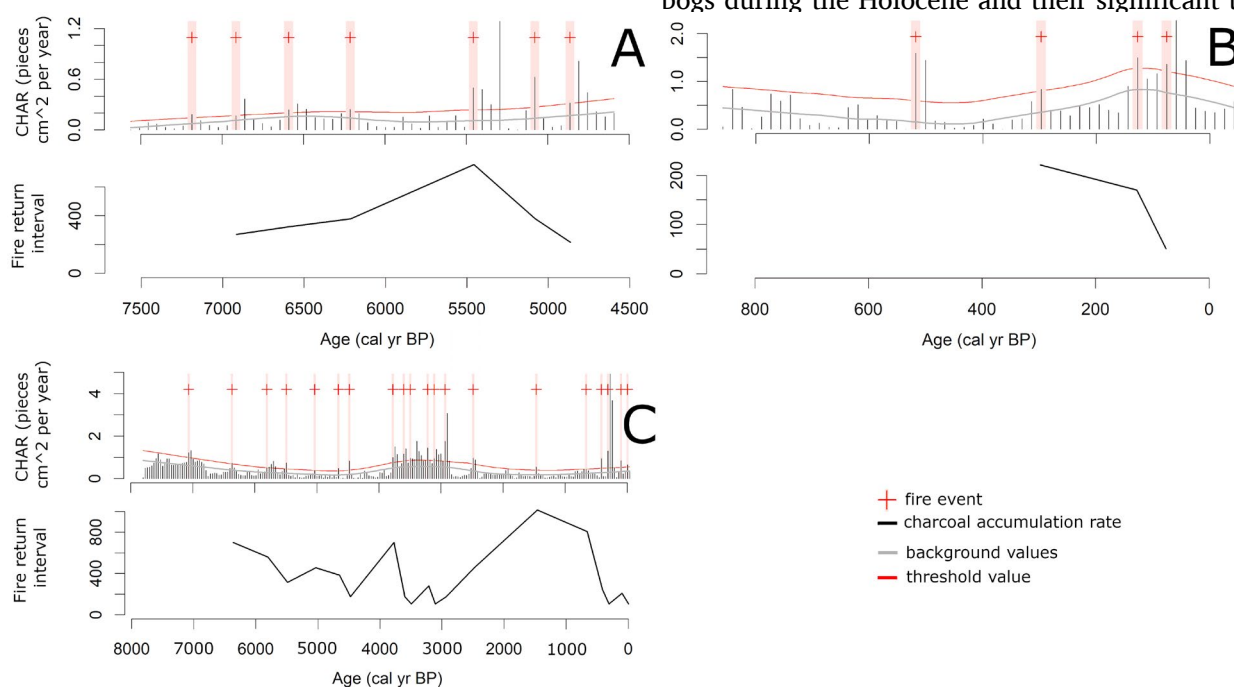


Fig.1. Charcoal accumulation rate in the Nizhnyaya Tunguska (A, B) and Gornoye (C) bogs. CHAR - rate of charcoal accumulation.

ral variability. The relatively high charcoal accumulation rate and a series of fire episodes were revealed in the Middle Holocene between 7800 and 6500 cal. years BP. The low charcoal accumulation was characteristic for the time intervals 6500-3800 and 2900-600 cal. years BP with an average FRI of 400 years. In some periods, for example between 6500 and 5500 cal. years BP, the FRI lasted 500 years or more. No fire events were detected between 4500 and 3800 cal. years BP. According to available vegetation and climate reconstructions for northern Siberia (Andreev et al., 2004; Groisman and Gutman, 2012), the climate was colder and wetter in the periods 5700-3500 and 2700-2000 cal. years BP than today. Perhaps the cooling climate created unfavorable conditions for the occurrence and spread of forest fires. In the period 3800-2900 cal. years BP, climate warming and a decrease in humidification may have caused a rise in the background values of the charcoal accumulation rate and an increase in the number of fires. After 600 cal. years BP, the accumulation of macroscopic charcoal particles in both peatlands was markedly accelerated. The increase in the frequency of fires at that time was probably due to the development of the territory by Russian colonizers from the XVII century onwards (Gaidin and Burmakina, 2022). The FRI was about 100 years in the period from the XVII to XX centuries, and since the XX century it lasted lower than 50 years. The results of a study of fires using the dendrochronological method (Kharuk et al., 2005) showed the similar duration of the FRI for the study area during the same time.

4. Conclusions

During the Middle and Late Holocene, there were phases of increase in the frequency and intensity of fires in Central Evenkia in the periods 7800-6500 and 3800-2900 cal. years BP, due to the influence of the climatic factors as temperature and moisture variability, and a period of increase in fire activity since the beginning of the XVII century, caused by the combined action of anthropogenic and natural factors. A decline

in the rate of charcoal accumulation and an extension of the FRI occurred during the time intervals 6500-3800 and 2900-600 cal years BP.

Acknowledgements

The studies were supported by grant of the Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation (agreement № 075-15-2024-554 of 24.04.2024).

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Andreev A.A., Tarasov P.E., Klimanov V.A. et al. 2004. Vegetation and climatic changes around Lama Lake, Tymyr Peninsula, Russia during the Late Pleistocene and Holocene. *Quaternary International* 122: 69–84. DOI: [10.1016/j.quaint.2004.01.032](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2004.01.032)
- Blaauw M., Christen J.A. 2011. Flexible palaeoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis* 6: 457–474. DOI: [10.1214/ba/1339616472](https://doi.org/10.1214/ba/1339616472)
- Gaidin S.T., Burmakina G.A. 2022. Development of waterways of the northern part of the Yenisei basin in the XVII - early XX century. *Historical Courier* 3: 87–103. (in Russian)
- GOST 28245-09. 1990. Peat. Methods of determination of botanical composition and degree of decomposition. M. (in Russian)
- Groisman P.Y., Gutman G. 2012. Regional environmental change in Siberia and its global implications. Springer Dordrecht. DOI: [10.1007/978-94-007-4569-8](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4569-8)
- Higuera P. 2009. CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sedimentary coal analysis.
- Katz N.Y., Katz S.V., Skobeeva E.I. 1977. Atlas of plant remains in peats. Moscow: Nedra. (in Russian)
- Kharuk V.I., Dvinskaya M.L., Ranson K.J. 2005. Spatial and temporal structure of fires in north taiga larch forests of Central Siberia. *Russian Ecological Journal* 36(5): 302–311.
- Mooney S.D., Tinner W. 2011. Analysis of charcoal in peat and organic sediments. *Bogs and Peat* 09: 1–18.

История лесных пожаров в Центральной Эвенкии в среднем и позднем голоцене по данным анализа макроскопических частиц угля в торфе

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYШатунов А.Е.^{1*}, Куприянов Д.А.¹, Прокушкин А.С.²,
Мазей Н.Г.³, Новенко Е.Ю.¹¹ Институт географии РАН, Старомонетный 29, 119017, Москва, Россия² ФИЦ КНЦ СО РАН, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Академгородок 50/28, 660036, Красноярск, Россия³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Ленинские Горы 1, 119991, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ. В статье рассмотрена периодичность лесных пожаров в среднем и позднем голоцене в бассейне Нижней Тунгуски в окрестностях посёлка Тура (центральная Эвенкия). Реконструкция выполнена по данным анализов концентрации макроскопически частиц угля и ботанического состава торфа в торфяных залежах двух болот. Результаты анализа показали близкие закономерности изменения скоростей накопления макрочастиц угля в голоцене в торфяных залежах обоих болот и значительную их вариабельность во времени. Согласно полученным данным, этапы увеличения частоты и интенсивности пожаров в Центральной Эвенкии выявлены в периоды 7800-6500 кал.л.н и 3800 - 2900 кал. л.н, и были обусловлены действием климатического фактора. Период возрастания пожарной активности, установленный, начиная с первой половины XVII века до настоящего времени, был вызван совместным действием антропогенного и природных факторов. Снижение скоростей аккумуляции макроскопических частиц угля в торфяных залежах болот и возрастание длительности межпожарных интервалов было характерно для периодов 6500-3800 и 2900-600 кал. л.н. Возможно, в условиях похолодания климата создавались неблагоприятные условия для возникновения и распространения лесных пожаров.

Ключевые слова: торфяные болота, периодичность пожаров, ботанический состав торфа, северная тайга, Средняя Сибирь

Для цитирования: Шатунов А.Е., Куприянов Д.А., Мазей Н.Г., Прокушкин А.С., Новенко Е.Ю. История лесных пожаров в Центральной Эвенкии в среднем и позднем голоцене по данным анализа макроскопических частиц угля в торфе // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 636-641. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-636

1. Введение

Пожары – важная составляющая функционирования и развития лесных экосистем. Реконструкция пожарных событий в прошлом и выявление причин, с которыми они были связаны, очевидно, поможет спрогнозировать их вероятную динамику в условиях меняющегося климата текущего столетия, что определяет актуальность данного исследования. На территории центральной Эвенкии изучение частоты лесных пожаров проводилось только для временного интервала XV-XXI веков методами дендрохронологии (Kharuk et al., 2005).

2. Материалы и методы

Реконструкции периодичности лесных и торфяных пожаров выполнены по материалам изучения двух болот, расположенных в Центральной Эвенкии в окрестностях пос. Тура. Изучаемая территория расположена в пределах базальтовых плато, расчленённых речными долинами. В растительном покрове преобладают лиственные леса, находящиеся на различной стадии послепожарной сукцессии. Регион принадлежит к области сплошного распространения многолетнемерзлых пород.

Исследования проведены для торфяных залежей двух болот: Горное (64°13'55.97"N,

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: toxavilli@yandex.ru (А.Е. Шатунов)

Поступила: 06 июня 2024; Принята: 03 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

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



100°02'5.21"E, $H_{\text{аос}} = 335$ м), расположенного на плато в 10 км к юго-западу от пос. Тура, и болота Нижняя Тунгуска (далее НТ, 64°10'49.74"N, 100°34'59.16"E, $H_{\text{аос}} = 220$ м), приуроченного к 2 надпойменной террасе реки Нижняя Тунгуска в 20 км к юго-востоку от поселка. Изучаемые болота находятся на расстоянии примерно 30 км друг от друга, на разных берегах реки Нижняя Тунгуска. Глубина отобранных торфяных колонок составляла 215 см для болота Горное и 113 см для болота НТ. Определение абсолютного возраста образцов торфа выполнено в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» ИГ РАН.

Подготовка проб для анализа макрочастиц угля (> 125µ) была проведена по стандартной методике (Mooney and Tinner, 2011). Для установления специфики динамики лесных пожаров, определяемой фоновыми скоростями накопления частиц угля в торфе и выявления локальных пожарных событий, использовался программный пакет CharAnalysis (Higuera, 2009) Хронологической основой реконструкции выступает модель вертикальной скорости роста отложений, построенная по радиоуглеродным датировкам в программной среде R с помощью библиотеки Bacon версии 2.3.9.1. (Blaauw and Christen, 2011). При расчете фоновых и пороговых скоростей накопления частиц угля в торфе изученных болот и выявления локальных пожарных эпизодов применялась LOWESS (локальная взвешенная регрессия) как метод сглаживания. Период, по которому происходила интерполяция данных, для болот Горное составил 35 лет. Из-за перерыва в накоплении торфяной залежи болота НТ, анализ был разделен на две части. Для более древней части отложений болота НТ, период, по которому происходила интерполяция данных составил 54 года и для более молодой – 17 лет. Временное окно для определения локальных пожарных эпизодов составляло 2500, 1200 и 300 лет соответственно.

Межпожарный интервал рассчитан, как интервал времени между пожарными эпизодами.

Ботанический анализ торфа для разрезов обоих болот выполнен по стандартной методике (ГОСТ 28245-09) с использованием определителя (Кац и др., 1977).

3. Результаты и их обсуждение

Торфяная залежь болота Горное начала формироваться 7830 ± 50 кал. л.н. (калиброванных лет назад). Скорость торфонакопления изменялась от 0.15 до 0.58 мм/год. Существенных перерывов в формировании торфяной залежи выявлено не было. Возраст подошвы торфяной колонки, мощностью 113 см, извлеченной из болота НТ составляет 7630 ± 45 кал. л.н. Для рассматриваемой части залежи получено 4 радиоуглеродные датировки с одной инверсией. И, кроме того, в этих отложениях присутствует очевидный хиатус на глубине 56 см. На этой глубине резко меняется тип торфа с травяно-зеленомошного (*Equisetum* sp. 30 %, *Menyanthes trifoliata* 30%, зеленые мхи 15%) на сфагновый. На глубине 56-43 см торф образован преимущественно *Sphagnum balticum* (70 %), а начиная с глубины 40 см *S. lindbergii* (65 %). Для образца с глубины 79-80 получена датировка 5660 ± 60 кал.л.н., а с глубины 55-54 см - 830 ± 40 кал. л.н. Накопление 25 см торфа в течение почти 3000 лет противоречит его составу и низкой степени разложения. Мы предполагаем, что перерыв в осадконакоплении был связан с мерзлотным пучением и потерей части материала в процессе развития бугра и его последующей деградации. Из-за хиатуса были построены две реконструкции пожаров для болота НТ. Первая (Рис. 1А) охватывает временной интервал от 7500 до 4500 кал.л.н., а вторая охватывает период от 850 кал. л.н. по настоящее время (Рис. 1В). В целом

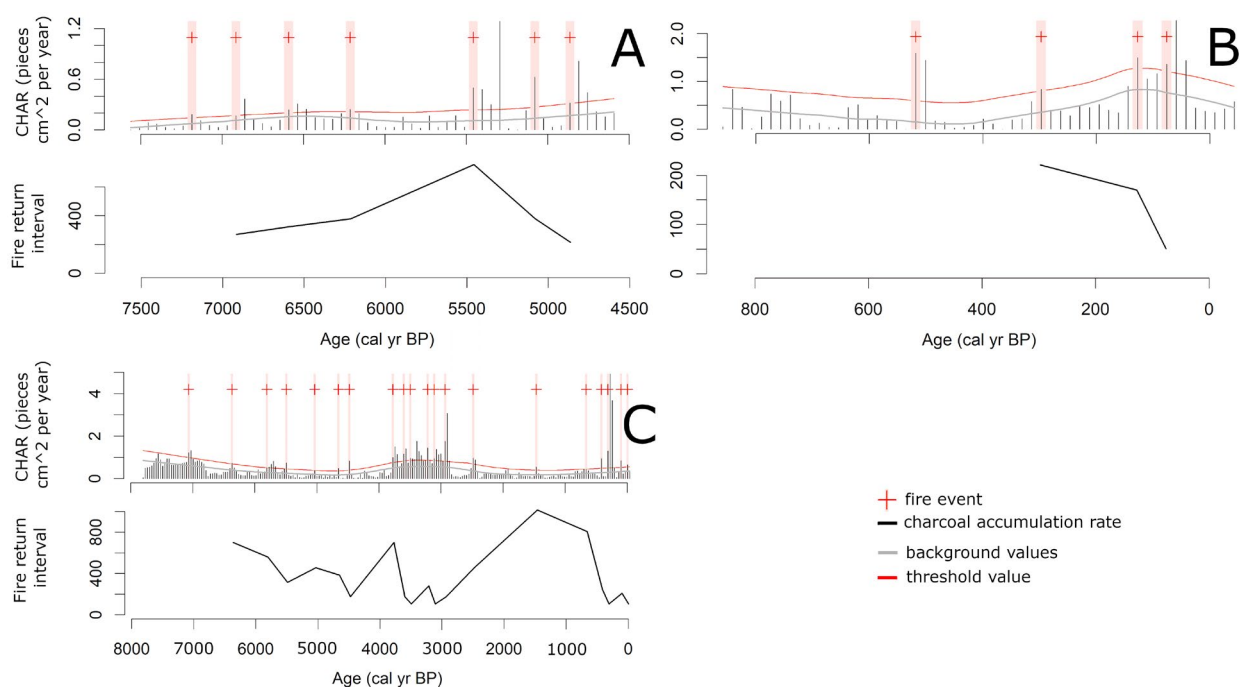


Рис.1. Скорость аккумуляции угля в болотах Нижняя Тунгуска (А, В) и Горное (С). CHAR – скорость аккумуляции угля.

для болота Нижняя Тунгуска реконструировано 11 пожаров. Для болота Горное (Рис. 1С) для периода формирования торфяной залежи, начиная около 8000 кал.л.н, выявлено 20 пожаров.

Результаты изучения концентраций макро-скопических частиц угля в болотах Горное и НТ показали близкие закономерности изменения скоростей накопления макрочастиц угля в голоцене и значительную их вариабельность во времени. Относительно высокие скорости аккумуляции макрочастиц угля и серия пожарных эпизодов выявлена в среднем голоцене между 7800 и 6500 кал. л.н. Низкие скорости были характерны для периодов 6500-3800 и 2900-600 кал. л.н., средний межпожарный интервал (МПИ) в это время составлял около 400 лет, а в отдельные периоды, например, между 6500 и 5500 кал.л.н. МПИ продолжался около 500 лет и более. В интервале с 4500 до 3800 кал. л.н. пожарные события отсутствовали. Согласно имеющимся реконструкциям растительности и климата для севера Сибири (Andreev et al., 2004; Groisman and Gutman, 2012) в периоды 5700-3500 и 2700-2000 кал. л.н. климат был более холодным и влажным, чем в настоящее время. Возможно, в условиях похолодания климата создавались неблагоприятные условия для возникновения и распространения лесных пожаров. Увеличение фоновых значений скорости аккумуляции угольных частиц и рост числа пожаров в период 3800 - 2900 кал. л.н., возможно, был связан с потеплением климата и сокращением увлажнения. После 600 кал. л.н. аккумуляция макрочастиц угля в торфяных залежах обоих болот и частота пожаров увеличилась. Вероятно, усиление частоты пожаров в это время связано с освоением территории русскими колонизаторами, начиная с XVII века (Гайдин и Бурмакина, 2022). МПИ имеют длительность около 100 лет в период с XVII века по XX век, а начиная с XX века он длился менее 50 лет. Близкую продолжительность МПИ для изучаемой территории в этот период выявлена по результатам исследования пожаров с помощью дендрохронологического метода (Kharuk et al., 2005).

4. Заключение

На протяжении среднего и позднего голоцена выявлены этапы увеличения частоты и интенсив-

ности пожаров в Центральной Эвенкии в периоды 7800-6500 и 3800 - 2900 кал. л.н., обусловленных действием климатического фактора и период возрастания пожарной активности с начала XVII века, вызванной совместным действием антропогенного и природных факторов. Снижение скоростей аккумуляции частиц угля и возрастание длительности МПИ было характерно для периодов 6500-3800 и 2900-600 кал. л.н.

Благодарности

Исследования выполнены при поддержке гранта Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-15-2024-554 от 24.04.2024).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Гайдин С. Т., Бурмакина Г. А. 2022. Освоение водных путей северной части бассейна Енисея в XVII - начале XX века. Исторический курьер 3: 87–103.
- ГОСТ 28245-09. 1990. Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения. М.
- Кац Н.Я., Кац С.В., Скобеева Е.И. 1977. Атлас растительных остатков в торфах. М., Недра.
- Andreev A.A., Tarasov P.E., Klimanov V.A. et al. 2004. Vegetation and climate changes around the Lama Lake, Tumor Peninsula, Russia during the late Pleistocene and Holocene. Quaternary International 122: 69–84. DOI: [10.1016/j.quaint.2004.01.032](https://doi.org/10.1016/j.quaint.2004.01.032)
- Blaauw M., Christen J.A. 2011. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. Bayesian Analysis 6: 457–474. DOI: [10.1214/ba/1339616472](https://doi.org/10.1214/ba/1339616472)
- Groisman P. Y., Gutman G. 2012. Regional Environmental Changes in Siberia and Their Global Consequences. Springer Dordrecht. DOI: [10.1007/978-94-007-4569-8](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4569-8)
- Higuera P. 2009. CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis.
- Kharuk V.I., Dvinskaya M.L., Ranson K.J. 2005. The spatiotemporal pattern of fires in northern taiga larch forests of Central Siberia. Russian Journal of Ecology 36(5): 302–311.
- Mooney S.D., Tinner W. 2011. The analysis of charcoal in peat and organic sediments. Mires and Peat 09: 1–18.