

Reconstruction of paleoecological and paleofire dynamics of the Tobol areas based on materials from lake-swamp deposits of Oskino

Short communication

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYTrubitsyna E.D.¹, Ryabogina N.E.², Zelenkova R.R.¹¹Tyumen Scientific Centre Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Malygina Str., 86, Tyumen, 625026, Russia²University of Gothenburg, box 200, 405 30 Gothenburg, Sweden

ABSTRACT. The paper compares palaeoecological, archaeological and palaeo-fire data from lake-swamp deposits of the Tobol river region, obtained as a result of the study of the Oskino wetland lake. The dependence of palaeofire dynamics on human economic activity and climate-induced changes in plant communities is analysed. The reconstruction covers 9.6 ka, including the entire period of occupation of the area, as well as the end of the Greenlandian stage and the beginning of the Northgrippian stage. Comparison of pollen data, concentration of macroscopic charcoal particles in lake-swamp sediments showed a correlation between decreasing moisture levels, increasing conifer proportion in forest composition and increasing fire frequency. It has been established on the vegetation anthropogenic influence was little (pollen data) partly due to this is related to the orientation population towards an appropriate type of economy up to 4.5 ka BP. The palynological data not show significant changes in the residential landscape or an increase in the frequency of fires in connection with the emergence of livestock breeding in the Late Bronze Age. In the Early Iron Age, semi-nomadic livestock breeding was formed the population probably did not need to burn forests for grazing, so the intensity of fires did not increase.

Keywords: palaeoecology, Tobol basin, charcoal analysis, forest paleofire dynamics, archaeology, Holocene

For citation: Trubitsyna E.D., Ryabogina N.E., Zelenkova R.R. Reconstruction of paleoecological and paleofire dynamics of the Tobol areas based on materials from lake-swamp deposits of Oskino // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - P. 726-732. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-726

1. Introduction

Reconstruction of vegetation and natural-climatic changes in the forest-steppe areas of Tobol (south-western part of Western Siberia) was first performed on the materials of lacustrine and peat deposits of Oskino-09, located near the confluence of the Iset River into the Tobol, covering about 7.5 ka BP (Yuzhanina et al., 2022) and for the interval 9.6-7.5 ka BP on the data of Lake Kyrtym, located near the Andreevskoe Lake System (Ryabogina et al., 2020). A number of studies of soil samples from the cultural layer by pollen analysis were also carried out on the territory of the Tobol areas, which allowed to reconstruct the features of the anthropogenically modified landscape by means of economic activity (Holocene Landscapes..., 2008; Zakh et al., 2014; Zimina et al., 2009; Matveeva et al., 2018; Nasonova and Rudaya, 2016; Ryabogina and Ivanov, 2013; Ryabogina et al., 2015; 2018; Tsembalyuk et al., 2009; 2011).

One of the key issues in vegetation cover change is the effect of fire on vegetation, which has not been studied by researchers in this area. The aim of our study was to compare landscape-climatic reconstruction data with anthropogenic influences and the fire situation of the Tobol areas.

2. Materials and methods

In order to count the charcoal particles in a special metal box without disturbing the stratigraphic structure, a core was taken from Oskino-21 (56°36'31.92 'N, 66°15'34.82 'E), located in the Ingalskaya Dolina - an archaeological district with a large number of multi-temporal settlements (Volkov, 2007). The total length of the core is 193 cm and samples were taken every cm. Seven radiocarbon dates were obtained from the same core, dated in the Laboratory of Cenozoic Geology, Palaeoclimatology and Mineralogical Indicators.

*Corresponding author.

E-mail address: el.yuzh@gmail.com (E.D. Trubitsyna)

Received: June 02, 2024; **Accepted:** July 08, 2024;

Available online: August 26, 2024

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



Each sediment sample of 1 cm³ volume was prepared according to a standard protocol (Mooney and Tinner, 2001): the samples were with 10% calcium hypochlorite solution (Ca(ClO)₂), and left in the dark for 24 hours.

After 24 hours, when the organic matter had completely discoloured, the sludge was poured with 10% HCl to dissolve the calcium salts (Ca), the samples were washed through a 100 micron sieve and any charcoal particles remaining on the sieve were counted under a microscope at 40x magnification.

Statistical processing, the obtained data of the concentration of macroscopic charcoal particles in peat were carried out in the programme CharAnalysis (Higuera, 2009), in the R environment (R Core Team, 2017), the package tapas (Finsinger and Bonnici, 2022) was used for plotting. The initial data for analysis were the number of charcoal particles in each sample, the depth, and the upper and lower age limits of each sample. The age was calculated using the Bhron age-depth model (Haslett and Parnell, 2008). The smoothing curve *rob.lowess*, smoothing window size 1000, interpolation of values was chosen with a step of 50 years. The established range of SNI values for the core is higher than three, which confirms the reliability of the obtained results (Kelly et al., 2011).

3. Results and discussion

At the local level, 29 fire episodes have been recorded using macroscopic charcoal analysis data (Fig.1).

Vegetation reconstruction for the interval 9.5-8.2 ka BP shows that pine begins to actively spread across the landscape, replacing birch in the forests (Ryabogina et al., 2020). At that time, the intervals between fire events were no more than 300 years. High fire background values were observed. It is likely that the frequency and severity of fire events and the general dynamics of background values are related to the dominance of pine in the stand, which is a fire resistant species and associated with high frequency of fires (Goldammer and Furyaev, 1996). For the interval 8.2-7.5 ka BP, no fire events are recorded, birch forests

dominate the vegetation, and moisture levels increase (Ryabogina et al., 2020).

The interval 7.5-4.6 ka BP is characterised by warm and insufficiently humid conditions, open areas with meadow-steppe vegetation predominate in the landscapes, and small birch and pine riverine forests are present (Yuzhanina et al., 2022). At this time, Neolithic, Chalcolithic and Early Bronze Age cultures are found in the settlements closest to the bog (Volkov, 2007), but neither pollen markers nor NPP markers indicate active human influence, probably due to the appropriating economy of the population (Yuzhanina et al., 2022). Two fire events are recorded at the beginning of the interval (7.5-6.0 ka BP), background fire values are low, most likely due to the small population living in the area and the dominance of meadow-steppe vegetation. However, from 6.0 ka BP there is an increase in conifer species and from 5.9 to 4.6 ka BP the frequency of fire episodes increases, possibly influenced by an increase in the proportion of forest with increasing boreal species in its composition, suggesting drier conditions (Yuzhanina et al., 2022). In general, despite the fact that the interval 7.5-4.6 ka BP is all quite dry and warm, fires are only observed at the time of an increase in the proportion of conifers in the forest composition.

Around 4.7-2.9 ka BP, the proportion of forest in the vegetation increases, mainly at the expense of birch, the moisture level increases, warm climatic conditions persist and the transformation of the lake into a bog is completed (Yuzhanina et al., 2022). Livestock breeding appeared around 4.5 ka BP. The population of the settlement of Oskino Boloto (near the Oskino peat bog) during the Late and Middle Bronze Age had moved away from the shoaled lake towards the floodplain, thus reducing the occurrence of palynological markers of economic activity (Yuzhanina et al., 2022). There are only two local fires. The background level is decreasing, probably due to the distance of the settlement from the bog.

In the interval 2.9-1.9 ka BP, the proportion of coniferous species in forests increased, but the landscape basis of was on grasslands of cereal-grass composition. There is cooling and a decrease in moisture

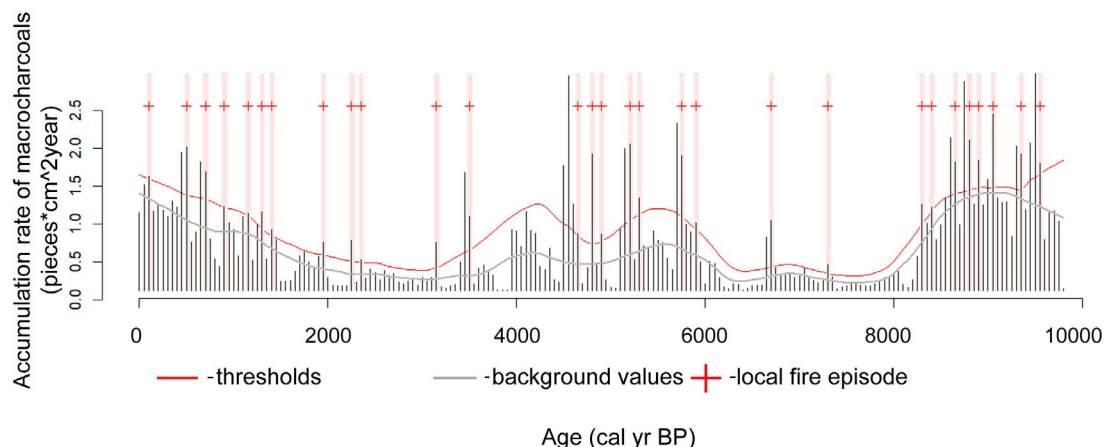


Fig.1. Accumulation rate of macroscopic charcoal particles and distribution of local pyrogenic episodes in the Oskino peat bog.

content (Yuzhanina et al., 2022). At the beginning of the Early Iron Age there was a the reorganisation of the economy, with the emergence of semi-nomadic livestock breeding, which may have influenced the longer existence of open landscapes as forest growth and undergrowth were used to feed cattle. There are three local fire episodes. The background curve of pyrogenic events rises slightly at the end of the interval. The low level of pyrogenic activity is probably also related to the distance of dwellings from the water and the prevalence of meadows in the landscape.

At the beginning of 1.9 ka BP a complete reorganisation of the vegetation takes place and the appearance of the territory is formed by birch forests with the participation of pine, cooling continues and climate humidity increases (Yuzhanina et al., 2022). From 1.4 ka BP, the number of fire episodes increases, the interval between them shortens and the frequency increases. The increase in palaeofire is associated with both growth anthropogenic pressure, a general increase in the forest cover of landscapes, and a raise in the proportion of pine in the stand.

4. Conclusions

Based on the set of data obtained for the territory of the Tobol areas, it has been possible to trace the relationship between vegetation transformations and palaeofire dynamics. The increase in palaeofires is associated with an increase in pine in the forest composition, probably an anthropogenic influence on fire dynamics was only in the last 500 years.

Acknowledgements

The present work was funded by Russian Science Foundation, No. 23-27-00437.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest.

References

- Finsinger W., Bonnici I. 2022. Tapas: an R package to perform trend and peaks analysis. Zenodo, DOI:[10.5281/zenodo.6344463](https://doi.org/10.5281/zenodo.6344463)
- Goldammer J. G., Furyaev V. V. 1996. Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia: Ecological Impacts and Links to the Global System, in: *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Forestry Sciences 48: DOI: [10.1007/978-94-015-8737-2_1](https://doi.org/10.1007/978-94-015-8737-2_1)
- Haslett J., Parnell A. A. 2008. Simple monotone process with application to radiocarbon-dated depth chronologies. *Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics* 57 (4): 399–418. DOI: [10.1111/j.1467-9876.2008.00623.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9876.2008.00623.x)
- Higuera P. 2009. CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis. Montana State University: Bozeman.
- Kelly R.F., Higuera P.E., Barrett C.M., et al. 2011. Signal-to-noise index to quantify the potential for peak detection in sediment – charcoal records. *Quaternary Research* 75 (1):11–17.
- Landscapes and Cultural Interactions in the Tobol-Ishim basin during the Holocene. 2008. In: Molodin V.I.(Ed.). Novosibirsk: Nauka. (In Russian)
- Matveeva N.P., Zelenkov A.S., Riabogina N.E. et al. 2018. Gilevskii-2 kurgannyi mogil'nik. In: *AB Origine: Arkheologo-etnograficheskii sbornik*, 44–72 (In Russian)
- Mooney S., Tinner W. 2001. The analysis of charcoal in peat and organic sediments. *Mires and Peat* 7: 1–18.
- Nasonova E.D., Rudaya N.A. 2016. Palynological method as a way of stratification of archeological objects: Case study Os'kino Boloto. *Environmental Dynamics and Global Climate Change*, (1), 93–100. (In Russian)
- R Core Team. 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ryabogina N.E., Afonin A.S., Ivanov S.N. 2020. Late Glacial and Holocene in the south of Western Siberia: geochemical indices and pollen data in Kyrtyma Lake sediments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 438. DOI [10.1088/1755-1315/438/1/012023](https://doi.org/10.1088/1755-1315/438/1/012023)
- Ryabogina N.E., Ivanov S.N. 2013. Reconstruction of landscapes' look in the low Tobol basin in the Early Middle Ages (by results of spore-and-pollen analysis of buried soil from Ustyug-1 burial ground). *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, 20(1), 133–138. (In Russian)
- Ryabogina N.E., Ivanov S.N., Afonin A.S. 2015. New data on the habitat of Transural population in the Early Middle Ages. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, 30(3), 170–176. (In Russian)
- Tsembalyuk S.I., Ilyushina V.V., Ryabogina N.E., et al. 2011. An integrated study of the Baitovo fortified settlement of Borovuska 2 (forest-steppe Low Tobol basin). *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, 15(2), 98–107. (In Russian)
- Tsembalyuk S.I., Zimina O.Yu., Ryabogina N.E., et al. 2009. Investigation of Chechkinovo 4 settlement in Yarkovo district of Tyumen region. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (11), 54–66. (In Russian)
- Volkov E.N. 2007. The complex of archaeological sites in Ingal Valley. Zakh V.A. (Ed.) Novosibirsk: Nauka. (In Russian)
- Yuzhanina E.D., Ivanov S.N., Afonin A.S. et al. 2022. Mid to late Holocene paleoenvironmental changes in the southern forest border of Western Siberia inferred from pollen data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 588: 110800. DOI:[10.1016/j.palaeo.2021.110800](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110800)
- Zakh V.A., Kostomarov V.M., Ilyushina V.V. et al. 2014. The Koptiyaki complex from the settlement of Chepkoul 5. *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (1), 36–49. (In Russian)
- Zimina O.Yu., Volkov E.N., Ryabogina N.E. et al. 2009. New data on the Early and Late Bronze Age in Tyumen Low Tobol basin (basing on the settlement of Mostovoye 1 investigation results). *Vestnik arheologii, antropologii i etnografii*, (10), 20–34. (In Russian)

Реконструкция палеоэкологической и палеопожарной динамики Притоболья по материалам озерно-болотных отложений Оськино

Краткое сообщение

LIMNOLOGY
FRESHWATER
BIOLOGYТрубицына Э.Д.^{1*}, Рябогина Н.Е.², Зеленкова Р.Р.¹¹Тюменский научный центр СО РАН, ул. Малыгина 86, Тюмень, 625026, Россия²Гётеборгский университет, box 200, 405 30 Göteborg, Швеция

АННОТАЦИЯ. В работе сопоставлены палеоэкологические, археологические и палеопожарные данные из озерно-болотных архивов Притоболья, полученные в результате исследования заболоченного озера Оськино. Проанализирована зависимость палеопожарной динамики от хозяйственной деятельности человека и климатообусловленной трансформацией растительных сообществ. Реконструкция охватывает 9.6 тыс. лет, включая весь период заселения данной территории, а также финал грендландского и начало северогриппианского ярусов. Сопоставление пыльцевых данных, концентрации макроскопических частиц древесного угля в озерно-болотных отложениях показало зависимость между снижением уровня влажности, увеличением доли хвойных пород в составе леса и повышением частоты пожаров. Установлено незначительное антропогенное влияние на растительность (спорово-пыльцевые данные), отчасти в связи с ориентацией на при-сваивающий тип экономики вплоть до 4.5 тыс. л.н. Палинологические данные не фиксируют значительных перестроек жилого ландшафта или увеличения частоты пожаров и с появлением придомного скотоводства в позднем бронзовом веке. В раннем железном веке появилось полукочевое крупностадное скотоводство, и у населения, вероятно, также не было необходимости в выжигании леса для пастбищ в следствие чего интенсивность пожаров не возросла.

Ключевые слова: палеоэкология, Притоболье, частицы макроскопического угля, палеопожарная динамика, археология, голоцен

Для цитирования: Трубицына Э.Д., Рябогина Н.Е., Зеленкова Р.Р. Реконструкция палеоэкологической и палеопожарной динамики Притоболья по материалам озерно-болотных отложений Оськино // Limnology and Freshwater Biology. 2024. - № 4. - С. 726-732. DOI: 10.31951/2658-3518-2024-A-4-726

1. Введение

Реконструкция растительности и природно-климатических изменений лесостепного Притоболья (юго-западная часть Западной Сибири) впервые была выполнена на материалах озерно-болотных отложений Оськино-09, расположенного недалеко от впадения р. Исеть в р. Тобол, охватывающих около 7.5 тыс. лет (Yuzhanina et al., 2022), а для интервала 9.6-7.5 тыс. л.н. по данным озера Кыртыма, расположенного недалеко от системы Андреевских озер (Ryabogina et al., 2020). На территории Притоболья также была проведена серия исследований почвенных проб из культурного слоя спорово-пыльцевым анализом, что позволило восстановить особенности антропогенно-изменного ландшафта в результате хозяйственной деятельности (Ландшафты голоцена..., 2008; Зах и др., 2014;

Зими́на и др., 2009; Матвеева и др., 2018; Насонова и Рудая, 2015; Рябогина и Иванов, 2013; Рябогина и др., 2015; 2018; Цембалюк и др., 2009; 2011).

Однако одним из ключевых моментов в трансформации растительного покрова является влияние пожаров на растительность, что не изучалось исследователями на данной территории. Сопоставление данных ландшафтно-климатической реконструкции с антропогенным влиянием и пожарной ситуацией в Притоболье стало целью нашего исследования.

2. Материалы и методы

Для подсчета макрочастиц древесного угля в специальный металлический короб без нарушения структуры напластований был отобран керн Оськино-21 (56°36'31.92»N, 66°15'34.82»E), лока-

*Автор для переписки.

Адрес e-mail: el.yuzh@gmail.com (Э.Д. Трубицына)

Поступила: 02 июня 2024; Принята: 08 июля 2024;

Опубликована online: 26 августа 2024

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



лизованный в районе Ингальской долины – археологический микрорайон с большим количеством разновременных памятников (Волков, 2007). Общая мощность отложений составила 193 см, пробы отобраны в каждом см. Было получено семь радиоуглеродных дат из этого же керна, датирование выполнено в Лаборатория геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата.

Каждый образец отложений объемом 1 см³ был подготовлен согласно стандартному протоколу (Mooney and Tinner, 2001): пробы были залиты 10% раствором гипохлорита кальция (Ca(ClO)₂), оставлены в темном месте на 24 часа. Через сутки, когда органика полностью обесцветилась, осадок, заливался 10% HCL для растворения солей кальция (Ca), и после образцы промывали через сито 100 микрон и все частицы угля, оставшиеся на сите подсчитывали под микроскопом при 40-кратном увеличении.

Статистическая обработка, полученных данных концентрации макроскопических частиц угля в торфе осуществлялась в программе CharAnalysis (Higuera, 2009), в среде R (R Core Team, 2017), при построении использовался пакет *tapas* (Finsinger and Bonnici, 2022). Исходными данными для анализа выступило количество угольных частиц в образцах, глубина, верхняя и нижняя граница возраста каждого образца, рассчитанные в программе *Bhron* по модели возраст-глубина (Haslett and Parnell, 2008). Для расчета фоновых значений скорости накопления угля была выбрана сглаживающая кривая *rob. lowess*, сглаживающее окно размером 1000, интерполяция значений была выбрана с шагом 50 лет, установленный диапазон значений SNI для керна выше трех, что подтверждает достоверность полученных результатов (Kelly et al., 2011).

3. Результаты и их обсуждение

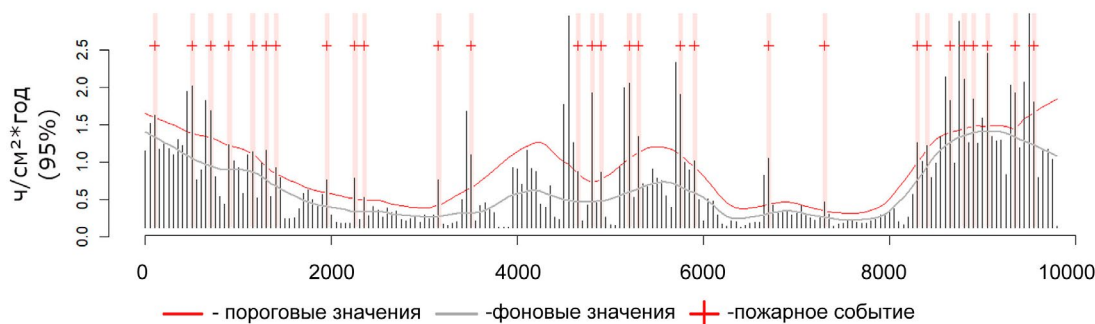
По данным макроскопических частиц угля удалось зафиксировать 29 пожарных эпизодов на локальном уровне (Рис.1.)

Наибольшая концентрация пожарных собы-

тий приходится на время 9.6-8.3, 5.9-4.6, 0.1-1.5 тыс. л.н. Единичные пожарные эпизоды фиксируются около 6.7, 7.3, 3.5, 3.1 тыс. л.н.

Реконструкция растительности для интервала 9.5-8.2 тыс. л.н. показывает, что сосновые леса начинают активно расселяться в ландшафте вытесняя березовые (Ryabogina et al., 2020). В это время межпожарные интервалы пожарных событий составляют не более 300 лет, наблюдаются высокие значения фоновых показателей пожаров. Вероятно, частота и сила пожарных событий, общая динамика фоновых значений связана с доминированием сосны в древостое, которая является огнеустойчивой породой и связана с высокой ретрансляцией пожаров (Goldammer and Fyryaev, 1996). Для промежутка 8.2-7.5 тыс. л.н. не фиксируются пожарные события, в растительности преобладают березовые леса, уровень увлажнения возрастает (Ryabogina et al., 2020).

Интервал 7.5-4.6 тыс. л.н. характеризуется теплыми и недостаточно влажными условиями, в ландшафтах преобладают открытые участки с лугово-степной растительностью, присутствуют небольшие придолинные берёзово-сосновые леса (Yuzhanina et al., 2022). В это время на ближайших к торфянику памятниках встречаются находки неолитических, энеолитических и раннебронзовых культур (Волков, 2007), однако не пыльцевые маркеры, не NPP не отмечают активное влияние человека, вероятно, это связано с присваивающим типом хозяйства у населения (Yuzhanina et al., 2022). В начале интервала (7.5-6.0 тыс. л.н.) фиксируется два пожарных события, фоновые пожарные значения низкие, скорее всего, это связано с небольшим количеством населения, проживающим на территории, и доминированием лугово-степной растительности. Однако с 6.0 тыс. л.н. наблюдается увеличения хвойных пород и начиная с 5.9 по 4.6 тыс. л.н. частота пожарных эпизодов увеличивается, возможно, на это повлияло увеличение доли леса с возрастанием бореальных видов в его составе, что говорит о более сухих условиях (Yuzhanina et al., 2022). В целом, несмотря на то, что интервал 7.5-4.6 тыс. л.н. весь достаточно сухой и теплый, пожары наблюдаются только в момент увеличения



Кал. л.н.

Рис.1. Скорость аккумуляции макроскопических частиц угля и распределение локальных пирогенных эпизодов торфяника Оськино.

доли хвойных пород в составе леса.

Около 4.7-2.9 тыс. л.н. происходит увеличение доли леса в растительности, в основном за счет березы, уровень увлажнения повышается, сохраняются теплые климатические условия, завершается трансформация озера в болото (Yuzhanina et al., 2022). Появление придомного скотоводства происходит около 4.5 тыс. л.н. Жители поселения Оськино Болото, (близлежащего к торфянику), в период позднего и развитого бронзового века уходят от обмелевшего озера в сторону поймы, поэтому встречаемость палинологических маркеров хозяйственной деятельности снижается (Yuzhanina et al., 2022). Пирогенных событий всего два, фоновые значения снижаются, вероятно, это связано с отдалением поселения от водоёма.

В интервале 2.9-1.9 тыс. л.н. увеличивается доля хвойных пород в лесах, однако основой ландшафта оставались луга злаково-разнотравного состава. Начинается похолодание и уменьшается увлажнение (Yuzhanina et al., 2022). В начале раннего железного века наблюдается перестройка хозяйства – появляется полукочевое скотоводство, которое возможно повлияло на более продолжительное существование открытых ландшафтов, когда лесной прирост и подлесок скармливали скоту. Пожарных эпизода три, кривая фоновых значений пирогенных событий незначительно поднимается в конце интервала. Возможно низкий уровень пирогенной активности, также связан с удаленным расположением жилищ от водоема и превалированием лугов в ландшафте.

Начиная с 1.9 тыс. л.н. происходит полная перестройка растительности и облик территории формируется березовыми лесами с участием сосны, продолжается похолодание, увеличивается увлажненность климата (Yuzhanina et al., 2022). Начиная с 1.4 тыс. л.н. возрастает количество пожарных событий, сокращается интервал между ними, частота увеличивается. Увеличение палеопожаров связано как с усилением антропогенной нагрузки, общим увеличением лесистости ландшафтов, и с возрастанием доли сосны в древостое.

4. Выводы

Благодаря комплексу, полученных данных для территории Притоболья, удалось проследить взаимосвязь между растительными трансформациями и палеопожарной динамикой. Увеличение количества пожарных событий связано с повышением численности сосны в составе лесов, вероятно, антропогенное влияние на пожарную динамику присутствует только последние 500 лет.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №23-27-00437 «Ретроспективная динамика лесных пожаров Западной Сибири: влияние природных и антропогенных факторов на южной границе леса».

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Список литературы

- Волков Е.Н. 2007. Комплекс археологических памятников Ингальская долина. Зах В.А. (Ред.). Новосибирск: Наука.
- Зах В.А., Костомаров В.М., Илюшина В.В. и др. 2014. Коптяковский комплекс поселения Чепкуль 5. Вестник археологии, антропологии и этнографии 1 (24): 36–49.
- Зими́на О.Ю., Волков Е.Н., Рябогина Н.Е. и др. 2009. Новые материалы ранней и поздней бронзы в Тюменском Притоболье (по результатам исследования поселения Мостовое 1). Вестник археологии, антропологии и этнографии 10: 20–34.
- Ландшафты голоцена и взаимодействие культур в Тоболо-Ишимском междуречье. 2008. Молодин В.И. (Ред.). Новосибирск: Наука.
- Матвеева Н.П., Зеленков А.С., Рябогина Н.Е. и др. 2018. Гилевский-2 курганный могильник. АВ Origine: Археолого-этнографический сборник: 44–72.
- Насонова Э.Д., Рудая Н.А. 2015. Природные условия обитания человека в Притоболье: от неолита до средневековья (по материалам поселения Оськино Болото). Известия ИрГУ. Сер. Геоархеология. Этнология. Антропология 13: 96–105.
- Рябогина Н.Е., Иванов С.Н. 2013. Реконструкция облика ландшафтов Притоболья в раннем средневековье (по результатам спорово-пыльцевого анализа погребенной почвы могильника Устюг-1). Вестник археологии, антропологии и этнографии 1(20): 133–138.
- Рябогина Н.Е., Иванов С.Н., Афонин А.С. 2015. Новые данные о среде обитания населения Зауралья в начале средневековья. Вестник археологии, антропологии и этнографии 3 (30): 170–176.
- Рябогина Н.Е., Иванов С.Н., Насонова Э.Д. 2018. Жилой ландшафт: Природное окружение поселений позднего бронзового века в Притоболье. Вестник археологии, антропологии и этнографии 4 (43): 39–50. DOI: [10.20874/2071-0437-2018-43-4-039-050](https://doi.org/10.20874/2071-0437-2018-43-4-039-050)
- Цембалюк С.И., Зими́на О.Ю., Рябогина Н.Е. и др. 2009. Исследования поселения Чечкино 4 в Яркском районе Тюменской области. Вестник археологии, антропологии и этнографии 11: 54–66.
- Цембалюк С.И., Илюшина В.В., Рябогина Н.Е. и др. 2011. Комплексное исследование баитовского городища Боровушка 2 (лесостепное Притоболье). Вестник археологии, антропологии и этнографии 2(15): 98–107.
- Finsinger W., Bonnici I. 2022. Tapas: an R package to perform trend and peaks analysis. Zenodo, DOI:[10.5281/zenodo.6344463](https://doi.org/10.5281/zenodo.6344463)
- Goldammer J. G., Furyaev V. V. 1996. Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia: Ecological Impacts and Links to the Global System, in: Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia. Forestry Sciences 48. DOI: [10.1007/978-94-015-8737-2_1](https://doi.org/10.1007/978-94-015-8737-2_1)
- Haslett J., Parnell A. A. 2008. Simple monotone process with application to radiocarbon-dated depth chronologies. Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics 57(4): 399–418. DOI: [10.1111/j.1467-9876.2008.00623.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-9876.2008.00623.x)
- Higuera P. 2009. CharAnalysis 0.9: Diagnostic and analytical tools for sediment-charcoal analysis. Montana State University: Bozeman.
- Kelly R.F., Higuera P.E., Barrett C.M. et al. 2011. Signal-to-noise index to quantify the potential for peak detection in sediment – charcoal records. Quaternary Research 75 (1):11–17.

Mooney S., Tinner W. 2001. The analysis of charcoal in peat and organic sediments. *Mires and Peat* 7: 1–18.

R Core Team. 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Ryabogina N.E., Afonin A.S., Ivanov S.N. 2020. Late Glacial and Holocene in the south of Western Siberia: geochemical indices and pollen data in Kyrtyma Lake sediments. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 438. DOI [10.1088/1755-1315/438/1/012023](https://doi.org/10.1088/1755-1315/438/1/012023)

Yuzhanina E.D., Ivanov S.N., Afonin A.S. et al. 2022. Mid to late Holocene paleoenvironmental changes in the southern forest border of Western Siberia inferred from pollen data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 588: 110800. DOI: [10.1016/j.palaeo.2021.110800](https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110800)