

## Влияния природных и антропогенных факторов на динамику пожаров в голоцене Центральной Азии и Сибири по данным анализа макроуглей

*В статье представлен обзор исследований палеопожарной активности в голоцене по данным анализа макроуглей и микроуглей из Сибири и Центральной Азии. Метод анализа углей для реконструкции палеопожаров основан на извлечении из палеоархива угольных частиц и анализе их распределения по глубине отложений. Особенности строения макроуглей позволяют определить исходный вид топлива (дерево или трава), а по распределению размеров угольных частиц на разных глубинах реконструируют дальность пожаров в разные периоды накопления палеоархива. Отдельным направлением в анализе полученных реконструкций является установление ключевых факторов, способствующих увеличению частоты пожаров. Для этого рассматриваются природные (климатические параметры) и антропогенные факторы, а также их взаимодействие. Для определения наиболее значимого фактора динамика пожаров сопоставляется с изменениями климата и динамикой растительного покрова (полученных на основе независимых палеоэкологических реконструкций), с учетом географического положения, экологии района и археологических данных о населении и типах хозяйствования в разное время. На данном этапе для юга Сибири есть несколько записей, исследованных методом анализа макроуглей, а в Центральной Азии наиболее изученным районом является Монголия. В Киргизии исследовано несколько озер методом анализа микроуглей. На основе имеющихся данных можно сделать вывод, что в течение большей части голоцена ведущими факторами в увеличении пожарной активности были природные причины, связанные в основном с периодами понижения влажности климата. В последние 1–1,5 тыс. лет на фоне продолжающегося понижения влажности антропогенный фактор начал оказывать влияние за счет увеличения плотности населения в регионе и хозяйственной деятельности человека. Только последние 100 лет по всем записям Центральной Азии и Сибири фиксируется повышение активности пожаров, связанное с индустриализацией и потеплением климата.*

Ключевые слова: пожары, голоцен, Центральная Азия, климат, растительность, антропогенный фактор.

## Impact of Natural and Anthropogenic Factors on Dynamics of Fires in the Holocene of Central Asia and Siberia according to Macro-Charcoal Analysis

*The article presents an overview of the Holocene paleofire records based on the analysis of macro- and micro-charcoals from Siberia and Central Asia. The method of charcoal analysis for reconstructing paleofires involves extraction of charred particles from paleoarchives and analysis of their distribution over the depth of the sediments. The structure of macro-charcoals makes it possible to determine the initial type of fuel (wood or grass). Distribution of charred particles of various sizes at different depths indicates the distance of fires in different periods of palaeoarchive accumulation. A separate area of reconstruction analysis is identification of key factors contributing to increased fire frequency. For this purpose, natural factors (climatic parameters), anthropogenic factors, and their interaction were analyzed. For establishing the most significant factor, the reconstructed dynamic pattern of fires was compared with climate change and vegetation dynamics (obtained from independent paleoecological reconstructions), taking into account geographical location, ecology of the area as well as archaeological data on the population and types of economic activities in different periods. At this stage, there are only a few records obtained by the macro-charcoal method for Southern Siberia, and the best-studied region is Mongolia. Several lakes in Kyrgyzstan have been investigated using the micro-charcoal method. Based*

*on the available data, it can be concluded that the leading factors in increase of fire activity during most of the Holocene were natural causes mainly associated with periods of decreased climate humidity. In the last 1500–1000 years, with continuing decrease in humidity, anthropogenic impact has started to play an active role due to increase in population density in the region and human economic activities. Only for the last 100 years, all records of Central Asia and Siberia show increased fire activity associated with industrialization and climate warming.*

Keywords: *fires, Holocene, Central Asia, climate, vegetation, anthropogenic factor.*

Изучение палеопожаров как масштабных преобразующих ландшафт явлений относится к актуальным темам мультидисциплинарных исследований по всему миру. Палеопожары зачастую ассоциируют с активностью древних людей с момента, когда они овладели огнем. Границы начала использования огня человеком в разных регионах постоянно удревяются [Goren-Inbar et al., 2004; Jha, Samrat, Sanyal, 2021; Roebroeks, Villa, 2011], а, следовательно, и увеличивается временная неопределенность для реконструкции влияния антропогенного фактора на частоту и распространение пожаров. Естественные факторы пожарной активности тоже имеют важное значение, т.к. современные экологические модели включают периодические пожары в некоторых экосистемах (пирогенные сообщества) в качестве естественных и неотъемлемых составляющих, способствующих поддержанию и развитию экосистемы [Pausas, Keeley, 2009].

Человек за счет своей деятельности может влиять на активность пожаров, как увеличивая, так и уменьшая ее (сведение или посадка леса, выпас скота, гидрологические сооружения или ирригация, неконтролируемые поджоги или противопожарные мероприятия в лесах). Предположительно, подобное влияние в меньшем масштабе могло быть оказано и в ранние периоды человеческой истории [Bowman et al., 2011]. Вместе с тем, колоссальное значение имеют естественные факторы, такие как масштабные геологические события, приводящие к смене гидрологических режимов, или климатические изменения со снижением уровня осадков, что влечет за собой формирование засушливых ландшафтов с высокой частотой пожаров. Для распространения пожара естественного или вызванного человеком необходимы в достаточном количестве подходящее топливо (сухой травостой, лесная подстилка, кустарники, стволы сухих мертвых деревьев или кроны живых деревьев при верховом пожаре) и подходящие параметры климата (влажность, температура, осадки), т.к. огонь распространяется тем быстрее, чем суше и легче для воспламенения топливо.

Для определения наличия и степени воздействия антропогенного фактора на пожарный режим в исследуемом районе необходимо понять и учитывать при реконструкции ряд факторов: географическое положение района, тип растительного сообщества, тип хозяйствования, связи между климатом, экологией и подверженностью пожарам [Moore, 2000]. Например, увеличение уровня осадков может приводить к увеличению производства биомассы и в итоге к большому объему доступного топлива, увеличивая возможную

пожарную активность, а также к увеличению стока в седиментационные бассейны, увеличивая количество обнаруживаемых в отложениях угольных частиц.

Методически реконструкция пожарной активности в основном производится по данным о количестве и размерах угольных частиц в колонке отложений (торфяных, озерных, почвенных и др.), хотя есть и другие подходы, основанные на геохимии [Wolf et al., 2013]. Для анализа методом макроуглей из вертикальной колонки с одинаковым интервалом отбираются равные количества осадка по объему или весу. Макроугли – угли размером более 100 мкм, которые извлекаются из осадка после обработки отбеливателем, дефлокулянтном, соляной кислотой, иногда щелочью и промыванием на ситах. Есть разные подходы применения методов макроуглей: 1) разделение углей на размерные классы (переносимые ветром на разные расстояния); 2) выделение морфотипов углей (дерево или трава) [Carcaillet, 2007; Courtney-Mustaphi, Pisaric, 2014]; 3) анализ распределения общей массы макроуглей в колонке [Stevenson, Haberle, 2005]. На ранних этапах исследования углей для реконструкции пожарной активности использовались в основном микроугли (от 7 мкм до 100–150 мкм), подсчитываемые наряду с другими фоссильными микрочастицами (пыльца, споры, водоросли и т.д.), но микроугли могут переноситься ветром на большие расстояния и более склонны к переносу водой и скоплению в понижениях. Сейчас методы анализа микроуглей и макроуглей используются на равных, хотя при сопоставлении результаты часто не совпадают [Жилич, Карачурина, 2022; Pupyshva, Blyakharchuk, 2023].

Полученные данные о распределении углей обрабатывают статистически для реконструкции вида топлива, интенсивности и дальности пожаров в разные периоды времени. Для выявления степени влияния климатических факторов, пожарная активность и реконструированные источники топлива (дерево или трава) сопоставляются с периодами изменений климата и/или растительности в районе исследования, устанавливается степень их связанности. Для этого необходима реконструкция климата или растительности, полученная независимым методом (изотопный, палинологический, хирономидный и др.). Влияние антропогенного фактора оценивается на основе выявления пространственно-временной связи пожарной активности и археологическими данными о времени заселения данной территории (устанавливается факт присутствия человека), плотности населения и типе хозяйствования.

Такие исследования широко применяются для изучения палеопожаров по всему миру. Например, исследования островов в океанах считаются эталонными, поскольку есть палеоэкологические данные из разных источников и точно известны периоды колонизации. Для Новой Зеландии было показано, что частота пожаров до колонизации была два раза на тысячу лет и резко возросла с началом колонизации, что совпало с исчезновением лесов на части острова, которые так и не восстановились [McWethy et al., 2010]. Наоборот, для Австралии установлено, что пожарная обстановка на континенте была сложная начиная с кайнозоя, и местная флора адаптировалась к периодическим выгораниям, что делает выявление антропогенного фактора еще более трудным [He, Lamont, Downes, 2011].

В Южной Африке статистический анализ множества голоценовых последовательностей макроуглей и палеоэкологических записей из разных областей региона в сопоставлении с археологическими данными показал, что в середине голоцена выявляется согласованность изменений климата и пожарной активности на всей территории исследования. Однако повышение пожарной активности последние две тысячи лет совпадает с археологическими данными об интенсификации сельского хозяйства и отражает использование огня в качестве нового инструмента управления ландшафтами [Davies et al., 2022].

Исследования палеопожарной активности Сибири немногочисленны и сосредоточены преимущественно на юге [Pupysheva, Blyakharchuk, 2023]. Хотя направленного анализа и сопоставления макроуглей с археологическими данными в большей части работ не проводилось, в основном исследователи приходят к выводу о связи повышения пожарной активности с периодами засушливого климата кроме последних 100–200 лет, когда резко возрастает частота пожаров, связываемая с активным заселением и хозяйственной деятельностью в регионе [Жилич, Рудая, 2021; Blyakharchuk, Pupysheva, 2022; Burdin, Bolobanshchikova, Rogozin, 2022; Pupysheva, Blyakharchuk, 2022; Rudaya et al., 2020].

В Барабинской низменности были проведены исследования озер Кучук [Rudaya et al., 2020], Яровое [Жилич, Рудая, 2021] и рьяма Николаевский [Pupysheva, Blyakharchuk, 2022]. В силу разного временного интервала в данных палеоархивов, невозможно полностью сопоставить реконструированные периоды повышенной частоты пожаров, но часть из них совпадают, как, напр., в периоды ок. 1500–1000 л.н. и последних 100–200 лет. Несмотря на то, что для территории Барабы накоплены палеоэкологические данные [Чикишева, Поздняков, 2021], данные о смене археологических культур [Молодин, 1985] в разные периоды и данные о зависимости местного населения от ландшафтов [Никулина, Зольников, Новикова, 2021], единого вывода о влиянии природных и антропогенных факторов на пожарную активность сделать пока не удастся.

Для Горного Алтая, несмотря на сложность рельефа, мозаичность ландшафтов и небольшое количество записей, методом макроуглей реконструируются схожие периоды повышенной частоты пожаров: 2500–2200, 1500–1000 л.н. и последние 500 лет [Жилич, Карачурина, 2022; Pupysheva, Blyakharchuk, 2022]. Влияние антропогенного фактора на данном этапе исследования не выявлено, но и четкой корреляции с климатическими изменениями также не обнаружено. Рассмотрена гипотеза о связи палеопожаров с палеоземлетрясениями вследствие электростатического напряжения в разломах горного Алтая в период сейсмической активности [Жилич, Карачурина, 2022]. Для Улаганского плато было показано резкое увеличение концентрации и годовой аккумуляции микроугольков в озерных отложениях после 1,7 кал. тыс. л.н., что связывается с развитием древних культур и увеличением плотности населения в этом районе Алтая [Pupysheva, Blyakharchuk, 2022].

Большое количество записей макроуглей исследовано в северной Монголии (более 20 объектов), хотя многие из них покрывают только поздний голоцен. Палеоэкологически этот район хорошо исследован различными методами, что позволяет проводить качественные и количественные сопоставления пожарной активности с изменениями климата и растительности. Сопоставление нескольких записей из конкретного района, позволяет вычлнить региональные (климат, солнечная активность и др.) и локальные (рельеф, растительность, человек и др.) факторы усиления активности пожаров [Unkelbach, Behling, 2022]. Для второй половины голоцена по совокупности исследованных записей Монгольского Алтая и Северного Хангая была предложена следующая схема: в период 4,3 до 1,1 кал. тыс. л.н. активность пожаров была достаточно низкой, с 1,1 до 400 кал. тыс. л.н. отмечается ее увеличение по всем имеющимся записям, максимум пожарной активности фиксируется в последние 100 лет (по 3 из 5 записей). При этом появление оседлого населения фиксируется в регионе начиная примерно с 5,2 кал. тыс. л.н. [Zhou et al., 2020], его влияние на пожары можно оценить как довольно низкое.

Сопоставление имеющихся записей макроуглей с палинологическими данными для запада Монголии [Rudaya et al., 2009; Unkelbach et al., 2019; Zhang, Feng, 2018] показало, что довольно влажные климатические условия ограничивали активность пожаров. Значительное увеличение пожарной активности произошло по всем записям после 1,1 кал. тыс. л.н., что совпадает по времени с резким уменьшением биомассы и растительного биоразнообразия, связанных с изменением климата в сторону более засушливого [Unkelbach et al., 2019]. Кроме того, в связи с увеличением перепадов между летними и зимними температурами, большее число кочевников-скотоводов было вынуждено переходить на неиспользуемые пастбища в более отдаленные районы в горах, где они, вероятно, спо-

существовали уничтожению лесов, что привело к увеличению площади лугов. Еще большее уменьшение количества осадков и перевыпас скота способствовали снижению наземной биомассы и таким образом уменьшению топлива для пожаров. Снижение количества топлива и отсутствие традиции сжигать траву, возможно, не позволило антропогенному фактору сыграть такую большую роль в увеличении пожарной активности, какую он мог бы сыграть. Последние 100 лет основными факторами пожаров являются потепление климата, деградация вечной мерзлоты, изменение скотоводческих практик и индустриализация [Unkelbach et al., 2020].

Похожая схема изменения пожарной активности характерна для Центральной Монголии. Реконструкция по серии записей макроуглей выделяет период повышенной пожарной активности начиная с 9,5 до 7,1 кал. тыс. л.н. и пониженную активность пожаров в середине голоцена. После 4 кал. тыс. л.н. пожары становятся более частыми, но только в интервале 2,4–1,5 кал. тыс. л.н. пожары активизируются по всем записям. Сопоставление с данными палинологического анализа и подсчетами спор копрофильных грибов (индикаторов присутствия большого количества травоядных животных и выпаса) говорит о том, что в течении периода с появления кочевого типа хозяйствования в Монголии (5,5–3,3 кал. тыс. л.н.) и даже его максимального распространения (2,8–2,4 кал. тыс. л.н.) влияние антропогенного фактора было ограниченным [Unkelbach et al., 2021].

Для других районов Центральной Азии практически нет исследований макроуглей. В Киргизии, по совокупности данных исследования четырех озер палинологическим методом с подсчетом микроуглей, делается вывод об увеличении пожарной активности и сведении естественного леса для расчистки под посадку грецкого ореха ок. 2–1 тыс. л.н. [Beer et al., 2008].

Окончательно делать выводы о влиянии природных или антропогенных факторов на частоту пожаров в голоцене Центральной Азии и Сибири преждевременно, т.к. за исключением Монголии, регион недостаточно изучен. По имеющимся на текущем этапе данным, в течение голоцена основным фактором усиления пожарной активности был климат. Только последние 1–1,5 тыс. лет на фоне понижения влажности климата увеличение плотности населения и хозяйственной деятельности стало фактором, влияющим на усиление пожарной активности. Последнее столетие, по записям из всех районов Центральной Азии и Сибири, фиксируется повышение активности пожаров, связанное с индустриализацией и потеплением климата.

### Благодарности

Исследование выполнено по проекту НИР ИАЭТ СО РАН № FWZG-2022-0010 «Палеоэкология человека и реконструкция природных условий Евразии в четвертичном периоде».

### Список литературы

**Жилич С.В., Рудая Н.А.** Реконструкция палеопожаров Кулундинской степи для последних 3500 лет по данным из донных отложений озера Малое Яровое // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2021. – Т. XXVII. – С. 433–440.

**Жилич С.В., Карачурина С.Е.** Причины пожарной активности и ее связь с изменениями растительных сообществ в котловине озера Нижнее Мультигинское (Республика Алтай) в позднем голоцене // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2022. – Т. XXVIII. – С. 527–533.

**Молодин В.И.** Бараба в эпоху бронзы. – Новосибирск: Наука, 1985. – 200 с.

**Никulina А.В., Зольников И.Д., Новикова О.И.** Результаты анализа потенциальных ресурсных зон вокруг поселений эпох энеолита – средних веков в Центральной части Барабинской низменности // РА. – М.: Изд-во ИА РАН, 2021. – № 1. – С. 47–58.

**Чикишева Т.А., Поздняков Д.В.** Заселение Барабинской лесостепи в эпоху неолита по антропологическим данным // Археология, этнография и антропология Евразии. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2021. – № 1. – С. 133–145.

**Beer R., Kaiser F., Schmidt K., Ammann B., Carraro G., Grisa E., Tinner W.** Vegetation history of the walnut forests in Kyrgyzstan (Central Asia): natural or anthropogenic origin? // Quatern. Sci. Rev. – 2008. – Vol. 27. – Iss. 5–6. – P. 621–632.

**Blyakharchuk T.A., Pupyshva M.A.** Dynamics of Vegetation and Fires in Gornaya Shoriya (Northern Altai Mountains) in the Late Holocene According to Palynological and Charcoal Research into the Maly Labysh Mire // Contemporary Problems of Ecology. – 2022. – Vol. 15. – P. 109–117.

**Bowman D.M., Balch J., Artaxo P., Bond W.J., Cochrane M.A., D'antonio C.M., DeFries R., Johnston F.H., Keeley J.E., Krawchuk M.E., Kull C.A., Mack M., Moritz M.A., Pyne S., Roos C.I., Scott A.C., Sodhi N.S., Swetnam T.W.** The human dimension of fire regimes on Earth // J. of biogeography. – 2011. – Vol. 38. – N 12. – P. 2223–2236.

**Burdin L.A., Bolobanshchikova G.N., Rogozin D.Y.** Macro-charcoal particles in lake sediments of North-Minusinsk Basin (South Siberia, Russia) as indicator of natural and human-induced paleo-fires // Limnol. Freshwater Biol. – 2022. – N 4. – P. 1403–1404.

**Carcaillet C.** Charred particle analysis // Encyclopedia of Quatern. Sci. – Amsterdam: Elsevier. – 2007. – P. 1582–1593.

**Courtney-Mustaphi C.J., Pisaric M.F.** A classification for macroscopic charcoal morphologies found in Holocene lacustrine sediments // Progress in Physical Geography. – 2014. – Vol. – 38. – Iss. 6. – P. 734–754.

**Davies B., Power M.J., Braun D.R., Douglass M.J., Mosher S.G., Quick L.J., Esteban I., Sealy J., Parkington J., Faith J.T.** Fire and human management of late Holocene ecosystems in southern Africa // Quatern. Sci. Rev. – 2022. – Vol. 289 (107600). – P. 1–10.



**Goren-Inbar N., Alpers N., Kislev M.E., Simchoni O., Melamed Y., Ben-Nun A., Werker E.** Evidence of hominin control of fire at Gesher Benot Yaaqov, Israel // *Sci.* – 2004. – Vol. 304. – Iss. 5671. – P. 725–727.

**He T., Lamont B.B., Downes, K.S.** Banksia born to burn // *New Phytologist.* – 2011. – Vol. 191. – Iss. 1. – P. 184–196.

**Jha D.K., Samrat R., Sanyal P.** The first evidence of controlled use of fire by prehistoric humans during the Middle Paleolithic phase from the Indian subcontinent // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* – 2021. – Vol. 562 (110151). – P. 1–12.

**McWethy D.B., Whitlock C., Wilmshurst J.M., McGlone M.S., Fromont M., Li X., Dieffenbacher-Krall A., Hobbs W.O., Fritz S.C., Cook E.R.** Rapid landscape transformation in South Island, New Zealand following initial Polynesian settlement // *PNAS.* – 2010. – Vol. 107. – N 50. – P. 21343–21348.

**Moore J.** Forest fire and human interaction in the early Holocene woodlands of Britain // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* – 2000. – Vol. 164. – N 1–4. – P. 125–137.

**Pausas J.G., Keeley J.E.** A burning story: the role of fire in the history of life // *BioScience.* – 2009. – Vol. 59. – Iss. 7. – P. 593–601.

**Pupysheva M.A., Blyakharchuk T.A.** Dynamics of paleo-fires in the forest-steppe zone of the Western Siberia // *Limnol. Freshwater Biol.* – 2022. – N 4. – P. 1535–1537.

**Pupysheva M.A., Blyakharchuk T.A.** Fires and their Significance in the Earth's Post-Glacial Period: a Review of Methods, Achievements, Groundwork // *Contemporary Problems of Ecology.* – 2023. – Vol. 16. – Iss. 3. – P. 303–315.

**Roebroeks W., Villa P.** On the earliest evidence for habitual use of fire in Europe // *Proceedings of the National Academy of Sciences.* – 2011. – Vol. 108. – N 13. – P. 5209–5214.

**Rudaya N., Tarasov P., Dorofeyuk N., Solovieva N., Kalugin I., Andreev A., Daryin A., Diekmann B., Riedel F., Tserendash N., Wagner M.** Holocene environments and climate in the Mongolian Altai reconstructed from the Hoton-Nur pollen and diatom records: a step towards better understanding climate dynamics in Central Asia // *Quatern. Sci. Rev.* – 2009. – Vol. 28. – Iss. 5–6. – P. 540–554.

**Rudaya N., Krivonogov S., Słowiński M., Cao X., Zhilich S.** Postglacial history of the Steppe Altai: Climate, fire and plant diversity // *Quatern. Sci. Rev.* – 2020. – Vol. 249 (106616). – P. 1–20.

**Stevenson J., Haberle S.G.** Macro Charcoal Analysis: A Modified Technique Used by the Department of Archaeology and Natural History. *PalaeoWorks Technical Papers 5.* – Canberra: Australian National Univ. Press. – 2005. – P. 1–7.

**Unkelbach J., Kashima K., Enters D., Dulamsuren Ch., Punsalpaamuu G., Behling H.** Late Holocene (Meghalayan) palaeoenvironmental evolution inferred from multi-proxy studies of lacustrine sediments from the Dayan Nuur region of Mongolia // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* – 2019. – Vol. 530. – P. 1–14.

**Unkelbach J., Kashima K., Punsalpaamuu G., Shumilovskikh L., Behling H.** Decadal high-resolution multi-

proxy analysis to reconstruct natural and human-induced environmental changes over the last 1350 cal. yr BP in the Altai Tavan Bogd National Park, western Mongolia // *The Holocene.* – 2020. – Vol. 30. – N 7. – P. 1016–1028.

**Unkelbach J., Dulamsuren C., Klinge M., Behling H.** Holocene high-resolution forest-steppe and environmental dynamics in the Tarvagatai Mountains, north-central Mongolia, over the last 9570 cal yr BP // *Quatern. Sci. Rev.* – 2021. – Vol. 266 (107076). – P. 1–11.

**Unkelbach J., Behling H.** The reconstruction of Holocene northwestern Mongolian fire history based on high-resolution multi-site macro-charcoal analyses // *Frontiers in Earth Science.* – 2022. – Vol. 10 (959914). – P. 1–14.

**Wolf M., Lehndorff E., Wiesenberg G.L., Stockhausen M., Schwark L., Amelung W.** Towards reconstruction of past fire regimes from geochemical analysis of charcoal // *Organic Geochemistry.* – 2013. – Vol. 55. – P. 11–21.

**Zhang D., Feng Z.** Holocene climate variations in the Altai Mountains and the surrounding areas: A synthesis of pollen records // *Earth-Sci. Rev.* – 2018. – Vol. 185. – P. 847–869.

**Zhou X.Y., Yu J.J., Spengler R.N., Shen H., Zhao K.L., Ge J., Bao Y., Liu J., Yang Q., Chen G., Jia P.W., Li X.** 5,200-year-old cereal grains from the eastern Altai Mountains redate the trans-Eurasian crop exchange // *Nature Plants.* – 2020. – Vol. 6 (2). – P. 78–87.

## References

**Beer R., Kaiser F., Schmidt K., Ammann B., Carraro G., Grisa E., Tinner W.** Vegetation history of the walnut forests in Kyrgyzstan (Central Asia): natural or anthropogenic origin? *Quatern. Sci. Rev.*, 2008. Vol. 27. Iss. 5–6. P. 621–632.

**Blyakharchuk T.A., Pupysheva M.A.** Dynamics of Vegetation and Fires in Gornaya Shoriya (Northern Altai Mountains) in the Late Holocene According to Palynological and Charcoal Research into the Maly Labysh Mire. In *Contemporary Problems of Ecology*, 2022. Vol. 15. P. 109–117.

**Bowman D.M., Balch J., Artaxo P., Bond W.J., Cochrane M.A., D'antonio C.M., DeFries R., Johnston F.H., Keeley J.E., Krawchuk M.E., Kull C.A., Mack M., Moritz M.A., Pyne S., Roos C.I., Scott A.C., Sodhi N.S., Swetnam T.W.** The human dimension of fire regimes on Earth. In *J. of biogeography*, 2011. Vol. 38. N 12. P. 2223–2236.

**Burdin L.A., Bolobanshchikova G.N., Rogozin D.Y.** Macro-charcoal particles in lake sediments of North-Minusinsk Basin (South Siberia, Russia) as indicator of natural and human-induced paleo-fires. In *Limnol. Freshwater Biol.*, 2022. N 4. P. 1403–1404.

**Carcaillet C.** Charred particle analysis. In *Encyclopedia of Quaternary Science*. Amsterdam: Elsevier, 2007. P. 1582–1593.

**Chikisheva T.A., Pozdnyakov D.V.** The Peopling of the Baraba Forest-Steppe in the Neolithic: Cranial Evidence. In *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*. Novosibirsk: IAET SB RAS Publ., 2021. N 1. P. 133–145.

**Courtney-Mustaphi C.J., Pisaric M.F.** A classification for macroscopic charcoal morphologies found in Holocene lacustrine sediments. In *Progress in Physical Geography*, 2014. Vol. 38. Iss. 6. P. 734–754. doi.org:10.1177/0309133314548886

- Davies B., Power M.J., Braun D.R., Douglass M.J., Mosher S.G., Quick L.J., Esteban I., Sealy J., Parkington J., Faith J.T.** Fire and human management of late Holocene ecosystems in southern Africa. In *Quatern. Sci. Rev.*, 2022. Vol. 289 (107600). P. 1–10.
- Goren-Inbar N., Alpers N., Kislev M.E., Simchoni O., Melamed Y., Ben-Nun A., Werker E.** Evidence of hominin control of fire at Gesher Benot Yaaqov, Israel. In *Science*, 2004. Vol. 304. Iss. 5671. P. 725–727.
- He T., Lamont B.B., Downes, K.S.** Banksia born to burn. In *New Phytologist*, 2011. Vol. 191. Iss. 1. P. 184–196.
- Jha D.K., Samrat R., Sanyal P.** The first evidence of controlled use of fire by prehistoric humans during the Middle Paleolithic phase from the Indian subcontinent. In *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2021. Vol. 562 (110151). P. 1–12.
- McWethy D.B., Whitlock C., Wilmshurst J.M., McGlone M.S., Fromont M., Li X., Dieffenbacher-Krall A., Hobbs W.O., Fritz S.C., Cook E.R.** Rapid landscape transformation in South Island, New Zealand following initial Polynesian settlement. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010. Vol. 107. N 50. P. 21343–21348.
- Molodin V.I.** Baraba v epokhu bronzy. Novosibirsk: Nauka, 1985. 200 p. (In Russ.).
- Moore J.** Forest fire and human interaction in the early Holocene woodlands of Britain. In *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2000. Vol. 164. N 1–4. P. 125–137. doi:10.1016/s0031-0182(00)00180-2
- Nikulina A.V., Zolnikov I.D., Novikova O.I.** Site catchment analysis of eneolithic-medieval settlements in the Central Baraba lowland. In *Rossiiskaya arkhologiiya*, 2021. N 1. P. 47–58. (In Russ.).
- Pausas J.G., Keeley J.E.** A burning story: the role of fire in the history of life. In *BioScience*, 2009. Vol. 59. Iss. 7. P. 593–601.
- Pupysheva M.A., Blyakharchuk T.A.** Dynamics of paleo-fires in the forest-steppe zone of the Western Siberia. In *Limnol. Freshwater Biol.*, 2022. N 4. P. 1535–1537.
- Pupysheva M.A., Blyakharchuk T.A.** Fires and their Significance in the Earth's Post-Glacial Period: a Review of Methods, Achievements, Groundwork. In *Contemporary Problems of Ecology*, 2023. Vol. 16. Iss. 3. P. 303–315.
- Roebroeks, W., Villa, P.** On the earliest evidence for habitual use of fire in Europe. In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011. Vol. 108. N 13. P. 5209–5214.
- Rudaya N., Tarasov P., Dorofeyuk N., Solovieva N., Kalugin I., Andreev A., Daryin A., Diekmann B., Riedel F., Tserendash N., Wagner M.** Holocene environments and climate in the Mongolian Altai reconstructed from the Hoton-Nur pollen and diatom records: a step towards better understanding climate dynamics in Central Asia. In *Quatern. Sci. Rev.*, 2009. Vol. 28. Iss. 5–6. P. 540–554.
- Rudaya N., Krivonogov S., Słowiński M., Cao X., Zhilich S.** Postglacial history of the Steppe Altai: Climate, fire and plant diversity. In *Quatern. Sci. Rev.*, 2020. Vol. 249 (106616). P. 1–20. doi: 10.1016/j.quascirev.2020.106616
- Stevenson J., Haberle S.G.** Macro Charcoal Analysis: A Modified Technique Used by the Department of Archaeology and Natural History. PalaeoWorks Technical Papers 5. Canberra: Australian National Univ. Press, 2005. P. 1–7.
- Unkelbach J., Kashima K., Enters D., Dulamsuren Ch., Punsalpaamuu G., Behling H.** Late Holocene (Meghalayan) palaeoenvironmental evolution inferred from multi-proxy studies of lacustrine sediments from the Dayan Nuur region of Mongolia. In *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2019. Vol. 530. P. 1–14.
- Unkelbach J., Kashima K., Punsalpaamuu G., Shumilovskikh L., Behling H.** Decadal high-resolution multi-proxy analysis to reconstruct natural and human-induced environmental changes over the last 1350 cal. yr BP in the Altai Tavan Bogd National Park, western Mongolia. In *The Holocene*, 2020. Vol. 30. N 7. P. 1016–1028.
- Unkelbach J., Dulamsuren C., Klinge M., Behling H.** Holocene high-resolution forest-steppe and environmental dynamics in the Tarvagatai Mountains, north-central Mongolia, over the last 9570 cal yr BP. In *Quatern. Sci. Rev.*, 2021. Vol. 266 (107076). P. 1–11.
- Unkelbach J., Behling H.** The reconstruction of Holocene northwestern Mongolian fire history based on high-resolution multi-site macro-charcoal analyses. In *Frontiers in Earth Science*, 2022. Vol. 10 (959914). P. 1–14.
- Wolf M., Lehndorff E., Wiesenberg G.L., Stockhausen M., Schwark L., Amelung W.** Towards reconstruction of past fire regimes from geochemical analysis of charcoal. In *Organic Geochemistry*, 2013. Vol. 55. P. 11–21.
- Zhang D., Feng Z.** Holocene climate variations in the Altai Mountains and the surrounding areas: A synthesis of pollen records. In *Earth-Sci. Rev.*, 2018. Vol. 185. P. 847–869.
- Zhilich S.V., Rudaya N.A.** Reconstruction of Fire Activity in Kulunda Steppe for the Last 3500 Years Based on the Data from the Bottom Sediments of Lake Maloe Yarovie. In *Problems of Archaeology, Ethnography, Anthropology of Siberia and Neighboring Territories*. Novosibirsk: IAET SB RAS Publ., 2022. Vol. 27. P. 433–440. (In Russ.).
- Zhilich S.V., Karachurina S.E.** Causes of Fire Activity and Its Relation to Changes in Plant Communities in the Basin of Lake Nizhnee Multinskoe (Altai Republic) in the Late Holocene. In *Problems of Archaeology, Ethnography, Anthropology of Siberia and Neighboring Territories*. Novosibirsk: IAET SB RAS Publ., 2022. Vol. 28. P. 527–533. (In Russ.). doi: 10.17746/2658-6193.2022.28.0527-0533
- Zhou X.Y., Yu J.J., Spengler R.N., Shen H., Zhao K.L., Ge J., Bao Y., Liu J., Yang Q., Chen G., Jia P.W., Li X.** 5,200-year-old cereal grains from the eastern Altai Mountains redate the trans-Eurasian crop exchange. In *Nature Plants*, 2020. Vol. 6 (2). P. 78–87. doi:10.1038/s41477-019-0581-y

Жилич С.В. <https://orcid.org/0000-0002-0365-0602>  
 Половников И.С. <https://orcid.org/0000-0002-2654-9283>