

Климат и растительность позднего голоцена Алтая (по данным из палеозаписей озер)

В статье рассматриваются результаты изучения позднеголоценовых палеозаписей из колонок донных отложений озер Алтая и прилегающих территорий. Наиболее приближенная к современности часть голоцена является и самой неоднозначной в плане климатических реконструкций для Алтайской горной страны. Материалами настоящего исследования являются колонки донных отложений озер, отобранные в разных частях этой территории. Для реконструкции климата и растительности позднего голоцена использовались керны из озер Малое Яровое, Кучук, Телецкое, Теньгинское, Нижнее Мультиинское, Бальктукель, Игистукель, Каракель-Нур, Хиндиктиг-Холь, Канас и Хотон-Нур. Литературные данные по другим озерным палеоархивам использовались для сравнения с полученными результатами и для уточнения реконструкции. В позднем голоцене Алтай можно выделить холодный эпизод на рубеже северогрипцианского и мегхалайского периодов – 4–3,8 тыс. л.н.; относительно теплый и гумидный интервал 3,5–2 тыс. л.н.; нарастание аридизации в последние две тысячи лет; холодный и влажный малый ледниковый период и современное увеличение гумидности. Несмотря на общее повышение увлажнения во время малого ледникового периода, наши данные позволяют выделить несколько фаз с 1300 по 1800 гг.: между 1300–1400 гг. – относительно влажная фаза, между 1400 и 1500 гг. – относительно сухая, между 1500 и 1700 гг. – самая гумидная и далее к концу малого ледникового периода гумидность понижается. Палеорекострукция среднелетних температур по данным элементного анализа кернов нескольких алтайских озер также выявляет температурные флуктуации и позволяет выделить три фазы: с 1300 по 1550 гг. – самая холодная фаза; с 1500 по 1700 гг. – более теплая фаза и заключительная холодная фаза – с 1700 по 1800 гг.

Ключевые слова: поздний голоцен, климат, биоразнообразие, растительность, Алтай.

N.A. Rudaya
Institute of Archaeology and Ethnography SB RAS
Novosibirsk, Russia
E-mail: nrudaya@gmail.com

Late Holocene Climate and Vegetation of the Altai Mountains (Based on Lake Paleorecords)

This article discusses the results of studying Late Holocene paleorecords from bottom sediments of Altai lakes and adjacent areas. The part of the Holocene which is closest to the present is also the most ambiguous in terms of climatic reconstructions for the Altai Mountains. The evidence for this study was lake bottom sediments sampled in different parts of the Altai Mountains. Cores from lakes Maloe Yarovoe, Kuchuk, Teletskoe, Tenginskoe, Nizhnee Multinskoe, Balyktukel, Igistukel, Karakel-Nur, Khindikhtig-Khol, Kanas, and Khoton-Nur were used for reconstructing climate and vegetation of the Late Holocene. Published data from other lake paleoarchives was compared with the results obtained for refinement of the reconstruction. In the Late Holocene of the Altai, we can distinguish a cold episode at the boundary of the North Greenland and Meghalayan periods 4–3.8 ka BP, relatively warm and humid interval of 3.5–2 ka BP, increasing aridification in the last two millennia, cold and wet Little Ice Age, and modern increase in humidity. Despite the general increase in humidity during the Little Ice Age, our data allow us to distinguish several phases from 1300 to 1800 CE: relatively wet phase between 1300–1400 CE, relatively dry phase between 1400 and 1500 CE, the most humid phase between 1500 and 1700 CE, and decrease in humidity towards the end of the Little Ice Age. Paleoreconstruction of mean annual temperatures based on elemental analysis of cores from several Altai lakes also reveals temperature fluctuations and makes it possible to distinguish three phases: the coldest phase from 1300 to 1550 CE, warmer phase from 1500 to 1700 CE, and the final cold phase from 1700 to 1800 CE.

Keywords: Late Holocene, climate, biodiversity, vegetation, Altai.

Введение

Наиболее приближенная к современности часть голоцена является и самой неоднозначной в плане климатических реконструкций для Алтайской горной страны. Противоречия, возникающие в интерпретации результатов исследования, связаны как с общей нестабильностью позднеголоценового климата, так и с уже выраженной антропогенной нагрузкой на ландшафты и большим многообразием позднеголоценовых палеозаписей и методов их исследования.

Материалы и методы исследования

Материалами настоящего исследования являются колонки донных отложений озер, отобранные в разных частях Алтайской горной страны. Для реконструкции климата и растительности позднего голоцена использовались керны из озер Малое Яровое, Кучук, Телецкое, Теньгинское, Нижнее Мультиинское, Балыктукель, Игистукель, Канас, Хотон-Нур, Каракель-Нур и Хиндиктиг-Холь. Литературные данные по другим озерным палеоархивам использовались для сравнения с полученными результатами и для уточнения реконструкции.

Отбор донных отложений проводился с использованием донных пробоотборников. Датирование кернов выполнено радиометрическими методами. Количественные реконструкции растительности и климатических показателей проводились на основании палинологических данных. Количество осадков рассчитывалось с применением трансферной функции и использованием базы данных поверхностных палинологических спектров для Центральной Азии и Западной Сибири [Cao et al., 2019].

Реконструкция климата и растительности в позднем голоцене Алтай (4,2–0 тыс. л.н.)

Палеозаписи из озер Кулундинской низменности (озера Кучук и Малое Яровое) после 4 тыс. л.н. демонстрируют нарастание аридности – уменьшается количество реконструированных осадков, снижается доля пыльцы сосны обыкновенной и вяза в палинологических спектрах. Однако значительными среднегодовые суммы осадков остаются до 2,6 тыс. л.н. Примечательно, что последнее пыльцевое зерно вяза (*Ulmus* sp.) регистрируется в палинозаписи из озера Кучук ок. 600 л.н. Увеличение количества осадков приходится на конец позднего голоцена ок. 1,3 тыс. л.н.; некоторое снижение зафиксировано ок. 0,7 тыс. л.н.

В последние 1,2 тыс. л. среднегодовые суммы осадков составляют 360–370 мм/год. Позднейшие изменения в растительности степной части Алтая включают расширение площади березовых лесов (с 1,2–0,6 тыс. л.н.) и возрастающую роль пустынных

компонентов. Увеличение площадей открытых ландшафтов, распространение березы и сокращение площади сосновых лесов может быть и следствием участвовавших пожаров. Однако прямой корреляции между пожарами и изменениями в составе растительности не было найдено, в то время как корреляция между уровнем среднегодовых осадков и уровнем растительного разнообразия положительная и сильная [Rudaya et al., 2020]. Уровень реконструированных среднегодовых осадков возрастает в последние 100 лет, достигая 390 мм/год.

Растительность позднего голоцена северо-восточного Алтая, согласно палеоданным из оз. Телецкое, характеризуется распространением вечнозеленых хвойных лесов, сходных с современными. Реконструированная среднеиюльская температура показывает флуктуации в пределах 3–4 °С. Доминирующими древесными породами являются *Pinus sibirica* и *Abies sibirica* [Rudaya et al., 2016]. Эти породы, чувствительные к температурам и увлажнению [Шумилова, 1962], предполагают существование в целом теплого и гумидного климата за последние 4,2 тыс. л. со средними температурами июля около 17 °С и среднегодовым количеством осадков примерно 425 мм/год.

Относительно холодный и сухой интервал в Прителецком р-не реконструирован 3,9–3,6 тыс. л.н., когда остепненные растительные сообщества с *Artemisia*, *Amaranthaceae* и *Cyperaceae* были широко распространены на водосборной территории оз. Телецкое. Это время характеризуется относительно низкими средними температурами июля (16,3 °С), наименьшим за весь поздний голоцен количеством осадков (390 мм/год) и минимальным распространением леса с лесопокрывом не более 29–35 %. Процент лесопокыва по данным VCF (Vegetation Continuous Fields) [Hansen et al., 2003] для современной Прителецкой тайги составляет 65 % [Rudaya et al., 2016]. Реконструкция среднегодовых осадков для оз. Теньгинского (центральная часть Российского Алтая) также выявляет резкое уменьшение количества осадков 4,2–3,9 тыс. л.н.

Холодный и сухой интервал около 4,2–3,8 тыс. л.н. зарегистрирован во многих палеозаписях Северного полушария [Mayewski et al., 2004; Seppä et al., 2009; Solomina et al., 2015]. Данный эпизод можно связать с эпизодом похолодания в Северной Атлантике. Ветра западного переноса над Северной Атлантикой и Сибирью были слабее в промежутке 4,2–3,8 тыс. л.н., что отразилось в понижении температур и снижении увлажнения [Mayewski et al., 2004]. Ослабление ветров западного переноса в средних широтах в этот временной интервал связано с отрицательной фазой северо-атлантической осцилляции, что выражается в уменьшении количества влаги в северных широтах [Lan et al., 2020].

После 3,5 тыс. л.н. площадь распространения хвойной горной тайги в районе оз. Телецкое значительно расширилась с максимальным реконструированным

процентом лесопокрытия (50 %) и среднегодовыми осадками (440 мм/год) между 2,3 и 0,7 тыс. л.н. Средние температуры июля возрастают на 1 °С между 3,5 и 1,1 тыс. л.н. Климат стал более влажным и теплым.

Расчитанные голоценовые температуры для 36 палеозаписей из Северной Европы подтверждают существование относительно теплого климатического интервала 3–1 тыс. л.н. [Seppä et al., 2009]. Это же потепление отмечается для Улаганского плато при исследовании древних озерных отложений озера Сорлуколь и фиксируется на рубеже 3,7–3,6 тыс. л.н. [Русанов, Тетерина, 2018].

Тенденция к похолоданию отмечена в палеозаписях из оз. Телецкое, начиная с 0,8 тыс. л.н. Уменьшение среднеиюльских температур на 2–3 °С ниже современных, записанное в кернах этого озера, проявляется между 1450 и 1800 гг., что может быть ассоциировано с малым ледниковым периодом (далее – МЛП).

Палинозаписи из озер Улаганского плато выявляют распространение горной тайги с *Pinus sibirica*, *P. sylvestris* и *Larix sibirica* в последние 4 тыс. л. Однако проведенный анализ растительной седиментационной ДНК из керна оз. Балыктукель выявил, что доминирующей породой была лиственница сибирская, а не сосна сибирская, как показывают палинологические данные. Очевидно, что палинологический анализ отражает региональные изменения растительного покрова, в то время как анализ седиментационной ДНК выявляет локальные смены растительности, вероятно, в пределах одного высотного пояса [Karachurina et al., 2023]. Палеозапись выявляет доминирование лиственницы сибирской с 6,95 по 3,4 тыс. л.н., затем происходит увеличение доли травянистой растительности. После 2 тыс. л.н. появляется ДНК *Rhododendron* (*Rh. tomentosum*) и *Empetrum* (*E. nigrum* s.l.), *Vaccinium vitis-idaea* становится более обильной. В последнюю тысячу лет доля лиственницы опять увеличивается, абсолютно исчезает сосна и заметно увеличивается присутствие Ericaceae.

Основываясь на палинологических данных из озер Ак-Холь и Груша (юго-западная Тыва), в позднем голоцене лесная растительность только сокращалась и заменялась на степную с доминированием полыней, злаков и осоковых [Blyakharchuk et al., 2007]. Особенно этот процесс усилился в последние 2 тыс. л., что может быть связано с возросшей аридизацией и похолоданием. Однако образец палеопочвы из котловины оз. Ак-Холь, датированный $2\,852 \pm 94$ тыс. л.н., кроме фрагментов керамики скифской эпохи содержал также и большое количество древесных углей, косвенно указывающих на облесенность территории в это время [Agatova, Nepor, Glebova, 2020].

Палинозапись из оз. Канас (Монгольский Алтай) для последних 4 тыс. л. выявила заметное снижение пыльцы древесных и возрастание пыльцы травянистых [Huang et al., 2018]. Растительный покров характеризуется сокращением лесной растительности и развитием

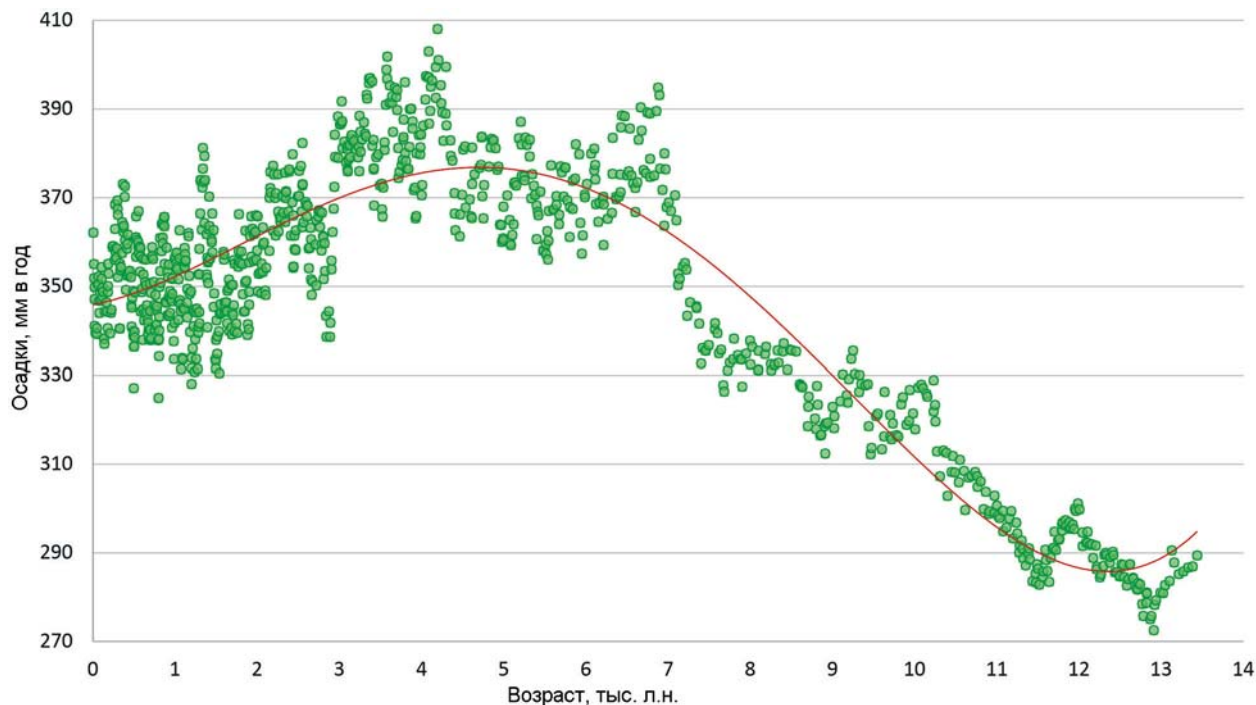
открытых степных ландшафтов. Особенно эти процессы становятся выраженными в последние 1,5 тыс. л., когда увеличивается доля пыльцы полыни и сокращается доля пыльцы маревых. При этом максимальное количество осадков за весь голоцен также реконструировано для последних 3,8 тыс. л.н. – 310 мм/год.

Палеоданные по керну из оз. Хотон-Нур (Монгольский Алтай) выявляют усиление аридности после 5 тыс. л.н. [Rudaya et al., 2009]. Количество пыльцы ели сокращается, доля травянистых таксонов увеличивается до 70 %. Однако, несмотря на общую тенденцию к аридизации после голоценового климатического оптимума, реконструированные среднегодовые осадки для керна из оз. Хотон-Нур оказались на 100 мм выше, чем современные, между 3–2 тыс. л.н. (до 350 мм/год). Палинозапись из оз. Баликун (Монгольский Алтай) выявила существование влажного периода 3,8–2,3 тыс. л.н. [An et al., 2011]. Влажному эпизоду, также, как и в записях из оз. Телецкое [Rudaya et al., 2016], предшествовал аридный период между 4,3–3,8 тыс. л.н.

Усиление гумидности и похолодание климата на западном макросклоне Монгольского Алтая во второй половине позднего голоцена (2,5–1 тыс. л.н.) подтверждают и рост торфяника *BBP* после 2,8 тыс. л.н. [Xu et al., 2019]; палинологический анализ палеозаписи из торфяника *YSKL* [Yang et al., 2019] и исследование n-алканов из торфяника *TLSH* [Zhang et al., 2016].

Короткий период между 2,8 и 2,5 тыс. л.н. характеризуется выраженным похолоданием и усилением гумидности климата в Северной Европе [Wanner et al., 2008]. Также в это же время отмечается наступление ледников в Северном полушарии, что ассоциируется с минимумом солнечной активности [van Geel et al., 2000] и усилением западного переноса над Северной Атлантикой и Сибирью [Mayewski et al., 2004]. Вероятно, возросшая влажность является также ответом на снижение солнечной активности в результате сокращения эвапотранспирации из-за понижения температур в Монголии [An, Chen, Barton, 2008]. Анализ палеоданных для скифского времени (850–200 лет до н.э.), полученных из разных палеоархивов Центральной Азии, включая и юг западной Сибири, выявил, что этот период характеризуется повышенной гумидностью, которая обеспечивала возможности перемещений скифского населения в этой аридной области [Che, Lan, 2021]. Объединенная реконструкция осадков по данным исследованных здесь озер также выявляет увеличение количества осадков около 2,6–2,4 тыс. л.н. после аридной фазы (см. рисунок).

В Северном полушарии наступление ледников и усиление западных ветров над Северной Атлантикой и Сибирью предполагают изменения климата между 1350 и 1800 гг., которые были самыми быстрыми и сильными с начала голоцена. Интенсификация сибирского антициклона после 1350 г., рассчитанная по содержанию калия в гренландских ледовых кер-



Реконструированное среднегодовое количество осадков для голоцена Алтая (по палинологическим данным из всех палео-записей донных отложений озер).

нах GISP2 для Северного полушария [Mayewski et al., 2004], подтверждает похолодание климата.

Согласно радиоуглеродному датированию древесины, погребенной под моренами, увеличение площадей больших ледников в Российском Алтае начинается в 13 в., маркируя наступление МЛП. Активация небольших ледников коррелирует с самой холодной фазой МЛП, начиная со второй половины 15 и в 16 в. Ледниковая стадия актуальна в Российском Алтае, датируемая 13–19 вв., подтверждает существования холодного и влажного климата [Agatova et al., 2012]. Согласно дендрохронологическим исследованиям Алтае-Саянского региона, МЛП датируется здесь 17–19 вв. [Мыглан, Ойдупаа, Ваганов, 2012].

Несмотря на общее повышение увлажнения во время МЛП, наши данные позволяют выделить несколько фаз с 1300 по 1800 гг.: между 1300–1400 гг. – относительно влажная фаза, между 1400 и 1500 гг. – относительно сухая, между 1500 и 1700 гг. – самая гумидная и далее к концу МЛП гумидность понижается. Палеорекострукция среднелетних температур по данным элементного анализа кернов из озер Телецкое, Кучерлинское и Мультиинские также выявляет температурные флуктуации и позволяет выделить три фазы: с 1300 по 1550 гг. – самая холодная фаза; с 1500 по 1700 гг. – более теплая фаза и заключительная холодная фаза – с 1700 по 1800 гг. [Бабич и др., 2023].

Таким образом, несмотря на некоторые несоответствия в локальных реконструкциях, в позднем голоцене Алтая можно выделить холодный эпизод на рубеже северогриппианского и мегхалайского веков –

4–3,8 тыс. л.н.; относительно теплый и гумидный интервал 3,5–2(1) тыс. л.н.; нарастание аридизации в последние две тысячи лет; холодный и влажный МЛП и современное увеличение гумидности (см. рисунок).

Благодарности

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

Список литературы

- Бабич В.В., Дарьин А.В., Рудая Н.А., Маркович Т.И.** Обобщенная реконструкция температурного режима для российского Алтая за последние 2000 лет (по озерным отложениям) // Геология и геофизика. – 2023. – EDN ZASIRQ. – doi: 10.15372/GiG2023135
- Мыглан В.С., Ойдупаа О.Ч., Ваганов Е.А.** Построение 2367-летней древесно-кольцевой хронологии для Алтае-Саянского региона (горный массив Монгун-Тайга) // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2012. – № 3. – С. 76–83.
- Русанов Г.Г., Тетерина И.И.** Озера и ландшафтно-климатические особенности среднегорий и высокогорий Алтая во второй половине голоцена. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2018. – 132 с.
- Шумилова Л.В.** Ботаническая география Сибири. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1962. – 440 с.
- Agatova A.R., Nazarov A.N., Nepov R.K., Rodnight H.** Holocene glacier fluctuations and climate changes in the

southeastern part of the Russian Altai (South Siberia) based on a radiocarbon chronology // *Quatern. Sci. Rev.* – 2012. – Vol. 43. – P. 74–93.

Agatova A.R., Nepop R.K., Glebova A.N. Lake systems in mountain borders of the Great Lakes Basin of Mongolia: From Pleistocene catastrophes to Holocene gradual evolution (case study from southwestern Tuva) // *Quatern. Intern.* – 2020. – Vol. 538. – P. 53–62.

An Ch.-B., Chen F.-H., Barton L. Holocene environmental changes in Mongolia: A review // *Global and Planetary Change.* – 2008. – Vol. 63 (4). – P. 283–289.

An Ch.-B., Lu Y., Zhao J., Tao S., Dong W., Li H., Jin M., Wang Z. A high-resolution record of Holocene environmental and climatic changes from Lake Balikun (Xinjiang, China): Implications for central Asia // *The Holocene.* – 2011. – Vol. 22 (1). – P. 43–52.

Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B. Late Glacial and Holocene vegetational history of the Altai Mountains (southwestern Tuva Republic, Siberia) // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* – 2007. – Vol. 245. – P. 518–534.

Cao X., Tian F., Li F., Gaillard M.-J., Rudaya N., Xu Q., Herzschuh U. Pollen-based quantitative land-cover reconstruction for northern Asia covering the last 40 ka cal BP // *Climate of the past.* – 2019. – Vol. 15. – P. 1503–1536.

Che P., Lan J. Climate Change along the Silk Road and Its Influence on Scythian Cultural Expansion and Rise of the Mongol Empire // *Sustainability.* – 2021. – Vol. 13. – P. 2530.

Hansen M., DeFries R.S., Townshend J.R.G., Carroll M., Dimiceli C., Sohlberg R.A. Global Percent Tree Cover at a Spatial Resolution of 500 Meters: First Results of the MODIS Vegetation Continuous Fields Algorithm // *Earth Interactions.* – 2003. – Vol. 7 (10). – P. 1–15.

Huang X., Peng W., Rudaya N., Grimm E.C., Chen X., Cao X., Zhang J., Pan X., Liu S., Chen C., Chen F. Holocene Vegetation and Climate Dynamics in the Altai Mountains and Surrounding Areas // *Geophysical Res. Letters.* – 2018. – Vol. 45, № 13. – P. 6628–6636.

Karachurina S., Rudaya N., Frolova L., Kuzmina O., Cao X., Chepinoga V., Stoof-Leichsenring K., Biskaborn B., Herzschuh U., Nigmatullin N., Vnukovskaya Y., Grekov I., Pestryakova L. Terrestrial vegetation and lake aquatic community diversity under climate change during the mid-late Holocene in the Altai Mountains // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* – 2023. – Vol. 623. – P. 111623.

Lan J., Zhang J., Cheng P., Ma X., Ai L., Chawchai S., Zhou K., Wang T., Yu K., Sheng E., Kang S., Zang J., Yan D., Wang Y., Tan L., Xu H. Late Holocene hydroclimatic variation in central Asia and its response to mid-latitude Westerlies and solar irradiance // *Quatern. Sci. Rev.* – 2020. – Vol. 238. – P. 106330.

Mayewski P.A., Rohling E.E., Stager J.C., Karlén W., Maasch K.A., Meeker L.D., Meyerson E.A., Gasse F., van Kreveld S., Holmgren K., Lee-Thorp J., Rosqvist G., Rack F., Staubwasser M., Schneider R.R., Steig E.J. Holocene climate variability // *Quatern. Res.* – 2004. – Vol. 62 (3). – P. 243–255.

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

Rudaya N., Nazarova L., Novenko E., Andreev A., Babich V., Kalugin I., Daryin A., Li H.-Ch., Shilov P. Quantitative reconstructions of mid-late Holocene climate and vegetation in the north-eastern Altai Mountains recorded in Lake Teletskoye // *Global and Planetary Change.* – 2016. – Vol. 141. – P. 12–24.

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. – P. 540–554.

Seppä H., Bjune A.E., Telford R.J., Birks H.J.B., Veski S. Last nine-thousand years of temperature variability in Northern Europe // *Climate of the Past.* – 2009. – Vol. 5 (3). – P. 523–535.

Solomina O.N., Bradley R.S., Hodgson D.A., Ivy-Ochs S., Jomelli V., Mackintosh A.N., Nesje A., Owen L.A., Wanner H., Wiles G.C., Young N.E. Holocene glacier fluctuations // *Quatern. Sci. Rev.* – 2015. – Vol. 111. – P. 9–34.

van Geel B., Heusser C., Renssen H., Schuurmans C. Climatic change in Chile at around 2700 BP and global evidence for solar forcing: a hypothesis // *The Holocene.* – 2000. – Vol. 10. – P. 659–664.

Wanner H., Beer J., Bütikofer J., Crowley T.J., Cubasch U., Flückiger J., Gosse H., Grosjean M., Joos F., Kaplan J.O., Küttel M., Müller S.A., Prentice I.C., Solomina O., Stocker T.F., Tarasov P., Wagner M., Widmann M. Mid- to Late-Holocene climate change: An overview // *Quatern. Sci. Rev.* – 2008. – Vol. 27(19–20). – P. 1791–1828.

Xu H., Zhou K., Lan J., Zhang G., Zhou X. Arid Central Asia saw mid-Holocene drought // *Geology.* – 2019. – Vol. 47. – P. 255–258.

Yang Y., Zhang D., Sun A., Wang W., Lan B., Feng Zh. Pollen-based reconstructions of vegetation and climate changes during the late Holocene in the southern Altai Mountains // *The Holocene.* – 2019. – Vol. 29(9). – P. 1450–1458.

Zhang Y., Meyers P.A., Liu X., Wang G., Ma X., Li X., Yuan Y., Wen B. Holocene climate changes in the central Asia mountain region inferred from a peat sequence from the Altai Mountains, Xinjiang, northwestern China // *Quatern. Sci. Rev.* – 2016. – Vol. 152. – P. 19–30.

References

Agatova A.R., Nazarov A.N., Nepop R.K., Rodnight H. Holocene glacier fluctuations and climate changes in the southeastern part of the Russian Altai (South Siberia) based on a radiocarbon chronology. In *Quatern. Sci. Rev.*, 2012. Vol. 43. P. 74–93.

Agatova A.R., Nepop R.K., Glebova A.N. Lake systems in mountain borders of the Great Lakes Basin of Mongolia: From

Pleistocene catastrophes to Holocene gradual evolution (case study from southwestern Tuva). In *Quatern. Intern.*, Vol. 538. P. 53–62.

An Ch.-B., Chen F.-H., Barton L. Holocene environmental changes in Mongolia: A review. In *Global and Planetary Change*, 2008. Vol. 63 (4). P. 283–289.

An Ch.-B., Lu Y., Zhao J., Tao S., Dong W., Li H., Jin M., Wang Z. A high-resolution record of Holocene environmental and climatic changes from Lake Balikun (Xinjiang, China): Implications for central Asia. In *The Holocene*, 2011. Vol. 22 (1). P. 43–52.

Babich V.V., Dar'in A.V., Rudaya N.A., Markovich T.I. Obobshchennaya rekonstruktsiya temperaturnogo rezhima dlya rossiiskogo Altaya za poslednie 2000 let (po ozernym otlozheniyam). In *Geologiya i geofizika*, 2003. EDN ZASIRQ. doi: 10.15372/GiG2023135

Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B. Late Glacial and Holocene vegetational history of the Altai Mountains (southwestern Tuva Republic, Siberia). In *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2007. Vol. 245. P. 518–534.

Cao X., Tian F., Li F., Gaillard M.-J., Rudaya N., Xu Q., Herzschuh U. Pollen-based quantitative land-cover reconstruction for northern Asia covering the last 40 ka cal BP. In *Climate of the past*, 2019. Vol. 15. P. 1503–1536.

Che P., Lan J. Climate Change along the Silk Road and Its Influence on Scythian Cultural Expansion and Rise of the Mongol Empire. In *Sustainability*, 2021. Vol. 13. P. 2530.

Hansen M., DeFries R.S., Townshend J.R.G., Carroll M., Dimiceli C., Sohlberg R.A. Global Percent Tree Cover at a Spatial Resolution of 500 Meters: First Results of the MODIS Vegetation Continuous Fields Algorithm. In *Earth Interactions*, 2003. Vol. 7 (10). P. 1–15.

Huang X., Peng W., Rudaya N., Grimm E.C., Chen X., Cao X., Zhang J., Pan X., Liu S., Chen C., Chen F. Holocene Vegetation and Climate Dynamics in the Altai Mountains and Surrounding Areas. In *Geophysical Res. Letters*, 2018. Vol. 45 (13). P. 6628–6636.

Karachurina S., Rudaya N., Frolova L., Kuzmina O., Cao X., Chepinoga V., Stoof-Leichsenring K., Biskaborn B., Herzschuh U., Nigmatullin N., Vnukovskaya Y., Grekov I., Pestryakova L. Terrestrial vegetation and lake aquatic community diversity under climate change during the mid-late Holocene in the Altai Mountains. In *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2003. Vol. 623. P. 111623.

Lan J., Zhang J., Cheng P., Ma X., Ai L., Chawchai S., Zhou K., Wang T., Yu K., Sheng E., Kang S., Zang J., Yan D., Wang Y., Tan L., Xu H. Late Holocene hydroclimatic variation in central Asia and its response to mid-latitude Westerlies and solar irradiance. In *Quatern. Sci. Rev.*, 2020. Vol. 238. P. 106330.

Mayewski P.A., Rohling E.E., Stager J.C., Karlén W., Maasch K.A., Meeker L.D., Meyerson E.A., Gasse F., van Kreveld S., Holmgren K., Lee-Thorp J., Rosqvist G., Rack F., Staubwasser M., Schneider R.R., Steig E.J. Holocene climate variability. In *Quatern. Res.*, 2004. Vol. 62 (3). P. 243–255.

Mygland V.S., Oidupaa O.Ch., Vaganov E.A. A 2367-year tree-ring chronology for the Altai-Sayan region (Mongun-Taiga

mountain massif). In *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*, 2012. N 3. P. 76–83.

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

Rudaya N., Nazarova L., Novenko E., Andreev A., Babich V., Kalugin I., Daryin A., Li H.-Ch. Shilov P. Quantitative reconstructions of mid-late Holocene climate and vegetation in the north-eastern Altai Mountains recorded in Lake Teletskoye. In *Global and Planetary Change*, 2016. Vol. 141. P. 12–24.

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. P. 540–554.

Rusanov G.G., Teterina I.I. Ozera i landshaftno-klimaticheskie osobennosti srednegorii i vysokogorii Altaya vo vtoroi polovine golotsena. Novokuznetsk: SibGIU Publ., 2018. 132 p. (In Russ.).

Seppä H., Bjune A.E., Telford R.J., Birks H.J.B., Veski S. Last nine-thousand years of temperature variability in Northern Europe. In *Climate of the Past*, 2009. Vol. 5 (3). P. 523–535.

Shumilova L.V. Botanicheskaya geografiya Sibiri. Tomsk: Tomsk State Univ. Press, 1962. 440 p. (In Russ.).

Solomina O.N., Bradley R.S., Hodgson D.A., Ivy-Ochs S., Jomelli V., Mackintosh A.N., Nesje A., Owen L.A., Wanner H., Wiles G.C., Young N.E. Holocene glacier fluctuations. In *Quatern. Sci. Rev.*, 2015. Vol. 111. P. 9–34.

van Geel B., Heusser C., Renssen H., Schuurmans C. Climatic change in Chile at around 2700 BP and global evidence for solar forcing: a hypothesis. In *The Holocene*, 2000. Vol. 10. P. 659–664.

Wanner H., Beer J., Bütikofer J., Crowley T.J., Cubasch U., Flückiger J., Goosse H., Grosjean M., Joos F., Kaplan J.O., Küttel M., Müller S.A., Prentice I.C., Solomina O., Stocker T.F., Tarasov P., Wagner M., Widmann M. Mid- to Late-Holocene climate change: An overview. In *Quatern. Sci. Rev.*, 2008. Vol. 27 (19–20). P. 1791–1828.

Xu H., Zhou K., Lan J., Zhang G., Zhou X. Arid Central Asia saw mid-Holocene drought. In *Geology*, 2019. Vol. 47. P. 255–258.

Yang Y., Zhang D., Sun A., Wang W., Lan B., Feng Zh. Pollen-based reconstructions of vegetation and climate changes during the late Holocene in the southern Altai Mountains. In *The Holocene*, 2019. Vol. 29 (9). P. 1450–1458.

Zhang Y., Meyers P.A., Liu X., Wang G., Ma X., Li X., Yuan Y., Wen B. Holocene climate changes in the central Asia mountain region inferred from a peat sequence from the Altai Mountains, Xinjiang, northwestern China. In *Quatern. Sci. Rev.*, 2016. Vol. 152. P. 19–30.

Рудая Н.А. <https://orcid.org/0000-0003-1536-6470>