

Н.А. Рудая✉, **С.Е. Карачурина**
Институт археологии и этнографии СО РАН
Новосибирск, Россия
E-mail: nrudaya@gmail.com

Природные условия среднего голоцена Алтая (по палеолимнологическим данным)

*В статье рассматриваются результаты изучения среднегоголоценовых палеозаписей из колонок донных отложений озер Алтая и прилегающих территорий. Для реконструкции климата и растительности позднего голоцена использовались колонки озер Малое Яровое, Кучук, Теньгинское, Бальктукель, Игистукель, Канас, Хотон-Нур. Средний голоцен степной части Алтая характеризуется относительно высоким обилием пыльцы *Pinus sylvestris* и максимальным присутствием пыльцы *Ulmus*. Хвойные леса с примесью широколиственных пород по долинам рек были распространены на наиболее увлажненных участках Обь-Иртышского междуречья и Предалтайской равнины. Обилие пыльцы сосны обыкновенной и вяза заметно сокращается после 3 тыс. л.н. Результаты исследования – выраженное начало усиления аридности на этой территории с 4,8–4,5 тыс. л.н. Информацию о природных условиях центральной части Российского Алтая дают палеозаписи озер Улаганского плато, исследованные с высоким разрешением методом рентгенофлуоресцентного анализа, палинологическим и с исследованием седиментационной растительной ДНК. Растительность среднего голоцена Монгольского Алтая по палинозаписи оз. Канас характеризуется максимальным развитием леса. В хвойных лесах доминировала ель сибирская, но в это же время значительно выросло обилие березы и незначительно, но заметно, лиственницы. Палинозапись из оз. Хотон-Нур также характеризует растительность в этой части Монгольского Алтая для интервала 8–5 тыс. л.н. как преимущественно лесную с доминированием темнохвойных лесов с елью сибирской. Таким образом, несмотря на некоторые несоответствия в локальных реконструкциях, северогриппианский период Алтая характеризуется наибольшей гумидностью и распространением лесной растительности. Сокращение лесов, понижение количества среднегодовых осадков начинается после 5 тыс. л.н. Наибольшее распространение широколиственных пород на юге Западной Сибири и на Алтае отмечается между 7,2–2,6 тыс. л.н. После малого ледникового периода присутствие широколиственных пород в палеозаписях озер Алтая не отмечено.*

Ключевые слова: средний голоцен, климат, растительность, Алтай.

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

Mid-Holocene Environmental Conditions in the Altai Mountains: Paleolimnological Data

*The paper discusses the results of the study of Middle Holocene paleorecords from lake-bottom sediment cores of the Altai lakes and adjacent areas. To reconstruct the climate and vegetation of the late Holocene, cores from lakes Maloye Yarovoye, Kuchuk, Tenga, Balyktukel, Igistukel, Kanas, and Khoton-Nur were analyzed. The middle Holocene of the Steppe Altai is characterized by a relatively high proportion of *Pinus sylvestris* pollen and a maximum presence of *Ulmus* pollen. Coniferous forests with admixture of deciduous species were distributed along river valleys in the most humid areas of the Ob-Irtysh interfluvium and the Pre-Altai plain. The proportions of pollen of Scots pine and elm decreased significantly after 3 ka BP. The results of the study show a pronounced onset of aridity in this area between 4.8–4.5 ka BP. Information on the natural conditions of the central part of the Russian Altai is provided by two palaeorecords from lakes of the Ulagan Plateau; the samples were studied by high resolution XRF analysis and, palynological and sedimentary plant DNA studies. According to the palynological record from Lake Kanas, the Middle Holocene vegetation of the Mongolian Altai is characterized by the maximum forest development. The pollen record from Lake Khoton-Nur also characterizes the vegetation in this part of the Mongolian Altai in the range of 8–5 ka BP as predominantly dark coniferous forests dominated by Siberian spruce. Thus, despite some inconsistencies in local reconstructions, the Northgrippian period of the Altai is characterized by the greatest humidity and distribution of forest vegetation. The reduction of forests and the decrease of the average annual precipitation started after 5 ka BP. The largest distribution of broadleaved species in southern West Siberia and Altai occurs between 7.2–2.6 ka BP. After the Little Ice Age, no presence of broad-leaved species in the paleorecords of Altai lakes has been noted.*

Keywords: Middle Holocene, climate, vegetation, Altai.

Введение

Алтайская горная страна, располагающаяся на границе нескольких государств и климатических зон, является важным объектом для изучения биоразнообразия и природных обстановок голоцена и позднего плейстоцена. Палеолимнологические исследования уже несколько десятилетий служат основой для палео-биогеографических реконструкций природной среды, по крайней мере, за несколько десятков тысячелетий. Алтайская горная страна и прилегающие к ней территории богаты озерами, а, следовательно, являются перспективными для палеолимнологических исследований. При этом большинство современных озер на этой горной территории относительно молодые и сформировались в стадию последней дегляциации.

В настоящее время голоцен подразделяется на три периода, один из которых, северогриппианский, соответствует среднему голоцену (8,2–4,2 тыс. л.н.). В настоящей статье рассматриваются природные условия северогриппианского периода голоцена для Алтая.

Материалы и методы исследования

Материалами настоящего исследования являются керны донных отложений озер, отобранные в разных частях Алтая. Для реконструкции климата и растительности позднего голоцена использовались колонки из озер Малое Яровое, Кучук, Теньгинское, Балыктукель, Игистукель, Канас и Хотон-Нур.

Отбор донных отложений проводился с использованием гравитационного донного пробоотборника Uwitec. Датирование кернов выполнено с применением радиоуглеродного метода; возрастные модели, построенные в R Bacon [Blaauw, Christeny, 2011], уточнены измерением содержания изотопов цезия и свинца. Геохимический анализ, включая РФА-сканирование кернов, проводился для части колонок донных отложений. 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 природных условий среднего голоцена Алтая (8,2–4,2 тыс. л.н.)

В палинозаписи из оз. Малое Яровое с началом северогриппианского периода отмечается увеличение пыльцы *Pinus sylvestris* и появление в палиноспектрах пыльцы *Abies*. Количество осадков достигает 350 мм/год. Максимум осадков для территории Кулундинской низменности и ее окрестностей по палео-записям озер Малое Яровое и Кучук реконструируется между 7–2,6 тыс. л.н. (375–390 мм/год), однако

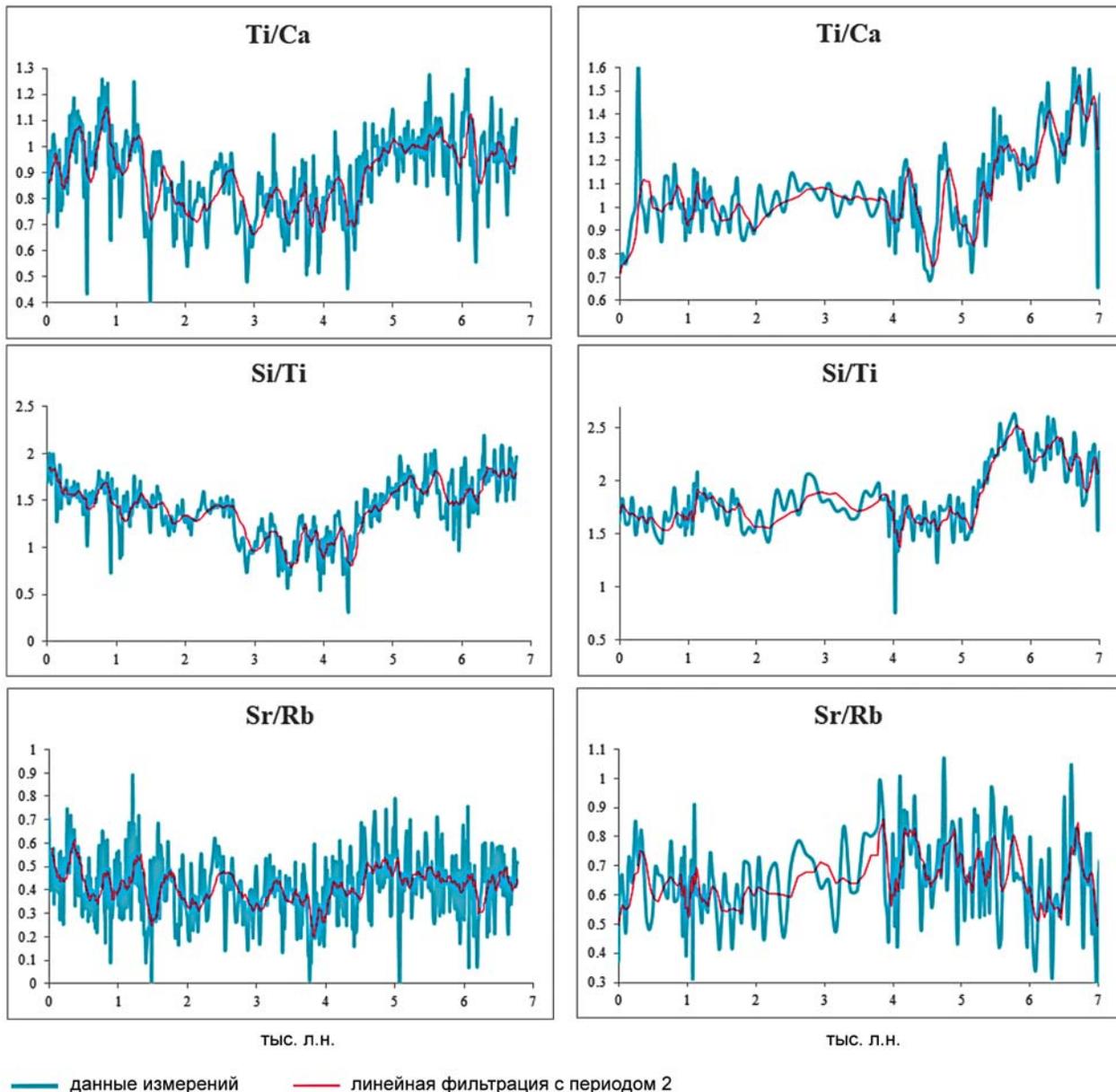
тенденция к уменьшению среднегодового количества осадков отмечается уже с 4 тыс. л.н. [Rudaya et al., 2020].

Седиментологические и геохимические данные показывают высокий уровень озера и повышенное поступление терригенного материала после 7,2 тыс. л.н., что косвенно подтверждает возросшее обилие хламидоспор почвенного гриба *Glomus* – маркера береговой эрозии [Van Geel et al., 2003]. Высокий уровень береговой эрозии может свидетельствовать о повышенном речном и поверхностном стоке в озеро. В целом, высокий уровень озера Малое Яровое реконструирован между 6,6 и 1,3 тыс. л.н., а максимальный – между 6,6 и 6 тыс. л.н. [Rudaya et al., 2020].

Вообще, интервал 7,2–4 тыс. л.н. характеризуется относительно высоким обилием пыльцы *Pinus sylvestris*, а также максимальным присутствием пыльцы *Ulmus*. Хвойные леса с примесью широколиственных пород по долинам рек были распространены на наиболее увлажненных участках Обь-Иртышского междуречья и Предалтайской равнины. Обилие пыльцы сосны обыкновенной и вяза заметно сокращается после 3 тыс. л.н. Результаты биомизации палинологических данных показали увеличение показателей степного биома (STEPPE) и доли пыльцы *Amaranthaceae*, *Artemisia* и *Ephedra* маркирует выраженное начало усиления аридности на этой территории с 4,8–4,5 тыс. л.н.

Информацию о природных условиях центральной части Российского Алтая дают две палеозаписи из озер Улаганского плато, исследованных с очень высоким разрешением методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА). Так, элементная запись из оз. Балыктукель выявила повышенные значения соотношения титана к кальцию (Ti/Ca) с начала палеозаписи (7 тыс. л.н.) и до 5 тыс. л.н., что косвенно показывает повышенный уровень озера в среднем голоцене. В это же время в озерах Балыктукель и Игистукель фиксируются относительно высокие содержания кремния и соотношения Si/Ti, что говорит о повышенной продукции биогенного кремнезема и, вероятно, большего развития диатомовой флоры. В палеозаписи оз. Игистукель (IK2018) отношение кремния к титану (Si/Ti) имеет максимальные значения от 7,2 до 5,5 тыс. л.н., а затем резко снижается с абсолютным минимумом на 4 тыс. л.н.

Отношение стронция к рубидию (Sr/Rb), отражающее размер поступающих в озеро частиц терригенного материала, максимально в записи из оз. Игистукель (IK2018) между 7,2 и до 3,8 тыс. л.н. (см. рисунок). Х. Янг с соавторами [Yang et al., 2020] показали для Тибетского плато, что отношение содержания стронция и рубидия могут коррелировать с процентом древесной пыльцы в палиноспектрах и содержанием общего органического углерода в озерных кернах. Таким образом, повышенное отношение Sr/Rb в керне IK2018 может быть индикатором повышенной



Индикаторные отношения элементов (CPS, лог-трансформированы) в керне *BK2018* из оз. Балыктукель (слева) и керне *IK2018* из озера Игистукель, Республика Алтай (справа), полученные методом РФА-сканирования.

продуктивности озера и распространения древесной растительности, то есть более гумидного климата в интервале 7,2–3,8 тыс. л.н. Элементы, индикаторы биопродуктивности озера (бром и сера), также характеризуются повышенным содержанием в палеозаписях из озера Балыктукель (*BK2018*) и Игистукель (*IK2018*) с 7 до 5–4,6 тыс. л.н.

Реконструкция растительности для Улаганского плато, основанная на палинологических данных из колонок донных отложений озера [Blyakharchuk et al., 2004], выявляет произрастание темнохвойных лесов с пихтой сибирской и елью обыкновенной в первой половине среднего голоцена. Начиная с 7,5 тыс. л.н. из палиноспектров начинает исчезать пыльца *Abies sibirica* и *Picea obovata* и они, предположительно, полностью

выпадают из лесной растительности Улаганского плато к 4 тыс. л.н. Палинозапись из оз. Балыктукель (*BK2018*), однако, показывает, что и ель, и пихта присутствовали хоть и в небольшом количестве на плато по крайней мере до 2,2 тыс. л.н. [Karachurina et al., 2023; Vnukovskaya, Kuzmina, Rudaya, 2024]. Отмечается и постоянное присутствие лиственницы на Улаганском плато в течение последних 7 тыс. лет.

Реконструкция растительности Улаганского плато, основанная на анализе седиментационной ДНК-колонок донных отложений оз. Балыктукель (*BK2018*) [Karachurina et al., 2023], показывает широкое развитие лиственных лесов и высокое процентное содержание таких древесных таксонов, как *Larix sibirica*, Betulaceae, Salicaceae и *Lonicera* вплоть до

3,4 тыс. л.н. Обилие остальных древесных таксонов низкое, *Pinus u Abies* встречаются, но в небольшом количестве и спорадически. Также только в среднем голоцене (до 4 тыс. л.н.) присутствует *Populus*. Среди травянистых таксонов наиболее обильны *Saussurea* и *Potentilleae*. После 3,4 тыс. л.н. наблюдается тенденция к похолоданию и аридизации, развитию открытых травянистых группировок.

При сравнении седаДНК и палинозаписи оз. Балыктукель наблюдаются различия в таксономическом составе видов, преобладающих как на протяжении всего спектра в целом, так и в среднем голоцене в частности. Доминирующим таксоном в ДНК-записи является лиственница, а в палинозаписи – сосна.

Похожая ситуация складывается в Курайской степи. Здесь максимальное развитие лесной растительности реконструируется ок. 6,5 тыс. л.н. При этом главные компоненты лесов были *Pinus sibirica* с примесью *Betula*. Темнохвойные породы *Picea obovata* и *Abies sibirica* к этому времени в составе древостоя сократились, а доля лиственницы возросла [Blyakharchuk et al., 2008]. Основываясь на палинологических данных, полученных из субэдрального обнажения в долине р. Чуя в Курайской степи, исследователи [Schlütz, Lehmkuhl, 2007] реконструируют темнохвойные леса с *Picea obovata* до 5,3 тыс. л.н. и полное ее исчезновение ок. 3,4 тыс. л.н.

Аридный эпизод зафиксирован в палинозаписи из оз. Теньгинского между 5,3–3,4 тыс. л.н.

Палиноспектры северогриппианского периода из озер юго-западной Тувы показывают распространение, как степных сообществ, так и сосновых лесов с доминированием *Pinus sibirica*. Доля пыльцы *Picea* в палиноспектрах снижается, а после 3,5 тыс. л.н. становится совсем незначительной. Диатомовый и палинологический анализы колонок из озер Груша и Ак-Холь выявляют теплый и гумидный период между 8,2 и 6,6 тыс. л.н. [Westover et al., 2006; Blyakharchuk et al., 2007], однако состав хирономид предполагает низкий уровень озер и аридизацию климата между 8,5–5,9 тыс. л.н. [Pyashuk В.Р., Pyashuk Е.А., 2007]. Понижение уровня оз. Богуты также фиксируется между 8,2–7,6 тыс. л.н. [Nepor, Agatova, Uspenskaya, 2020].

После 6 тыс. л.н. все биопрокси из записей озер Груша и Ак-Холь начинают отражать похолодание климата [Westover et al., 2006; Blyakharchuk et al., 2007; Pyashuk В.Р., Pyashuk Е.А., 2007].

Растительность среднего голоцена Монгольского Алтая по палинозаписи из оз. Канас (*KNS*) характеризуется максимальным развитием леса. В хвойных лесах доминировала ель сибирская, но в это же время значительно выросло обилие березы и незначительно, но заметно, лиственницы. Среднегодовое количество осадков в это время возрастает до 310 мм/год. После 7 тыс. л.н. сокращение обилия пыльцы деревьев и кустарников может означать и сокращение лесной растительности [Huang et al., 2018].

Палинозапись из оз. Хотон-Нур также характеризует растительность в этой части Монгольского Алтая для интервала 8–5 тыс. л.н. как преимущественно лесную с доминированием темнохвойных лесов с елью сибирской [Rudaya et al., 2009]. Максимальный процент *Picea* в палиноспектрах приходится на начало северогриппианского периода, постепенно понижаясь к его концу. Это время характеризуется максимальным для палинозаписи количеством осадков – 280 мм/год. Более влажный климат среднего голоцена подтверждается и более легким отношением стабильных изотопов углерода, подсчитанных для пыльцевого мацерата образцов этой части керна *Hoton-2* [Rudaya, Li, 2013].

Скорость накопления торфа в торфянике *BBP* (китайская часть Монгольского Алтая) начала сокращаться с 7,6 тыс. л.н., а после 6,3 тыс. л.н. стала очень низкой и оставалась такой до 2,8 тыс. л.н., что может указывать на аридный или холодный период [Xu et al., 2019]. Однако палинологические данные по торфянику *KLSZ* предполагают развитие горной темнохвойной тайги на западном макросклоне Монгольского Алтая [Zhang et al., 2020].

Климат Убсунурской котловины также характеризовался в среднем голоцене увлажнением; рассчитанное по палинологическим данным среднегодовое количество осадков – 150–170 мм/г. Палинологические спектры характеризуются сокращением пустынных таксонов и увеличением обилия полыни [Tian et al., 2014]. Высокий уровень озер в Убсу-Нурской котловине реконструируется между 7,3–3,2 тыс. л.н. [Grunert, Lehmkuhl, Walther, 2000].

Для Западной Монголии, куда относится и Монгольский Алтай, для первой половины среднего голоцена (8–6 тыс. л.н.), исследователи [Klinge, Sauer, 2019], основываясь на нескольких палинозаписях, реконструируют теплый и влажный климат. Начиная со второй половины среднего голоцена (6–4 тыс. л.н.), большинство палинозаписей предполагают похолодание климата, а вот выявить однозначный тренд увлажнения не удалось [Ibid.]. Похожие тенденции выявлены и для соседнего Восточного Тянь-Шаня (по палинозаписям из оз. Баликун, Синьцзян) – климат становится более теплым и гумидным после 7,9 тыс. л.н. [An et al., 2011, 2013]. Анализ палинозаписей из 11 озер, относимых к аридной Центральной Азии, также выявляет наиболее гумидный период между 8 и 4 тыс. л.н.; при этом многие из этих озер начали наполняться только к 8 тыс. л.н. после высыхания в аридном раннем голоцене [Chen et al., 2008].

Показательным климатическим индикатором является палеозапись из ледяного керна Хух-Нуруу Уул из массива Цам-Багарав (Монгольский Алтай). Согласно радиоуглеродному датированию, ледник появился только 6 тыс. л.н., что маркирует начало неогляциации Монгольского Алтая [Brugger et al., 2018; Herren et al., 2013].

Таким образом, несмотря на некоторые несоответствия в локальных реконструкциях, северогриппианский период Алтая характеризуется наибольшей гумидностью и распространением лесной растительности. Сокращение лесов и понижение количества среднегодовых осадков начинается после 5 тыс. л.н. Наибольшее распространение широколиственных пород на юге Западной Сибири и на Алтае отмечается между 7,2–2,6 тыс. л.н. После малого ледникового периода присутствие широколиственных пород в палеозаписях озер Алтая не отмечено [Рудая, 2023].

Благодарности

Работа выполнена в рамках проекта НИР ИАЭТ СО РАН № FWZG-2022-0010 «Палеоэкология человека и реконструкция природных условий Евразии в четвертичном периоде».

Список литературы

Рудая Н.А. Климат и растительность позднего голоцена Алтая (по данным из палеозаписей озер) // Проблемы археологии, этнографии и антропологии Сибири и сопредельных территорий. – Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2023. – Т. XXIX. – С. 823–828.

An C.B., Tao S.C., Zhao J., Chen F.H., Lu Y., Dong W., Li H., Zhao Y., Jin M., Wang Z. Late Quaternary (30.7–9.0 cal ka BP) vegetation history in Central Asia inferred from pollen records of Lake Balikun, northwest China // *J. of Paleolimnology*. – 2013. – Vol. 49. – P. 145–154.

An C.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, N 1. – P. 43–52.

Blaauw M., Christeny J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process // *Bayesian Analysis*. – 2011. – Vol. 6. – P. 457–474.

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.

Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B. Late-glacial and Holocene vegetational changes on the Ulagan high-mountain plateau, Altai Mountains, southern Siberia // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2004. – Vol. 209. – P. 259–279.

Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B. The role of Pingos in the development of the Dzhangyskol lake-Pingo complex, central Altai Mountains, Southern Siberia // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2008. – Vol. 254, N 4. – P. 404–420.

Brugger S.O., Gobet E., Sigl M., Osmond D., Papina T., Rudaya N., Schwikowski M., Tinner W. Ice records provide

new insights into climatic vulnerability of Central Asian forest and steppe communities // *Global and Planetary Change*. – 2018. – Vol. 169. – P. 188–201.

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.

Chen F., Yu Y., Yang M., Ito E., Wang S., Madsen D.B., Huang X., Zhao Y., Sato T., Birks H.J.B., Boomer I., Chen J., An C., Wünnemann B. Holocene moisture evolution in arid central Asia and its out-of-phase relationship with Asian monsoon history // *Quatern. Sci. Rev.* – 2008. – Vol. 27. – P. 351–364.

Grunert J., Lehmkuhl F., Walther M. Paleoclimatic evolution of the Uvs Nuur basin and adjacent areas (Western Mongolia) // *Quatern. Intern.* – 2000. – Vol. 65–66. – P. 171–192.

Herren P.-A., Eichler A., Machguth H., Papina T., Tobler L., Zapf A., Schwikowski M. The onset of Neoglaciation 6000 years ago in western Mongolia revealed by an ice core from the Tsambagarav mountain range // *Quatern. Sci. Rev.* – 2013. – Vol. 69. – P. 59–68.

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 Research Letters*. – 2018. – Vol. 45, N 13. – P. 6628–6636.

Ilyashuk B.P., Ilyashuk E.A. Chironomid record of Late Quaternary climatic and environmental changes from two sites in Central Asia (Tuva Republic, Russia) – local, regional or global causes? // *Quatern. Sci. Rev.* – 2007. – Vol. 26. – P. 705–731.

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.

Klinge M., Sauer D. Spatial pattern of Late Glacial and Holocene climatic and environmental development in Western Mongolia – A critical review and synthesis // *Quatern. Sci. Rev.* – 2019. – Vol. 210. – P. 26–50.

Nepov R.K., Agatova A.R., Uspenskaya O.N. Climatically driven late Pleistocene – Holocene hydrological system transformation and landscape evolution in the eastern periphery of Chuya basin, SE Altai, Russia // *Quatern. Intern.* – 2020. – Vol. 538. – P. 63–79.

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., Li H.-Ch. A new approach for reconstruction of the Holocene climate in the Mongolian Altai: The high-resolution $\delta^{13}\text{C}$ records of TOC and pollen complexes in Hoton-Nur Lake sediments // *J. of Asian Earth Sci.* – 2013. – Vol. 69. – P. 185–195.

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.

Schlütz F., Lehmkuhl F. Climatic change in the Russian Altai, southern Siberia, based on palynological and geomorphological results, with implications for climatic teleconnections and human history since the middle Holocene // *Vegetation History and Archaeobotany.* – 2007. – Vol. 16. – P. 101–118.

Tian F., Herzsuh U., Telford R.J., Mischke S., Van der Meeren T., Krenzel M. A modern pollen–climate calibration set from central-western Mongolia and its application to a late glacial–Holocene record // *J. of Biogeography.* – 2014. – Vol. 41, N 10. – P. 1–14.

Van Geel B., Buurman J.J., Brinkkemper O., Schelvis J.J., Aptroot A., van Reenen G., Hakbijl T. Environmental reconstruction of a Roman Period settlement site in Uitegeest (The Netherlands), with special reference to coprophilous fungi // *J. of Archaeol. Sci.* – 2003. – Vol. 30. – P. 873–883.

Vnukovskaya Y.D., Kuzmina O.B., Rudaya N.A. Local Environmental Conditions of Lake Balyktukel (Russian Altai) in the Holocene from Non-Pollen Palynomorphs // *Paleontological J.* – 2024. – Vol. 58, N 7. – P. 99–108.

Westover K.S., Fritz S.C., Blyakharchuk T.A., Wright H.E. Diatom paleolimnological record of Holocene climatic and environmental change in the Altai Mountains, Siberia // *J. of Paleolimnology.* – 2006. – Vol. 35. – P. 519–541.

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 H., Zhao Y., Cui Q., Ren W., Li Q. Paleoclimatic indication of X-ray fluorescence core-scanned Rb/Sr ratios: A case study in the Zoige Basin in the eastern Tibetan Plateau // *Science China Earth Sciences.* – 2020. – Vol. 63. – P. 80–95.

Zhang D., Chen X., Li Y., Zhang S. Holocene vegetation dynamics and associated climate changes in the Altai Mountains of the Arid Central Asia // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology.* – 2020. – Vol. 550. – P. 109744.

References

An C.B., Tao S.C., Zhao J., Chen F.H., Lu Y., Dong W., Li H., Zhao Y., Jin M., Wang Z. Late Quaternary (30.7–9.0 ka BP) vegetation history in Central Asia inferred from pollen records of Lake Balikun, northwest China. *J. of Paleolimnology*, 2013. Vol. 49. P. 145–154.

An C.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, No. 1. P. 43–52.

Blaauw M., Christeny J.A. Flexible paleoclimate age-depth models using an autoregressive gamma process. *Bayesian Analysis*, 2011. Vol. 6. P. 457–474.

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.

Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B. Late-glacial and Holocene vegetational changes on the Ulagan high-mountain plateau, Altai Mountains, southern Siberia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2004. Vol. 209. P. 259–279.

Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., van der Knaap W.O., Ammann B. The role of Pingos in the development of the Dzhangyskol lake-Pingo complex, central Altai Mountains, Southern Siberia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2008. Vol. 254, No. 4. P. 404–420.

Brugger S.O., Gobet E., Sigl M., Osmont D., Papina T., Rudaya N., Schwikowski M., Tinner W. Ice records provide new insights into climatic vulnerability of Central Asian forest and steppe communities. *Global and Planetary Change*, 2018. Vol. 169. P. 188–201.

Cao X., Tian F., Li F., Gaillard M.-J., Rudaya N., Xu Q., Herzsuh 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.

Chen F., Yu Y., Yang M., Ito E., Wang S., Madsen D.B., Huang X., Zhao Y., Sato T., Birks H.J.B., Boomer I., Chen J., An C., Wünnemann B. Holocene moisture evolution in arid central Asia and its out-of-phase relationship with Asian monsoon history. *Quatern. Sci. Rev.*, 2008. Vol. 27. P. 351–364.

Grunert J., Lehmkuhl F., Walther M. Paleoclimatic evolution of the Uvs Nuur basin and adjacent areas (Western Mongolia). *Quatern. Intern.*, 2000. Vol. 65–66. P. 171–192.

Herren P.-A., Eichler A., Machguth H., Papina T., Tobler L., Zapf A., Schwikowski M. The onset of Neoglaciation 6000 years ago in western Mongolia revealed by an ice core from the Tsambagarav mountain range. *Quatern. Sci. Rev.*, 2013. Vol. 69. P. 59–68.

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 Research Letters*, 2018. Vol. 45, No. 13. P. 6628–6636.

Ilyashuk B.P., Ilyashuk E.A. Chironomid record of Late Quaternary climatic and environmental changes from two sites in Central Asia (Tuva Republic, Russia) – local, regional or global causes? *Quatern. Sci. Rev.*, 2007. Vol. 26. P. 705–731.

Karachurina S., Rudaya N., Frolova L., Kuzmina O., Cao X., Chepinoga V., Stoof-Leichsenring K., Biskaborn B., Herzsuh 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.

Klinge M., Sauer D. Spatial pattern of Late Glacial and Holocene climatic and environmental development in Western

Mongolia – A critical review and synthesis. *Quatern. Sci. Rev.*, 2019. Vol. 210. P. 26–50.

Nepop R.K., Agatova A.R., Uspenskaya O.N. Climatically driven late Pleistocene – Holocene hydrological system transformation and landscape evolution in the eastern periphery of Chuya basin, SE Altai, Russia. *Quatern. Intern.*, 2020. Vol. 538. P. 63–79.

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., Li H.-Ch. A new approach for reconstruction of the Holocene climate in the Mongolian Altai: The high-resolution $\delta^{13}C$ records of TOC and pollen complexes in Hoton-Nur Lake sediments. *J. of Asian Earth Sciences*, 2013. Vol. 69. P. 185–195.

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.

Rudaya N.A. Late Holocene Climate and Vegetation of the Altai Mountains (Based on Lake Paleorecords). In *Problems of Archaeology, Ethnography, Anthropology of Siberia and Neighboring Territories*, 2023. Vol. 29. P. 823–828. (In Russ.).

Schlütz F., Lehmkuhl F. Climatic change in the Russian Altai, southern Siberia, based on palynological and geomorphological results, with implications for climatic teleconnections and human history since the middle Holocene. *Vegetation History and Archaeobotany*, 2007. Vol. 16. P. 101–118.

Tian F., Herzschuh U., Telford R.J., Mischke S., van der Meeren T., Krenzel M. A modern pollen–climate calibration

set from central-western Mongolia and its application to a late glacial–Holocene record. *J. of Biogeography*, 2014. Vol. 41, No. 10. P. 1–14.

Van Geel B., Buurman J.J., Brinkkemper O., Schelvis J.J., Aptroot A., van Reenen G., Hakbijl T. Environmental reconstruction of a Roman Period settlement site in Uitgeest (The Netherlands), with special reference to coprophilous fungi. *J. of Archaeological Sci.*, 2003. Vol. 30. P. 873–883.

Vnukovskaya Y.D., Kuzmina O.B., Rudaya N.A. Local Environmental Conditions of Lake Balyktukel (Russian Altai) in the Holocene from Non-Pollen Palynomorphs. *Paleontological J.*, 2024. Vol. 58, No. 7. P. 99–108.

Westover K.S., Fritz S.C., Blyakharchuk T.A., Wright H.E. Diatom paleolimnological record of Holocene climatic and environmental change in the Altai Mountains, Siberia. *J. of Paleolimnology*, 2006. Vol. 35. P. 519–541.

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 H., Zhao Y., Cui Q., Ren W., Li Q. Paleoclimatic indication of X-ray fluorescence core-scanned Rb/Sr ratios: A case study in the Zoige Basin in the eastern Tibetan Plateau. *Science China Earth Sciences*, 2020. Vol. 63. P. 80–95.

Zhang D., Chen X., Li Y., Zhang S. Holocene vegetation dynamics and associated climate changes in the Altai Mountains of the Arid Central Asia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2020. Vol. 550. P. 109744.

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

Карачурина С.Е. <https://orcid.org/0000-0002-4955-2872>

Дата сдачи рукописи: 07.09.2024 г.