ГЕОМОРФОЛОГИЯ, ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

Научная статья УДК 551.8 doi: 10.17223/25421379/27/8

ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЫЕ И ГОЛОЦЕНОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА СЕВЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ (ДАРХАНСКО-СЕЛЕНГИНСКИЙ РАЙОН)



Светлана Никитична Тимирева¹, Юрий Михайлович Кононов¹, Ольга Сергеевна Хохлова², Светлана Арсеньевна Сычева¹, Александра Николаевна Симакова³, Ochirbat Batkhishig⁴, Tseden-Ish Bolormaa⁴, Ganbat Byambaa⁴, Turmunkh Telmen⁴, Maamkhuu Zolzaya⁴, Ксения Геннадьевна Филиппова¹

Институт географии РАН, Москва, Россия

² Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино, Россия

³ Геологический институт РАН Москва, Россия

⁴ Институт географии и геоэкологии Монгольской академии наук, Улан-Батор, Монголия

stimireva@mail.ru, jukon02@mail.ru, sychevasa@mail.ru, xenia.filippova@gmail.com

² olga_004@rambler.ru

³ simak2001@mail.ru

⁴ batkhishig@gmail.com, bolormaa999@gmail.com, byambaa87@gmail.com, telmen808@gmail.com, zolzayageo@gmail.com

Аннотация. На основе комплексного изучения рыхлых отложений и 17 дат AMS ¹⁴C двух разрезов в бассейне р. Орхон были реконструированы ландшафтно-климатические изменения за последние 14000 кал. л. н. на севере Монголии. Установлены этапы усиления аридизации около 3800–4000 и между 8400–8000 л. н. В раннем голоцене на севере Монголии существовали более гумидные лесостепные условия, сменившиеся степными в среднем голоцене. В среднем голоцене климат менялся динамичнее. Доминировали степные и полупустынные ландшафты. В позднем голоцене восстановлен период гумидизации климата, когда господствовали луговые степи.

Ключевые слова: ландшафтно-климатические изменения, лёссы, палеопочвы, седиментация, позднеледниковье, голоцен, Монголия

Источник финансирования: исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда по проекту № 22-17-00265 (палеогеографическая реконструкция и интерпретация педостратиграфических данных). Лабораторная обработка проводилась с использованием инфраструктуры ИГ РАН в рамках темы государственного задания Института географии РАН АААА-А19-119021990091-4 (FMGE-2019-0005).

Для цитирования: Тимирева С.Н., Кононов Ю.М., Хохлова О.С., Сычева С.А., Симакова А.Н., Batkhishig O., Bolormaa T., Byambaa G., Telmen T., Zolzaya M., Филиппова К.Г. Позднеледниковые и голоценовые изменения окружающей среды на севере Центральной Монголии (Дарханско-Селенгинский район) // Геосферные исследования. 2023. № 2. С. 102–122. doi: 10.17223/25421379/27/8

Original article doi: 10.17223/25421379/27/8

LATE GLACIAL AND HOLOCENE ENVIRONMENTAL CHANGES IN THE NORTH OF CENTRAL MONGOLIA (DARKHAN-SELENGE AREA)

Svetlana N. Timireva¹, Yury M. Kononov¹, Olga S. Khokhlova², Svetlana A. Sycheva¹, Aleksandra N. Simakova³, Ochirbat Batkhishig⁴, Tseden-Ish Bolormaa⁴, Ganbat Byambaa⁴, Turmunkh Telmen⁴, Maamkhuu Zolzaya⁴, Kseniya G. Filippova¹

¹Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

³Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

⁴Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar, Mongolia

¹ stimireva@mail.ru, jukon02@mail.ru, sychevasa@mail.ru, xenia.filippova@gmail.com

© Тимирева С.Н., Кононов Ю.М., Хохлова О.С., Сычева С.А., Симакова А.Н., Batkhishig O., Bolormaa T., Byambaa G., Telmen T., Zolzaya M., Филиппова К.Г., 2023

² olga 004@rambler.ru

³ simak2001@mail.ru

 4 batkhishig $\widehat{@}$ gmail.com, bolormaa999@gmail.com, byambaa87 @gmail.com, telmen808 @gmail.com, zolzayageo@gmail.com

Abstract. A study of landscape and climate changes over the last 14000 cal year BP in Northern Mongolia is presented in the paper, based on a comprehensive analysis of friable sediments and seventeen AMS ¹⁴C dates from two sections in the Orkhon River basin. The Orkhon and Darkhan sections are located in similar geomorphological conditions on the first above-floodplain river terrace but have some differences. The Orkhon section is located directly at the riverbed, not far from the mountain range, while the Darkhan section is located in a ravine that cuts the terrace surface, at a distance from the river and mountains. This geomorphological difference causes the completeness and complexity of the paleoarchives in the studied sections. Both sections have a thick soil-sediment sequence with several heterochronous paleosols separated by sediments of varying genesis (mainly aeolian and fluvial). The paleosols were formed during periods of slow relief transformation, reflecting the most optimal bioclimatic conditions. The interlaying sediments (sandy-silty layers) display the phases of soil degradation due to frequent droughts and increased aeolian processes, with sporadic and catastrophic rainfalls (horizontally and lenticularly layered strata with a large amount of detritus and gravel). According to our data, the soil profile that was formed in the Late glacial period is characterized by a humid type of soil formation, and according to palynological data, meadow vegetation was widespread. In the Early Holocene, there was one stage of optimal conditions (increased heat and moisture) proper for soil development in Northern Mongolia. In the Middle Holocene, there are at least three stages. Finally, there were two stages with increased climate humidity in the Late Holocene. In the Early Holocene, Northern Mongolia had more humid forest-steppe conditions, which were replaced by steppe conditions in the Middle Holocene, when the climate changed more significantly. An expansion of forest vegetation (pine forests), probably on the northern slopes, is noted in the pollen spectra of Middle Holocene soils. Steppe and semi-desert landscapes predominated.

Several stages of enhanced aridization were reconstructed: about 3800–4000, between 8400–8000 years BP. In the Darkhan section, the period of 8394–2775 years was a significant hiatus in soil formation. About 50 cm of sand accumulated over 5600 years, and there are no soils in this layer. Plausibly, the surface was essentially denudated before the second paleosol formation. At the same time, the Orkhon section accumulated aeolian sediment more than 70 cm thick. It suggests the existence of a period of severe droughts at the end of the Middle Holocene (after 3000 years BP). In the Late Holocene, climate humidification was reconstructed, when meadow steppes predominated again. The uppermost paleosol in the Darkhan section was formed in the second half of the Late Holocene.

Keywords: Landscape and climate changes, Paleosol, Late Glacial, Holocene, Mongolia

Source of financing: This research was funded by the Russian Science Foundation Project no. 22-17-00265 (paleogeographic reconstruction and interpretation of pedostratigraphic data). Laboratory processing was carried out using the infrastructure of the IG RAS within the State Task no. AAAA-A19-119021990091-4 (FMGE-2019-0005).

For citation: Timireva S.N., Kononov Yu.M., Khokhlova O.S., Sycheva S.A., Simakova A.N., Batkhishig O., Bolormaa T., Byambaa G., Telmen T., Zolzaya M., Filippova K.G. (2023) Late glacial and Holocene environmental changes in the north of Central Mongolia (Darkhan-Selenge Area). *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research.* 2. pp. 102–122. doi: 10.17223/25421379/27/8

Введение

Север Монголии относится к лесостепной зоне умеренного пояса Восточной Азии, характерной чертой которой является широкое разнообразие климатических условий и ландшафтов [Böhner, 2006; Endo et al., 2006; Liu et al., 2013; Wang, Feng, 2013]. Преобладающие здесь степные, лесо-степные и таежные экосистемы чрезвычайно зависимы от изменений климата. В силу этого этот регион является важным для палеоклиматических и палеоэкологических исследований, направленных на понимание пространственно-временного развития климата в голоцене. Район расположен в центре евразийского континента и представляет собой в основном плоскогорье, где преимущественно развиты аридные и семиаридные ландшафты. Климат Монголии контролируется центральноазиатским антициклоном, который взаимодействует с западными и муссонными атмосферными циркуляциями. Северная Монголия является климатическим барьером между относительно влажной Сибирью и засушливой Центральной Азией. Таким образом, географическое положение изучаемого района обеспечивает ему повышенную чувствительность к климатическим изменениям, в особенности к колебаниям увлажненности. Этот фактор является лимитирующим для функционирования экосистем и их компонентов – растительных сообществ и почв.

К настоящему времени большинство исследований в Монголии, касающихся палеоэкологических изменений в голоцене, сосредоточено на озерных летописях [Fowell et al., 2003; Prokopenko et al., 2007; Wang et al., 2009; Tian et al., 2013; Katsuta et al., 2017; Lehmkuhl et al., 2018].

В Монголии встречаются лёссовые и лёссовидные отложения, которые содержат в себе погребенные почвы, образуя лёссово-почвенные формации [Lehmkuhl, 1997]. И хотя лёссово-почвенные серии степных областей можно рассматривать как одни из наиболее полных субаэральных природных архивов [Kukla, 1975; Руе, 1995; Рысков и др., 2008; Величко и др., 2009, 2012, 2017; Panin et al., 2019, 2018; Timireva et al., 2021], только несколько недавних работ были сосредоточены на их изучении в Монголии [Feng et al., 2007; Lehmkuhl et al., 2011, 2012; Maa et al., 2013].

В работе [Klinge, Sauer, 2019] был проведен дифференцированный синтез доступной в настоящее время палеоэкологической информации по Монголии с целью указать на существующие противоречия и пробелы в знаниях. Было выявлено, что современное состояние исследований основано на ограниченном количестве природных архивов и имеет несбалансированное пространственное распределение исследуемых участков. В обобщающем заключении данного обзора было заявлено, что для интеграции региональных климатических реконструкций Монголии в глобальную климатическую схему необходимы дальнейшие исследования с высоким временным разрешением на новых участках с привлечением дополнительных природных архивов. Представляемая здесь нами работа напрямую согласуется с этими рекомендациями. Палеогеографические работы проводились на разрезах лёссово-почвенных отложений северной Монголии, которые впервые были представлены в работе [Lehmkuhl et al., 2012].

В нашей работе исследования проводились с высоким временным разрешением – производился сплошной отбор образцов без пропусков. Это позволило получить более детальную стратиграфию и, как следствие, выявить более полную историю развития окружающей среды данного региона в голоцене. Частично эти результаты были опубликованы в работе [Timireva et al., 2020].

Район исследований

Исследования проводились в северной части Монголии (рис. 1) в пределах Байкало-Улан-Баторского лёссового коридора (48–53° N, 104–108° Е), где преобладают мощные эоловые отложения [Карта..., 1989; Feng et al., 2005, 2007]. Район представляет собой пролювиально-аллювиальную равнину, окруженную невысокими горами Бурэнгийн – Нуру (до 1 025 м н. у. м.), которые сложены в основном гранитами и кристаллическими сланцами.

Климат здесь резко континентальный, для него характерно преобладание солнечных дней, особенно зимой, значительная сухость воздуха, малое количество осадков, резкие температурные колебания, не только годовые (до 50 °C), но и суточные (20–30 °C). Самый холодный месяц – январь. Средние значения зимних температур ~ -25 °C, а летних +19 °C. Среднегодовое количество осадков от 300 до 350 мм, причем 80–90 % выпадает в течение пяти месяцев – с мая по сентябрь [Batjargal, 1997].

Современный почвенный покров представлен маломощными, в разной степени эродированными темно-каштановыми почвами сухих степей, иногда в сочетании с черноземами. В растительном покрове преобладают полынно-злаковые и разнотравнозлаковые сообщества сухих степей [Почвенный покров..., 1984; Панкова, 1997; Ибрагимова и др., 2018]. Территория не только интенсивно используется под выпас домашних животных, но местами распахивается, занята под выращивание картофеля и других сельскохозяйственных культур.

Объектами полевых исследований были два разреза лёссово-почвенных отложений. Один из них расположен в обрыве первой надпойменной террасы левого берега реки Орхон, примерно в 150 км южнее ее впадения в реку Селенгу. Название реки Орхон мы будем использовать в дальнейшем для обозначения этого разреза. Следующий разрез вскрыт в борту оврага, прорезающего поверхность первой надпойменной террасы р. Хара-Гол – правого притока р. Орхон, вблизи южной окраины г. Дархан, название которого мы будем использовать для обозначения этого разреза. Разрез Дархан расположен на расстоянии около 60 км к северовостоку от разреза Орхон.

Методика исследований и используемый материал

Полевые исследования. Во время полевых работ стенка естественного берегового обрыва р. Орхон и борт оврага вблизи г. Дархан были зачищены для удаления высушенного трещиноватого слоя мощностью от 0,5 до 1,5 м, обнажив свежую нетронутую поверхность. Полевое изучение разрезов включало их морфологическое описание, измерение магнитной восприимчивости, детальный отбор образцов на комплекс анализов. Описание почвенных профилей и выделение текстурных горизонтов проводилось в соответствии с рекомендациями international pedological standard [FAO, 2006]. Цвет отложений и почв определяли с помощью Munsell Soil Color Charts. Образцы отбирались непрерывно из каждого 6-сантиметрового слоя. Кроме того из каждого генетического горизонта были отобраны образцы для палинологического анализа и радиоуглеродного датирования. Также во время полевых работ на разрезах были проведены трехкратные замеры магнитной восприимчивости для каждых 6 см с помощью карманного измерителя магнитной восприимчивости ZHinstruments SM-30.



Рис. 1. Схема расположения изученных разрезов 1 – область покрытая лёссовыми отложениями; 2 – местоположение разрезов – Орхон (I) и Дархан (II)

Fig. 1. Locations of the studied sections site 1 – area covered with loess deposits; 2 – location of sections – Orkhon (*I*) and Darkhan (*II*)

Гранулометрический анализ выполнялся лазернодифрактометрическим методом на анализаторе размеров частиц Malvern Mastersizer 3000. Анализу подвергалась только силикатная часть осадка, как наиболее устойчивая к диагенезу. Органическое вещество и карбонаты удалялись в процессе предварительной подготовки. Подготовка проб к анализу включала в себя последовательную обработку материала 20 %-м раствором перекиси водорода (с целью удаления органического вещества), 10 %-м раствором соляной кислоты (с целью удаления карбонатов) и 4 %-м раствором пирофосфата натрия (для диспергирования глинистых агрегатов). После обработки реактивами материал пипеткой переносился в жидкостную кювету блока диспергирования анализатора. В кювете материал на протяжении 100 с испытывал воздействии ультразвука мощностью 40 Вт и интенсивно перемешивался специальной вертушкой на скорости 2 400 об/мин. После отключения ультразвука производилось 10 повторных измерений, результаты которых усреднялись в приложении Mastersizer v.3.62. Вычисление распределения частиц по размерным фракциям выполнялось на основе дифракционной модели Фраунгофера.

Потери при прокаливании. Определение потерь при прокаливании (ППП) выполнялось с целью оценки содержания органического вещества и карбонатов в осадке, что имеет большое значение при диагностике палеопочв. Согласно [Bengtsson, Enell, 1986; Heiri et al., 2001], ППП 550 °C отражают содержание органического вещества, а разница ППП 950 °C – ППП 550 °C характеризует потери CO₂ карбонатов.

Образцы объемом 10 мл высушивались 12 ч при температуре 105 °С с целью удаления влаги (в том числе гигроскопической). Затем проводилось прокаливание в муфельной печи при двух температурных режимах (4 ч при 550 °С и 2 ч при 950 °С). Потери в весе определялись повторным взвешиванием на электронных весах с точностью до 0,01 г. Результирующие значения вычислялись следующим образом:

$$\Pi\Pi\Pi 550 = \frac{DW105 - DW550}{DW105} \times 100;$$
$$\Pi\Pi\Pi 950 - 550 = \frac{DW550 - DW950}{DW105} \times 100$$

где *DW* – сухой вес.

Кислотность и электропроводность. Значения кислотности (PH) отложений и электропроводности (EC) получены на приборе MULTIMETER, W/ISE 5STR W/PROBE Benchtop pH/DO, модификации Orion 5 Star Series. Электропроводность – это один из показателей засоленности. Единицей измерения электропроводности (EC) является dS/m (децисименс на метр). Согласно классификации, опубликованной в [Soil..., 2017], по значениям электропроводности почвы делятся: 1) со значением EC < 2 – почва свободна от солей; 2) 1–4 – почва с очень низким содержанием солей; 3) 4–8 – слабо засоленная почва; 4) 8–16 умеренно засоленная почва и 5) \geq 16 – сильно засоленная.

Радиоуглеродное датирование образцов из практически каждого слоя проведено в Центре коллективного пользования «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН и в Центре изотопных исследований Университета Джорджии (США). Всего для двух разрезов было получено 17 AMS дат.

Спорово-пыльцевой анализ выполнен по методу, принятому в ИГ РАН, и является модификацией сепарационного метода [Гричук, 1949]. Мацерация проб включала обработку 10 %-м раствором HCl для удаления карбонатов, далее горячим 10 %-м раствором щелочи и разделением полученного осадка в растворе тяжелой жидкости [K2(CdI4)] с удельным весом 2,25 для извлечения ископаемых спор и пыльцы. Пыльцевая диаграмма разреза Орхон построена в программе Tilia 2.0.41, которая позволяет рассчитать общий спектр (древесная пыльца + недревесная пыльца + споры = 100 %) и отдельные компоненты в виде части от общего количества зерен. Исследование палинологических препаратов проводили на оптическом микроскопе Motic BA400 с камерой Moticam 2300, при ×400.

Микроморфологиия. Для микроморфологического анализа из основных горизонтов почв и лёссов отобраны образцы с ненарушенным строением (микромонолиты), из них изготовлены шлифы. Изучение микростроения почв и лёссов в шлифах проведено на поляризационном микроскопе (Carl Zeiss HBO 50, Carl Zeiss AG, Oberkochen, Германия) в Центре коллективного пользования ИФХиБПП РАН, г. Пущино. Описание шлифов проведено с использованием терминологии Ступса [Stoops, 2003]. Индексы почвенных горизонтов даны в соответствии с международной классификацией WBR.

Результаты

Разрез Орхон. В 7-метровой толще берегового обрыва разрезом Орхон вскрыт комплекс континентальных отложений. Всего в изученной части обнажения при морфологическом описании было выделено 18 слоев (рис. 2). В разрезе отмечено пять погребенных почв (PS), разделенных лёссами и (или) песчано-гравийными отложениями.

В нижней части разреза залегает PS5 с гумусовым и глеевым горизонтами. PS5 сложена преимущественно рыхлым, легким, мелко-комковатым суглинком. В глеевом горизонте (слой 18) видны трещины, заполненные гумусированным материалом из слоя 17. Перекрывает PS5 (слой 16) неоднородный легкий, мелко-комковатый суглинок, с тонкими гумусированными прослоями мощностью до 5 см. В нижней части залегает прослой сизой оглеенной супеси. Вышележащий горизонт (слой 15) представлен легким, комковатым суглинком. В верхней части его отмечен прослой гравия толщиной 0,5 см и два гумусированных прослоя ~ 6 см, слабо пористых, разбитых трещинами.

Выше развита PS4 (слой 14), представленная гумусовым горизонтом – легким мелко-комковатым суглинком с включениями мелкой гальки и гравия. В нижней части слоя 14 количество гальки увеличивается – более 50 %. Горизонт лёсса, залегающий выше PS4 (слой 13), сложен легким, пористым, мелко-комковатым суглинком, с прослоями и небольшими линзами песка толщиной 1–2 см. Вышележащий горизонт (слой 12) слабослоистый, сложен в верхней части песком, а основная толща – мелким и средним гравием.

PS3 (слои 11 и 10) представлена слабо-пористой, плотной, комковатой гумусированной супесью. В слое 10 отмечаются включения мелкой гальки и гравия, прослой угля и копролиты. Между PS3 и PS2 – залегает лёсс (слой 9), представленный рыхлой, пористой супесью с включениями мелкой гальки.

PS2 представлена двумя горизонтами – Ah и B (слои 8 и 7). Гумусовый горизонт (слой 7) сложен легким, пористым, комковатым суглинком с Fe-Mn примазками и включением мелкого гравия диаметром 2– 3 мм – до 1 %. Горизонт B (слой 8) – рыхлый, свежий, слабо-пористый, мелко-комковатый, легкий суглинок. Есть включения мелкой гальки и гравия. Вышележащий слой (6) сложен слоистым гравием. В верхних 8 см – мелкий, ниже – крупный и средний гравий.

Палеопочва PS1 (слои 5–3) представлена в разрезе тремя горизонтами (Ah, AB, BC) и сложена легким, пористым суглинком с включениями мелкого гравия и гальки. В горизонте А углистые примазки и мелкие прослои угля. В горизонтах AB и BC присутствуют мелкие трещины и поры, по которым отмечается белесая присыпка.



Рис. 2. Результаты литологических исследований и хронология погребённых почв разреза Орхон

Fig. 2. Litho- and pedostratigraphy and chronology of the Orkhon section

В залегающем выше гравийном пролювиальноделювиальном горизонте (слой 2) слои гравия чередуются с прослоями лёсса. В верхней части слоя преобладает мелкий гравий размером 1–2 см, в средней – гравий крупный – до 10 см в диаметре. Скорее всего, слой образован водными потоками с близлежащих гор. В нижней части виден прослой пылеватого лёсса толщиной в 6 см. Гравийный материал – местный, с гор, в основном это гранит розового и зеленоватого цвета. Завершает разрез горизонт А0 современной почвы (слой 1), представленный мелко-комковатой супесью.

Микроморфологический анализ показал, что Bg горизонт PS5 (слой 18) представлен тонкодисперсным материалом, в котором отсутствуют частицы песчаной размерности. Этот материал сложного состава: преобладает глинисто-карбонатное вещество, в котором имеются микрозоны ожелезнения с Fe-Mn пятнами. Отмечается тонкая слоистость, а также разноокрашенность микрозон этого слоя (рис. 3, *a*).

Горизонт Ah PS5, слой 17, формируется в той же литогенной матрице, что и слой 18, т.е. с преобладанием глинисто-карбонатного вещества. Здесь хорошо заметны ходы и выбросы мезофауны, некоторые микрозоны полностью переработаны почвенной биотой, сформирована сеть биогенных пор. Ожелезнение тонкодисперсного материала еще более заметно, чем в глеевом горизонте: поверх глинистокарбонатной плазмы, в которой видны удлиненные зерна литогенного кальцита, обособляются Fe-Mn пятна (рис. 3, b). Здесь начинают встречаться редкие углистые частицы. Некоторые из них сохраняют клеточное строение, что присуще древесным углям. Выше по разрезу углистые частицы встречаются во всех выделенных слоях в большем или меньшем количестве, но в основном имеют недифференцированное строение, что характерно для углей травянистой растительности.

Слой 16 не имеет принципиальных отличий от вышележащего слоя, также хорошо выражены биогенные признаки, а ожелезнение и разноокрашенность тонкодисперсного вещества вследствие оглеения становятся более заметными. Шлиф из слоя 15 был отобран из гумусированного прослоя, поэтому здесь отчетливо видны следы деятельности мезофауны, встречаются мелкие аморфные растительные остатки, копрогенные агрегаты в выбросах. Немного укрупняется минеральный скелет, преобладают зерна пылеватой размерности, среди них – удлиненные зерна литогенного кальцита, они расположены скоплениями, но признаки его перекристаллизации и образования вторичного кальцита весьма слабые (рис. 3, *c*). Ожелезнение внутрипедной массы, так же как и пропитка карбонатами, неравномерное.

В горизонте Ah PS4 (слой 14) появляются крупнопесчаные зерна кварца и полевых шпатов. Некоторые микрозоны внутрипедной массы прокрашены гумусом, имеются выбросы мезофауны. Здесь отмечается слабовыраженная вокругскелетная ориентировка железисто-глинистого тонкодисперсного материала, иногда – карбонатно-глинистого, но пленки очень тонкие и прерывистые. Зерен литогенного кальцита мало, признаки перекристаллизации карбонатного материала редки. Углистые частицы пылеватой размерности внутрипедной массы, недифференцированные, встречаются довольно часто (рис. 3, *d*).



Рис. 3. Микроморфология палеопочв разреза Орхон

a – слой 18; b – Аһ горизонт палеопочвы 5 (PS5), слой 17; c – слой 15; d – Аһ горизонт палеопочвы 4 (PS4), слой 14; e – слой 13; f – Аһ горизонт палеопочвы 3 (PS3), слой 10; g – С горизонт палеопочвы 3 (PS3), слой 12; h – слой 9; i – Аһ горизонт палеопочвы 2 (PS2), слой 7; j – Аһ горизонт палеопочвы 1 (PS1), слой 3; k – АВ горизонт палеопочвы 1 (PS1), слой 4; l – ВС горизонт палеопочвы 1 (PS1), слой 5. Фото a, d, e, f, k, l сняты без анализатора, остальные – с анализатором. Объяснения в тексте

Fig. 3. Micromorphology of paleosols of the Orkhon section

a - layer 18; b - the Ah horizon of the PS5, layer 17; c - layer 15; d - the Ah horizon of the PS4, layer 14; e - layer 13; f - the Ah horizon of the PS3, layer 10; g - the C horizon of the PS3, layer 12; h - layer 9; i - the Ah horizon of the PS2, layer 7; j - the Ah horizon of the PS1, layer 3; k - the AB horizon of the PS1, layer 4; l - the BC horizon of the PS1, layer 5. Photos a, d, e, f, k, l are taken under PPL, other - XPL. See explanations in text

В горизонте лёсса (слой 13) отмечается порфировидное микростроение, зерна минерального скелета крупнопылеватой размерности, среди них встречаются редкие удлиненные зерна литогенного кальцита, имеющие слабые признаки перекристаллизации, поверх карбонатных аккумуляций отмечаются железистые пятна. Весь материал насыщен углями крупно- и среднепылеватой размерности (рис. 3, *e*).

В вышележащей палеопочве PS3 горизонта Ah (слой 10) демонстрирует очень однородное микросложение, зерна минерального скелета не видны четко, имеют средне- и мелкопылеватую размерность, в том числе и встречающиеся зерна литогенного кальцита (см. рис. 3, *f*). Биогенные признаки выражены слабо – редкие выбросы мезофауны. Мельчайшие углистые частицы разбросаны во внутрипедной массе, иногда образуют тончайшие прослойки субпараллельно дневной поверхности.

Нижележащие горизонты В и С PS3 (слои 11 и 12 соответственно) по микростроению не отличаются от гумусового горизонта, но биогенные признаки в них выражены совсем слабо. Оба этих горизонта также значительно обогащены углистыми частицами, книзу они немного укрупняются, их становится больше, чем в Ah. В горизонте С отмечаются фитоморфные карбонатные аккумуляции (см. рис. 3, g).

Слой 9 также имеет порфировидное микростроение, поверху micromass фиксируются ожелезненные микроучастки – признаки переувлажнения и контрастной смены окислительно-восстановительных условий. Зерна минерального скелета имеют пылеватую размерность, среди них встречается и литогенный кальцит, замаскированный пленками оксидов железа (см. рис. 3, *h*). Также по-прежнему обнаруживается множество мелких, пылеватой размерности, недифференцированных углистых частиц.

Палеопочва PS2, представленная горизонтами Ah (слой 7) и B (слой 8), демонстрирует изменение состава зерен минерального скелета: здесь явно увеличивается доля зеленоокрашенных минералов (оливин) и обломков эффузивов, а также встречаются зерна среднепесчаной размерности, особенно это заметно в В горизонте. И хотя в составе зерен минерального скелета по-прежнему встречается литогенный карбонат, никаких признаков его перекристаллизации не наблюдается (см. рис. 3, i). Имеются микрозоны ожелезнения, а в горизонте Ah в выбросах мезофауны присутствуют зерна минерального скелета без покровов. Углистых частиц меньше, чем в нижележащей почве.

Палеопочва PS1 представлена горизонтами Ah, АВ и ВС (слои 3-5 соответственно). В гумусовом горизонте этой палеопочвы обильны биогенные признаки: выбросы мезофауны, засыпка материалы в ходы почвенных животных, растительные остатки и аморфное органическое вещество в виде бурых сгустков. В порах здесь наблюдаются фитоморфозы кальцита по растительным остаткам, что характерно для длительно сезоннопромерзающих почв (см. рис. 3, *j*). В горизонтах АВ и С в отдельных порах встречается фитоморфный кальцит (микрит) (см. рис. 3, k), а также среди довольно тонкодисперсного материала минеральной основы выделяются зерна кварца и полевых шпатов среднепесчаной размерности. Снизу вверх по профилю количество мелких (пылеватого размера) углистых частиц убывает.

В лежащем на поверхности дерновом горизонте (слой 1) обильны биогенные признаки: выбросы мезофауны, аморфное органическое вещество, растительные остатки в виде бурых пятен, иногда имеющие клеточное строение, углистые частицы. Зерна минерального скелета разноразмерны – на фоне преобладания зерен пылеватого размера четко видны крупно- и среднепесчаного размера кварц и полевые шпаты (см. рис. 3, *l*).

Для разреза Орхон было получено 13 AMS дат (таблица). В исследуемых образцах радиоуглеродной возраст варьирует от 13969 до 1284 кал. л. н.

Результаты радиоуглеродного датирования (AMS даты были получены в лаборатории радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии Института географии РАН и Центра прикладных изотопных исследований Университета Джорджии, США)

Results of the radiocarbon dating (AMS dates were measured at Laboratory of Radiocarbon Dating & Electronic Microscopy
of the Institute of Geography RAS and Center for Applied Isotope Studies at University of Georgia, USA)

N⁰	Материал	Лабораторный	Глубина, см	Некалиброванныйвозраст,	Калиброванный возраст,				
образца		№ образца		Л. Н.	Л. Н.				
Paзpeз Opxoн (Orkhon section)									
2	почва	ИГАН-6462	12	1340±20	1284±24				
20	почва	ИГАН-6790	120	2880±20	3003±65				
24	почва	ИГАН-6791	144	3530±20	3793±80				
28	почва	ИГАН-6792	168	4870±25	5606±44				
34	почва	ИГАН-6793	204	5865±25	6691±50				
36	почва	ИГАН-7069	216	6600±25	7493±44				
39	почва	ИГАН-7070	234	7100±25	7940±24				
47	почва	ИГАН-6794	282	7110±25	7947±40				

Геоморфология, палеогеография / Geomorphology, paleogeography

N⁰	Матариал	Лабораторный	Глубина см	Некалиброванныйвозраст,	Калиброванный возраст,			
образца	материал	№ образца	т лубина, см	Л. Н.	Л. Н.			
77	почва	ИГАН-6465	462	7975±25	8870±23			
84	почва	ИГАН-7071	504	11090±30	12973±45			
100	почва	ИГАН-7072	600	11150±30	13040±70			
105	почва	ИГАН-6795	630	9330±30	10543±110			
109	почва	ИГАН-7073	654	12100±30	13969±145			
Разрез Дархан (Darkhan section)								
25	почва	ИГАН-6466	150	750±20	672±15			
34	почва	ИГАН-6467	204	2680±20	2775±24			
50	почва	ИГАН-6468	300	7580 ± 25	8394±27			
60	почва	ИГАН-6469	360	8065±25	9004±27			

Радиоуглеродный возраст слоя 18, залегающего в основании разреза, непосредственно под палеопочвой PS5, составил 12100±30 лет назад (ИГАН-7073), среднее значение калиброванного возраста – 13969 кал. л. н. Получены радиоуглеродные даты для основных палеопочвенных горизонтов. Радиоуглеродный возраст PS4 – 7975±25 кал. л. н. (ИГАН-6465) или 8870 кал. л. н. Возраст PS3 – 7110±25 л. н. (ИГАН-6794) или 7947 кал. л. н. Возраст PS2 – 5865±25 л. н. (ИГАН-6793) или 6691 кал. л. н. Возраст PS1 – 3530±20 л. н. (ИГАН-6790) или 3793 кал. л. н. Возраст современной почвы (с глубины 12 см от поверхности) 1340±20 л. н. (ИГАН-6462) или 1284 кал. л. н.

В серии полученных дат отмечается инверсия на уровне слоя 16, залегающего над палеопочвой PS5, для которого получена омоложенная дата 9330±30 л. н. (ИГАН 6795) или 10543 кал. л. н. Омоложение возраста, возможно, связано с проникновением более молодого углерода по корням растений, так как этот слой расположен вблизи верхней части осыпи, образовавшейся внизу обрыва.

Наименьшие значения магнитной восприимчивости приурочены к самой нижней части разреза, к глеевому горизонту (сл. 18), (см. рис. 2). Здесь усредненные значения не превышают величины 1×10^{-3} , а именно составляют – 0,831 × 10⁻³; 0,929 × 10⁻³; 0,849 × 10⁻³. Как правило, более высокие значения приурочены к палеопочвенным горизонтам и колеблются в интервале около 2–3 × 10⁻³. Максимальное значение в разрезе зафиксировано для образца, отобранного из гумусированного прослоя слоя 15, и составляет 5,35 × 10⁻³.

В гранулометрическом составе доля песка, представленного тонкой, мелкой и средней фракциями (0,05–0,5 мм), составляет 25–60 %. Повышенные значения приходятся на слой 1, пониженные – на слой 17. Содержание алеврита (0,005–0,05 мм) колеблется по разрезу от 30 до 70 %, физической глины (0,0001–0,005 мм) – от 5 до 20 %. Наибольшие значения содержание алеврита и физической глины приурочены к нижней части разреза, почве PS5. Значения ППП 550, отражающие содержание органического вещества в отложениях, изменяются в пределах от 2 до 4,5. Для современной почвы и всех палеопочв отмечено увеличение ППП 550, наибольшее значение определено для основания палеопочвы PS1 и в PS5.

Значения ППП 950-550, отражающие содержание карбонатов, изменяются от 2 до 9,5 %. Пиковые значения соответствуют горизонту BC PS1 (сл. 5) и PS5 (сл. 17), что, вероятно, связано с повышенным содержанием педогенных карбонатов.

Величина pH мало меняется по всей толще, показывая слабощелочную реакцию (7,7–8,8). Показатели электропроводности (ЕС) в основном составляют не более 1 и только на уровнях гумусовых горизонтов PS1 и PS3 они увеличиваются почти в 2,5 раза и более. Согласно [Soil..., 2017], указанные слои могут быть отнесены к слабозасоленным (см. рис. 2).

В палинологическом составе в нижней почве PS5, входящей в палинокомплекс (ПК) I, доминируют Ephedra, Artemisia, Asteraceae, Chenopodiaceae. (рис. 4). Спектр указывает на развитие степной и полупустынной растительности в условиях континентального аридного климата. В переходном горизонте от PS5 к PS4 (ПКІІ и низы ПКЗ) возрастает количество пыльцы Cichoriaceae, Chenopodiaceae. Единично встречены зерна Picea, Pinus, Ulmus, Poaceae, Polypodiaceae, Selaginella sanguinolenta. В почве PS4 (верх ПКІІІ и низ ПКІV) присутствуют редкие зерна Pinus, Eunumus, Artemisia, Asteraceae, Chenopodiaceae, Selaginella sanguinolenta. Продолжают доминировать степные и полупустынные ландшафты.

В спектрах почв PS3 и PS2 (верхи ПКІV) преобладает Artemisia, Asteraceae, Chenopodiaceae, Ephedra. Присутствуют зерна Caryophyllaceae, Ephedra, Polypodiaceae, Diphasiastrum alpinum, Riccia. Споры Polypodiaceae, Diphasiastrum alpinum, Ophyoglossum, Riccia являются индикаторами существования участков с нарушенным почвенным покровом. В спектре из PS2 встречена пыльца Pinus, Carpinus, Salix. Вероятно, PS2 формировался в более благоприятных условиях для почвообразования и широким развитием степных растительных ассоциаций.

В спектрах (ПКV) верхней погребенной почвы PS1 доминирует пыльца Chenopodiaceae и Artemisia. Присутствуют *Ephedra, Salix, Selaginella sanguinolenta.* Увеличивается количество пыльцы *Pinus* до 12 %, появляется пыльца *Betula.* Такие спектры указывают на расширение степных растительных ассоциаций. Так, на территории доминировали открытые степные и полупустынные ландшафты. Расширение ареалов лесной растительности в горах отмечается в палинокомплексе IV и V во время формирования PS2 и PS1.

Разрез Дархан. В основании разреза Дархан, вскрытом в овраге, под почвенно-седиментационной свитой залегают облесованные пески (супеси) таблитчатой текстуры, с гипсовыми трубочками по порам. Под ними залегает слоистый, перемятый песок тонкозернистый – это перигляциальный аллювий старичной фации первой надпойменной террасы. Выше отложения четырехметрового разреза Дархан представлены преимущественно слоями песков, чередующихся с тремя палеопочвами супесчаного состава: PS1, PS2 и PS3 (рис. 5).

В основании почвенно-седиментационной свиты (слой 9) залегает палевая с белесоватым оттенком

плотная, комковатая, карбонатная супесь (до песка), в которой отмечаются кротовины. Это кротовиннокарбонатный горизонт нижней почвы PS3. Выше (слой 8) залегает педолитокомплекс, состоящий из двух палеопочв, разделенных небольшим прослоем лёсса. Палеопочвы сложены плотной, комковатой, слабопористой супесью, присутствуют копролиты. По профилю почв видна белесая присыпка.

Выше по оврагу этот педолитокомплекс состоит уже из трех палеопочв – гумусовых горизонтов, разделенных песчаными прослоями. Нижняя из почв – наиболее развитая с гумусово-аккумулятивным, переходным и кротовинно-карбонатным горизонтом (слой 9). По кровле педолитокомплекса прослеживается эрозионный перерыв, наиболее четко наблюдаемый ниже по оврагу.

Выше по изучаемому разрезу залегает палеопочва PS2 с горизонтами Ah и B (слои 7 и 6). Горизонт Ah (слой 6) сложен комковатой, пористой супесью, в порах белесая присыпка. Горизонт B кротовинный (слой 7) представлен слабо гумусированной, плотной супесью. Отмечаются прослои мелких включений гравия, а также карбонатные конкреции аморфной формы и кротовины, заполненные мергелистым материалом.



Рис. 4. Спорово-пыльцевая диаграмма разреза Орхон

Fig. 4. Spore-pollen diagram of the Orkhon section



Рис. 5. Результаты литологических исследований и хронология погребённых почв разреза Дархан Fig. 5. Litho- and pedostratigraphy and chronology of the Darkhan section

Палеопочва PS1 представлена двумя горизонтами – Ah и BC. Оба горизонта сложены плотной, зернистой, мелкокомковатой супесью. Верхняя часть разреза (слои 3 и 2) сложены плотным песком. В слое 2 видна пропитка гумусом, которая уменьшается с глубиной. Завершает разрез горизонт AO, представленный супесью.

По микромофрологическим наблюдениям слой 9 представлен зернами кварца и полевых шпатов мелкопесчаной размерности (100–50 мк), изредка среднепесчаной (250–100 мк), между которыми располагаются скрытокристаллические карбонатные аккумуляции, имеющие размер крупной (50–10 мк) и средней (5–10 мк) пыли (рис. 6, *a*). Эти аккумуляции носят следы перекристаллизации первичного литогенного известняка. Среди них изредка встречаются удлиненные зерна первичного (неизмененного) литогенного карбоната (рис. 6, *a*).

По строению педолитокомплекса PS3, представленном в изученном разрезе двумя палеопочвами, снизу вверх меняется характер почвообразования. Самая нижняя палеопочва PS3/2 еще носит следы вторичного окарбоначивания с признаками перекристаллизации карбонатов, которые формируют даже слабые глинисто-карбонатные покровы вокруг зерен минерального скелета, карбонатные аккумуляции представлены короткоигольчатым мелким кальцитом (рис. 6, b). В верхней почве педокомплекса PS3/1 единичные карбонатные аккумуляции представлены микритом и микроспаритом (рис. 6, c), тогда как вокруг зерен минерального скелета начинапоявляться железисто-глинистые ют пленки (рис. 6, с, левая верхняя часть образца). Минеральный скелет в педокомплексе более сложный, чем в нижележащей супеси, здесь, помимо кварца и полевых шпатов, появляются зеленоокрашенные минералы, обломки эффузивов. И такой же сложный состав минерального скелета сохраняется выше по разрезу.

Слой 7 – горизонт В PS2 сохраняет характер почвообразования, присущий нижележащей почве педокомплекса PS3: присутствуют как перекристаллизованные карбонатные аккумуляции (рис. 6, *d*, верхняя правая часть), так и тонкие железисто-глинистые пленки вокруг зерен минерального скелета (рис. 6, *d*, левая верхняя и нижняя часть фото). Зерна минерального скелета характеризуются разноразмерностью: зерна мелкого песка преобладают, а также встречаются зерна среднего и крупного песка; мелкие зерна преимущественно окатанные, крупные – угловатые.



Рис. 6. Микроморфология палеопочв разреза Дархан

a – слой 9; *b* – слой 8, PS3/1; *c* – слой 8 PS3/2; *d* – слой 7, В горизонт палеопочвы 2 (PS2); *e* – слой 6, Аһ горизонт палеопочвы 2 (PS2); *f* – ВС горизонт палеопочвы 1 (PS1), слой 5; *g* – педоседимент, слой 3; *h* – Аһ горизонт палеопочвы 1 (PS1), слой 4; *i* – В горизонт современной почвы, слой 2. Фото *e*, *h*, *i* сняты без анализатора, остальные – с анализатором. Объяснения в тексте

Fig. 6. Micromorphology of paleosols of the Darkhan section

a -layer 9; b -layer 8, PS3/1; c -layer 8, PS3/2; d -layer 7, the B horizon of the PS2; e -layer 6, the Ah horizon of the PS2; f -the BC horizon of the PS1, layer 5; g - pedosediment, layer 3; h - the Ah horizon of the PS1, layer 4; i - the B horizon of the surface soil, layer 2. Photos e, h, i are taken under PPL; others – XPL. See explanations in text

В горизонте Ah палеопочвы PS2 (слой 6) четко видны аморфные растительные остатки, измельченные мезофауной, практически все зерна первичных минералов покрыты гумусо-железисто-глинистыми покровами (см. рис. 6, *e*), карбонатные аккумуляции не обнаруживаются. Измельченные растительные остатки в выбросах мезофауны обильны и фиксируются практически во всех крупных порах в этом горизонте.

В вышележащих почвах признаки почвообразования заметно ослаблены. В гор BC PS1 (слой 5) и в слое 3 можно отметить очень тонкие и прерывистые железисто-глинистые покровы вокруг зерен минерального скелета (см. рис. 6, f, g), а в гумусовом горизонте PS1 (слой 4) видны редкие и мелкие аморфные органические остатки в выбросах мезофауны (см. рис. 6, h). В верхнем слое 1, горизонт B, аморфные органические остатки заметны, но их сравнительно мало, хотя они более крупные по сравнению с таковыми в палеопочве PS2 (см. рис. 6, i). Никаких покровов на зернах минерального скелета не отмечается.

Для разреза Дархан были получены 4 AMS даты (см. таблицу). Радиоуглеродный возраст кротовинно-карбонатного горизонта (слой 9), составил 8065±25 ВР (ИГАН-6469), среднее значение калиброванного возраста – 9004 ВР. Радиоуглеродный возраст палеопочвы PS3/2 (слой 8), залегающей под палеопочвой PS3/1, составил 7580±25 л. н. (ИГАН- 6468), среднее значение калиброванного возраста – 8394 л. н. Радиоуглеродный возраст PS2 – 2680±20 л. н. (ИГАН-6467), среднее значение калиброванного возраста – 2775 л.н. Возраст PS-1 – 750±20 л. н. (ИГАН-6466), среднее значение калиброванного возраста – 672 л. н.

Наименьшие значения магнитной восприимчивости приурочены к горизонту ВС палеопочвы PS1 (слой 5) и составляют всего $1,2-1,4\times10^{-3}$. Максимальное значение в разрезе зафиксировано в образце 47, который приурочен к переходной к PS3/1 зоне (низ слоя 7), усредненное значение которого составляет $5,29 \times 10^{-3}$. В целом в разрезе Дархан, как и в Орхоне, более высокие значения магнитной восприимчивости, как правило, приурочены к палеопочвенным горизонтам и колеблются в интервале около $2-2,5 \times 10^{-3}$. Несколько возрастает магнитная восприимчивость в самой нижней части разреза – до 3– $3,2 \times 10^{-3}$.

Электропроводность. Значения электропроводности в разрезе Дархан низкие и во всем разрезе не превышают значений 1 dS/m. То есть все представленные уровни отложений свободны от солей. Минимальное значение 0,012 приурочено к сл. 7 (обр. 43), а максимальное – к сл. 6 (обр. 38) и составляет 0,193.

В гранулометрическом составе отложений разреза резко преобладают песчанистые фракции (см. рис. 5). Суммарная доля песка изменяется по разрезу от 65 до 90 %. В песчаных отложениях преобладает тонкая (0,05–0,1 мм) и мелкая (0,1–0,25 мм) фракции. Доля алеврита (0,005–0,05 мм) колеблется в пределах от 5 до 25 %. В почвах PS2 и PS3 ее значения возрастают по сравнению с вмещающими породами. Количество физической глины (<0,005 мм) по разрезу существенно не меняется (от 3 до 7 %), причем ее повышенное содержание также соответствует почвам PS2 и PS3.

Значения потери при ППП 550 °С, отражающие содержание органического вещества в отложениях, изменяются по разрезу в пределах от 0,6 до 2,4 %. Пиковые значения ППП приходятся на горизонты палеопочв.

Значения ППП 950–550, отражающие содержание карбонатов, изменяются от 0,19 до 2,76 %. Максимальное значение приурочено к палеопочве PS3/2. Показатель pH слабо изменяется по разрезу (от 7,6 до 8,94), отражая слабощелочные условия.

Сохранность пыльцы очень плохая, и насыщенность образцов палиноморфами низкая. Только в образце из PS1 концентрация пыльцевых зерен выше. Здесь присутствует разнообразный состав спор почвенных грибов. В спектре доминирует пыльца Asteraceae, *Artemisia*. Присутствуют зерна Chenopodiaceae, *Betula* и споры *Selaginellarupestris* и *Diphasiastrumalpinum*. В образце из PS2 также встречены споры почвенных грибов, в том числе *Glomus*. Преобладание трав в составе пыльцевых спектров указывает на широкое распространение открытых ландшафтов.

Обсуждение

Строение отложений разреза Орхон наиболее полное, состоит из трех основных пачек: нижней лёссовидной с двумя палеопочвами, средней - опесчаненной и слоистой с тремя палеопочвами и верхней – наиболее мощной песчанистой, не содержащей погребенных почв. Все палеопочвы – черноземовилные с разной степенью развития и сохранности. Для них характерно увеличение содержания гумуса и карбонатов, величины магнитной восприимчивости по сравнению с вмещающими породами, а также увеличения содержания алеврита и физической глины. Архив разреза Дархан более простой и неполный. Здесь зафиксированы три палеопочвы, разделенные преимущественно песчаными наносами эолового генезиса. Тем не менее, дополняя друг друга, разрезы Орхон и Дархан представляют собой полную, непрерывную и довольно детальную последовательность голоценовых палеопочв, эоловых и флювиальных отложений. Полученные радиоуглеродные данные свидетельствуют о том, что с конца позднеледниковья здесь образовались шесть почв: пять погребенных и современная. Это означает, что на протяжении голоцена, по крайней мере, шесть раз динамика геоморфологических процессов в этом районе замедлялась, дневная поверхность стабилизировалась, а климатические условия становились благоприятными для развития растительности. В такие периоды доминировали степные и полупустынные ландшафты. Незначительное расширение ареалов лесной растительности, в основном сосновых лесов, отмечается в периоды формирования верхних палеопочв (PS1 и PS2 разреза Орхон), в спектрах которых также фиксируется максимальные количества почвенных грибов. В засушливые периоды, когда накапливались лёссы и пески, доминировали полупустынные ландшафты. Споры Selaginella sanguinolenta подтверждают участие в ландшафте каменистых степей и щебнистых почв.

Данная динамика ландшафтов в целом аналогична тем же закономерностям, которые были зафиксированы несколькими предыдущими исследованиями в Монголии [Lehmkuhl et al., 2011, 2012; Wang et al., 2011; Katsuta et al., 2017; Klinge et al., 2017, 2018] и в близлежащих районах России [Рыжов и др., 2015; 2016; Баженова и др., 2017].

Позднеледниково-раннеголоценовый период (14,0-8,5 тыс. кал. л. н.). Данные AMS датирования самого нижнего слоя разреза Орхон, по-видимому, связаны с органическими соединениями, образовавшимися в процессе почвообразования во время аллередского потепления (13900 л. н.). PS5 Орхон имеет черноземно-луговой генезис, она оглеенная с мерзлотными трещинами, карбонатная, в кровле с прослоем угля. Ведущие процессы образования PS5 – накопление органического вещества, деятельность мезофауны хорошо выражена, но заметны и признаки временного переувлажнения и контрастного иссушения почвенного профиля. Это свидетельствует о гумидном почвообразовании.

Почва PS5 Орхон в отличие от других формировалась на слоистых, вероятно, аллювиальных наносах. Микростроение подтверждает ее недавний выход из-под влияния паводков и грунтовых вод. Материал почвообразующей породы – тонкодисперсный, обогащенный карбонатами, поэтому обнаружение признаков переувлажнения и оглеения в нем было несколько затруднено. Но они проявляются отчетливо по различию окраски различных микрозон в шлифе, сделанном из образца этой почвы.

Согласно исследованиям Рыжова и соавт. [2016], выполненным на серии разрезов, расположенных в российской части Селенгинского речного бассейна (к северу от района наших исследований), в позд-

неледниковый период выделяются три фазы педогенеза (14,5–14,1; 14–13,3 и 13–12,6 тыс. кал. л. н.) и соответствующие им стадии потепления и увлажнения климата. В связи с этим мы можем допустить, что отложения нижней части разреза Орхон содержат следы почвенных процессов, соответствующих второй фазе педогенеза, выделенной нашими коллегами.

Повышение влажности в позднеледниковье было вызвано, в первую очередь, таянием многолетней мерзлоты и деградацией оледенения. Об этом также свидетельствуют многочисленные данные о повышение уровня озер [Grunert et al., 2000; Komatsu et al., 2001; Prokopenko et al., 2005; Klinge and Lehmkuhl, 2013; Lehmkuhl et al., 2016].

Исходя из радиоуглеродных дат, в раннем голоцене сформировалась палеопочва PS4 в разрезе Орхон и кротовинно-карбонатный горизонт нижнего педолитокомплекса в разрезе Дархан, причем основной этап их образования пришелся, по-видимому, на бореальное потепление. Относительно высокое содержание органики и карбонатов PS4 свидетельствует о черноземном типе почвообразования. Также PS4 разреза Орхон содержит слабые признаки передвижения тонкодисперсного материала (его вокругскелетная ориентировка). Возможно, это следствие краткого поселения леса на этом участке. Здесь есть угли с выраженным клеточным строением, что характерно для древесных углей.

По результатам спорово-пыльцевого анализа установлено, что луговые растительные группировки были широко развиты во время формирования палеопочвы PS5. Затем в процессе аридизации климата стали развиваться степные ценозы. Почва PS4 формировалась в условиях доминирования степных ландшафтов.

Развитие теплого и влажного климата в этом районе в начале голоцена с последующим уменьшением увлажненности также подтверждается другими исследователями [Рыжов и др., 2015; 2016; Katsuta et al. 2017].

Среднеголоценовый период (8,5–3,0 тыс. кал. л. н.). Почвы среднего голоцена PS3, PS2 и PS1 разреза Орхон и почвы PS3/2 и PS2 разреза Дархан сформировались в самом начале и середине атлантического периода соответственно. Они содержат наименьшее количество органики, показатель засоленности увеличен, что связано с более засушливыми климатическими условиями (даже в оптимальные периоды) по сравнению с ранним голоценом.

PS3 разреза Орхон образовалась в первую половину среднего голоцена – в начале атлантического периода, палеопочва PS2 – в его конце. Палеопочвы PS4 и PS3 разделяет полутораметровая пачка песков и облёссованной супеси. В ней появляются явные признаки перекристаллизации литогенного известняка и образования вторичного кальцита *in situ*. Это означает, что климат становится суше. И в слое 13, разделяющем PS4 и PS3, и в почве PS3, а также в перекрывающем слое 9 становится заметно больше углистых частиц именно травянистой растительности (недифференцированных, очень мелких, истертых, иногда залегающих прослойками).

С палеопочвой PS2 связана смена источника поступления лёссового материала (помимо кварца и полевых шпатов появляются зеленоокрашенные минералы и обломки эффузивов, размер минеральных частиц очень разный и контрастный), в ней опять видны признаки гумидного почвообразования: не происходит инситной перекристаллизации карбонатов, обнаруживается множество пятен оксидов железа, деятельность биоты снижается, фиксируются зерна первичных минералов без покровов в порах – признаки процессов элювиирования (оподзоливания). Углистых частиц заметно меньше, чем в вышележащей пачке.

В самом конце среднего голоцена сформировалась PS1 разреза Орхон - наиболее гумусированная и полно развитая черноземная палеопочва с профилем Ah-AB-BC. Вверх по простиранию эта почва спорадически эксгумирована, подходит близко к дневной поверхности и даже выходит на поверхность террасы. PS1 разреза Орхон имеет типичные для черноземной микропризнаки: активная деятельность мезофауны, оструктуренность, обогащенность растительными остатками и аморфным органическим веществом верхнего горизонта и наличие карбонатных аккумуляций в средней части профиля. Вместе с тем наличие специфических форм карбонатных аккумуляций, а именно фитоморфоз карбонатов по растительным остаткам [Bronnikova et al., 2010; Golubtsov et al., 2021], позволяет сделать вывод о длительном сезонном промерзании во время формирования этой почвы. Среди зерен минерального скелета продолжают встречаться разноразмерные. Вероятно, это связано с изменениями направления и силы ветров в указанный период.

PS2 разреза Дархан – луговая, богатая органическим веществом, здесь отчасти сохраняются вторичные карбонатные аккумуляции и хорошо видны признаки перемещения оксидов железа и тонкодисперсного материала (тонкие пленки железистоглинистого состава на зернах минерального скелета).

В палиноспектрах среднеголоценовых почв возрастает количество пыльцы древесных (*Pinus*) и кустарниковых (*Ephedra*) растений. Расширение ареалов лесной растительности в горах отмечается в палинокомплексе IV (PS2).

Отмечается большая сходимость полученных данных на исследуемой территории с материалами других исследователей сопредельных районов. Так, согласно работам, посвященным горам Монголии [Rudaya et al., 2009] и юга Сибири [Рыжов и др., 2016], в среднем голоцене климат стал более засушливым и вследствие аридизации денудационноаккумулятивные процессы протекали довольно интенсивно, затухая в периоды педогенеза. Площадь лесных массивов увеличилась, и различные островки горных лесов существовали на юге Гобийского Алтая и Монгольского Алтая по крайней мере до 4,3 тыс. и 3,8 тыс. л. н. [Miehe et al., 2007]. Палинологические исследования [Wang et al., 2009] убедительно показывают, что продолжительный теплый и сухой климат преобладал между 6,8 тыс. и 3,2 тыс. л. н.

Дополнительными свидетельствами иссушения климат в среднем голоцене являются данные о понижении в это время уровня озер [Grunert et al., 2000; Peck et al., 2002; Fowell et al., 2003; Klinge, Lehmkuhl, 2013; Orkhonselenge et al., 2013].

Позднеголоценовый период (3,0–0 тыс. кал. л. н.). Для позднего голоцена характерны наиболее благоприятные условия (более гумидные), которые зафиксированы только в PS1 разреза Дархан. В структуре этой палеопочвы присутствуют пленки железисто-глинистые тонкие и прерывистые на зернах минерального скелета, но почва резко обедняется биогенными признаками.

В современной почве очень хорошо выражены биогенные признаки, имеются редко встречающиеся фитоморфные карбонатные новообразования, характерные для длительно сезонно-промерзающих почв.

Палинологические спектры указывают на расширение степных растительных ассоциаций. В то же время на более высоких уровнях, возможно, произрастали хвойные леса, а низкие гипсометрические уровни были покрыты степной растительностью.

В палиноспектре нижней части современной почвы сокращается количество сосен. Доминирует пыльца ивы. Ландшафты были покрыты луговой растительностью. По берегам реки и в пойме существовали ивовые заросли. В самой верхней части современной почвы в палиноспектре возрастает количество Asteraceae, т.е. луговая растительность преобладала.

Перекрывающая метровая толща песков отражает современный этап усиления эоловых процессов, связанных с антропогенной эрозией. Результаты радиоуглеродного датирования свидетельствует, что наиболее выраженный период эолизации начался после формирования палеопочвы PS1 в разрезе Дархан, а именно в последние 600–650 лет.

Заключение

Сопоставляя строение изученных разрезов, можно сделать следующие выводы. Нижняя часть обоих разрезов сходна - это древнеаллювиальные отложения, перекрытые карбонатным слоистым лёссом, послужившим материнской породой для PS5 в разрезе Орхон. Временной аналог этой почвы в разрезе Дархан отсутствует. Почва PS5 оглеена, испытывала влияние грунтовых и, возможно, паводковых вод, как и перекрывающая ее толща с гумусированными прослоями. Период ее формирования приходится на позднеледниковое потепление аллеред. Затем (между 13040 и 12973 л. н.) следовал этап ускоренного накопления лёсса, свидетельствующий об аридизации климата, в завершении с сильными кратковременными ливнями, вызвавшими усиление пролювиальных процессов в новый этап врезания. Временная лакуна между лёссовым этапом и формированием палеопочвы PS4 составляет около 4 000 лет.

В более благоприятных условиях бореального потепления образуются черноземные палеопочва PS4 (8870 л. н.) в разрезе Орхон и нижняя почва педокомплекса разреза Дархан (9004 л. н.), от которой сохранился кротовинно-карбонатный горизонт (слой 9).

В конце бореального периода между 8870 и 8500– 8000 л. н. следует новый этап аридизации, наиболее четко отразившийся в разрезе Орхон накоплением полутораметровой толщи лёссов и песков.

Раннеатлантическая почва PS3 разреза Орхон коррелирует с почвой педокомплекса PS3/2 Дархана, отражая смягчение засушливых условий, господство степных ценозов.

Почва конца атлантического периода PS2 описана только в разрезе Орхон. Она отражает восстановление гумидных условий в регионе. Ее аналог в разрезе Дархан, вероятно, был денудирован ветровой эрозией в последующий этап аридизации, что подтверждается сменой характера лёссового материала.

В конце среднего голоцена (суббореального периода) формируется палеопочва PS1 в разрезе Орхон. По макроморфологическим показателям – это мощная полноразвитая почва, вероятно, в последние этапы испытавшая криоаридизацию (по микроморфологическим данным). В разрезе Дархан с ней, вероятно, коррелирует палеопочва PS2.

Благоприятные условия (более гумидные) в позднем голоцене зафиксированы только в разрезе Дархан палепочвой PS1, в то время как почв этого времени в разрезе Орхон не описано.

По палинологическим данным установлено, что от позднеледниковья до позднего голоцена преобладали открытые степные и полупустынные ландшафты. В среднем голоцене отмечается незначительное

расширение ареалов лесной растительности, в основном сосновых лесов.

Почвообразование, которое протекало в относительно влажные периоды, чередовалось с аридными интервалами, во время которых активизировались эоловые процессы. Наиболее интенсивно они проявились во второй половине позднего голоцена и, возможно, связаны также с усилением влияния антропогенного фактора.

Список источников

Баженова О.И., Черкашина А.А., Кобылкин Д.В., Макаров С.А., Вершинин К.Е. Геоморфологические события голоцена по литологическим записям малых флювиальных бассейнов Даурии // География и природные ресурсы. 2017. № 2. С. 135–146.

Величко А.А., Като Н.Р., Тесаков А.С., Титов В.В., Морозова Т.Д., Семенов В.В., Тимирева С.Н. Особенности строения плейстоценовой лессово-почвенной формации юга Русской равнины по материалам Восточного Приазовья // Доклады Академии наук. 2009. Т. 428, № 6. С. 815–819.

Величко А.А., Морозова Т.Д., Борисова О.К., Тимирева С.Н., Семенов В.В., Кононов Ю.М., Титов В.В., Тесаков А.С., Константинов Е.А., Курбанов Р.Н. Становление зоны степей юга России (по материалам строения лессово-почвенной формации Доно-Азовского региона) // Доклады Академии наук. 2012. Т. 445, № 4. С. 464–467.

Величко А.А., Борисова О.К., Кононов Ю.М., Константинов Е.А., Курбанов Р.Н., Морозова Т.Д., Панин П.Г., Семенов В.В., Тесаков А.С., Тимирева С.Н., Титов В.В., Фролов П.Д. Реконструкция событий позднего плейстоцена в перигляциальной зоне юга Восточно-Европейской равнины // Доклады Академии наук. 2017. Т. 475, № 4. С. 448–452.

Гричук В.П. Использование спорово-пыльцевых диаграмм для целей реконструкции растительности четвертичного периода // Пыльцевой анализ. 1949. С. 90–106.

Ибрагимова В.А., Конюшкова М.В., Голованов Д.Л. Опыт составления и сравнительного анализа баз данных по целинным каштановым почвам Прикаспия (Россия, Казахстан) и Монголии // Экосистемы: экология и динамика. 2018. Т. 2, № 4. С. 106–131.

Карта геологических формаций Монгольской Народной Республики. Масштаб: 1 : 1500000 / гл. ред. А.Л. Яншин. М. : ГУКГ СССР, 1989 г.

Панкова Е.И. Закономерности формирования почвенного покрова и особенности почв степей и пустынь Монголии // Почвоведение. 1997. № 7. С. 789–798.

Почвенный покров и почвы Монголии. 1984 / ред. И.П. Герасимов, Н.А. Ногина, Д. Доржготов. М.: Наука, 1984. 194 с.

Рыжов Ю.В., Голубцов В.А., Кобылкин Д.В., Черных В.Н. Основные периоды почвообразования и осадконакопления в лесостепных ландшафтах селенгинского среднегорья в позднеледниковье и голоцене // География и природные ресурсы. 2015. № 3. С. 114–125.

Рыжов Ю.В., Голубцов В.А., Кобылкин Д.В., Снытко В.А. Новые данные об осадконакоплении и почвообразовании в селенгинском среднегорье (западное забайкалье) в позднеледниковье и голоцене // Доклады Академии наук. 2016. Т. 467, № 4. С. 376–379.

Рысков Я.Г., Величко А.А., Николаев В.И., Олейник С.А., Тимирева С.Н., Нечаев В.П., Панин П.Г., Морозова Т.Д. Реконструкция палеотемператур и осадков в плейстоцене по изотопному составу гумуса и карбонатов лёссов Русской равнины // Почвоведение. 2008. № 9. С. 1062–1070.

Batjargal Z. Desertification in Mongolia // RALA Report. 1997. V. 200. P. 107-113.

Bengtsson L., Enell M. Chemical analysis // Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. 1986. P. 423–451.

Böhner J. General climatic controls and topoclimatic variations of Central and High Mountain Asia // Boreas. 2006. V. 35. P. 279–295. doi: 10.1111/j.1502-3885.2006.tb01158.x

Bronnikova M.A., Panin A.V., Turova I.V., Uspenskaya O.N., Kuznetsova E.P., Khokhlova O.S. Cryo-Geomorphological Evolution of Soils on Islands of Terekhol Lake, Tyva, Southern Siberia // Eurasian Soil Sci. 2010. V. 43 (13). P. 1503–1514. doi: 10.1134/S1064229310130090

Endo N., Kadota T., Matsumoto J., Ailikun B., Yasunari T. Climatology and trends in summer precipitation characteristics in Mongolia for the period 1960-98 // Journal of the Meteorological Society of Japan. 2006. V. 84. P. 543–551. doi: 10.2151/jmsj.84.543 FAO. Guidelines for soil description. 4th ed. Rome, 2006. P. 97.

Feng Z.D., Wang W.G., Guo L.L., Li X.Q., Ma Y.Z., Zhang H.C., An C.B. Lacustrine and eolian records of Holocene climate changes in the Mongolian Plateau: preliminary results // Quaternary International. 2005. V. 136. P. 25–32.

Feng Z.D., Zhai X.W., Ma Y.Z., Huang C.Q., Wang W.G., Zhang H.C., Khosbayar P., Narantsetseg T., Liu K.B., Rutter N.W. Eolian environmental changes in the Northern Mongolian Plateau during the past 35,000 yr. // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2007. V. 245. P. 505–517.

Fowell S.J., Hansen B.C.S., Peck J.A., Khosbayar P., Ganbold E. Mid to Late Holocene climate evolution of the Lake Telmen Basin, North Central Mongolia, based on palynological data // Quaternary Research. 2003. V. 59. P. 353–363.

Golubtsov V., Bronnikova M., Khokhlova O., Cherkashina A., Turchinskaia S. Morphological and isotopic study of pedogenic carbonate coatings from steppe and forest-steppe areas of Baikal region, South-Eastern Siberia // Catena. 2021. V. 196. e104817. doi: 10.1016/j.catena.2020.104817

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

Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // Journal of Paleolimnology. 2001. V. 25. P. 101–110. doi: 10.1023/A:1008119611481

Katsuta N., Matsumoto G.I., Tani Y., Tani E., Murakami T., Kawakami S.-i., Nakamura T., Takano M., Matsumoto E., Abe O., Morimoto M., Okuda T., Krivonogov S.K., Kawai T. A higher moisture level in the early Holocene in northern Mongolia as evidenced from sediment records of Lake Hovsgol and Lake Erhel // Quaternary International. 2017. V. 455. P. 70–81. doi: 10.1016/j.quaint.2017.06.032

Klinge M., Lehmkuhl F. Geomorphology of the Tsetseg Nuur basin, Mongolian Altai – lake development, fluvial sedimentation and aeolian transport in a semiarid environment // J. Maps. 2013. V. 9(3), P. 361–366.

Klinge M., Lehmkuhl F., Schulte P., Hülle D., Nottebaum V. Implications of (reworked) aeolian sediments and paleosols for Holocene environmental change in Western Mongolia // Geomorphology. 2017. V. 292. P. 59–71. doi: 10.1016/j.geomorph.2017.04.027

Klinge M., Dulamsuren C., Erasmi S., Karger D.N., Hauck M. Climate effects on vegetation vitality at the treeline of boreal forests of Mongolia // Biogeosciences. 2018. V. 15 (5). P. 1319–1333. doi: 10.5194/bg-15-1319-2018.

Klinge M. and Sauer D. Spatial pattern of Late Glacial and Holocene climatic and environmental development in Western Mongolia – A critical review and synthesis // Quaternary Science Reviews. 2019. V. 210. P. 26–50.

Komatsu G., Brantingham P.J., Olsen J.W., Baker V.R. Paleoshoreline geomorphology of Böön Tsagaan Nuur, Tsagaan Nuur and Orog Nuur: the Valley of Lakes, Mongolia // Geomorphology. 2001. V. 39. P. 83–98. doi: 10.1016/S0169-555X(00)00095-7

Kukla G.J. Loess stratigraphy of Central Europe // After the Australopithecus / eds. by K.W. Butzer, G.L. Isaac. Mouton Publishers, 1975. The Hague. P. 99–188.

Lehmkuhl F. The spatial distribution of loess and loess-like sediments in the mountain areas of Central and High Asia // Zeitschrift für Geomorphologie Supplementary Issues. 1997. V. 111. P. 97–116

Lehmkuhl F., Hilgers A., Fries S., Hülle D., Schlütz F., Shumilovskikh L., Felauer T., Protze J. Holocene geomorphological processes and soil development as indicator for environmental change around Karakorum, upper Orkhon Valley (Central Mongolia) // Catena, 2011. V. 87. P. 31–44

Lehmkuhl F., Hülle D., Knippertz M. Holocene geomorphic processes and landscape evolution in the lower reaches of the Orkhon River (northern Mongolia) // Catena. 2012. V. 98. P. 17–28

Lehmkuhl F., Klinge M., Rother H., Hülle D. Distribution and timing of Holocene and late Pleistocene glacier fluctuations in western Mongolia // Ann. Glaciol. 2016. V. 57. P. 169–178. doi: 10.3189/2016AoG71A030

Lehmkuhl F., Grunert J., Hülle D., Batkhishig O., Stauch G. Paleolakes in the Gobi region of southern Mongolia // Quaternary Science Reviews. 2018. V. 179. P. 1–23

Liu Y.Y., Evans J.P., McCabe M.F., de Jeu R.A.M., van Dijk A.I.J.M., Dolman A.J., Saizen I. Changing climate and overgrazing are decimating Mongolian steppes. // PLoS One. 2013. V. 8. e57599. doi: 10.1371/journal.pone.0057599

Maa Y., Liu K., Feng Z., Meng H., Sang Y., Wang W., Zhang H. Vegetation changes and associated climate variations during the past ~38,000 years reconstructed from the Shaamar eolian-paleosol section, northern Mongolia // Quaternary International. 2013. V. 311. P. 25–35. doi: 10.1016/j.quaint.2013.08.037

Miehe G., Schlütz F., Miehe S., Opgenoorth L., Cermak J., Samiya R., Jäger E.J., Wesche K. Mountain forest islands and Holocene environmental changes in Central Asia: a case study from the southern Gobi Altay, Mongolia // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2007. V. 250. P. 150–166. doi: 10.1016/j.palaeo.2007.03.022.

Orkhonselenge A., Krivonogov S.K., Mino K., Kashiwaya K., Safonova I.Y., Yamamoto M., Kashima K., Nakamura T., Kim J.Y. Holocene sedimentary records from Lake Borsog, eastern shore of Lake Khuvsgul, Mongolia, and their paleoenvironmental implications // Quat. Int. 2013. V. 290–291. P. 95–109. doi: 10.1016/j.quaint.2012.03.041.

Panin P.G., Timireva S.N., Morozova T.D., Kononov Y.M., Velichko A.A. Morphology and micromorphology of the loesspaleosol sequences in the south of the East European plain (MIS 1–MIS 17) // Catena. 2018. V. 168. P. 79–101. doi: 10.1016/j.catena.2018.01.032

Panin P.G., Timireva S.N., Konstantinov E.A., Kalinin P.I., Kononov Y.M., Alekseev A.O. and Semenov V.V. Plio-Pleistocene paleosols: Loess-paleosol sequence studied in the Beregovoye section, the Crimean Peninsula // Catena. 2019. V. 172. P. 590–618. doi: 10.1016/j.catena.2018.09.020

Peck J.A., Khosbayar P., Fowell S.J., Pearce R.B., Ariunbileg S., Hansen B.C.S., Soninkhishig N. Mid to Late Holocene climate change in north central Mongolia as recorded in the sediments of Lake Telmen. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2002. V. 183(1–2). P. 135–153. doi: 10.1016/S0031-0182(01)00465-5.

Prokopenko A.A., Kuzmin M.I., Williams D.F., Gelety V.F., Kalmychkov G.V., Gvozdkov A.N., Solotchin P.A. Basin-wide sedimentation changes and deglacial lake-level rise in the Hovsgol basin, NW Mongolia // Quat. Int. 2005. V. 136. P. 59–69. doi: 10.1016/j.quaint.2004.11.008

Prokopenko A.A., Khursevich G.K., Bezrukova E.V., Kuzmin M.I., Boes X., Williams D.F., Fedenya S.A., Kulagina N.V, Letunova P.P., Abzaeva A.A. Paleoenvironmental proxy records from Lake Hovsgol, Mongolia, and a synthesis of Holocene climate change in the Lake Baikal watershed // Quaternary Research. 2007. V. 68. P. 2–17.

Rudaya N., Tarasov P., Dorofeyuk N., Solovieva N., Kalugin I., Andreev A., Daryin A., Diekmann B., Riedel F., Narantsetseg T., 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 // Quat. Sci. Rev. 2009. V. 28. P. 540–554. doi: 10.1016/j.quascirev.2008.10.013

Pye K. The nature, origin and accumulation of loess // Quaternary Science Reviews. 1995. V. 14. P. 653–667.

Soil Survey Manual // eds C Ditzler, K Scheffe and H C Monger (Washington: USDA Handbook 18. Government Printing Office). 2017. P. 605.

Stoops G. Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith thin Sections; Soil Science Society of America: Madison, WI, USA. 2003. P. 184.

Tian F., Herzschuh U., Dallmeyer A., Xu Q., Mischke S., Biskaborn B.K. Environmental variability in the monsoonewesterlies transition zone during the last 1200 years: lake sediment analyses from central Mongolia and supraeregional synthesis // Quaternary Science Reviews. 2013. V. 73. P. 31–47

Timireva S.N., Batkhishig O., Sycheva S.A., Kononov Y.M., Simakova A.N., Byambaa G., Telmen T., Samdandorj M., Filippova K.G., Konstantinov E.A. Landscapes, paleosols and climate in the north of mongolia during the Holocene // IOP C. Ser.: Earth Env. 2020. V. 438. e012027. doi: 10.1088/1755-1315/438/1/012027

Timireva S.N., Kononov Y.M., Sycheva S.A., Taratunina N.A., Kalinin P.I., Filippova K.G., Zakharov A.L., Konstantinov E.A., Murray A.S., Kurbanov R.N. Revisiting the Taman peninsula loess-paleosol sequence: Middle and Late Pleistocene record of Cape Pekla // Quaternary International. 2021. doi: 10.1016/j.quaint.2021.06.010

Wang W., Ma Y.Z., Feng Z.D., Meng H.W., Sang Y.L., Zhai X.W. Vegetation and climate changes during the last 8660 cal. a BP in central Mongolia, based on a high resolution pollen record from Lake UgiiNuur // Chinese Science Bulletin. 2009. V. 54. P. 1579–1589.

Wang W., Ma Y., Feng Z.-D., Narantsetseg T., Liu K.-B., Zhai X. A prolonged dry mid-Holocene climate revealed by pollen and diatom records from Lake Ugii Nuur in central Mongolia // Quat. Int. 2011. V. 229(1–2). P. 74–83. doi: 10.1016/j.quaint.2010.06.005

Wang W., Feng Z. Holocene moisture evolution across the Mongolian Plateau and its surrounding areas: a synthesis of climatic records // Earth Science Reviews. 2013. V. 122. P. 38–57. doi: 10.1016/j.earscirev.2013.03.005

References

Bazhenova O.I., Cherkashina A.A., Kobylkin D.V., Makarov S.A., Vershinin K.E. *Geomorfologicheskie sobytiya golocena po litologicheskim zapisyam malyh flyuvial'nyh bassejnov Daurii* [Geomorphological Holocene events as deduced from lithological records of the fluvial basins of Dauria] // Geography and Natural Resources. 2017. No. 2. pp. 135–146. In Russian

Velichko A.A., Catto N., Tesakov A.S., Titov V.V., Morozova T.D., Semenov V.V., Timireva S.N. Structural specificity of pleistocene loess and soil formation of the Southern Russian plain according to materials of Eastern Priazovie // Doklady Earth Sciences. 2009. V. 428. pp. 815–819. In Russian

Velichko A.A., Morozova, T.D., Borisova, O.K., Timireva, S.N., Semenov, V.V., Kononov, Y.M., Titov, V.V., Tesakov, A.S., Konstantinov, E.E., Kurbanov, R.N. Development of the steppe zone in southern Russia based on the reconstruction from the loess-soil formation in the Don – Azov Region // Doklady Earth Sciences. 2012. V. 445 (4). pp. 464–467. In Russian

Velichko A.A., Borisova O.K., Kononov Y.M., Konstantinov E.A., Kurbanov R.N., Morozova T.D., Panin P.G., Semenov V.V., Tesakov A.S., Timireva S.N., Titov V.V., Frolov P.D. Reconstruction of Late Pleistocene events in the periglacial area in the southern part of the East European Plain // Doklady Earth Sciences. 2017. V. 475 (4). pp. 448–452. In Russian

Grichuk V.P. Ispol'zovanie sporovo-pyl'cevyh diagramm dlya celej rekonstrukcii rastitel'nosti chetvertichnogo perioda [Using the spore-pollen diagrams for the purposes of vegetation reconstruction of the Quaternary period] // Pollen analysis. 1949. pp. 90–106.

Ibragimova V.S., Konyushkova M.V., Golovanov D.L. *Opyt sostavleniya i sravnitel'nogo analiza baz dannyh po celinnym kashtanovym pochvam Prikaspiya (Rossiya, Kazahstan) i Mongolii* [Practice of Composing and Applying Comparative Analysis to the Databases of Virgin Chestnut Soils of Caspian Region (Russia and Kazakhstan) and Mongolia. Ecosystems] // Ecology and Dynamics. 2018. V. 2(4). pp. 106–131. In Russian

Karta geologicheskih formacij Mongol'skoj Narodnoj Respubliki. Masshtab: 1:500,000 [Map of Geological Complexes of Mongolia. 1:500,000] / Chief Editor A.L. Yanshin. Moscow, 1989. In Russian

Pankova E.I. Regularities Governing the Evolution of the Soil Mantle and the Properties of Steppe and Desert Soils in Mongolia // Eurasian Soil Science. 1997. V. 7. pp. 789–798. In Russian

Pochvennyj pokrov i pochvy Mongolii [The Soil Cover and Soils of Mongolia] / Gerasimov I.P., Nogina N.A., Dorzhgotov D. (eds.), Moscow: Nauka. 1984. p. 194. In Russian.

Ryzhov Y.V., Golubtsov V.A., Kobylkin D.V., Chernykh V.N. *Osnovnye periody pochvoobrazovaniya i osadkonakopleniya v lesostepnyh landshaftah selenginskogo srednegor'yav pozdnelednikov'e i golocene* [Main periods of soil formation and sedimentation in forest-steppe landscapes of the Selenga midland during the Late Glacial and Holocene] // Geography and Natural Resources. 2015. V. 36(3). pp. 114–125. In Russian

Ryzhov Y.V., Golubtsov V.A., Kobylkin D.V., Snytko V.A. New data on sedimentation and pedogenesis in the Selenga Midland (western Transbaikalia) during Late Glacial and Holocene // Dokl. Earth. Sci. 2016. V. 467 (4). pp. 376–379. In Russian

Ryskov Ya G., Oleinik S.A., Velichko A.A., Nikolaev V.I., Timireva S.N., Nechaev V.P., Panin P.G., Morozova T.D. Reconstruction of the paleotemperature and precipitation in the Pleistocene according to the isotope composition of humus and carbonates in loess on the Russian plain // *Pochvovedeniye* [Eurasian Soil Science]. 2008. V. 9. pp. 1062–1070. In Russian

Batjargal Z. Desertification in Mongolia // RALA Report. 1997. V. 200. pp. 107–113.

Bengtsson L., Enell M. Chemical analysis // Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. 1986. pp. 423-451.

Böhner J. General climatic controls and topoclimatic variations of Central and High Mountain Asia. // Boreas. 2006. V. 35. pp. 279–295. DOI: 10.1111/j.1502-3885.2006.tb01158.x

Bronnikova M.A., Panin A.V., Turova I.V., Uspenskaya O.N., Kuznetsova E.P., Khokhlova O.S. Cryo-Geomorphological Evolution of Soils on Islands of Terekhol Lake, Tyva, Southern Siberia // Eurasian Soil Sci. 2010. V. 43 (13). pp. 1503–1514. DOI: 10.1134/S1064229310130090

Endo N., Kadota T., Matsumoto J., Ailikun B., Yasunari T. Climatology and trends in summer precipitation characteristics in Mongolia for the period 1960-98 // Journal of the Meteorological Society of Japan. 2006. V. 84. pp. 543–551. DOI: 10.2151/jmsj.84.543

FAO. Guidelines for soil description. 4th edition. Rome. 2006. 97 p.

Feng Z.D., Wang W.G., Guo L.L., Li X.Q., Ma Y.Z., Zhang H.C., An C.B. Lacustrine and eolian records of Holocene climate changes in the Mongolian Plateau: preliminary results // Quaternary International. 2005. V. 136. pp. 25–32.

Feng Z.D., Zhai X.W., Ma Y.Z., Huang C.Q., Wang W.G., Zhang H.C., Khosbayar P., Narantsetseg T., Liu K.B. and Rutter N.W. Eolian environmental changes in the Northern Mongolian Plateau during the past 35,000 yr. // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2007. V. 245. pp. 505–517.

Fowell S.J., Hansen B.C.S., Peck J.A., Khosbayar P. and Ganbold E. Mid to Late Holocene climate evolution of the Lake Telmen Basin, North Central Mongolia, based on palynological data // Quaternary Research. 2003. V. 59. pp. 353–363.

Golubtsov V., Bronnikova M., Khokhlova O., Cherkashina A., Turchinskaia S. Morphological and isotopic study of pedogenic carbonate coatings from steppe and forest-steppe areas of Baikal region, South-Eastern Siberia // Catena. 2021. V. 196. e104817. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104817

Grunert J., Lehmkuhl F., Walther M. Paleoclimatic evolution of the Uvs Nuur basin and adjacent areas (Western Mongolia) // Quaternary International. 2000. V. 65–66. pp. 171–192.

Heiri O., Lotter A.F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // Journal of Paleolimnology. 2001. V. 25. pp. 101–110. DOI: 10.1023/A:1008119611481

Katsuta N., Matsumoto G.I., Tani Y., Tani E., Murakami T., Kawakami S.-i., Nakamura T., Takano M., Matsumoto E., Abe O., Morimoto M., Okuda T., Krivonogov S.K., Kawai, T. A higher moisture level in the early Holocene in northern Mongolia as evidenced from sediment records of Lake Hovsgol and Lake Erhel // Quaternary International. 2017. V. 455. pp. 70–81. DOI: 10.1016/j.quaint.2017.06.032.

Klinge M., Lehmkuhl F. Geomorphology of the Tsetseg Nuur basin, Mongolian Altai – lake development, fluvial sedimentation and aeolian transport in a semiarid environment // J. Maps. 2013. V. 9 (3). pp. 361–366.

Klinge M., Lehmkuhl F., Schulte P., Hülle D., Nottebaum V. Implications of (reworked) aeolian sediments and paleosols for Holocene environmental change in Western Mongolia // Geomorphology. 2017. V. 292. pp. 59–71. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.04.027.

Klinge M., Dulamsuren C., Erasmi S., Karger D.N., Hauck M. Climate effects on vegetation vitality at the treeline of boreal forests of Mongolia // Biogeosciences. 2018. V. 15(5). P. 1319–1333. DOI: 10.5194/bg-15-1319-2018.

Klinge M. and Sauer D. Spatial pattern of Late Glacial and Holocene climatic and environmental development in Western Mongolia – A critical review and synthesis // Quaternary Science Reviews. 2019. V. 210. pp. 26–50.

Komatsu G., Brantingham P.J., Olsen J.W., Baker V.R. Paleoshoreline geomorphology of Böön Tsagaan Nuur, Tsagaan Nuur and Orog Nuur: the Valley of Lakes, Mongolia // Geomorphology. 2001. V. 39. pp. 83–98. DOI: 10.1016/S0169-555X(00)00095-7

Kukla G.J. Loess stratigraphy of Central Europe // After the Australopithecus / Butzer K W & Isaac G L (eds.) Mouton Publishers, 1975. The Hague. Pp. 99–188.

Lehmkuhl F. The spatial distribution of loess and loess-like sediments in the mountain areas of Central and High Asia // Zeitschrift für Geomorphologie Supplementary Issues. 1997. V. 111. pp. 97–116

Lehmkuhl F., Hilgers A., Fries S., Hülle D., Schlütz F., Shumilovskikh L., Felauer T., Protze J. Holocene geomorphological processes and soil development as indicator for environmental change around Karakorum, upper Orkhon Valley (Central Mongolia) // Catena. 2011. V. 87. pp. 31–44

Lehmkuhl F., Hülle D., Knippertz M. Holocene geomorphic processes and landscape evolution in the lower reaches of the Orkhon River (northern Mongolia) // Catena. 2012. V. 98. pp. 17–28

Lehmkuhl F., Klinge M., Rother H., Hülle D. Distribution and timing of Holocene and late Pleistocene glacier fluctuations in western Mongolia // Ann. Glaciol. 2016. V. 57, pp. 169–178. http://dx.doi.org/10.3189/2016AoG71A030.

Lehmkuhl F., Grunert J., Hülle D., Batkhishig O., Stauch G. Paleolakes in the Gobi region of southern Mongolia // Quaternary Science Reviews. 2018. V. 179. pp. 1–23

Liu Y.Y., Evans J.P., McCabe M.F., de Jeu R.A.M., van Dijk A.I.J.M., Dolman A.J., Saizen I. Changing climate and overgrazing are decimating Mongolian steppes. // PLoS One. 2013. V. 8. e57599. DOI: 10.1371/journal.pone.0057599

Maa Y., Liu K., Feng Z., Meng H., Sang Y., Wang W., Zhang H. Vegetation changes and associated climate variations during the past ~38,000 years reconstructed from the Shaamar eolian-paleosol section, northern Mongolia // Quaternary International. 2013. V. 311. pp. 25–35. DOI: 10.1016/j.quaint.2013.08.037

Miehe G., Schlütz F., Miehe S., Opgenoorth L., Cermak J., Samiya R., Jäger E.J., Wesche K. Mountain forest islands and Holocene environmental changes in Central Asia: a case study from the southern Gobi Altay, Mongolia // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2007. V. 250, pp.150–166. DOI: 10.1016/j.palaeo.2007.03.022.

Orkhonselenge A., Krivonogov S.K., Mino K., Kashiwaya K., Safonova I.Y., Yamamoto M., Kashima K., Nakamura T., Kim J.Y. Holocene sedimentary records from Lake Borsog, eastern shore of Lake Khuvsgul, Mongolia, and their paleoenvironmental implications // Quat. Int. 2013. V. 290–291. pp. 95–109. DOI: 10.1016/j.quaint.2012.03.041.

Panin P.G., Timireva S.N., Morozova T.D., Kononov Y.M. and Velichko A.A. Morphology and micromorphology of the loesspaleosol sequences in the south of the East European plain (MIS 1–MIS 17) // Catena. 2018. V. 168. pp. 79–101. DOI: 10.1016/j.catena.2018.01.032

Panin P.G., Timireva S.N., Konstantinov E.A., Kalinin P.I., Kononov Y.M., Alekseev A.O. and Semenov V.V. Plio-Pleistocene paleosols: Loess-paleosol sequence studied in the Beregovoye section, the Crimean Peninsula // Catena. 2019. V. 172. pp. 590–618. DOI: 10.1016/j.catena.2018.09.020

Peck J.A., Khosbayar P., Fowell S.J., Pearce R.B., Ariunbileg S., Hansen B.C.S., Soninkhishig N. Mid to Late Holocene climate change in north central Mongolia as recorded in the sediments of Lake Telmen. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. 2002. V. 183(1–2). pp. 135–153. DOI: 10.1016/S0031-0182(01)00465-5

Prokopenko A.A., Kuzmin M.I., Williams D.F., Gelety V.F., Kalmychkov G.V., Gvozdkov A.N., Solotchin P.A. Basin-wide sedimentation changes and deglacial lake-level rise in the Hovsgol basin, NW Mongolia // Quat. Int. 2005. V. 136. pp. 59–69. DOI: 10.1016/j.quaint.2004.11.008

Prokopenko A.A., Khursevich G.K., Bezrukova E.V., Kuzmin M.I., Boes X., Williams D.F., Fedenya S.A., Kulagina N.V, Letunova P.P., Abzaeva A.A. Paleoenvironmental proxy records from Lake Hovsgol, Mongolia, and a synthesis of Holocene climate change in the Lake Baikal watershed // Quaternary Research. 2007. V. 68. pp. 2–17.

Rudaya N., Tarasov P., Dorofeyuk N., Solovieva N., Kalugin I., Andreev A., Daryin A., Diekmann B., Riedel F., Narantsetseg T., 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 // Quat. Sci. Rev. 2009. V. 28. pp. 540–554. DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.10.013

Pye K. The nature, origin and accumulation of loess // Quaternary Science Reviews. 1995. V. 14. pp. 653-667.

Soil Survey Manual // eds C Ditzler, K Scheffe and H C Monger (Washington: USDA Handbook 18. Government Printing Office). 2017. 605 p.

Stoops G. Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith thin Sections; Soil Science Society of America: Madison, WI, USA, 2003. 184 p.

Tian F., Herzschuh U., Dallmeyer A., Xu Q., Mischke S. and Biskaborn B.K. Environmental variability in the monsoonewesterlies transition zone during the last 1200 years: lake sediment analyses from central Mongolia and supraeregional synthesis // Quaternary Science Reviews. 2013. V. 73. pp. 31–47.

Timireva S. N., Batkhishig O., Sycheva S.A., Kononov Y.M., Simakova A.N., Byambaa G., Telmen T., Samdandorj M., Filippova K.G., Konstantinov E.A. Landscapes, paleosols and climate in the north of mongolia during the Holocene // IOP C. Ser.: Earth Env. 2020. V. 438. e012027. DOI: 10.1088/1755-1315/438/1/012027

Timireva S.N., Kononov Y.M., Sycheva S.A., Taratunina N.A., Kalinin P.I., Filippova K.G., Zakharov A.L., Konstantinov E.A., Murray A.S., Kurbanov R.N. Revisiting the Taman peninsula loess-paleosol sequence: Middle and Late Pleistocene record of Cape Pekla // Quaternary International. 2021. DOI: 10.1016/j.quaint.2021.06.010

Wang W., Ma Y.Z, Feng Z.D, Meng H.W, Sang Y.L., Zhai X.W. Vegetation and climate changes during the last 8660 cal. a BP in central Mongolia, based on a highresolution pollen record from Lake UgiiNuur // Chinese Science Bulletin. 2009. V. 54. pp. 1579–1589. Wang W., Ma Y., Feng Z.-D., Narantsetseg T., Liu K.-b., Zhai X. A prolonged dry mid-Holocene climate revealed by pollen and di-

atom records from Lake Ugii Nuur in central Mongolia // Quat. Int. 2011. V. 229 (1–2). pp. 74-83. DOI: 10.1016/j.quaint.2010.06.005

Wang W., Feng Z. Holocene moisture evolution across the Mongolian Plateau and its surrounding areas: a synthesis of climatic records. // Earth Science Reviews. 2013. V. 122. pp. 38–57. DOI: 10.1016/j.earscirev.2013.03.005

Информация об авторах:

Тимирева С.Н., кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, отдел палеогеографии четвертичного периода, лаборатория эволюционной географии, Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия.

E-mail: stimireva@mail.ru

Кононов Ю.М., старший научный сотрудник, отдел палеогеографии четвертичного периода, лаборатория эволюционной географии, Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия.

E-mail: jukon02@mail.ru

Хохлова О.С., доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория генезиса и эволюции почв, Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук, Пущино, Россия.

E-mail: olga_004@rambler.ru

Сычева С.А., кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник отдела географии и эволюции почв, Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия.

E-mail: sychevasa@mail.ru

Симакова А.Н., кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, отдел стратиграфии, лаборатория стратиграфии четвертичного периода, Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия.

E-mail: simak2001@mail.ru

Batkhishig Ochirbat, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом почвоведения, Институт географии и геоэкологии, Монгольская академия наук, Улан-Батор, Монголия.

E-mail: batkhishig@gmail.com

Tseden-Ish Bolormaa, научный сотрудник, отдел почвоведения, Институт географии и геоэкологии, Монгольская академия наук, Улан-Батор, Монголия.

E-mail: bolormaa999@gmail.com

Ganbat Byambaa, научный сотрудник, отдел почвоведения, Институт географии и геоэкологии, Монгольская академия наук, Улан-Батор, Монголия.

E-mail: byambaa87@gmail.com

Telmen Turmunkh, младший научный сотрудник, отдел почвоведения, Институт географии и геоэкологии, Монгольская академия наук, Улан-Батор, Монголия.

E-mail: telmen808@gmail.com

Maamkhuu Zolzaya, научный сотрудник, отдел почвоведения, Институт географии и геоэкологии, Монгольская академия наук, Улан-Батор, Монголия.

E-mail: zolzayageo@gmail.com

Филиппова К.Г., младший научный сотрудник, отдел палеогеографии четвертичного периода, лаборатория палеоархивов природной среды, Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия. E-mail: xenia.filippova@gmail.com

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors:

Timireva Svetlana N., Cand. Sci. (Geography), Leading researcher, Department of Quaternary Paleogeography, Laboratory of evolutionary geography, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

E-mail: stimireva@mail.ru Kononov Yury M., Senior Researcher, Department of Quaternary Paleogeography, Laboratory of evolutionary geography, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

E-mail: jukon02@mail.ru

Khokhlova Olga S., Dr. Sci. (Geography), Leading researcher, Laboratory of ecology and genesis of soils, Institute of Physical, Chemical and Biological Problems of Soil Science, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia. E-mail: olga 004@rambler.ru

Sycheva Švetlana A., Cand. Sci. (Geography), Leading researcher, Department of Geography and soil evolution, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.

E-mail: sychevasa@mail.ru

Simakova Aleksandra N., Cand. Sci. (Geol.-Miner.), Leading researcher, Department of Stratigraphy, Laboratory of Quaternary Stratigraphy, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. E-mail: simak2001@mail.ru Batkhishig Ochirbat, Dr. Sci. (Geography), Leading researcher, Head, Department of Soil Science, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar City, Mongolia. E-mail: batkhishig@gmail.com Bolormaa Tseden-Ish, Research Fellow, Department of Soil Science, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar City, Mongolia. E-mail: bolormaa999@gmail.com Byambaa Ganbat, Research Fellow, Department of Soil Science, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar City, Mongolia. E-mail: byambaa87@gmail.com Turmunkh Telmen, Junior Fellow, Department of Soil Science, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar City, Mongolia. E-mail: telmen808@gmail.com Maamkhuu Zolzaya, Research Fellow, Department of Soil Science, Institute of Geography and Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Ulaanbaatar City, Mongolia. E-mail: zolzayageo@gmail.com Filippova Kseniya G., Junior Fellow, Department of Quaternary Paleogeography, Environmental paleoarchives laboratory, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia. E-mail: xenia.filippova@gmail.com

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 03.10.2022; одобрена после рецензирования 24.03.2023; принята к публикации 20.06.2023

The article was submitted 03.10.2022; approved after reviewing 24.03.2023; accepted for publication 20.06.2023