

## РЕГИОНАЛЬНАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОКРИОЛОГИЯ

УДК 551.342

DOI: 10.15372/KZ20230101

ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВЫЕ КРИОГЕННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ  
В ПОЙМЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕЧНЫХ ДОЛИН БАСЕЙНА СЕЛЕНГИЮ.В. Рыжов<sup>1–3</sup>, В.Л. Коломиец<sup>4</sup>, М.В. Смирнов<sup>1</sup><sup>1</sup>Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия; [ryv@crust.irk.ru](mailto:ryv@crust.irk.ru)<sup>2</sup>Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия<sup>3</sup>Иркутский государственный университет, 664003, Иркутск, ул. Ленина, 1, Россия; [smv.38@mail.ru](mailto:smv.38@mail.ru)<sup>4</sup>Геологический институт СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Россия

Дана характеристика криогенных деформаций (криотурбаций и грунтовых жил), их морфологии и возраста в голоценовых пойменных отложениях в бассейне р. Селенги в условиях сезонной, прерывистой, островной и редкоостровной многолетней мерзлоты в речных долинах. В разрезах пойменных отложений рек Итанца, Илька, Орхон выявлены позднеголоценовые грунтовые жилы и криотурбации в сезонно-мерзлом слое. Определено время формирования криогенных деформаций на основе детального изучения строения и датирования отложений низкой и высокой пойм рек Итанца, Илька, Орхон. Возраст аллювия с криотурбациями на низкой пойме моложе 2 тысяч лет. На высокой пойме криогенные деформации формировались в позднем голоцене (последние 4.2 тысячи лет). Установлено, что слои аллювия с криотурбациями постилаются влажными и мокрыми гумусированными супесями и суглинками. Криогенные деформации являются палеоклиматическим индикатором условий позднего голоцена Забайкалья, Северной и Центральной Монголии.

**Ключевые слова:** морозобойное растрескивание, грунтовая жила, криотурбация, пойма, поздний голоцен, бассейн р. Селенги.

LATE HOLOCENE CRYOGENIC DEFORMATIONS IN FLOODPLAIN SEDIMENTS  
OF RIVER VALLEYS IN THE SELENGA RIVER BASINYu.V. Ryzhov<sup>1–3</sup>, V.L. Kolomiets<sup>4</sup>, M.V. Smirnov<sup>1</sup><sup>1</sup>Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Lermontova str. 128, Irkutsk, 664033, Russia; [ryv@crust.irk.ru](mailto:ryv@crust.irk.ru)<sup>2</sup>Sochava Institute of Geography, SB RAS, Ulan-Batorskaya str. 1, Irkutsk, 664033, Russia<sup>3</sup>Irkutsk State University, Lenina str. 1, Irkutsk, 664003, Russia<sup>4</sup>Geological Institute, SB RAS, Sakhyanovoy str. 6a, Ulan-Ude, 670047, Russia

The morphology and age of cryogenic deformations (cryoturbations and ground wedges) in the Holocene floodplain sediments of river valleys in the Selenga River basin within the areas of seasonal, discontinuous, sporadic, and isolated permafrost were studied. Late Holocene ground wedges and cryoturbations were identified in the seasonally frozen layer of floodplain sections of the Itantsa, Il'ka, and Orkhon rivers. The time of formation of the cryogenic deformations was determined on the basis of detailed morphological descriptions and dating of low and high floodplain sediments of these rivers. The age of the alluvium with cryoturbation on the low floodplain is less than 2 kyr. Cryogenic deformations on the high floodplain formed in the Late Holocene (the last 4.2 kyr). It was determined that alluvium layers with cryoturbation are underlain by moderately wet to satiated wet loamy sands and loams. Cryogenic deformations are considered a paleoclimatic indicator of the Late Holocene in the Transbaikal region and northern and central Mongolia.

**Keywords:** frost cracking, ground wedge, cryoturbation, floodplain, Late Holocene, Selenga River basin.

## ВВЕДЕНИЕ

Бассейн Селенги площадью 447 тыс. км<sup>2</sup> расположен в центре Евразии – в Западном и Восточном Забайкалье, Северной и Центральной Монголии, в южной геокриологической зоне и представляет регион преимущественно прерывистого, островного и редкоостровного распространения многолетнемерзлых пород [Геокриология СССР, 1989; Национальный атлас..., 2007; Jambaljav et al., 2016].

В долинах рек преобладает островное (<50 %) и редкоостровное распространение многолетнемерзлых пород мощностью 0–50 м со среднемноголетними температурами горных пород 2...–1 °С [Основы..., 1998; Jambaljav et al., 2016].

В условиях островного распространения многолетнемерзлых горных пород, низких зимних

температур воздуха (средняя температура января  $-18...-26^{\circ}\text{C}$ ), малого количества (13–43 мм) зимних осадков (ноябрь–март) [Научно-прикладной справочник..., 1989], небольшой мощности снежного покрова (5–30 см) в котловинах и долинах рек Забайкалья, Северной и Центральной Монголии на поймах создается благоприятная ситуация для криогенного растрескивания и пучения горных пород. Формируются грунтовые жилы и криотурбации [Романовский, 1977, 1993; Основы..., 1998]. Существенное значение имеют зимние температурные инверсии вследствие застаивания в котловинах и речных долинах холодного воздуха, достигающие в Удинской котловине  $10^{\circ}\text{C}$ .

### ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Речные долины и котловины в бассейне р. Селенги характеризуются разнообразными природными условиями. Среднегодовая температура воздуха в долинах рек в бассейне Селенги изменяется от  $-3.7^{\circ}\text{C}$  в верховье долины р. Менза до  $+2.3^{\circ}\text{C}$  в долине р. Орхон. Абсолютная минимальная температура воздуха изменяется от  $-41$  до  $-55^{\circ}\text{C}$ , поверхности почвы – от  $-46$  до  $-55^{\circ}\text{C}$  [Научно-прикладной справочник..., 1989]. Зимой (ноябрь–март)

в речных долинах и котловинах выпадает 5–12 % годовой нормы осадков (13–80 мм) [Научно-прикладной справочник..., 1989]. Средние температуры самого теплого месяца (июля) составляют  $18-24^{\circ}\text{C}$ . До 75–80 % годовой нормы осадков выпадает в летний период.

Исследования проводились в трех районах: Илькинском, Итанцинском, Орхонском (рис. 1). Илькинский район расположен в днище Брянской котловины на правом берегу р. Илька между селами Илька и Новоильинск в Заиграевском районе Республики Бурятия. Неоплейстоценовыми и голоценовыми песками, супесями, суглинками, галечниками сложены поймы и надпойменные террасы, нижние части склонов. Рельеф аккумулятивный в долине реки, эрозионно-аккумулятивный в нижней части склонов. Выделяются участки низкой (до 1.5 м) и высокой (до 2.5 м) поймы, первой надпойменной террасы высотой 3–5 м. На террасе отмечаются эоловые гряды и котловины выдувания.

Климат резко континентальный, среднегодовая температура воздуха в пос. Заиграево  $-2.5^{\circ}\text{C}$ . Самый холодный месяц – январь ( $-25^{\circ}\text{C}$ ), теплый – июль ( $18^{\circ}\text{C}$ ). Средняя многолетняя годовая сумма осадков 218–241 мм. Зимой (ноябрь–март)



Рис. 1. Схема бассейна р. Селенги.

Изученные разрезы отложений: 1 – высокая пойма р. Илька; 2 – высокая пойма р. Итанца; 3 – низкая пойма р. Орхон.

выпадает 31 мм осадков (11 % годовой нормы). Средняя мощность снежного покрова 15–20 см. Многолетнемерзлые породы имеют островное (мощность 0–50 м) и редкоостровное (мощность 0–15 м) распространение и среднегодовые температуры 0...–2 °С [Основы..., 1998; Национальный атлас..., 2007]. На заболоченных участках пойм встречается мелкобугристый криогенный микро-рельеф. Высота бугров (туфуров) не превышает 0.5 м, ширина 1–2 м. Типы сезонного оттаивания и промерзания пород по среднегодовой температуре пород – переходный и полупереходный (+2...–2 °С), по амплитуде колебаний температур на поверхности – резко континентальный [Достовалов, Кудрявцев, 1967]. Глубина сезонного промерзания на пойме для суглинков и глин 2.2 м, для крупнозернистых и гравелистых песков 2.8 м [Основы..., 1998]. Почвы аллювиальные на пойме, серые лесные на террасах. Ландшафты луговые в днище долины, лесостепные и степные на склонах.

Итанцинский район расположен в днище одноименной котловины на правом берегу р. Итанца между селами Засушино и Кома в Прибайкальском районе Республики Бурятия. Отложения пойм, террас и нижних частей склонов представлены позднеплейстоценовыми и голоценовыми песками, супесями, галечниками. Рельеф долины реки аккумулятивный, эрозионно-аккумулятивный в нижних частях склонов. Выделяются участки низкой (0.5–1.5 м), высокой (1.5–2.5 м) поймы, первой – третьей надпойменных террас высотой 4–16 м. Климат резко континентальный, среднегодовая температура воздуха в с. Турунтаево –1 °С. Самый холодный месяц – январь (–25 °С), теплый – июль (+19 °С). Средняя многолетняя годовая сумма осадков 318 мм. Зимой (ноябрь–март) выпадает 61 мм осадков (19 % годовой нормы). Средняя мощность снежного покрова 25–30 см. Многолетнемерзлые породы имеют редкоостровное (мощность 0–15 м) распространение и среднегодовую температуру 0...–1 °С [Основы..., 1998; Национальный атлас..., 2007] и приурочены к заболоченным участкам пойм. Типы сезонного оттаивания и промерзания пород по среднегодовой температуре пород – переходный и полупереходный (+2...–2 °С), по амплитуде колебаний температур на поверхности – резко континентальный. Глубина сезонного промерзания на пойме для суглинков и глин 2 м, для крупнозернистых и гравелистых песков 2.65 м. Почвы аллювиальные на пойме, серые лесные на террасах. Ландшафты луговые в днище долины, лесостепные на склонах южных экспозиций, таежные на склонах гор.

Третий район расположен на предгорной наклонной равнине хр. Хангай в долине р. Орхон в 1.5–2 км севернее автомобильного моста через Орхон в г. Хархорин (Каракорум) в Монголии.

Неоплейстоценовыми и голоценовыми галечниками, песками, супесями сложены поймы и надпойменные террасы. Выделяются низкая пойма (до 2 м), высокая пойма (2–5 м), первая надпойменная терраса (7–10 м). Склоны перекрыты чехлом делювиально-пролювиальных и эоловых отложений. Рельеф аккумулятивный в долине р. Орхон, эрозионно-аккумулятивный и эрозионно-денудационный на склонах. Климат резко континентальный, среднегодовая температура воздуха в Хархорине +1 °С. Самый холодный месяц – январь (–17.8 °С), теплый – июль (17.7 °С). Средняя многолетняя годовая сумма осадков 364 мм. Зимой (ноябрь–март) выпадает 34 мм осадков (9 % годовой нормы). Типы сезонного промерзания пород по среднегодовой температуре пород – полупереходный и длительно устойчивый (1...3 °С), по амплитуде колебаний температур на поверхности – особо резко континентальный. Глубина сезонного промерзания для суглинков и глин 1.5 м, для крупнозернистых и гравелистых песков 2.2 м. Многолетнемерзлые породы отсутствуют [Jambaljav et al., 2016]. Почвы каштановые, ландшафты степные, сухостепные.

В неоплейстоценовых отложениях террас в бассейне р. Селенги фиксируются многочисленные следы проявления криогенных процессов в виде псевдоморфоз по повторно-жильным льдам и криотурбаций [Равский, 1972; Цейтлин, 1979; Константинов, 1994; Рыжов, Голубцов, 2018; Ryzhov, Golubtsov, 2021]. Фазы активизации криогенного растрескивания и пучения связывают с похолоданиями климата [Фотиев, 2005, 2006, 2009; Воробьева, 2010]. На поймах, сложенных голоценовыми отложениями, криогенные деформации встречаются значительно реже, в виде мелких грунтовых жил и криотурбаций [Константинов, 1994; Воробьева, 2010]. В Приольхонье Г.А. Воробьева [2010] выделяет шесть фаз криогенного трещинообразования в голоценовых отложениях и связывает их с этапами похолодания климата. Наиболее глубокие (0.3–1.0 м) и широкие (0.1–0.2 м) грунтовые жилы выявлены на геологических объектах возрастом 2.8–2.6 тыс. календарных лет назад (кал. л.н.). В настоящее время для Северного полушария выделяются глобальные холодные события в позднем голоцене 2.8–2.6, 1.65–1.45 и 0.65–0.45 тыс. кал. л.н. [Wanner et al., 2011].

Цель работы – характеристика нарушений залегания слоев в голоценовых пойменных отложениях в бассейне р. Селенги в условиях сезонного промерзания, их морфологии, возраста.

При проведении полевых исследований основное внимание уделялось стратиграфии и литологии отложений и почв, выявлению и характеристике нарушений залегания слоев пойменных отложений. Определение абсолютного возраста

погребенных почв выполнено в Санкт-Петербургском государственном университете и Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН по углероду гуминовых кислот погребенных почв. Определение остаточной активности углерода выполнено на радиометре QUANTULUS-1220 (Liquid Scintillation Counters). Приблизительное время образования криотурбаций и грунтовых жил определялось на основе интерполяции данных календарного возраста радиуглеродных датировок почв. Обобщены опубликованные данные о мерзлотных деформациях в различных районах Прибайкалья и Забайкалья [Константинов, 1994; Аржанников и др., 2010; Воробьева, 2010; Alexeev et al., 2014].

### ПАЛЕОКРИОГЕННЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ В ПОЗДНЕГОЛОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПОЙМ

#### Высокая пойма р. Илька

В разрезе отложений высокой поймы (2.5 м) на правом берегу р. Илька (рис. 2) выявляются две пачки отложений: верхняя почвенная (глубина 0–45 см) из супесей гумусированных опесчаненных возрастом <3.41 тыс. кал. л.н. и песчаная, состоящая из песков от мелкозернистых до крупнозернистых с включением дресвы и гравия (глубина 50–150 см) возрастом >3.71 тыс. кал. л.н. (см. рис. 2, таблицу). Они разделены слоем (45–50 см) опесчаненной супеси возрастом 3.71–3.41 тыс. кал. л.н. В верхней почвенной пачке на глубинах 27–32 см прослеживаются линзы и наклонные

прослои светло-коричневой супеси с включением песка. Время их аккумуляции 2.8–2.55 тыс. кал. л.н. На глубинах 50–150 см вскрыта погребенная грунтовая жила шириной до 40 см (см. рис. 2). На глубинах 50–70 см ее ширина составляет 20–40 см, ниже она утончается до 1–10 см. Жила характеризуется субвертикальным залеганием слоев песков мелко- и тонкозернистых, трех тонких (1–3 см) вертикальных прослоев супесей и мелкозернистых песков слабогумусированных. Время образования и заполнения грунтовой жилы около 3.8–3.6 тыс. кал. л.н.

На рис. 2, В приведено распределение фракций отложений менее 1 мм по методу Н.А. Качинского. В верхнем слое (0–6 см) современной почвы преобладают фракции мелкого и тонкого (0.25–0.05 мм) песка (44 %), крупной (0.05–0.01 мм) и мелкой (0.005–0.001 мм) пыли (22 и 18 % соответственно). В нижележащих отложениях гумусированной супеси (6–48 см) доли фракций крупного, среднезернистого (1–0.25 мм), мелко- и тонкозернистого (0.25–0.05 мм) песков составляют 57–64 и 29–33 % соответственно, содержание фракции мелкой пыли (0.005–0.001 мм) равно 5–6 %. На глубинах 0.5–0.7 м залегают крупно- и среднезернистые пески. Содержание фракций 1.0–0.25 и 0.25–0.05 мм в них составляет 77–88 и 9–19 % соответственно. Ниже (0.7–0.8 м) на долю крупного и среднезернистого (1.0–0.25 мм), мелко- и тонкозернистого (0.25–0.05 мм) песков приходится 18 и 74 %. Содержание фракции мелкой пыли (0.005–0.001 мм) равно 6 %.

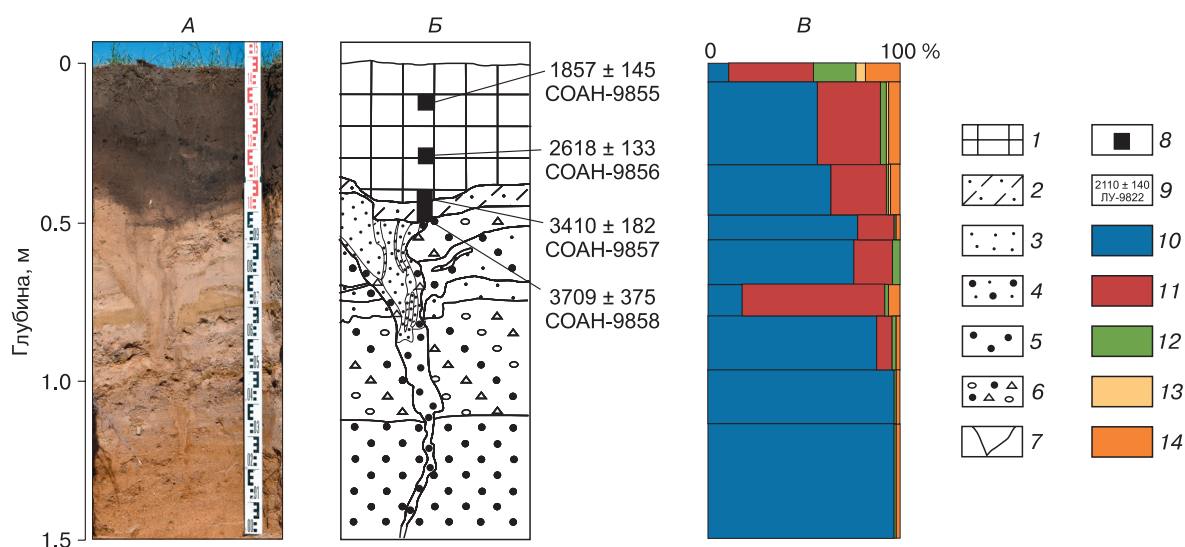


Рис. 2. Разрез (А, Б) и гранулометрический состав (В) отложений высокой поймы р. Илька.

1 – супесь гумусированная, суглинок легкий гумусированный; 2 – супесь, песок мелко- и тонкозернистый; 3 – песок мелкозернистый; 4 – песок разнозернистый; 5 – песок грубозернистый; 6 – песок разнозернистый с дресвой и гравием; 7 – грунтовая жила; 8 – место отбора проб на  $^{14}\text{C}$ ; 9 – календарный возраст (лет назад) и лабораторный номер образца. Гранулометрический состав (по Н.А. Качинскому), мм: 10 – 1.0–0.25, 11 – 0.25–0.05, 12 – 0.05–0.01; 13 – 0.01–0.005; 14 – 0.005–0.001.



## Радиоуглеродный и календарный возраст отложений пойм

Отложения	Глубина, см	Лабораторный номер	<sup>14</sup> C возраст, л.н.	Календарный возраст, л.н.
<i>Высокая пойма (2.5 м) р. Илька (51°41'43.9" с.ш., 108°37'20.3" в.д., абс. высота 629 м)</i>				
Супесь гумусированная опесчаненная	10–15	СОАН-9855	1930 ± 120	1857 ± 145
Супесь гумусированная опесчаненная	27–32	СОАН-9856	2535 ± 105	2618 ± 133
Супесь гумусированная	40–45	СОАН-9857	3200 ± 150	3410 ± 182
Смесь супеси гумусированной опесчаненной и песка мелко- и тонкозернистого	45–50	СОАН-9858	3400 ± 300	3709 ± 375
<i>Высокая пойма (1.5–1.7 м) р. Итанца (52°10'30.1" с.ш., 107°31'49.8" в.д., абс. высота 500 м)</i>				
Подшова суглинка гумусированного оторфованного	115–120	СОАН-9761	3120 ± 65	3319 ± 79
<i>Низкая пойма (1.3–1.5 м) р. Орхон (Монголия) (47°24'06.8" с.ш., 102°51'51.0" в.д., абс. высота 1468 м)</i>				
Супесь гумусированная	13–17	ЛУ-9820	1380 ± 120	1265 ± 112
Супесь гумусированная	59–63	ЛУ-9821	2030 ± 140	1985 ± 164
Суглинок легкий, оглеенный	88–94	ЛУ-9822	2130 ± 110	2085 ± 96

Примечание. Перевод радиоуглеродных дат в даты календарные производился при помощи программы Calib Rev 8.1.0 (калибровочная кривая IntCal20) [Reimer et al., 2020].

В слоях руслового аллювия (глубина 0.8–1.5 м) доля крупного и среднезернистого песка (1.0–0.25 мм) составляет 88–97 %.

**Низкая пойма р. Орхон**

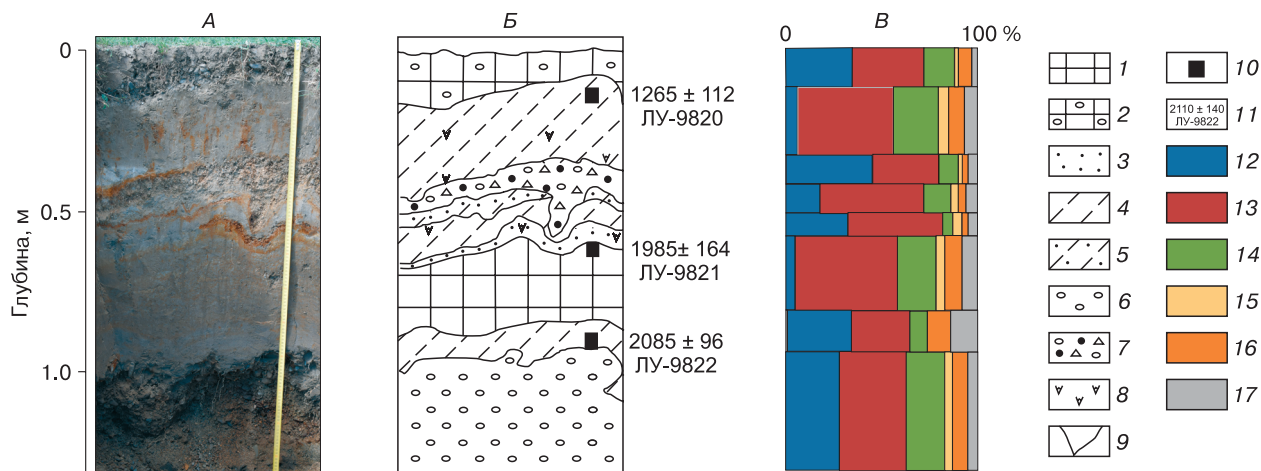
На низкой пойме высотой 1.3–1.5 м на левом берегу р. Орхон у г. Хархорин в разрезе (рис. 3) вскрываются (сверху вниз): супеси гумусированные коричневые с включением мелкой гальки (0–12 см), супеси гумусированные серовато-коричневые, ожелезненные (12–33 см), пески разнозернистые серые, светло-серые с включением дресвы и гравия (33–42 см), супеси светло-серые, песок мелкозернистый, супеси светло-серые белесоватые влажные (42–51 см), пески мелкозернистые желтовато-коричневые влажные (51–58 см), супеси гумусированные темно-коричневые, ожелезненные влажные (58–81 см), суглинки легкие коричневые оглеенные мокрые (81–94 см), гравий и галька мокрые (91–130 см).

На глубинах 39–60 см выявляются криогенные нарушения залегания слоев аллювия – криотурбации. Криотурбации – текстурные формы сложения дисперсных пород, при которых слои в разрезе напоминают завихрения, загибы, кольца и т. д. Возникают под воздействием динамических деформаций, вызванных промерзанием–протаиванием избыточно увлажненных дисперсных пород. Разновидности криотурбаций – карманы, “котлы кипения” и некоторые другие [Геокриологический словарь..., 2003].

В разрезе выявляется клин шириной по верху до 14 см, волнистое, складчатое залегание слоев. Клин выполнен песками разнозернистыми с включением дресвы и гравия (39–54 см), супе-

сями серыми и белесыми (54–56 см) и песками тонкозернистыми желтовато-коричневыми, ожелезненными (56–60 см). В пользу криогенного генезиса свидетельствуют наклонное и субвертикальное залегание слоев, заполняющих клин, волнистое залегание слоев. Ожелезненность и оглеенность гумусированных влажных супесей (55–81 см) и суглинков легких коричневых оглеенных (81–94 см) – результат высокого увлажнения. Время формирования криотурбации 1985–1265 кал. л.н. Криогенная структура перекрыта и заполнена песками разнозернистыми с включением дресвы во время паводка на р. Орхон и поступления на пойму пролювиальных разнозернистых песков с включением дресвы и гравия при размыве отложений уступа первой надпойменной террасы. Пески подстилаются супесью гумусированной темно-коричневой ожелезненной.

На рис. 3, В приведено распределение фракций отложений менее 1 мм по методу Н.А. Качинского. Высокое содержание (>52 %) фракций песка (1.0–0.05 мм) выявляется во всех слоях разреза низкой поймы р. Орхон. Доля пылеватых частиц (0.05–0.001 мм) составляет 10–40 %. Минимальные значения (10–18 %) характерны для глубин 0–0.12, 0.33–0.58 м. На глубинах 0.12–0.33, 0.58–1.30 м их доля равна 24–40 %. Содержание глинистой фракции (<0.001 мм) варьирует от 3.5 до 8 %, на глубинах 0.81–0.94 м достигает 14 %. Горизонт с криотурбациями (глубина 0.39–0.60 м) в разрезе отложений низкой поймы р. Орхон подстилается влажными гумусированными супесями и образован в результате деформаций во время сезонного промерзания–протаивания влажных речных отложений.

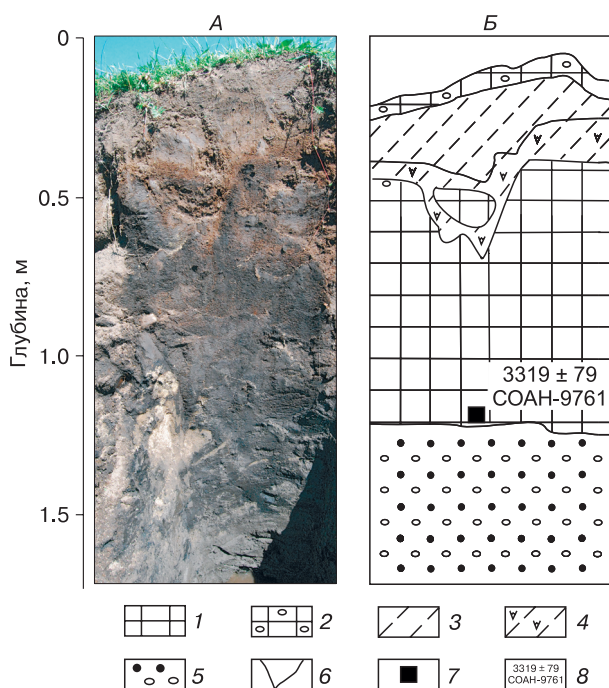


**Рис. 3. Разрез (А, Б) и гранулометрический состав (В) отложений низкой поймы р. Орхон.**

1 – супесь гумусированная; 2 – супесь гумусированная с мелкой галькой; 3 – песок мелкозернистый; 4 – супесь; 5 – супесь светло-серая, песок мелкозернистый; 6 – гравий с галькой; 7 – песок разнотернистый с включением дресвы и гравия; 8 – ожелезнение; 9 – криогенная структура; 10 – место отбора проб на  $^{14}\text{C}$ ; 11 – календарный возраст (лет назад) и лабораторный номер образца. Гранулометрический состав (по Н.А. Качинскому), мм: 12 – 1.0–0.25, 13 – 0.25–0.05, 14 – 0.05–0.01, 15 – 0.01–0.005, 16 – 0.005–0.001, 17 – до 0.001.

### Высокая пойма р. Итанца

В разрезе высокой поймы р. Итанца высотой 1.5–1.7 м вскрыты аллювиальные отложения



**Рис. 4. Разрез отложений низкой поймы р. Итанца.**

1 – суглинок гумусированный оторфованный; 2 – супесь гумусированная с мелкой галькой; 3 – супесь с пятнами ожелезнения; 4 – супесь бурая ожелезненная; 5 – песок средне- и крупнозернистый с включением гравия; 6 – криогенная структура; 7 – место отбора проб на  $^{14}\text{C}$ ; 8 – календарный возраст (лет назад) и лабораторный номер образца.

(рис. 4). Они представлены (сверху вниз): супесями гумусированными темно-коричневыми с мелкой галькой (0–10 см), супесями буровато-коричневыми с многочисленными пятнами ожелезнения (10–33 см), супесями бурыми коричневыми, ожелезненными (33–46 см), суглинками легкими гумусированными, оторфованными, влажными (46–75 см), суглинками средними гумусированными, оторфованными с линзами средне- и мелкозернистого песка, мокрыми (75–120 см), песками средне- и крупнозернистыми с включением гравия русловой фации аллювия, мокрыми (120–170 см).

В интервале глубин 36–65 см залегание слоев нарушено процессами сезонного промерзания и протаивания влажных супесей и суглинков. Выделяется структура W-образной формы шириной по верху до 25 см, высотой до 30 см, имеющая субвертикальное, волнистое и наклонное залегание слоев отложений, внедрение слоев один в другой. Ниже залегают влажные оторфованные суглинки. Клиновидная структура выполнена преимущественно супесями буровато-коричневыми ожелезненными и перекрыта линзой суглинков легких оторфованных и супесей бурых коричневых ожелезненных. Из подошвы суглинков с глубины 115–120 см получена радиоуглеродная датировка (3319 ± 79) кал. л.н. (см. таблицу).

### ОБСУЖДЕНИЕ

#### РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Низкие зимние температуры воздуха и почвы, увлажнение отложений пойм поверхностными и подземными водами, ожелезнение, оглеение, наличие супесей, легких суглинков обуславливают

сезонное промерзание и протаивание, пучение, криогенное растрескивание. Наиболее активно криогенные процессы проявляются на заболочиваемых участках пойм в долинах рек и котловинах Забайкалья, где формируются полигоны размером 0.5–3.0 м, распространены криогенные формы микрорельефа (туфуры). Их высота не превышает 0.5 м, ширина 1–2 м [Рыжов, Голубцов, 2018].

Промерзание и протаивание увлажненных горных пород супесчаного и суглинистого состава приводят к деформациям отложений пойм. Наблюдаются клиновидные структуры, наклонное, волнистое залегание слоев, связанное с криогенным растрескиванием и пучением. Как правило, слои с криогенными деформациями подстилаются влажными супесями, суглинками, оторфованными суглинками. Криогенные деформации связаны с локальными и региональными изменениями природных условий (резким понижением зимних температур воздуха, глубоким промерзанием влажных четвертичных отложений, похолоданиями климата). Во время весеннего половодья и летних паводков грунтовые жилы и слои с криотурбациями на поймах перекрывались аллювием.

#### Возраст криогенных деформаций

Низкие поймы начали формироваться в позднем голоцене. Возраст гумусовых горизонтов почв и криотурбаций менее 2 тыс. лет. Время аккумуляции отложений высокой поймы рек в бассейне р. Селенги – ранний–поздний голоцен. Выявляется событие резкой смены литологического состава отложений, высоких паводков в 3.8–3.4 тыс. кал. л.н. Возраст криогенных деформаций в отложениях высоких пойм позднеголоценовый (<4.2 тыс. кал. л.н.).

Наиболее ранняя фаза активизации криогенного растрескивания и пучения в позднем голоцене датируется ~4.2–3.4 тыс. кал. л.н. [Аржанников и др., 2010]. Она совпадает с началом позднего голоцена, неогляциала, событием Бонда 3 [Wanner et al., 2011]. В разрезе Мерзлый Яр в Тоджинской котловине в Восточном Саяне на глубинах 1.2–0.5 м по результатам спорово-пыльцевого анализа (сокращение суммы пыльцы пихты до 2–6 %, сосны до 2–9 %, повышение доли пыльцы трав) и индекса годичного прироста погребенной древесины зафиксировано похолодание в диапазоне от (3775 ± 40) до (3205 ± 45) л.н., от (4124 ± 36) до (3418 ± 36) кал. л.н. и криотурбации [Аржанников и др., 2010, с. 218].

Г.А. Воробьева [2010] выделяет похолодание ~3.4 тыс. л.н. (3.7–3.6 тыс. кал. л.н.). Оно привело к образованию мелких грунтовых жил. В это же время в Большой Бадаринской пещере в Приольхонье появляются ледники [Воробьева, 2010, с. 99]. Климат Монголии и Сибири, согласно спорово-пыльцевым данным и биомаркерам температуры и атмосферных осадков, был холодным и

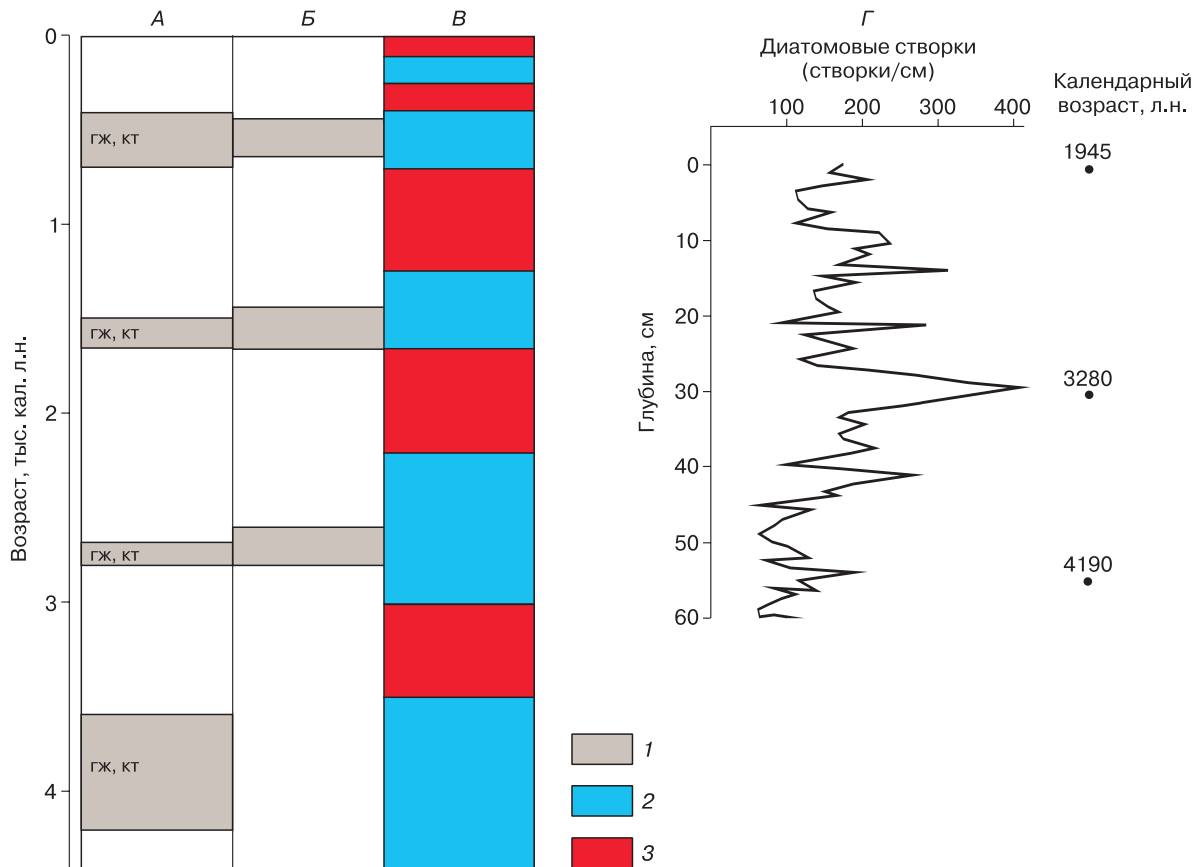
влажным [Dugerdil et al., 2021], по педолитологическим данным [Воробьева, 2010, с. 95] – умеренным и влажным.

Этап морозобойного растрескивания в начале позднего голоцена (3.8–3.6 тыс. кал. л.н.) отражает региональные и локальные природно-климатические условия речных долин юга Восточной Сибири. Он связан с местными погодными условиями (аномальными низкими зимними температурами воздуха, глубоким промерзанием), похолоданием климата. Этап ухудшения климатических условий 3.8–3.6 тыс. кал. л.н. фиксируется сокращением содержания диатомовых водорослей в донных отложениях оз. Байкал [Глобальные... изменения..., 2008]. В разрезе Илька с ним связано образование и погребение грунтовой жилы, в разрезе Илька и Итанца оно вызвано резкими изменениями условий осадконакопления (сменой отложений русловой фации пойменным аллювием).

Инволюции и криогенные смятия зафиксированы в Прибайкалье 2.7 тыс. кал. л.н. [Воробьева, 2010]. Похолодание 2.8–2.6 тыс. кал. л.н. фиксируется в виде мелких грунтовых жил и криотурбаций в Забайкалье [Константинов и др., 2016] и Прибайкалье [Воробьева, 2010]. Это похолодание совпадает с событием Бонда 2, низкой солнечной активностью [Wanner et al., 2011], холодным сухим климатом. В разрезе Илька-1 с этим временным интервалом (глубина 27–32 см) связано накопление линз и наклонных прослоев светло-коричневой супеси с включением песка, свидетельствующих об изменениях условий осадконакопления.

Этап активизации криогенных процессов ~1.5 тыс. кал. л.н. характеризуется морозобойным растрескиванием в Прибайкалье и совпадает по времени с похолоданием и аридизацией климата 1.65–1.45 тыс. кал. л.н. [Воробьева, 2010; Wanner et al., 2011]. В разрезе низкой поймы р. Орхон с этим временным интервалом связан слой криотурбированных отложений (см. рис. 3), представленный супесями светло-серыми и песками оглиненными, перекрытыми разнозернистыми песками с включением дресвы и гравия. Согласно палинологическим данным [Lehmkuhl et al., 2011], в районе г. Хархорин 1.65–1.45 тыс. кал. л.н. реконструированы степные ландшафты с относительно сухим климатом.

Заключительный этап криогенного трещинообразования коррелируется с Малым ледниковым периодом (МЛП, 1312–1860 гг.) в Сибири [Воробьева, 2010]. В течение МЛП выделяют три фазы: холодную и дождливую (1300–1440 гг.), относительно теплую (1440–1600 гг.), холодную (1640–1860 гг.) [Леви, 2014]. Они соответствуют 0.65–0.51, 0.51–0.35 и 0.31–0.10 тыс. кал. л.н. Возможно, с МЛП связана криотурбация в пойменных отложениях р. Итанца (см. рис. 4).



**Рис. 5.** Хронология формирования грунтовых жил и отложений с криотурбациями в бассейне р. Селенги и смежных районах в позднем голоцене.

А – криогенные индикаторы (гж – грунтовые жилы, кт – криотурбации); Б – глобальные холодные события (1) [Wanner et al., 2011]; В – периоды похолоданий (2) и потеплений (3) климата в Байкальском регионе и Северной Монголии [Воробьева, 2010; Леви, 2014; Wang et al., 2004; Klinge, Sauer, 2019; данные автора]; Г – распределение диатомовых водорослей в осадках оз. Байкал (скважина BDP-93-2) [Глобальные... изменения..., 2008].

На рис. 5, А–В представлена обобщенная информация о фазах активизации криогенного растрескивания, продолжительности теплых и холодных периодов в бассейне р. Селенги и смежных районах в позднем голоцене. В этапы похолоданий климата происходило понижение зимних температур воздуха [Tarasov et al., 2007]. На рис. 5, Г приведены данные о распределении диатомовых водорослей в донных осадках оз. Байкал в первой половине позднего голоцена [Глобальные... изменения..., 2008]. Минимальное содержание диатомовых (100–150 створок/см) выявляется 4.1–3.8 и 2.8 тыс. кал. л.н., что соответствует похолоданию климата, низким зимним температурам воздуха, снижению температуры воды, увеличению толщины льда на оз. Байкал.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены и датированы пойменные отложения рек Илька, Итанца, Орхон с позднеголоцено-

выми криогенными деформациями. В разрезах низкой и высокой пойм выявляются нарушения залегания слоев аллювия в условиях сезонного промерзания и протаивания. Криогенные деформации обусловлены местными низкими зимними температурами, глубоким промерзанием, региональными и глобальными природно-климатическими изменениями.

Погребенные грунтовые жилы и криотурбации в аллювии в условиях сезонной, прерывистой, островной и редкоостровной многолетней мерзлоты в речных долинах в бассейне р. Селенги связаны с криогенным растрескиванием, пучением, сезонным промерзанием–протаиванием влажных пойменных отложений. На основе данных гранулометрического анализа установлено, что слои с криотурбациями подстилаются гумусированными влажными супесями и суглинками.

В разрезах отложений пойм выявляются разновозрастные криогенные деформации. В аллю-



вии низких пойм криотурбации образовались в течение последних 2 тысяч лет. Высокие поймы сложены ранне- и позднеголоценовым аллювием. Возраст криогенных деформаций в отложениях высоких пойм менее 4,2 тыс. кал. л.н.

Погребение грунтовых жил и горизонтов с криотурбациями в позднем голоцене происходило во время весеннего половодья и летне-осенних паводков. На низких поймах накапливались различные по гранулометрическому составу речные отложения, отражающие гидрологический режим рек. В разрезах высоких пойм преобладают преимущественно органогенные речные осадки (гумусированные супеси и суглинки), связанные с почвообразованием в условиях преимущественно субаэрального осадконакопления.

Грунтовые жилы и криотурбации в бассейне р. Селенги являются палеоклиматическими индикаторами природно-климатических изменений позднего голоцена Забайкалья, Северной и Центральной Монголии.

**Благодарности.** Авторы глубоко признательны А.Ю. Петрову, Ф.Е. Максимова, И.Ю. Овчинникову за радиоуглеродное датирование отложенных разрезов пойм, рецензентам и редакторам за ценные замечания и предложения по содержанию статьи.

Исследование выполнено в рамках тем государственного задания Института земной коры СО РАН (проект № 121042700218-2), Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (проект АААА-А21-121012190017-5), при частичной финансовой поддержке гранта Правительства РФ, проект № 075-15-2021-631 от 08.06.2021 г. "Байкальская Сибирь в каменном веке: на перекрестке миров".

## Литература

- Аржанников С.Г., Алексеев С.В., Глызин А.В. и др. Динамика развития природной среды в конце плейстоцена и голоцене в западной части Тоджинской впадины (Восточная Тува) // Геология и геофизика, 2010, т. 51, № 2, с. 206–221.
- Воробьева Г.А. Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. Иркутск, Изд-во Иркут. ун-та, 2010, 205 с.
- Геокриологический словарь. М., ГЕОС, 2003, 140 с.
- Геокриология СССР. Т. 4. Средняя Сибирь. М., Недра, 1989, 414 с.
- Глобальные и региональные изменения климата и природной среды позднего кайнозоя Сибири / Под ред. А.П. Деревянко. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2008, 511 с.
- Достовалов Б.Н. Общее мерзлотоведение / Б.Н. Достовалов, В.А. Кудрявцев. М., Изд-во Моск. ун-та, 1967, 404 с.
- Константинов М.В. Каменный век восточного региона Байкальской Азии. Улан-Удэ; Чита, Изд-во БНЦ СО РАН и ЧГИИ, 1994, 180 с.
- Константинов М.В. Таежный Чикой на рубеже камня и бронзы / М.В. Константинов, Л.В. Екимова, С.Б. Верещагин. Чита, ЗабГУ, 2016, 247 с.
- Леви К.Г. Малый ледниковый период. Ч. 1. Космические и глобальные метеорологические аспекты // Изв. ИГУ. Сер. Геоархеология. Этнология. Антропология, 2014, т. 8, с. 2–14.
- Национальный атлас России: в 4 т. Т. 2. Природа, экология. М., Роскартография, 2007, 495 с.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 23. Бурятская АССР, Читинская область. Л., Гидрометеиздат, 1989, 550 с.
- Основы геокриологии. Ч. 3. Региональная и историческая геокриология Мира / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Изд-во Моск. ун-та, 1998, 575 с.
- Равский Э.И. Осадконакопление и климаты Внутренней Азии в антропогене. М., Наука, 1972, 336 с.
- Романовский Н.Н. Формирование полигонално-жилых структур. Новосибирск, Наука, 1977, 215 с.
- Романовский Н.Н. Основы криогенеза литосферы. М., Изд-во Моск. ун-та, 1993, 336 с.
- Рыжов Ю.В., Голубцов В.А. Криогенез и развитие эрозионных форм рельефа в лесостепных ландшафтах Селенгинского среднегорья в позднеледниковые и голоцене // Геоморфология, 2018, № 2, с. 88–97.
- Фотиев С.М. Современные представления об эволюции криогенной области Западной и Восточной Сибири в плейстоцене и голоцене (Сообщение 1) // Криосфера Земли, 2005, т. IX, № 2, с. 3–22.
- Фотиев С.М. Современные представления об эволюции криогенной области Западной и Восточной Сибири в плейстоцене и голоцене (Сообщение 2) // Криосфера Земли, 2006, т. X, № 2, с. 3–26.
- Фотиев С.М. Геокриологические летописи Сибири // Криосфера Земли, 2009, т. XIII, № 3, с. 3–16.
- Цейтлин С.М. Геология палеолита Северной Азии. М., Наука, 1979, 288 с.
- Alexeev S.V., Alexeeva L.P., Kononov A.M. Cryogenic deformation structures in Late Cenozoic unconsolidated sediments of the Tunka depression in the Baikal rift zone // Permafrost and Periglac. Process., 2014, vol. 25, p. 117–126.
- Dugerdil L., Joannin S., Peyron O. et al. Climate reconstructions based on GDGT and pollen surface datasets from Mongolia and Baikal area: calibrations and applicability to extremely cold-dry environments over the Late Holocene // Climate of the Past, 2021, vol. 17, p. 1199–1226.
- Jambaljav Ya., Gansukh Ya., Temuujin X. et al. Permafrost Distribution Map of Mongolia. Ulaanbaatar, GAZRIIN ZURAG LLC, 2016, 1 sh.
- 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.
- Lehmkuhl F., Hilgers A., Fries S. et al. Holocene geomorphological processes and soil development as indicator for environmental change around Karakorum, Upper Orkhon Valley (Central Mongolia) // Catena, 2011, vol. 87, p. 31–44.
- Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon, 2020, vol. 62, No. 4, p. 725–757.
- Ryzhov Yu.V., Golubtsov V.A. Paleocryogenesis and erosional landform development in the Baikal region, Siberia, during the second half of the Late Pleistocene and the Holocene // Archaeol. Res. in Asia, 2021, vol. 26, art. 100277.
- Tarasov P., Bezrukova E., Karabanov E. et al. Vegetation and climate dynamics during the Holocene and Eemian interglacials derived from Lake Baikal pollen records // Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology, 2007, vol. 252, p. 440–457.

Wang W., Feng Z.-D., Lee X. et al. Holocene abrupt climate shifts recorded in Gun Nuur lake core, northern Mongolia // Chinese Sci. Bull., 2004, vol. 49, No. 5, p. 520–526.

Wanner H., Solomina O.N., Grossjens M. et al. Structure and origin of Holocene cold events // Quatern. Sci. Rev., 2011, vol. 30, p. 3109–3123.

## References

Arzhannikov S.G., Alekseev S.V., Glyzin A.V. et al. The Late Pleistocene–Holocene climate history in the Western Tодzha basin (Eastern Tuva). Russian Geology and Geophysics, 2010, vol. 51, No. 2, p. 163–175.

Vorobieva G.A. Pochva kak letopis' prirodnykh sobytii Pribaykal'ya: problemy evolyutsii i klassifikatsii pochv [Soil as a Chronicle of Natural Events in the Baikal Region: Problems of Evolution and Classification of Soils]. Irkutsk, Izd-vo IGU, 2010, 205 p. (in Russian).

Geokriologicheskii slovar' [Geocryological Glossary]. Moscow, GEOS, 2003, 140 p. (in Russian).

Geokriologiya SSSR. T. 4. Srednyaya Sibir' [Geocryology of the USSR. Vol. 4. Central Siberia]. Moscow, Nedra, 1989, 414 p. (in Russian).

Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata i prirodnoi sredy pozdnego kaynozoya Sibiri [Late Cenozoic global and regional environmental and climate changes in Siberia]. A.P. Derevyanko (Ed.). Novosibirsk, Izd-vo SB RAS, 2008, 511 p. (in Russian).

Dostovalov B.N., Kudryavtsev V.A. Obshee merzlotovedenie [General permafrost]. Moscow, Izd-vo MGU, 1967, 404 p. (in Russian).

Konstantinov M.V. Kamennyi vek vostochnogo regiona Baikalskoi Azii [Stone Age of the eastern region of Baikal Asia]. Ulan-Ude; Chita, Izd-vo BSC SB RAS and ChSPI, 1994, 180 p. (in Russian).

Konstantinov M.V., Ekimova L.V., Vereshchagin S.B. Tazhnyi Chikoi na rubezhe kamnya i bronzy [Taiga Chikoy at the turn of stone and bronze]. Chita, Izd-vo TGU, 2016, 247 p. (in Russian).

Levi K.G. Little Ice Age. Part 1. Space and global meteorological aspects. Izvestiya IGU. Seriya Geoarkheologiya. Etnologiya. Antropologiya [Izvestia ISU. Series Geoarcheology. Ethnology. Anthropology], 2014, vol. 8, p. 2–14 (in Russian).

Natsionalnyi Atlas Rossii. Tom 2. Priroda, ekologiya [National Atlas of Russia in four volumes. Vol. 2. Nature, ecology]. Moscow, Roskartografiya, 2007, 495 p. (in Russian).

Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye. Ch. 1–6. Vypusk 23. Buryatskaya ASSR, Chitinskaya oblast' [Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3. Long-term data. Parts 1–6. Issue 23. Buryat ASSR, Chita region]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1989, 550 p. (in Russian).

Osnovy geokriologii. Ch. 3. Regional'naya i istoricheskaya geokriologiya Mira [Fundamentals of geocryology. Part 3. Regional and Historical Geocryology of the World]. E.D. Ershov (Ed.). Moscow, Izd-vo MGU, 1998, 575 p. (in Russian).

Ravskii E.I. Osadkonakoplenie i klimaty Vnutrennei Azii v antropogene [Anthropogenic sedimentation and climates of Inner Asia]. Moscow, Nauka, 1972, 336 p. (in Russian).

Romanovskii N.N. Formirovanie poligonal'no-zhil'nykh struktur [Formation of cryogenic polygonal wedge structures]. Novosibirsk, Nauka, 1977, 215 p. (in Russian).

Romanovskii N.N. Osnovy kriogeneza litosfery [Fundamentals of cryogenesis of the lithosphere]. Moscow, Izd-vo MGU, 1993, 336 p. (in Russian).

Ryzhov Yu.V., Golubtsov V.A. Cryogenesis and development of erosional landforms in the forest-steppe landscapes of the Selenga midlands in the Late Glacial and Holocene. Geomorfologiya, 2018, No. 2, p. 88–97 (in Russian).

Fotiev S.M. Modern conceptions of the evolution of cryogenic area of West and East Siberia in Pleistocene and Golocene (Report 1). Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2005, vol. IX, No. 2, p. 3–22 (in Russian).

Fotiev S.M. Modern conceptions of the evolution of cryogenic area of West and East Siberia in Pleistocene and Golocene (Report 2). Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2006, vol. X, No. 2, p. 3–26 (in Russian).

Fotiev S.M. Siberian geocryological chronicles. Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2009, vol. XIII, No. 3, p. 3–16 (in Russian).

Tseytlin S.M. Geologiya paleolita Severnoi Azii [Geology of the Paleolithic of North Asia]. Moscow, Nauka, 1979, 288 p. (in Russian).

Alexeev S.V., Alexeeva L.P., Kononov A.M. Cryogenic deformation structures in Late Cenozoic unconsolidated sediments of the Tunka depression in the Baikal rift zone. Permafrost and Periglacial Processes, 2014, vol. 25, p. 117–126. – <https://doi.org/10.1002/ppp.1809>

Dugerdil L., Joannin S., Peyron O. et al. Climate reconstructions based on GDGT and pollen surface datasets from Mongolia and Baikal area: calibrations and applicability to extremely cold–dry environments over the Late Holocene. Climate of the Past, 2021, vol. 17, p. 1199–1226. – <https://doi.org/10.5194/cp-17-1199-2021>

Jambaljav Ya., Gansukh Ya., Temuujin X. et al. Permafrost Distribution Map of Mongolia. Ulaanbaatar, Gazriin Zurag LLC, 2016, 1 sh.

Klinge M., 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, vol. 210, p. 26–50. – <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.02.020>

Lehmkuhl F., Hilgers A., Fries S. et al. Holocene geomorphological processes and soil development as indicator for environmental change around Karakorum, Upper Orkhon Valley (Central Mongolia). Catena, 2011, vol. 87, p. 31–44. – <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.05.005>

Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). Radiocarbon, 2020, vol. 62, No. 4, p. 725–757. – <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>

Ryzhov Yu.V., Golubtsov V.A. Paleocryogenesis and erosional landform development in the Baikal region, Siberia, during the second half of the Late Pleistocene and the Holocene. Archaeological Research in Asia, 2021, vol. 26, art. 100277. – <https://doi.org/10.1016/j.ara.2021.100277>

Tarasov P., Bezrukova E., Karabanov E. et al. Vegetation and climate dynamics during the Holocene and Eemian interglacials derived from Lake Baikal pollen records. Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology, 2007, vol. 252, p. 440–457. – <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2007.05.002>

Wang W., Feng Z.-D., Lee X. et al. Holocene abrupt climate shifts recorded in Gun Nuur lake core, northern Mongolia. Chinese Science Bulletin, 2004, vol. 49, No. 5, p. 520–526. – <https://doi.org/10.1360/03wd0264>

Wanner H., Solomina O.N., Grossjens M. et al. Structure and origin of Holocene cold events. Quaternary Science Reviews, 2011, vol. 30, p. 3109–3123. – <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.07.010>

*Поступила в редакцию 30 апреля 2021 г.,  
после доработки – 13 февраля 2022 г.,  
принята к публикации 9 декабря 2022 г.*