



LATE GLACIAL AND HOLOCENE EROSIONAL DISSECTION AND FILL IN THE TEMPORAL (EPHEMERAL) STREAM VALLEY ON THE RIGHT BANK OF THE SELENGA RIVER

Yu.V. Ryzhov ^{1,2,3,4}, V.A. Golubtsov ^{2,3}, M.V. Smirnov ^{1,2,4}

¹ Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 128 Lermontov St, Irkutsk 664033, Russia

² Sochava Institute of Geography, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 1 Ulan-Batorskaya St, Irkutsk 664033, Russia

³ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, 29-4 Staromonetny Ln, Moscow 119017, Russia

⁴ Irkutsk State University, 1 Karl Marx St, Irkutsk 664003, Russia

ABSTRACT. The structure, composition and cut and fill sequence of the Late Glacial and Holocene erosional landforms in the Kuitunka River basin on the right bank of the Selenga River were studied based on a detailed analysis and radiocarbon dating of the soil-sedimentary sequence in the Studeniy Klyuch 2 and Kovalev Pad' sections. A correlation was carried out between seven sections in the intermittent stream valleys in the Kuitunka River basin. There are three episodes of the Late Glacial and Holocene cutting dated back to ~18–17, ~14.7–14.3, and 0.25–0 cal. kyr BP (ka BP). There are distinguished the periods of colluvial, colluvial-deluvial and aeolian-deluvial sediment deposition in the intermittent stream valleys (17.0–14.7 ka BP) and predominantly aeolian-deluvial loess-like sediment accumulation involving pedogenetic stages (14.30–0.25 ka BP). The climatic warming and humidification led to a decrease in sedimentation rate, prevalence of loessification processes in formation of loess-like deposits, and formation of organic-accumulative soil horizons of different thicknesses. The Late Glacial warming, comparable to the Bølling – Allerød Interstadial (14.3–12.9 ka BP) and the Holocene (11.7–0 ka BP), is characterized by a dynamic change in the stages of loess-like deposit accumulation and pedogenesis. The Younger Dryas cooling (12.9–11.7 ka BP) is associated with the activation of aeolian and cryogenic processes and a short phase of pedogenesis. It was revealed that the most frequent changes in sedimentary phases and soil formation occurred during the Late Glacial Interstadial and the Early (11.7–8.2 ka BP) Holocene. The Middle Holocene (8.2–4.2 ka BP) is characterized by a decrease in the rate of accumulation of intermittent-stream valley loess-like bottom deposits and a long-term (several ka) active pedogenetic process. The cross-sections of the Late Holocene (last 4.2 ka BP) draws and valley-bottom gullies exhibit the stages of pedogenesis (4.2–1.0 ka BP), activation of erosion-accumulation processes (1.00–0.25 ka), gully, accelerated erosion, and accumulation (last 0.25 ka BP).

KEYWORDS: intermittent stream valley; cut and fill episode; loess-like deposits; soil formation; sedimentation; Late Glacial period; Western Transbaikalia

FUNDING: This study was funded by the Russian Science Foundation, project № 22–17–00265 (radiocarbon dating, particle size analysis of soils and deposits), as part of the state assignments of the Institute of the Earth's Crust SB RAS (project № 121042700218–2), Sochava Institute of Geography SB RAS (project № AAAA–A21–121012190017–5) (field-works, literature and cartography analysis, manuscript preparation). The work was conducted using equipment and infrastructure of the Centre for Geodynamics and Geochronology at the Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk (grant № 075–15–2021–682).



EDN: VVHRYC

RESEARCH ARTICLE

Correspondence: Yuri V. Ryzhov, ryv@crust.irk.ru

Received: May 8, 2024

Revised: October 3, 2024

Accepted: October 14, 2024

FOR CITATION: Ryzhov Yu.V., Golubtsov V.A., Smirnov M.V., 2024. Late Glacial and Holocene Erosional Dissection and Fill in the Temporal (Ephemeral) Stream Valley on the Right Bank of the Selenga River. *Geodynamics & Tectonophysics* 15 (6), 0801. doi:10.5800/GT-2024-15-6-0801

ЭРОЗИОННОЕ РАСЧЛЕНЕНИЕ И ЗАПОЛНЕНИЕ ДОЛИН ВРЕМЕННЫХ ВОДОТОКОВ НА ПРАВОБЕРЕЖЬЕ р. СЕЛЕНГИ В ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЕ И В ГОЛОЦЕНЕ

Ю.В. Рыжов^{1,2,3,4}, В.А. Голубцов^{2,3}, М.В. Смирнов^{1,2,4}

¹ Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

² Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1, Россия

³ Институт географии РАН, 119017, Москва, пер. Старомонетный, 29, стр. 4, Россия

⁴ Иркутский государственный университет, 664003, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1, Россия

АННОТАЦИЯ. Изучено строение, состав, последовательность этапов врезания и заполнения эрозионных форм в бассейне р. Куйтунка на правом берегу р. Селенги в позднеледниковье и в голоцене на основе детального изучения и радиоуглеродного датирования почвенно-седиментационной последовательности в разрезах Студеный ключ 2 и падь Ковалева. Проведена корреляция семи разрезов в долинах временных водотоков бассейна р. Куйтунка. В позднеледниковье и в голоцене выявляются три этапа врезания возрастом ~18–17 (предварительно), ~14.7–14.3, 0.25–0 тыс. л. н. (тыс. л. н.). Выделены периоды заполнения долин временных водотоков пролювиальными, пролювиально-делювиальными и эолово-делювиальными отложениями (~17.0–14.7 тыс. л. н.), аккумуляции преимущественно эолово-делювиальных лёссовидных отложений, разделенных этапами педогенеза (14.30–0.25 тыс. л. н.). При потеплении и увлажнении климата снижались темпы седиментации, в лёссовидных отложениях преобладали процессы почвообразования (облёссования), формировались различные по мощности органо-аккумулятивные части профиля почвы. Для позднеледникового потепления, сопоставимого с интерстадиалом бёллинг – аллеред (~14.3–12.9 тыс. л. н.), и голоцена (11.7–0 тыс. л. н.) характерна динамичная смена этапов аккумуляции лёссовидных отложений и педогенеза. С похолоданием позднего дриаса (12.9–11.7 тыс. л. н.) связана активизация эоловых и криогенных процессов и короткая фаза педогенеза. Выявлено, что наиболее часто смены фаз седиментации и почвообразования происходили в течение позднеледникового интерстадиала бёллинг – аллеред и раннего (11.7–8.2 тыс. л. н.) голоцена. В среднем голоцене (8.2–4.2 тыс. л. н.) отмечается снижение темпов аккумуляции лёссовидных отложений в днищах временных водотоков, продолжительные периоды (несколько тысяч лет) активного педогенеза. В позднем голоцене (последние 4.2 тыс. л. н.) в разрезах падей, балок, донных оврагов выявляются этапы педогенеза (4.2–1.0 тыс. л. н.), активизации эрозионно-аккумулятивных процессов (1.00–0.25 тыс. л. н.), оврагообразования, ускоренной эрозии и аккумуляции (последние 0.25 тыс. л.).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: долина временного водотока; этап врезания и заполнения; лёссовидные отложения; почвообразование; осадконакопление; позднеледниковое время; Западное Забайкалье

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 22-17-00265 (радиоуглеродное датирование, анализ гранулометрического состава почв и отложений), в рамках тем государственных заданий Института земной коры СО РАН (проект № 121042700218-2), Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (проект № АААА-А21-121012190017-5) (полевые работы, анализ литературных и картографических материалов, подготовка рукописи). Используемое в работе научное оборудование установлено в ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН (грант № 075-15-2021-682).

1. ВВЕДЕНИЕ

Развитие эрозионно-аккумулятивных процессов связано с ландшафтно-климатическими изменениями, колебаниями базисов эрозии, направленностью тектонических движений. Активное проявление экзогенных процессов приводит к сносу, транзиту и аккумуляции отложений различного генезиса (делювиальные, обвально-осыпные, эоловые и др.) на склонах и в днищах эрозионных форм рельефа. При снижении темпов рельефообразующих процессов формируются почвы. В разрезах отложений фиксируются этапы врезания и заполнения падей, балок, оврагов разной продолжительности [Panin et al., 2011, 2017; Sidorchuk et al., 2014; Ryzhov et al., 2015; Golubtsov et al., 2017]. В долинах временных водотоков Забайкалья современными донными оврагами вскрыта толща четвертичных

отложений мощностью до 30 м. Наиболее густая сеть современных эрозионных форм приурочена к районам распространения лёссов и лёссовидных отложений [Ryzhov, 2015]. Для Западного Забайкалья характерно островное и прерывистое распространение лёссовых пород изменчивой мощности [Sergeev et al., 1986], что обуславливается горно-котловинным рельефом территории [Ravsky, 1972]. Исследуемый регион относится к умеренной перигляциально-лёссовой зоне Азии [Trofimov, 2001]. Балки, пади, лощины правобережья р. Селенги выполнены плейстоценовыми и голоценовыми лёссовидными отложениями с прослоями разнозернистых песков, дресвы, щебня [Bazarov, 1968].

Более века назад отмечен песчаный состав лёссовидных отложений Западного Забайкалья, их залегание на разных элементах рельефа [Obruchev, 1914].

Э.И. Равский отмечал, что чаще всего лёссовидные отложения образуют плащи на пологих склонах либо выполняют ложбины древних оврагов [Ravsky, 1972, с. 134]. Генезис отложений он считал пролювиальным, делювиально-солифлюкционным или овражным делювиально-аллювиальным, не исключая эоловый и аллювиальный. Д.Б. Базаров лёссы и лёссовидные отложения разделял на эоловые и полигенетические [Bazarov, 1968]. Эоловые лёссовидные образования широко развиты на водоразделах и склонах хребтов и имеют мощность 2–3 м [Bazarov, 1968]. Полигенетические лёссовидные образования (10–15 м) накапливались одновременно с эоловыми на нижних частях склонов речных долин, террасах, в ложинах, падах, оврагах [Bazarov, 1968]. Они представляют собой чередование слоев лёссовидных супесей и легких суглинков с прослоями песка, дресвы, щебня. Генезис этих отложений – делювиальный, эолово-делювиальный, эолово-аллювиальный, пролювиально-аллювиальный. Они включают одну или несколько погребенных почв. В.Н. Олюнин выделяет лёссовидные отложения (забайкальский лёсс) [Olyunin, 1978]. Для них характерно отсутствие слоистости или трудноразличимая тонкая параллельная слоистость, падающая согласно склону. Лёссовидные отложения сортированы или не сортированы, плохо насыщены песком, зерна которого часто не окатаны, образуют отвесные обрывы и столбчатые отдельности [Olyunin, 1978, с. 122]. Их мощность достигает одного – двух десятков метров. В конце XX в. составлена карта распространения лёссовидных отложений в Сибири, на которой в Забайкалье показаны маломощные поля лёссовидных и покровных глинистых пород островного и прерывистого распространения [Sergeev et al., 1986, рис. 1]. Изучены состав, структура и свойства позднечетвертичных лёссовидных отложений и почв разрезов Западного Забайкалья [Ryashchenko et al., 2014; Matasova et al., 2023].

Нами были изучены и датированы разрезы позднеледниковых и голоценовых лёссовидных отложений и погребенных почв пологих склонов, современных и погребенных эрозионных форм в бассейне р. Куйтунка [Ryzhov et al., 2015; Golubtsov et al., 2017]. В центральной части Селенгинского среднегорья были выделены периоды активизации экзогенных процессов и осадконакопления и этапы интенсивного почвообразования на протяжении последних 15 тыс. лет [Ryzhov et al., 2016; Golubtsov et al., 2017]. Изучен ряд физико-химических свойств отложений и погребенных почв. В то же время выявлению этапов врезания и заполнения долин временных водотоков, корреляции разрезов, реконструкции палеогеографических условий аккумуляции и почвообразования вследствие природно-климатических и антропогенных изменений уделялось меньше внимания.

Цель работы – выявление этапов врезания, седиментации и почвообразования в долинах временных водотоков на правобережье р. Селенги на основе детального полевого изучения, результатов грануломе-

трического анализа, радиоуглеродного датирования гумусовых горизонтов почв.

2. РАЙОН, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Селенгинское среднегорье является перспективным регионом для изучения этапов эволюции и динамики долин временных водотоков в четвертичный период. Пади, балки, ложины выполнены песчаными и лёссовидными отложениями. Последние широко распространены на правобережье р. Селенги [Bazarov, 1968; State Geological Map ..., 2001b]. Мощность лёссовидных отложений увеличивается от первых метров в верхней части склонов до первых десятков метров в днищах балок, падей [State Geological Map..., 2000]. В условиях расчлененного рельефа, активной хозяйственной деятельности активно протекают современные эрозионно-аккумулятивные процессы, широко распространены донные и склоновые овраги [Reimkhe, 1986; Ryzhov, 2015]. Современные эрозионные формы прорезают всю толщу лёссовидных супесей и суглинков на глубину до 20 м [Ryzhov, 2015], являются объектами исследований динамики современных эрозионно-аккумулятивных процессов [Bazhenova et al., 1997, 2023; Ryzhov, 2015; Vanmaercke et al., 2016].

Территория исследования расположена в центральной части Селенгинского среднегорья в бассейне р. Куйтунка (правый приток р. Селенги) (рис. 1). Площадь водосбора 1140 км², длина водотока 65 км, средний уклон русла реки 1.26°, глубина эрозионного вреза 110–360 м [Reimkhe, 1986]. В геологическом строении принимают участие преимущественно вулканогенные и интрузивные горные породы верхнепермского возраста, верхнеплиоценовые делювиально-пролювиальные красноцветные глины, суглинки с щебнем и дресвой мощностью до 10 м толгойской свиты, среднеплейстоценовые озерно-аллювиальные разнотипные пески кривоярской свиты мощностью до 50 м [Bazarov, 1968]. Они перекрываются эолово-делювиальными и эолово-делювиально-пролювиальными отложениями среднего и верхнего плейстоцена и представлены лёссовидными супесями и суглинками с прослоями дресвы и щебня. К верхнеплейстоценовым и голоценовым отложениям относятся аллювиальные, аллювиально-пролювиальные отложения I и II надпойменных террас, высотой 6–8 и 4–6 м, русел постоянных и временных водотоков, эолово-делювиальные, эолово-делювиально-пролювиальные лёссовидные супеси и легкие суглинки мощностью 2–17 м [Bazarov, 1968].

Рельеф бассейна крутых склонов – эрозионно-денудационный, пологих и покатых – эрозионно-аккумулятивный, днищ речных долин – аккумулятивный (рис. 1). Карта составлена на основе [Methodological Guidelines..., 2022], геоморфологической схемы [State Geological Map..., 2001a], топографических карт масштаба 1:100000–1:200000. Эрозионно-денудационный рельеф выделен на участках распространения склонов

крутизной $>15^\circ$, созданных эрозионными и гравитационно-склоновыми процессами с маломощным чехлом четвертичных отложений и выходов коренных горных пород. Эрозионно-аккумулятивный рельеф развит на водоразделах, переработанных эоловыми процессами, склонах речных долин крутизной $<15^\circ$, на делювиально-пролювиальных шлейфах, в долинах временных водотоков с мощным (до 30 м) чехлом лёссовидных эоловых и делювиально-пролювиальных отложений. Аккумулятивный рельеф выделен в долинах рек и включает русла, поймы и террасы.

Густота эрозионного расчленения для всего бассейна – 2.76 км/км^2 , балками и ложбинами – 1.77 км/км^2 , оврагами – 0.89 км/км^2 [Reimkhe, 1986]. Климат резко континентальный, среднегодовая температура воздуха -2.9°C . Средние значения температуры января -26.9°C , июля $+18.2^\circ\text{C}$, средняя годовая сумма осадков 369 мм [Guidebook..., 1968; Kovel, 1989]. Бассейн расположен в южной геокриологической зоне с редко-островным (мощность 0–15 м), островным (мощность 0–50 м) распространением многолетнемерзлых пород

с температурой $0...-2^\circ\text{C}$ [Ershov, 1998]. На склонах южной экспозиции преобладают горные сухие степи и лесостепи. На противоположном склоне распространены горные лесостепи и степи с разреженными сосновыми лесами. По падиям, лощинам участки луговых степей и сухие крупнотравяные настоящие степи чередуются с сосновыми борами [Reimkhe, 1986]. В настоящее время центральная часть бассейна занята пашнями и залежами. Водосбор р. Куйтунка характеризуется активным развитием современных эрозионно-аккумулятивных процессов [Reimkhe, 1986; Bazhenova et al., 1997; Tarmaev et al., 2004; Ryzhov, 2015].

Полевые исследования на разрезах проводились в 2014 и 2020 гг. Они включали географическую и геоморфологическую привязку, зачистку обнажений, детальное послойное описание, выявление особенностей осадконакопления. При проведении полевых исследований основное внимание уделялось стратиграфическому и морфогенетическому анализу почв и отложений, фиксировались изменения в залегании слоев и криогенные деформации. Отбирались пробы почв на

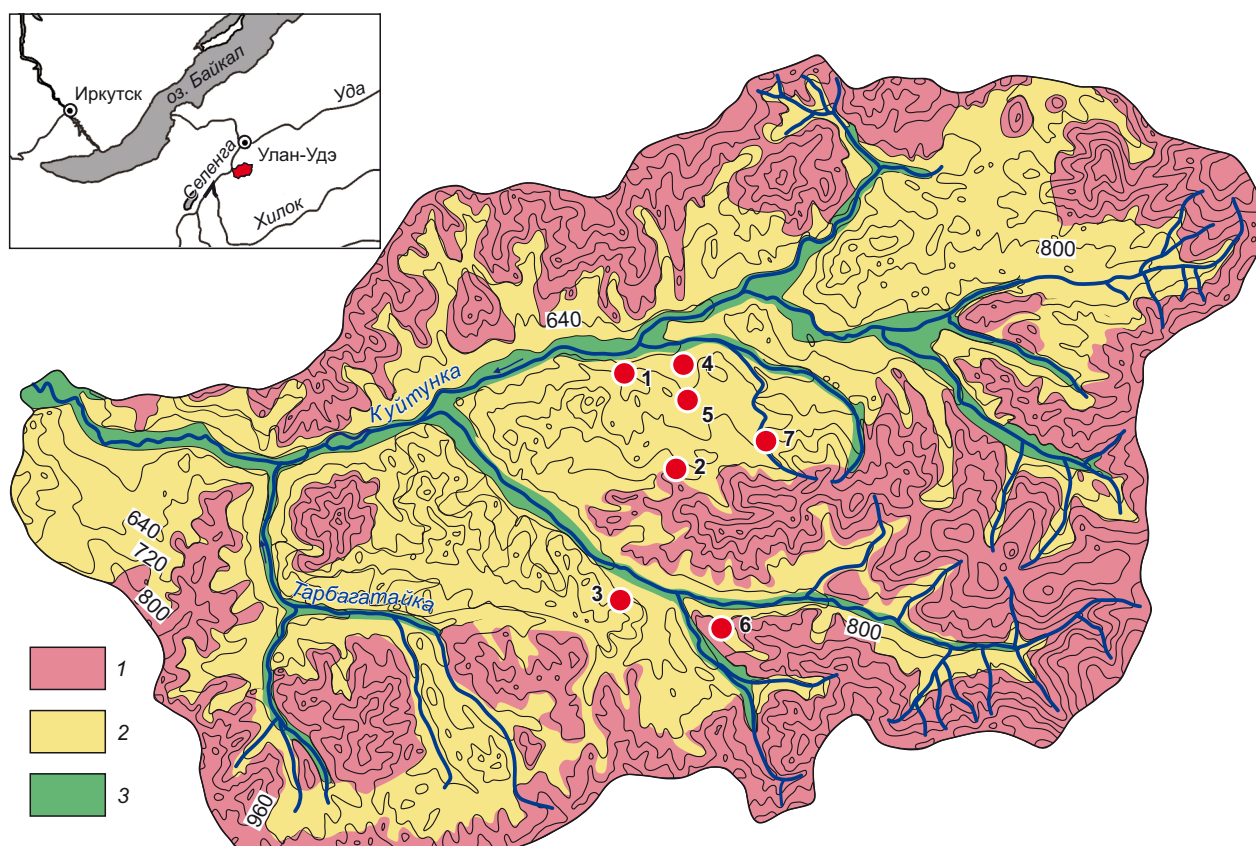


Рис. 1. Типы рельефа и участки детальных исследований лёссовидных отложений в бассейне р. Куйтунка.

Типы рельефа: 1 – эрозионно-денудационный; 2 – эрозионно-аккумулятивный на лёссах и лёссовидных отложениях; 3 – аккумулятивный. Красными кружками показаны разрезы отложений: 1 – Надеино, 2 – Нижняя Буланка [Ryzhov et al., 2015], 3 – Большой Куналей, 4 – Студеный ключ 1 [Golubtsov et al., 2017], 5 – Студеный ключ 2; 6 – падь Ковалева (данная работа), 7 – Куйтун [Ryzhov et al., 2015].

Fig. 1. Types of relief and areas of detailed loess-like deposits studies in the Kuitunka River basin.

Relief types: 1 – erosional-denudational; 2 – erosional-accumulative on loess and loess-like deposits; 3 – accumulative. Red circles show sections of deposits: 1 – Nadeino, 2 – Nizhnyaya Bulanka [Ryzhov et al., 2015], 3 – Bolshoi Kunalei, 4 – Studeniy Klyuch 1 [Golubtsov et al., 2017], 5 – Studeniy Klyuch 2, 6 – Kovalev Pad' (referred to herein), 7 – Kuitun [Ryzhov et al., 2015].

гранулометрический состав и радиоуглеродное датирование. Использовались топографические карты масштаба 1:100000–1:200000, геологические карты масштаба 1:200000 второго поколения [State Geological Map..., 2001a, 2001b], космические снимки открытого доступа Google Earth Pro 2000–2022 гг.

Определение дисперсности частиц проводили на лазерном дифракционном анализаторе "ANALYSETTE 22" (модель NanoТес, компания Fritsch, Германия), использующем физический принцип дифракции электромагнитных волн. Для измерения размера частиц навеска образца массой 2–15 г помещается на путь лазерного луча непосредственно в ванночку диспергирования. Далее, при попадании частицы на пучок лазера происходит частичное отклонение лазерного излучения; за пробой возникает характерное кольцеобразное распределение интенсивности, которое измеряется специально изготовленным детектором. Далее программное обеспечение MaScontrol преобразует полученные результаты и отображает их в виде кумулятивной кривой и столбчатой диаграммы распределения. Диспергирование образцов в водной среде осуществлялось с помощью ультразвуковой обработки. Рассчитывался средний и медианный диаметр зерна в диапазоне 2–0.00008 мм (2000–0.08 мкм). Для удобства результаты измерений были объединены в девять фракций (2–1, 1.0–0.5, 0.50–0.25, 0.25–0.10, 0.10–0.05, 0.05–0.01, 0.010–0.005, 0.005–0.001, <0.001 мм),

согласно [Grounds..., 2020], представленных в объемных процентах по каждому образцу.

Палинологические исследования разреза Надеино выполнены в Институте земной коры СО РАН (г. Иркутск) по стандартной методике [Berglund, Ralska-Jasiewiczowa, 1986]. Определение абсолютного возраста погребенных почв выполнено в лаборатории «Геоморфологические и палеогеографические исследования полярных регионов и Мирового океана» Санкт-Петербургского государственного университета сцинтилляционным методом по углероду гуминовых кислот.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Разрез Студеный ключ 2

Разрез Студеный ключ 2 заложен на правом борту современного донного оврага и вскрывает почвенно-седиментационную последовательность отложенной заполнения пади (рис. 2). В табл. 1 приведены данные о координатах и возрасте гумусовых горизонтов почв.

Сверху вниз вскрываются (рис. 3):

1. Супесь гумусированная, темно-серая (гумусовый горизонт современной почвы) (0–81 см), возраст 7.6–0.0 тыс. л. н.
2. Супесь светло-коричневая пылеватая, белесая, карбонатная с редким включением разнозернистого песка и дресвы, золово-делювиальная (81–105 см), возраст 7.9–7.6 тыс. л. н.



Рис. 2. Разрез Студеный ключ 2 (фото Ю.В. Рыжова).

Fig. 2. Section Studeniy Klyuch 2 (photo by Yu.V. Ryzhov).

Таблица 1. Радиоуглеродный и календарный возраст гумусовых горизонтов почв разрезов в долинах временных водотоков в бассейне р. Куйтунка**Table 1.** Radiocarbon and calendar age of humus horizons of soil of sections in temporal (ephemeral) stream valley in the Kuytunka River basin

Литология, стратиграфическое положение	Глубина, см	Лаб. номер	Радиоуглеродный возраст, р.л.н.	Календарный возраст, л.н.
Разрез Студеный ключ 2, 51°30'33.3" с.ш., 107°37'42.1" в.д., абс. выс. 703 м				
Супесь лёссовидная гумусированная, подошва современной почвы	70–80	ЛУ–8587	6610±70	7500±50*
Супесь лёссовидная гумусированная	104–111	ЛУ–8588	7130±140	7960±140
Супесь лёссовидная гумусированная	128–134	ЛУ–8589	7890±110	8750±150
Супесь лёссовидная гумусированная	196–202	ЛУ–8590	9030±100	10150±160
Супесь лёссовидная гумусированная	240–247	ЛУ–8591	9920±110	11450±190
Супесь лёссовидная гумусированная	319–326	ЛУ–8592	11810±300	13770±410
Супесь лёссовидная гумусированная	338–346	ЛУ–8593	12000±180	13930±260
Разрез падь Ковалева, 51°25'02.6" с.ш., 107°39'14.8" в.д., абс. выс. 715 м				
Супесь лёссовидная гумусированная, подошва современной почвы	26–30	ЛУ–10197	6370±160	7250±170
Супесь лёссовидная гумусированная	102–106	ЛУ–10196	8190±260	10020±330
Супесь лёссовидная гумусированная	138–144	ЛУ–10198	9630±280	11030±430
Супесь лёссовидная гумусированная	197–201	ЛУ–10215	10550±390	12320±390

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

Note. * – radiocarbon dates were converted to calendar dates with Calib Rev 8.1.0 (IntCal20 calibration curve) [Reimer et al., 2020].

3. Супесь гумусированная темно-серая (гумусовый горизонт погребенной почвы) (105–139 см), возраст 8.8–7.9 тыс. л. н. На глубине 114–118 см отмечается прослой супеси светло-коричневой пылеватой, возраст ~8.3–8.1 тыс. л. н.

4. Супесь пылеватая светло-коричневая, белесоватая, слоистая карбонатная с редким включением разнотернистого песка и дресвы, эолово-делювиальная (139–168 см), возраст 9.5–8.8 тыс. л. н.

5. Чередование трех маломощных прослоев (3–9 см) супесей гумусированных темно-серых, серых и супесей светло-коричневых пылеватых (168–193 см), возраст 10.0–9.5 тыс. л. н.

6. Супесь гумусированная серовато-темно-коричневая (погребенный гумусовый горизонт почвы) (193–204 см), возраст 10.3–10 тыс. л. н.

7. Чередование двух маломощных (3–8 см) прослоев супесей светло-коричневых пылеватых и супесей гумусированных серовато-коричневых и (193–226 см), возраст 11–10.3 тыс. л. н.

8. Супесь пылеватая (песок тонкозернистый пылеватый) светло-коричневая эоловая (226–236 см), возраст ~11.3–11 тыс. л. н.

9. Супесь гумусированная темно-коричневая (погребенный гумусовый горизонт) (336–248 см). Кровля слоя перевеяна. Возраст ~11.7–11.3 тыс. л. н.

10. Супесь пылеватая коричневатая-серая, белесая, эоловая (248–297 см), возраст 12.9–11.7 тыс. л. н.

11. Чередование двух горизонтов супесей гумусовых серовато-коричневых и двух прослоев супесей светло-

коричневых пылеватых (297–336 см), возраст 13.9–12.9 тыс. л. н. Отложения имеют волнистое залегание, криотурбированы, залегание слоев нарушено криогенно-склоновыми процессами.

12. Супесь гумусированная темно-серая, серая (гумусовый горизонт погребенной почвы) (336–349 см), возраст ~14.0–13.9 тыс. л. н. Отложения имеют волнистое залегание, криотурбированы.

13. Супесь коричневатая-серая, пылеватая (349–358 см). Окраска неоднородная. Отложения имеют волнистое залегание, криотурбированы. Возраст ~14.1–14.0 тыс. л. н.

14. Суглинок легкий (супесь гумусированная темно-серая до черной) (358–370 см). Отложения имеют волнистое залегание, биотурбированы. Окраска неоднородная. Возраст ~14.5–14.1 тыс. л. н.

15. Супесь желтовато-буровато-светло-коричневая пылеватая, оглеенная с включением разнотернистых песков и дресвы, с многочисленными пятнами ожелезнения (370–408 см). Слой сложен пролювиальными и делювиально-пролювиальными отложениями ~>14.5 тыс. л. н. Отмечается стратиграфическое несогласие, резкое изменение литологического состава и цвета отложений.

Разрез характеризуется разнообразным гранулометрическим составом. В голоценовых отложениях для ряда слоев получены противоречивые данные для фракций 2.0–0.5 мм. Ситовой анализ горизонта слабо развитой погребенной почвы (183–189 см) показал, что доля фракций >1 мм составляет 0.1%, более 0.5 мм – 1 %. На

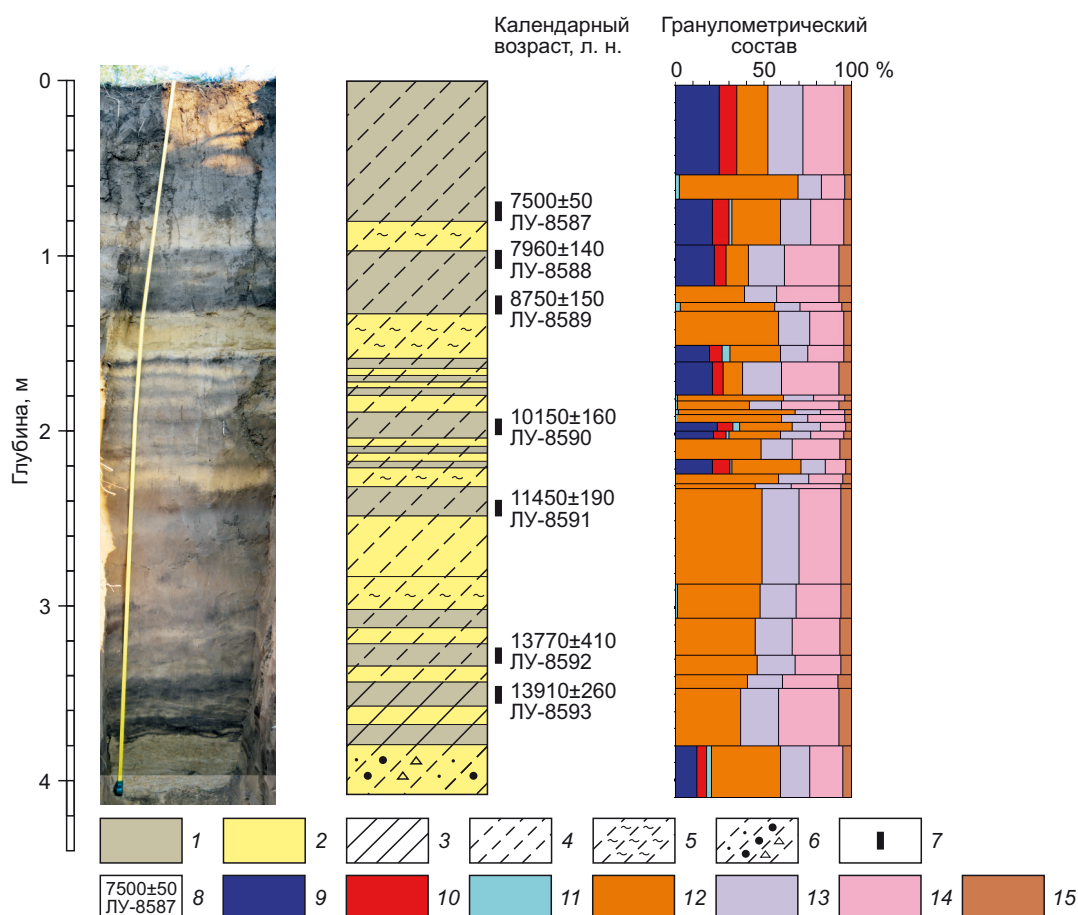


Рис. 3. Строение и гранулометрический состав отложений разреза Студеный ключ 2.

1 – гумусовые горизонты почв; 2 – лёссовидные отложения; 3 – суглинки легкие; 4 – супеси; 5 – супеси пылеватые; 6 – супеси пылеватые с включением разнозернистых песков и дресвы; 7 – интервал отбора проб на радиоуглеродное датирование; 8 – календарный возраст и лабораторный номер. Гранулометрический состав (мм): 9 – 2–1; 10 – 1.0–0.5; 11 – 0.10–0.05; 12 – 0.05–0.01; 13 – 0.010–0.005; 14 – 0.005–0.001; 15 – <0.001.

Fig. 3. Structure and granulometric composition of deposits of section Studenyi Klyuch 2.

1 – humus horizons of soils; 2 – loess-like deposits; 3 – light loams; 4 – sandy loams; 5 – silt sandy loams; 6 – silty sandy loams with inclusion of mixed (heterogeneous) sands and fine gravel; 7 – sampling interval for radiocarbon dating; 8 – calendar age and laboratory number. Granulometric composition (mm): 9 – 2–1; 10 – 1.0–0.5; 11 – 0.10–0.05; 12 – 0.05–0.01; 13 – 0.010–0.005; 14 – 0.005–0.001; 15 – <0.001.

глубине 46–51, 65–105, 139–178, 193–199, 214–223 см получены данные содержания грубо- и крупнозернистых песков и частиц мелкой дресвы (2.0–0.5 мм) в количестве 27–35 %, что не отражает действительный их состав. В то же время медианный размер зерен 0.0070–0.0205 мм (7.0–20.5 мкм), поэтому использование медианного размера частиц представляется авторам более правильным.

В гумусовых горизонтах почв голоценового и позднеледникового возраста, в которых не выявлены частицы крупнее 0.5 мм, отсутствуют фракции 2.0–0.1 мм. Доля тонкозернистых песков (0.10–0.05 мм) не превышает 1.3 %. Содержание в почвах фракций: крупноалевритовой (0.05–0.01 мм) – 37–70 %, среднеалевритовой (0.010–0.005 мм) – 14–22 %, мелкоалевритовой (0.005–0.001 мм) – 14–35 %, глинистых частиц (<0.001 мм) – 3–6 %. В целом, величина алевритовых фракций в почвах составляет 94–96 %. В отложениях в основании

разреза (глубина 370–408 см) выявлены включения грубо-, крупнозернистого (2.0–0.5 мм) 18-процентного и тонкозернистого песка (0.10–0.05 мм) – 2 %. Средний арифметический размер частиц 0.215 мм (215 мкм), медианный – 0.014 мм (14 мкм). Другие слои позднеплейстоценового возраста (глубина 270–380 см) представлены лёссовидными супесями. В них преобладает крупноалевритовая фракция 42–60 %. Содержание среднеалевритовой фракции 14–21 %, мелкоалевритовой – 19–33 %. Доля глинистой фракции 4–7 %. Средний арифметический размер частиц позднеплейстоценовых осадков варьируется от 0.010 до 0.013 мм (10–13 мкм), медианный – 0.007–0.010 мм (7–10 мкм).

3.2. Разрез падь Ковалева

Разрез падь Ковалева заложен на правом борту в нижней части одноименной пади и вскрывает отложения заполнения эрозионной формы, прорезаемые

современным донным оврагом (рис. 4). В табл. 1 приведены данные о радиоуглеродном и календарном возрасте гумусовых горизонтов почв.

В разрезе вскрываются сверху вниз (рис. 5):

1. Супесь гумусированная, темно-коричневая до черной (гумусовый горизонт современной почвы) (0–33 см), возраст 7.4–0 тыс. л. н.
2. Супесь светло-коричневая пылевая (33–74 см), возраст 8.9–7.4 тыс. л. н.
3. Супесь пылевая светло-коричневая (74–83 см) с многочисленными включениями дресвы и грубого песка, возраст 9.3–8.9 тыс. л. н.
4. Чередувание трех горизонтов супесей пылевых и маломощных (3–6 см) гумусовых горизонтов почв (83–176 см). Время формирования 11.7–9.3 тыс. л. н. Почвы имеют возраст 10.2–9.9, 11.1–11.0, ~11.7–11.4 тыс. л. н.
5. Супесь пылевая желтовато-светло-серая, белесая, карбонатная (176–197 см), возраст 12.2–11.7 тыс. л. н.
6. Два маломощных (2–4 см) гумусовых горизонта почвы, разделенных прослоем супеси желтовато-светло-коричневой карбонатной (197–207 см), возраст 12.4–12.2 тыс. л. н.
7. Супесь пылевая желтовато-светло-коричневая с пятнами ожелезнения (207–270 см). Слоистость волнистая. Возраст >12.4 тыс. л. н.
8. Гумусовый горизонт погребенной почвы (270–279 см). Имеет уклон в сторону устья пади.

9. Супесь пылевая желтовато-серая, белесая с редким включением дресвы (279–307 см).

10. Супесь пылевая желтовато-серая, белесая с включением дресвы и щебня (307–338 см).

11. Супесь пылевая желтоватая белесая с редким включением дресвы и многочисленными железистыми и марганцевыми конкрециями (338–355 см).

12. Супесь желтовато-светло-коричневая, белесая (355–368 см).

13. Супесь опесчаненная пылевая с включением дресвы и щебня (368–381 см), подстилаемая корой выветривания гранитов.

Разрез характеризуется достаточно однородным гранулометрическим составом. За исключением слоя пролювия на глубине 74–81 см, сложенного супесью пылевой с многочисленными включениями грубо- и крупнозернистых песков (2.0–0.5 мм), в остальных стратиграфических горизонтах преобладает крупно-алевритовая фракция, 39–69 %, за исключением слоя 32–53 см ниже гумусового горизонта почвы, в котором на долю мелкоалевритовой фракции приходится 60 %, среднеалевритовой – 21 %, крупноалевритовой – 3 %. Содержание среднеалевритовой фракции варьируется от 11 до 22 %, мелкоалевритовой – 11–34 %. Доля глинистой фракции изменяется в диапазоне 2–8 %, достигая максимума (16 %) на глубине 32–53 см. Средний арифметический размер частиц варьируется от 0.003 до 0.024 мм (3–24 мкм), в слое пролювия он составляет 0.43 мм (433 мкм). Медианный размер



Рис. 4. Разрез падь Ковалева (фото В.Н. Черных и Ю.В. Рыжова).

Fig. 4. Section of Kovalev Pad' (photo by V.N. Chernykh and Yu.V. Ryzhov).

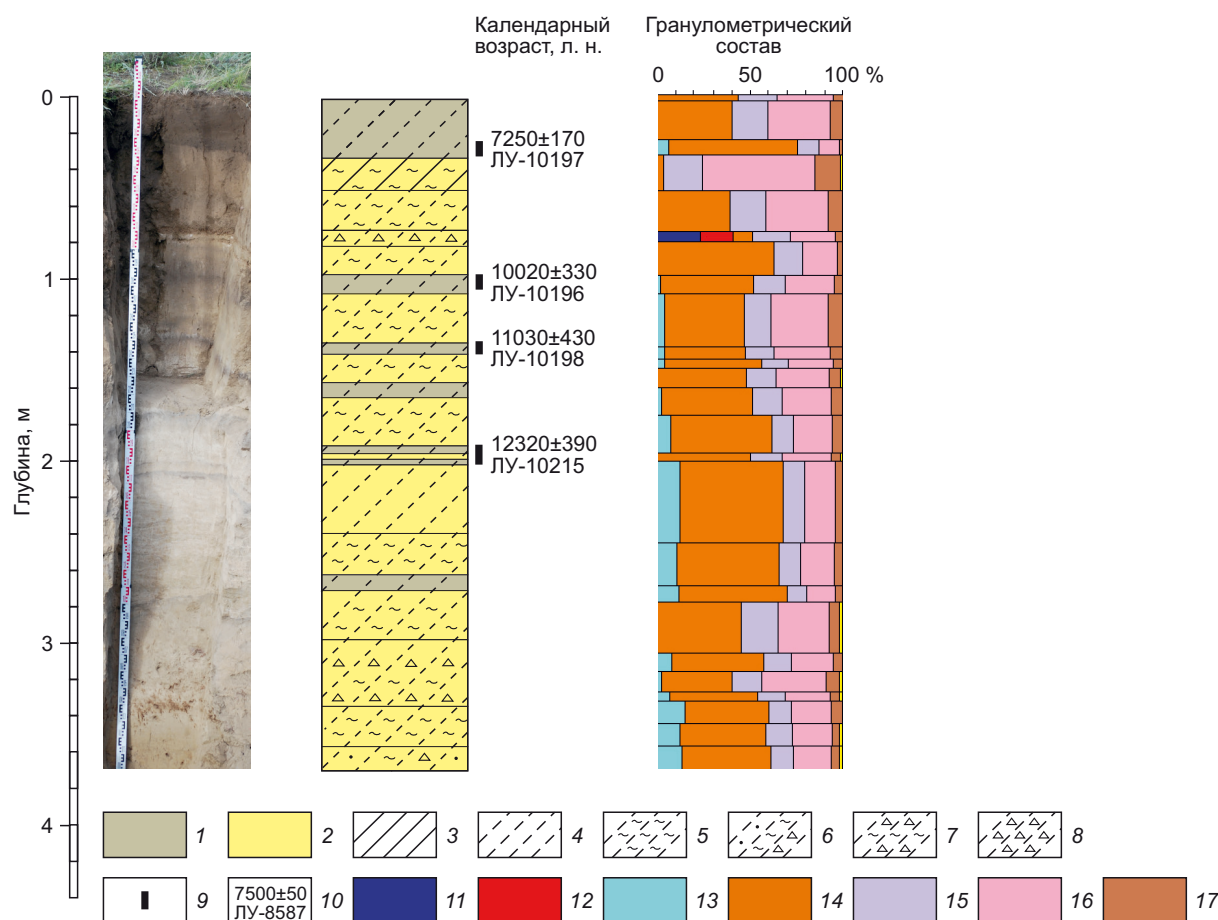


Рис. 5. Строение и гранулометрический состав почв и отложений разреза падь Ковалева.

1 – гумусированные лёссовидные отложения (почвы); 2 – лёссовидные отложения; 3 – легкие суглинки; 4 – супеси; 5 – пылеватые супеси; 6 – супеси пылеватые с включением песков мелко- и тонкозернистых и дресвы; 7 – супеси пылеватые с включением дресвы; 8 – супесь с включением дресвы; 9 – интервал отбора проб на радиоуглеродное датирование; 10 – календарный возраст и лабораторный номер. Гранулометрический состав (мм): 11 – 2–1; 12 – 1.0–0.5; 13 – 0.10–0.05; 14 – 0.05–0.01; 15 – 0.010–0.005; 16 – 0.005–0.001; 17 – <0.001.

Fig. 5. The structure and granulometric composition of soils and sediments in the Kovalev Pad' section.

1 – humus loess-like deposits (soils); 2 – loess-like deposits; 3 – light loams; 4 – sandy loams; 5 – silt sandy loams; 6 – silty sandy loams with the inclusion of fine sands and fine gravel; 7 – silty sandy loams with the inclusion of fine gravel; 8 – sandy loam with the inclusion of fine gravel; 9 – sampling interval for radiocarbon dating; 10 – calendar age and laboratory number. Granulometric composition (mm): 11 – 2–1; 12 – 1.0–0.5; 13 – 0.10–0.05; 14 – 0.05–0.01; 15 – 0.010–0.005; 16 – 0.005–0.001; 17 – <0.001.

зерен в отложениях и почвах разреза 0.003–0.021 мм (3–21 мкм).

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1. Корреляция разрезов

Данные по ряду разрезов эрозионных форм (Надеино, Студеный ключ 1, Нижняя Буланка, Большой Куналей, Куйтун) получены и опубликованы ранее [Ryzhov et al., 2015; Golubtsov et al., 2017]. Проведена корреляция разрезов Студеный ключ 2 и падь Ковалева с опубликованными данными [Golubtsov et al., 2017], информацией по разрезам эрозионных форм Юго-Восточного Забайкалья [Bazhenova et al., 2023]. Отличительные особенности разрезов днищ балок, падей, оврагов в бассейне р. Куйтунка – слоистость, чередование лёссовидных супесей и гумусовых горизонтов почв, различия в гранулометрическом составе, вклю-

чения прослоев и линз разнозернистых песков с дресвой, наличие криогенных деформаций в позднеплейстоценовых, реже – в раннеголоценовых осадках.

В разрезах Студеный ключ 2, падь Ковалева осадки позднего плейстоцена и голоцена представлены чередованием лёссовидных супесей, прослоев разнозернистых песков и дресвы, гумусовых горизонтов почв. Этапы педогенеза соответствовали периодам снижения темпов аккумуляции, потепления и увлажнения климата, плотного растительного покрова в позднеледниковье и голоцене. Для разрезов Студеный ключ 2 и падь Ковалева характерно формирование почв в течение последних ~7.6 тыс. л. н.

На рис. 6 приведена информация о литологическом составе семи изученных разрезов в бассейне р. Куйтунка. В основании разрезов Надеино, Нижняя Буланка, Студеный ключ 1, Студеный ключ 2, падь Ковалева

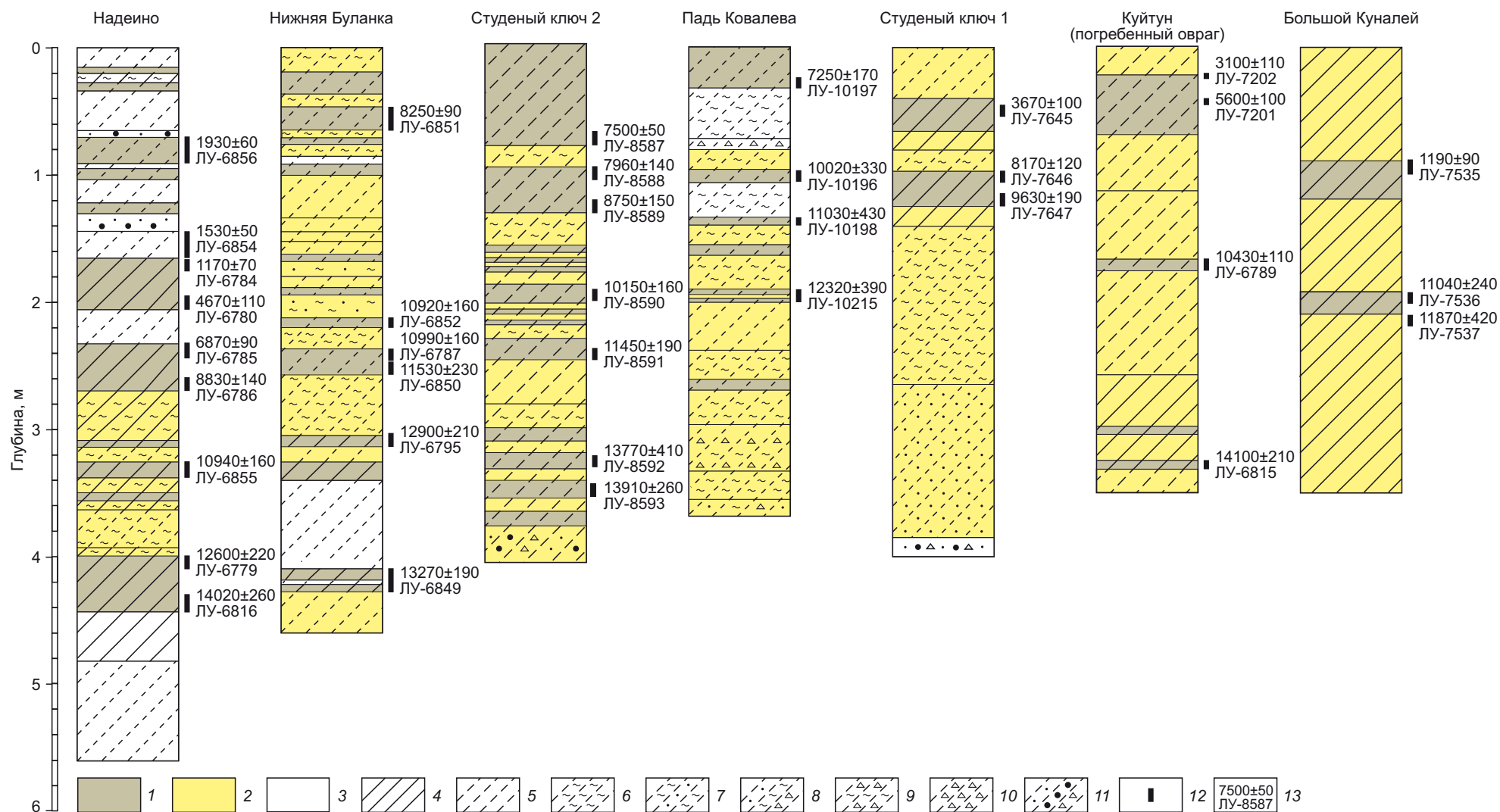


Рис. 6. Корреляция разрезов отложений долин временных водотоков в бассейне р. Куйтунка.

1 – гумусовые горизонты почв; 2 – лёссовидные отложения; 3 – отложения; 4 – легкие суглинки; 5 – супеси; 6 – супеси пылеватые; 7 – супеси пылеватые с включением песков мелко- и тонкозернистых; 8 – супеси пылеватые с включением песков мелко- и тонкозернистых и дресвы; 9 – супеси пылеватые с включением дресвы; 10 – супесь с включением дресвы; 11 – супеси пылеватые с включением средне- и мелкозернистых песков и дресвы; 12 – интервал отбора проб на радиоуглеродное датирование; 13 – календарный возраст и лабораторный номер.

Fig. 6. Correlation of temporal (ephemeral) stream valleys sediment sections in the Kuitunka River basin.

1 – humus horizons of soil; 2 – loess-like deposits; 3 – deposits; 4 – light loams; 5 – sandy loams; 6 – silt sandy loams; 7 – silty sandy loams with the inclusion of medium and fine sands; 8 – silty sandy loams with the inclusion of medium and fine sands and fine gravel; 9 – silty sandy loams with the inclusion of fine gravel; 10 – sandy loam with the inclusion of fine gravel; 11 – silty sandy loam with the inclusion of mixed (heterogeneous) sands and fine gravel; 12 – sampling interval for radiocarbon dating; 13 – calendar age and laboratory number.

залегают пролювиальные и пролювиально-делювиальные отложения, представленные мелко- и тонкозернистыми песками и супесями с включением прослоев и линз крупнозернистого песка и дресвы с пятнами и конкрециями окислов железа и марганца (балочный аллювий). В разрезах Студеный ключ 1, падь Ковалева они залегают на коренных породах. В подошве разрезов Надеино, Нижняя Буланка, Студеный ключ 2 отмечаются криогенные деформации (клинья, криотурбации, грунтовые жилы) [Ryzhov, Golubtsov, 2018]. Залегание слоев наклонное, волнистое, их накопление происходило в условиях постоянного или переменного увлажнения. Возраст кровли пролювиальных и пролювиально-делювиальных отложений >14.7 тыс. л. н.

Выше балочного аллювия с размывом залегает толща осадков, представленных преимущественно золово-делювиальными и делювиальными отложениями и почвами. Гумусовые горизонты почв формировались в наиболее благоприятных климатических условиях, при выполаживании склонов эрозионных форм, зарастании бортов и днища древесно-кустарниковой и травянистой растительностью. Более подробно можно остановиться на характеристике этапов врезания, седиментации и почвообразования в эрозионных формах временных водотоков в позднеледниковье и в голоцене.

4.2. Этапы врезания, осадконакопления и почвообразования в долинах временных водотоков в позднеледниковье и в голоцене

Первая половина позднеледниковья (~18.0–14.3 тыс. л. н.). Стратиграфическое несогласие, смена окраски и состава отложений, залегающих выше балочного аллювия, свидетельствуют о фазе врезания в долинах временных водотоков ~14.7–14.3 тыс. л. н. Доказательством может служить погребенный овраг (разрез Куйтун) глубиной 3.3 м, врезанный в лёссовидные отложения [Ryzhov et al., 2015]. Его днище выстилает погребенная почва возрастом 14.3–14.0 тыс. л. н. Время заложения термоэрозионно-суффозионного оврага – 14.5–14.3 тыс. л. н. [Ryzhov et al., 2015].

Фаза врезания в долинах временных водотоков связана с резким глобальным потеплением и увлажнением климата, увеличением годового поверхностного стока, деградацией многолетней мерзлоты в начале интерстадиала бёллинг – аллерёд [Ryzhov, Golubtsov, 2018]. Согласно геохимическим данным донных осадков оз. Байкал [Chebykin et al., 2002] с ~14.7 тыс. л. н. в течение менее 300 лет произошло двукратное увеличение количества осадков. Резкие изменения климата, ландшафтов, химического состава отложений в этот временной интервал зафиксированы в донных осадках озер Байкал, Котокель [Chebykin et al., 2002; Bezrukova et al., 2011; Kostrova et al., 2014], в ледниковых ядрах Гренландии [Rasmussen et al., 2014]. В этот интервал происходит смена преимущественно степных и тундрово-степных ландшафтов на лесные геосистемы в условиях увлажнения и потепления климата [Bezrukova

et al., 2011]. В овражно-балочных системах Восточно-Европейской равнины выявляется эрозионная фаза [Sidorchuk et al., 2014].

Вместе с тем залегание пролювиальных и пролювиально-делювиальных отложений в подошве разрезов, нередко на коренных породах и коре выветривания, свидетельствует о более раннем этапе врезания и аккумуляции в долинах временных водотоков Забайкалья. Вероятное время эрозионной фазы ~18–17 тыс. л. н. коррелируется с началом позднеледниковья. Эрозионной фазе в долинах временных водотоков в бассейне р. Селенги благоприятствовало понижение базиса эрозии (уровень оз. Байкал) на 40–45 м во время последнего оледенения [Khlystov et al., 2008]. В Байкальском регионе улучшение климата, по данным изменения литологии донных осадков и изотопного состава диатомовых водорослей оз. Котокель, началось ~16.7 тыс. л. н. [Kostrova et al., 2014]. Постепенное увеличение доли древесных растений в донных осадках оз. Котокель при господстве безлесных тундрово-степных ландшафтов выявлено ~18 тыс. л. н. [Bezrukova et al., 2010].

В Прибайкалье свидетельством потепления и увлажнения климата является почва разреза Новый Ангарский мост с радиоуглеродным возрастом 14840 ± 125 л. н. (18000–18260 кал. л. н.) [Vorobyova, 2010]. На юге Восточной Сибири межстадиал в начале позднеледниковья не выделяется. Возможно потому, что частое чередование кратковременных потеплений и похолоданий не приводило к изменению состава флоры [Bezrukova et al., 2010]. На юге Западной Сибири между горизонтами ельцовского и баганского лёссов выделяется суминская почва [Zykina, Zykin, 2012]. Ее кровля датирована 16340–17245 кал. л. н. [Zykina, Zykin, 2012], а интервал ее формирования ~19.6–16.3 тыс. л. н. [Volvakh et al., 2020]. Почва характеризуется увеличением содержания глины и более низким процентом пылеватых фракций относительно вмещающих лёссовых отложений, повышением значений магнитной восприимчивости за счет большого количества ферромагнитных и парамагнитных минералов в результате повышения увлажненности среды [Volvakh et al., 2020, с. 137].

В европейской части России потеплению в начале второй половины МИС 2 соответствует раунисский или плюсский межстадиал [Kholmovoi et al., 2007]. С ним связывают резкое (в 2–3 раза) увеличение годового поверхностного стока, врезание долин постоянных и временных водотоков, формирование больших палеорусел [Sidorchuk et al., 2014; Panin et al., 2017]. На Восточно-Европейской равнине в овражно-балочных системах выделяется эрозионная фаза ~19–17 тыс. л. н. [Sidorchuk et al., 2014]. В бассейне р. Дон глубокий эрозионный врез датирован 14170 л. н. [Kholmovoi et al., 2007].

В пользу фазы врезания временных водотоков в Забайкалье в начале позднеледниковья свидетельствует отсутствие в основании разрезов падей, балок

оловых отложений последнего ледникового максимума (ПЛМ). Согласно OSL датировкам почвенно-лессовых последовательностей в различных регионах Азии [Kang et al., 2015; Song et al., 2021; Volvakh et al., 2022], максимальные скорости аккумуляции пыли на Китайском лёссовом плато были 23–19 тыс. л. н., а за период дегляциации (19–12 тыс. л. н.) – низкие [Kang et al., 2015].

Интерстадиал бёллинг – аллерёд (14.3–12.9 тыс. л. н.). В разрезе Студеный ключ 2 (см. рис. 3) временному интервалу ~14.3–12.9 тыс. л. н. соответствует этап педогенеза. В разрезе Надеино этому интервалу соответствует мощная погребенная почва (63 см) из гумусированных средних и легких суглинков возрастом ~14.3–12.6 тыс. л. н. [Ryzhov et al., 2015, рис. 6]. Распространение мощной ископаемой почвы свидетельствует о потеплении климата, снижении активности экзогенных процессов, формировании плотного растительного покрова. В разрезе Нижняя Буланка (рис. 6) выявлено четыре гумусовых горизонта мощностью 9–14 см, разделенных прослоями лёссовидных супесей. Почва на глубине 304–313 см имеет возраст 12.9–12.8 тыс. л. н., на глубине 326–340 см – ~13.1–13 тыс. л. н. На глубине 409–419 и 422–427 см выявлено два горизонта гумусированных суглинков. Возраст почв >13.2 тыс. л. н. В разрезе Куйтун погребенная почва датирована возрастом 14.1 тыс. л. н. [Ryzhov et al., 2015].

Средние скорости аккумуляции в разрезах варьируются от 0.23 до 2.71 мм/год. Интенсивное осадко-накопление в интервал бёллинг – аллерёд рассчитано для разрезов Нижняя Буланка и Студеный ключ 2. Оно обусловлено накоплением пролювия и эолово-делювиальных отложений в днищах падей, балок, лощин. В фазы снижения темпов седиментации активизировались процессы почвообразования. Слоистость нарушена эпигенетическими криогенными процессами (пучением, растрескиванием). В целом, 14.3–12.9 тыс. л. н. фиксируется заполнение долин временных водотоков, чередование лёссовидных отложений и гумусовых горизонтов почв в условиях существования сезонной и многолетней мерзлоты [Ryzhov, Golubtsov, 2018]. Генезис отложений делювиальный, делювиально-пролювиальный, солифлюкционный. Этап почвообразования возрастом 13–12.7 тыс. л. н. выявлен в аллювиальных отложениях второй надпойменной террасы р. Тарбагатайка [Ryzhov et al., 2021].

По результатам палинологического анализа [Ryzhov et al., 2020] в бассейне р. Куйтунка преобладали полынные степи с примесью маревых, астровых, злаковых. Степные геосистемы доминировали в этом временном интервале в южных районах Забайкалья и Северной Монголии [Dorofeyuk, Tarasov, 1998; Ma et al., 2013]. Климат менялся от умеренно холодного влажного до теплого влажного [Bezrukova et al., 2011; Reshetova et al., 2013]. Причиной увлажнения почв могло служить таяние многолетнемерзлых пород летом [Vorobyova, 2010; Reshetova et al., 2013]. Позднеледниковое

потепление, сопоставимое с интерстадиалом бёллинг – аллерёд, в Западном Забайкалье характеризуется увеличением годового количества осадков, сокращением площади многолетнемерзлых пород [Chebykin et al., 2002; Tarasov et al., 2007, 2009; Bezrukova et al., 2011], активизацией эрозионно-аккумулятивных процессов, термокарста, суффозии, термоэрозии [Ryzhov, Golubtsov, 2018].

Стадиал поздний дриас (12.9–11.7 тыс. л. н.). Во всех разрезах отложения стадиала представлены преимущественно эоловыми и эолово-делювиальными лёссовидными супесями и легкими суглинками, пылеватыми песками мощностью 0.2–0.5 м со следами криогенных деформаций. Средние темпы аккумуляции за поздний дриас составляют 0.34–0.43 мм/год. В разрезе падь Ковалева в осадках позднего дриаса выявлено два маломощных гумусовых горизонта почв возрастом 12.4–12.2 тыс. л. н., свидетельствующих о кратковременном улучшении климатических условий и снижении темпов седиментации во второй половине стадиала.

В бассейне р. Куйтунка и в более южных районах Забайкалья и Северной Монголии в это время преобладали полынные степи на многолетнемерзлых породах, климат был холодным и сухим [Klinge, Sauer, 2019; Ryzhov et al., 2020]. Активно протекали эоловые и криогенные процессы. В Прибайкалье доминировали лесотундровые ландшафты с кустарниковой березой с островами древесной растительности [Bezrukova et al., 2011]. Согласно палеоклиматическим реконструкциям, средние температуры июля могли быть на 2–3 °C ниже современных значений, а средние температуры января – на 8–10 °C. Годовая сумма атмосферных осадков снижалась на ~50–100 мм [Tarasov et al., 2009].

Ранний голоцен (~11.7–8.2 тыс. л. н.). В разрезах осадки представлены лёссовидными супесями и легкими суглинками, разделенными прослоями погребенных почв. Средние скорости аккумуляции составляют 0.34–0.47 мм/год. Возраст древнейших датированных голоценовых почв в разрезах Студеный ключ 2, падь Ковалева, Нижняя Буланка, Надеино, Большой Куналей 11.53–11.45 и 11–10.9 тыс. л. н., и он маркирует начало современного межледникового. В разрезах выделяются погребенные почвы, разделенные лёссовидными отложениями (рис. 6). В интервале 11.7–10.8 тыс. л. н. в бассейне р. Куйтунка (по данным спорово-пыльцевого анализа отложений разреза Надеино) преобладали полынные степные ландшафты, которые к концу периода (10.8–10.5 тыс. л. н.) сменились сосново-березовой лесостепью [Ryzhov et al., 2020]. В Прибайкалье, Западном Забайкалье и в Северной Монголии 11.7–11.3 тыс. л. н. доминировали степные ландшафты в условиях потепления климата и увеличения количества осадков [Bezrukova et al., 2011]. В Центральном Забайкалье реконструирована пустынно-степная растительность [Reshetova et al., 2013]. Формирование почв в самом начале голоцена происходило в условиях улучшения климата, увлажнения грунтов за счет таяния

многолетней мерзлоты, увеличения слоя сезонного протаивания [Vorobyova, 2010; Reshetova et al., 2013]. Почвы возрастом 11.7–11.3 тыс. л. н. датированы в отложениях второй надпойменной террасы р. Тарбагатайка [Ryzhov et al., 2021], в бассейне р. Орхон [Lehmkuhl et al., 2012].

В течение пребореальной осцилляции ~11.4–11.1 тыс. л. н. [Rasmussen et al., 2014; Borisova et al., 2022] в бассейне р. Куйтунка доминировали полярные степи, шло накопление эоловых и эолово-делювиальных лёссовидных карбонатных супесей по данным изучения разрезов Студеный ключ 2, падь Ковалева, Надеино, Нижняя Буланка. В Прибайкалье в этот период реконструирован холодный сухой климат [Tarasov et al., 2009]. Улучшение климатических условий ~11–10.6 тыс. л. н. способствовало расширению ареалов лесной растительности, снижению темпов экзогенных процессов, формированию одного – двух гумусовых горизонтов почв в разрезах отложений в бассейне р. Куйтунка. В целом, пребореальный этап характеризовался потеплением и увлажнением климата, деградацией многолетней мерзлоты, постепенным расширением ареалов древесной растительности, активизацией эрозионно-аккумулятивных процессов в бассейнах временных водотоков, перестройкой верхних звеньев флювиальной сети [Ryzhov et al., 2015; Ryzhov, Golubtsov, 2018], формированием почвенно-седиментационной серии в падах, балках, лощинах.

Во временной интервал 10.5–8.2 в разрезах Студеный ключ 2, падь Ковалева, Надеино, Нижняя Буланка, Куйтун выделяются 1–4 маломощные погребенные почвы возрастом 10.3–9.5 тыс. л. н. (рис. 6). Этапы педогенеза были 10.3–10.0 и 9.8–9.4 тыс. л. н. Почвы разделены слоями эолово-делювиальных лёссовидных карбонатных супесей и легких суглинков. В разрезе Студеный ключ 1 погребенная почва датирована 9.8–8.2 тыс. л. н. (табл. 1). В бассейне р. Куйтунка интервал 10.5–9.4 тыс. л. н. рассматривается как период прерывистого почвообразования, активизации эоловых и делювиальных процессов [Ryzhov et al., 2016]. Согласно данным спорово-пыльцевого анализа разреза Надеино 10.3–8.9 тыс. л. н. доминировали степные ландшафты [Ryzhov et al., 2020]. В Забайкалье и Северной Монголии широкое распространение получили безлесные ландшафты [Tarasov et al., 2002]. В Северной Монголии почва, подстилаемая эоловыми отложениями, датирована 9.7 тыс. л. н. [Feng et al., 2005, 2007; Ma et al., 2013]. В конце раннего голоцена (8.9–8.2 тыс. л. н.) отмечаются фазы педогенеза в разрезах Нижняя Буланка, Студеный ключ 2. В разрезе Надеино 8.9–6.7 тыс. л. н. формировалась почва, в разрезе Студеный ключ 1 ~8.2 тыс. л. н. завершился этап педогенеза, начавшийся 9.6 тыс. л. н. (см. рис. 5; табл. 1). Согласно данным спорово-пыльцевого анализа разреза Надеино, 8.9–8.2 тыс. л. н. преобладали лесные и лесостепные ландшафты с сосной и участием темнохвойных пород [Ryzhov et al., 2020]. В Северной Монголии влажные условия реконструируются 8.7–8.4 тыс. л. н. [Fukumoto et

al., 2014], погребенная почва датирована возрастом 8.7–7.0 тыс. л. н. [Feng et al., 2007]. В Юго-Восточном Забайкалье в эрозионных формах фаза педогенеза выявлена 8.5 тыс. л. н. [Bazhenova et al., 2023].

Средний голоцен (8.2–4.2 тыс. л. н.). Граница среднего голоцена определена 8.236 тыс. л. н. по материалам кернов льда из Гренландии [Walker et al., 2019], зафиксировавших резкое похолодание 8.3–8.1 тыс. л. н. В бассейне р. Куйтунка оно привело к смене фазы почвообразования накоплением эоловых и эолово-делювиальных отложений в разрезах Нижняя Буланка, Студеный ключ 1, Студеный ключ 2. В то же время в разрезе Надеино 8.9–6.7 тыс. л. н. формировалась почва. Согласно данным спорово-пыльцевого анализа разреза Надеино до 7.6 тыс. л. н. доминировали лесные и лесостепные ландшафты [Ryzhov et al., 2020]. В Северной Монголии влажные условия реконструируются 8.0–7.6 тыс. л. н. [Fukumoto et al., 2014], погребенная почва датирована возрастом 8.7–7.0 тыс. л. н. [Feng et al., 2007]. Позднее отмечается рост содержания пыльцы сосны и снижение доли пихты и ели в донных осадках Прибайкалья и Забайкалья вследствие снижения влагообеспеченности и усиления континентальности климата [Bezrukova et al., 2011].

В разрезе падь Ковалева выявлена одна почва, формировавшаяся в течение последних ~7.4 тыс. лет на лёссовидных супесях. В разрезе Студеный ключ 2 этап педогенеза датирован 7.6–0.0 тыс. л. н., в разрезе Нижняя Буланка – 7.6–1.0 тыс. л. н. В разрезе Большой Куналей время формирования почвы ~7.3–1.0 тыс. л. н. [Golubtsov et al., 2017]. В погребенном овраге (разрез Куйтун) почва датирована 6.4–3.1 тыс. л. н. [Ryzhov et al., 2015]. В Юго-Восточном Забайкалье выявлен продолжительный этап педогенеза в среднем и позднем голоцене [Bazhenova et al., 2023]. В целом, этот период голоцена отличался наиболее стабильной ландшафтно-климатической обстановкой, снижением темпов экзогенных процессов, активным педогенезом.

Поздний голоцен (4.2–0.0 тыс. л. н.). Отложения этого периода голоцена представлены преимущественно гумусовыми горизонтами почв и частично лёссовидными супесями и суглинками. В разрезах Нижняя Буланка, Студеный ключ 2, падь Ковалева, Куйтун, Большой Куналей в течение этого времени формировались почвы. В разрезе Надеино этап педогенеза датирован 4.8–1.2 тыс. л. н., в разрезе Студеный ключ 1 – 4–1 тыс. л. н. [Golubtsov et al., 2017]. Отложения позднего голоцена слагают кровлю современной почвы в разрезах Надеино, Нижняя Буланка, Студеный ключ 1, Студеный ключ 2, падь Ковалева, Куйтун. В отложениях эрозионных форм отчетливо выделяются три этапа. Первый охватывает период 4.2–1.0 тыс. л. н. и представлен этапом педогенеза. Второй (1.00–0.25 тыс. л. н.) характеризуется активизацией эрозионно-аккумулятивных процессов в долинах временных водотоков, накоплением лёссовидных супесей и легких суглинков в условиях средневекового теплого периода (X–XIII вв.), похолодания и аридизации климата малого

ледникового периода (XIV–XVIII вв.), усиления антропогенной нагрузки вследствие выпаса скота и ограниченной распашки земель (курумчинская культура XI–XIV вв.) [History..., 2011]. Этот этап выявляется в разрезах Надеино, Куйтун, Большой Куналей, Студеный ключ 1. Отложения представлены супесями пылеватыми, песком мелкозернистым с прослоями среднезернистого, суглинками легкими пылеватыми. Заключительный этап врезания (последние 250 лет), ускоренной эрозии и аккумуляции, активного оврагообразования обусловлен вырубкой леса, распашкой земель, прокладкой инженерных сооружений. В долинах временных водотоков накопилось 0.2–1.0 м делювиальных и пролювиальных отложений. В них отмечаются остатки веток, хвои, углей, инверсии радиоуглеродных датировок [Ryzhov et al., 2015].

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщены данные по семи разрезам отложений падей, балок, оврагов, что позволило расширить и уточнить имеющиеся представления об этапах и фазах врезания, седиментации и почвообразования на исследуемой территории в позднеледниковье и в голоцене.

В бассейне р. Куйтунка на правом берегу р. Селенги в позднеледниковье и в голоцене выявлено три этапа врезания: ~18–17, ~14.7–14.3, 0.25–0.00 тыс. л. н. в долинах временных водотоков в лёссовидные отложения, разделенные этапами аккумуляции пролювиальных и делювиально-пролювиальных отложений (~17.0–14.7 тыс. л. н.) и почвенно-седиментационной последовательностью (14.30–0.25 тыс. л. н.).

Пролувиальные и делювиально-пролювиальные отложения (балочный или ложковый аллювий) залегают в нижней части эрозионных врезов, представлены супесями, песками с включением разнозернистых песков, дресвы и щебня и отражают этап начального заполнения осадками долин временных водотоков. Возраст этих отложений старше ~14.7 тыс. л. н.

Выше в разрезах отложений временных водотоков залегают преимущественно золово-делювиальные лёссовидные супеси, разделенные погребенными почвами возрастом 14.5–0.25 тыс. л. н. Этапы педогенеза датированы 14.3–12.9 и последними 11.7 тыс. л. н. В стадийный (12.9–11.7 тыс. л. н.) период шло заполнение эрозионных форм преимущественно золовыми и золово-делювиальными лёссовидными отложениями.

Для интерстадиала (14.3–12.9 тыс. л. н.) выявлено 1–4 этапа педогенеза, разделенных фазами аккумуляции золово-делювиальных отложений. Нередко залегание слоев нарушено сингенетическими и эпигенетическими криогенными процессами.

В раннем голоцене (11.7–8.2 тыс. л. н.) почвообразование активно протекало 11.7–11.3, 11.0–10.6, 10.3–10.0 и 9.8–9.4, 8.9–8.2 тыс. л. н. в периоды потепления и увлажнения климата. В фазы похолодания и аридизации климата активизировались золовые и делювиальные процессы.

В среднем и позднем голоцене почвы формировались 8.8–8.3 тыс. л. н. Этапом педогенеза возрастом 7.6–1.0 (0.25) тыс. л. н. завершилось заполнение эрозионных форм. В падах, балках за ~17 тыс. л. накопилось 3.5–5.6 м лёссовидных супесей и суглинков с редкими прослоями и включениями разнозернистых песков и дресвы.

В последние 1.00–0.25 тыс. л. н. выявляется этап активизации эрозионно-аккумулятивных процессов в долинах временных водотоков, связанный с колебаниями температуры и увлажнения климата, увеличением антропогенной нагрузки на ландшафт. Примерно 250–200 л. н. начался новый период врезания (оврагообразования) в падах, балках, лощинах, ускоренной эрозии и аккумуляции вследствие вырубки леса, распашки земель, выпаса скота, прокладки инженерных сооружений. В ряде изученных разрезов в течение последних двух столетий накопилось до 1 м делювиальных и делювиально-пролювиальных отложений. Начался новый эрозионно-аккумулятивный цикл развития долин временных водотоков.

Новые материалы о строении, составе, возрасте отложений балок, падей, лощин, оврагов дополняют полученные ранее данные, дают возможность установить время этапов врезания, уточнить продолжительность периодов осадконакопления и почвообразования в позднеледниковье и в голоцене на правом берегу р. Селенги.

В дальнейшем планируется уточнить возраст этапа врезания в долинах временных водотоков Забайкалья в начале позднеледниковья.

6. БЛАГОДАРНОСТИ

Особая благодарность выражается Х.А. Арсланову, Ф.Е. Максимова, В.Н. Черных за их ценную помощь в организации полевых работ, Х.А. Арсланову, А.Ю. Петрову за радиоуглеродное датирование, В.А. Пеллину за помощь в лабораторных работах.

7. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку рукописи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

All authors made an equivalent contribution to this article, read and approved the final manuscript.

8. РАСКРЫТИЕ ИНФОРМАЦИИ / DISCLOSURE

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, связанного с этой рукописью.

The authors declare that they have no conflicts of interest relevant to this manuscript.

9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Bazarov D.B., 1968. Quaternary Deposits and Main Stages of Relief Formation of the Selenga Middle Mountains. Buryat Publishing House, Ulan-Ude, 156 p. (in Russian) [Базаров Д.Б.

Четвертичные отложения и основные этапы развития рельефа Селенгинского среднегорья. Улан-Удэ: Бурятское книжное изд-во, 1968. 156 с.].

Bazhenova O.I., Lyubtsova E.M., Ryzhov Yu.V., Makarov S.A., 1997. Spatio-Temporal Analysis of the Dynamics of Erosional Processes in the South of East Siberia. Nauka, Novosibirsk, 208 p. (in Russian) [Баженова О.И., Любцова Е.М., Рыжов Ю.В., Макаров С.А. Пространственно-временной анализ динамики эрозионных процессов на юге Восточной Сибири. Новосибирск: Наука, 1997. 208 с.].

Bazhenova O.I., Tyumentseva E.M., Cherkashina A.A., Tukhta S.A., 2023. Exogenous Relief Formation in Dauria Steppes. SB RAS Publishing House, Novosibirsk, 181 p. (in Russian) [Баженова О.И., Тюменцева Е.М., Черкашина А.А., Тухта С.А. Экзогенное рельефообразование в степях Даурии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2023. 181 с.]. <https://doi.org/10.53954/9785604859711>.

Berglund B.E., Ralska-Jasiewiczowa M., 1986. Pollen Analysis and Pollen Diagrams. Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology 455, 484–486.

Bezrukova E.V., Tarasov P.E., Kulagina N.V., Abzaeva A.A., Letunova P.P., Kostrova S.S., 2011. Palynological Study of Lake Kotokel' Bottom Sediments (Lake Baikal Region). Russian Geology and Geophysics 52 (4), 458–465. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2011.03.008>.

Bezrukova E.V., Tarasov P.E., Solovieva N., Krivonogov S.K., Riedel F., 2010. Last Glacial-Interglacial Vegetation and Environmental Dynamics in Southern Siberia: Chronology, Forcing and Feedbacks. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 296 (1–2), 185–198. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.07.020>.

Borisova O.K., Naryshkina N.N., Konstantinov E.A., Panin A.V., 2022. Landscape and Climate Changes in the Preboreal in the Northwestern European Russia. Geomorphology 53 (3), 19–28. <https://doi.org/10.31857/S0435428122030051>.

Chebykin E.P., Erdington D.N., Grachev M.A., Zheleznyakova T.O., Vorobyova S.S., Kulikova N.S., Azarova I.N., Khlystov O.M., Goldberg E.L., 2002. Abrupt Increase in Precipitation and Weathering of Soil in East Siberia Coincident with End of the Last Glaciations (15 cal kyr BP). Earth and Planetary Science Letters 200 (1–2), 167–175. [https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(02\)00588-5](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(02)00588-5).

Dorofeyuk N.I., Tarasov P.E., 1998. Vegetation and Lake Levels in Northern Mongolia in the Last 12 500 Years as Indicated by Data of Pollen and Diatom Analyses. Stratigraphy and Geological Correlation 6 (1), 70–83.

Ershov E.D. (Ed.), 1998. Fundamentals of Geocryology. Regional and Historical Geocryology of the Earth. Part 3. MSU Publishing House, Moscow, 575 p. (in Russian) [Основы геокриологии. Региональная и историческая геокриология мира / Ершов Э.Д. М.: Изд-во МГУ, 1998. Ч. 3. 575 с.].

Feng Z.-D., Wang W.G., Guo L.L., Khosbayan P., Narantsetseg T., Jull A., An C.B., Li X.Q., Zhang H.C., Ma Y.Z., 2005. Lacustrine and Eolian Records of Holocene Climate Changes in the Mongolian Plateau. Preliminary Results. Quaternary International 136 (1), 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2004.11.005>.

Feng Z.-D., Zhai X.W., Ma Y.Z., Huang C.Q., Wang W.G., Zhang H.C., Khosbayan P., Narantsetseg T., Liu K.-B., Rutter N.W., 2007. Eolian Environmental Changes in the Northern Mongolian Plateau During the Past ~35,000 Yr. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 245 (3–4), 505–517. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.09.009>.

Fukumoto Yu., Kashima K., Ganzorig U., 2014. The Holocene Environmental Changes in Boreal Fen Peatland of Northern Mongolia Reconstructed from Diatom Assemblages. Quaternary International 348, 66–81. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.05.029>.

Golubtsov V.A., Ryzhov Yu.V., Kobylkin D.V., 2017. Late Glacial and Holocene Soil Formation and Sedimentation in the Selenga Middle Mountains. Publishing House of Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, 139 p. (in Russian) [Голубцов В.А., Рыжов Ю.В., Кобылкин Д.В. Почвообразование и осадконакопление в Селенгинском среднегорье в позднеледниковье и голоцене. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2017. 139 с.].

Grounds. Classification, 2020. GOST 25100-2020. Standartinform, Moscow, 38 p. (in Russian) [Грунты. Классификация. ГОСТ 25100-2020. М.: Стандартинформ, 2020. 38 с.].

Guidebook on Climate of the USSR, 1968. Buryat ASSR and the Chita Region. Humidity, Precipitation, Snow Cover. Iss. 23, Part 4. Gosmeteoizdat, Leningrad, 328 p. (in Russian) [Справочник по климату СССР. Бурятская АССР и Читинская область. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Л.: Гидрометеиздат, 1968. Вып. 23. Ч. 4. 328 с.].

History of Buryatia, 2011. Vol. 1. Ancient and Medieval Times. Buryatia Scientific Center SB RAS, Ulan-Ude, 328 p. (in Russian) [История Бурятии. Т. 1: Древность и средневековье. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2011. 328 с.].

Kang S., Roberts H.M., Wang X., An Z., Wang M., 2015. Mass Accumulation Rate Changes in Chinese Loess During MIS 2, and Asynchrony with Records from Greenland Ice Cores and North Pacific Ocean Sediments During the Last Glacial Maximum. Aeolian Research 19, 251–258. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2015.05.005>.

Khlystov O.M., Khanaev I.V., Grachev M.A., 2008. Evidence of Lowstand of Lake Baikal During the Last Glaciation. Doklady Earth Science 422, 1133–1136. <https://doi.org/10.1134/S1028334X08070301>.

Kholmovoi G.V., Lavrushin Yu.A., Shpul V.G., 2007. Erosion and Alluvial Process in Latest Geologic History on the Example of the River Don Basin. Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology 2, 37–49 (in Russian) [Холмовой Г.В., Лаврушин Ю.А., Шпуль В.Г. Эрозия и аллювиальный процесс в новейшей геологической истории на примере бассейна Дона // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2007. № 2. С. 37–49].

Klinge M., Sauer D., 2019. Spatial Pattern of Late Glacial and Holocene Climatic and Environmental Development in Western Mongolia – A Critical Review and Synthesis. Quaternary Science Reviews 210, 26–50. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2019.02.020>.

Kostrova S.S., Meyer H., Chaplign B., Tarasov P.E., Bezrukova E.V., 2014. The Last Glacial Maximum and Late Glacial Environmental and Climate Dynamics in the Baikal Region Inferred from an Oxygen Isotope Record of Lacustrine Diatom Silica. *Quaternary International* 348, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.07.034>.

Kovel L.V. (Ed.), 1989. Handbook on Climate of the USSR. Series 3. Multiyear Data. Buryat ASSR, the Chita Region. Iss. 23, Parts. 1–6. Gidrometeoizdat, Leningrad, 550 p. (in Russian) [Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Бурятская АССР, Читинская область / Ред. Л.В. Ковель. Л.: Гидрометеоздат, 1989. Вып. 23. Ч. 1–6. 550 с.].

Lehmkuhl F., Hülle D., Knippertz M., 2012. Holocene Geomorphic Processes and Landscape Evolution in the Lower Reaches of the Orkhon River (Northern Mongolia). *Catena* 98, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.06.003>.

Ma Y., Liu K., Feng Z.-D., Meng H., Sang Y., Wang W., Zhang H., 2013. Vegetation Changes and Associated Climate Variations During the Past ~38,000 Years Reconstructed from the Shaamar Eolian-Paleosol Section, Northern Mongolia. *Quaternary International* 311, 25–35. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2013.08.037>.

Matasova G.G., Kazansky A.Yu., Shchetnikov A.A., Filinov I.A., 2023. The Kuytun Valley as an Exogeodynamic Test Site for Practicing the Application of Methodology for Interdisciplinary Research in the Sedimentation Settings of Loess-Like Cover Deposits in the Late Pleistocene Transbaikalia. *Geodynamics & Tectonophysics* 14 (3), 0703 (in Russian) [Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Щетников А.А., Филинов И.А. Куйтунская долина – экзогеодинамический полигон для отработки междисциплинарной методики исследования седиментационных обстановок формирования покровного лессовидного комплекса в позднем плейстоцене Забайкалья // Геодинамика и тектонофизика. 2023. Т. 14. № 3. 0703] <https://doi.org/10.5800/GT-2023-14-3-0703>.

Methodological Guidelines for Compiling and Preparing for Publication of Sheets of the State Geological Map of the Russian Federation at a Scale of 1:200000 (Second Ed.). Version 1.5, 2022. VSEGEI, Saint Petersburg, 198 p. (in Russian) [Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200000 (второго издания). Версия 1.5. СПб.: ВСЕГЕИ, 2022. 198 с.].

Obruchev V.A., 1914. Quicksand of Selenga Dauria and the Need for Its Earliest Possible Understanding. In: *Transactions of the Troitskosavsk-Kyakhta Subdivision of the Priamurye Branch of the Imperial Russian Geographical Society* XV (3), 53–67 (in Russian) [Обручев В.А. Сыпучие пески Селенгинской Даурии и необходимость их скорейшего изучения // Труды Троицкосавско-Кяхтинского отделения Приамурского отдела Императорского Русского географического общества. 1914. Т. XV. Вып. 3. С. 53–67].

Olyunin V.N., 1978. Source of the Renewal of Mountains. Nauka, Moscow, 268 p. (in Russian) [Олюнин В.Н. Происхождение рельефа возрожденных гор. М.: Наука, 1978. 268 с.].

Panin A., Adamiec G., Buylaer J.-P., Matlakhova E., Moska P., Novenko E., 2017. Two Late Pleistocene Climate-Driven Incision/Aggradation Rhythms in the Middle Dnieper River Basin, West-Central Russian Plain. *Quaternary Science Reviews* 166, 266–288. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2016.12.002>.

Panin A.V., Yeremenko E.A., Kovda I.V., 2011. Late Pleistocene Cycle of Erosion Dissection and Infilling of the Drainage Network on the North-Eastern Stavropol'e (Paper I. The Network of Hollows). *Geomorphology* 1, 77–87 (in Russian) [Панин А.В., Еременко Е.А., Ковда И.В. Цикл эрозионного расчленения и выполнения эрозионной сети на северо-востоке Ставрополя в конце плейстоцена (Ст. I. Ложбинная сеть) // Геоморфология. 2011. № 1. С. 77–87]. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2011-1-77-87>.

Rasmussen O., Bigler M., Blockley S.P., Blunier T., Buchardt S.L., Clausen H.B., Cvijanovic I., Dahl-Jensen D. et al., 2014. A Stratigraphic Framework for Abrupt Climatic Changes During the Last Glacial Period Based on Three Synchronized Greenland Ice-Core Records: Refining and Extending the INTIMATE Event Stratigraphy. *Quaternary Science Reviews* 106, 14–28. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.09.007>.

Ravsky E.I., 1972. Antropogenic Sedimentation and Climate of Inner Asia. Nauka, Moscow, 336 p. (in Russian) [Павский Э.И. Осадконакопление и климаты Внутренней Азии в антропогене. М.: Наука, 1972. 336 с.].

Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Ramsey C.B., Butzin M., Cheng H. et al., 2020. The IntCal20 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon* 62 (4), 725–757. <https://doi.org/10.1017/RDC.2020.41>.

Reimkhe V.V., 1986. Erosional Processes of the Forest and Steppe Zones in Transbaikalia (by the Example of the Kuitunka River Basin). Nauka, Novosibirsk, 120 p. (in Russian) [Реймхе В.В. Эрозионные процессы в лесостепных ландшафтах Забайкалья (на примере бассейна р. Куйтунки). Новосибирск: Наука, 1986. 120 с.].

Reshetova S.A., Bezrukova E.V., Panizzo V., Henderson A., Ptitsyn A.B., Daryin A.V., Kalugin I.A., 2013. Vegetation of Central Transbaikalia in the Late Glacial Period and Holocene. *Geography and Natural Resources* 34, 172–178. <https://doi.org/10.1134/S1875372813020108>.

Ryashchenko T.G., Akulova V.V., Ukhova N.N., Shtelmakh S.I., Grin N.N., 2014. Loessial Soils of the Mongolian-Siberian Region. IEC SB RAS, Irkutsk, 241 p. (in Russian) [Рященко Т.Г., Акулова В.В., Ухова Н.Н., Штельмах С.И., Гринь Н.Н. Лесовые грунты Монголо-Сибирского региона. Иркутск: ИЭК СО РАН, 2014. 241 с.].

Ryzhov Yu.V., 2015. Gullying in the South of East Siberia. GEO, Novosibirsk, 178 p. (in Russian) [Рыжов Ю.В. Формирование оврагов на юге Восточной Сибири. Новосибирск: Гео, 2015. 178 с.].

Ryzhov Yu.V., Golubtsov V.A., 2018. Cryogenesis and Erosion Landforms Development in the Selenga Mountainous Forest-Steppe Landscapes (Southeastern Siberia) During the Late Glacial and Holocene. *Geomorphology* 2, 88–97 (in Russian) [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]. <https://doi.org/10.7868/S0435428118020074>.

Ryzhov Yu.V., Golubtsov V.A., Kobylkin D.V., Snytko V.A., 2016. New Data on Sedimentation and Pedogenesis in the Selenga Midland (Western Transbaikalia) During Late Glacial and Holocene. *Doklady Earth Sciences* 467, 376–379. <https://doi.org/10.1134/S1028334X1604005X>.

Ryzhov Yu.V., Golubtsov V.A., Kulagina N.V., Opekunova M.Yu., Smirnov M.V., 2020. Environmental Conditions of Sedimentation and Soil Formation Stages in the Selenga River Basin During Late Glacial and Early Holocene. In: *Geography. Development of Science and Education. Collective Monograph on Materials of the Scientific and Practical Conference LXXIII Gertsensky Readings (April 22–25, 2020)*. Vol. I. Publishing House of Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, p. 472–475 (in Russian) [Рыжов Ю.В., Голубцов В.А., Кулагина Н.В., Опекунова М.Ю., Смирнов М.В. Природно-климатические условия этапов осадконакопления и почвообразования в бассейне р. Селенги в позднеледниковые и раннем голоцене // География: развитие науки и образования: Коллективная монография по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIII Герценовские чтения (22–25 апреля 2020 г.). СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2020. Т. I. С. 472–475].

Ryzhov Yu.V., Golubtsov V.A., Opekunova M.Yu., 2021. The Formation of the Tarbagataika River Terraces (Western Transbaikalia) in the Late Glacial and the Holocene. *Geography and Natural Resources* 42, 164–171. <https://doi.org/10.1134/S1875372821020116>.

Ryzhov Yu.V., Kobylkin D.V., Golubtsov V.A., Arslanov H.A., Maximov F.E., Ryaschenko T.G., 2015. Late Glaciation and Holocene Development of the Erosion-Accumulation Processes in the Small Basins of the Western Transbaikalia. *Geomorphology* 3, 81–91 (in Russian) [Рыжов Ю.В., Кобылкин Д.В., Голубцов В.А., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Рященко Т.Г. Развитие эрозионно-аккумулятивных процессов в малых водосборных бассейнах Западного Забайкалья в позднеледниковые и голоцене // Геоморфология. 2015. № 3. С. 81–91]. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2015-3-81-91>.

Sergeev E.M., Larionov A.K., Komissarova N.N. (Eds), 1986. *Loessial Rocks of the USSR. Vol. 1. Engineering-Geological Features and Problems of Rational Use*. Nedra, Moscow, 232 p. (in Russian) [Лёссовые породы СССР. Т. 1: Инженерно-геологические особенности и проблемы рационального использования / Ред. Е.М. Сергеев, А.К. Ларионов, Н.Н. Комиссарова. М.: Недра, 1986. 232 с.].

Sidorchuk A.Yu., Borisova O.K., Panin A.V., Chernov A.V., 2014. Evolution of the Erosion-Channel Systems on the East European Plain over the Last 150 Thousand Years. In: *Makkaveev Readings – 2013. Collection of Writings*. MSU Faculty of Geography, Moscow, p. 117–138 (in Russian) [Сидорчук А.Ю., Борисова О.К., Панин А.В., Чернов А.В. Эволюция эрозионно-русловых систем на Восточно-

Европейской равнине за последние 150 тысяч лет // Маккавеевские чтения – 2013: Сборник материалов. М.: Географический факультет МГУ, 2014. С. 117–138].

Song Y., Li Y., Cheng L., Zong X., Kang S., Ghafarpour A., Li X., Sun H. et al., 2021. Spatio-Temporal Distribution of Quaternary Loess Across Central Asia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 567, 110279. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2021.110279>.

State Geological Map of the Russian Federation, 2000. Selenga Series. Scale of 1:200000. Sheet M-48-VI (Ulan-Ude). Explanatory Note. VSEGEI, Saint Petersburg, 156 p. (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Селенгинская серия. Масштаб 1:200000. Лист М-48-VI (Улан-Удэ): Объяснительная записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 156 с.].

State Geological Map of the Russian Federation, 2001a. Selenga Series. Scale of 1:200000. Sheet M-48-VI (Ulan-Ude). VSEGEI, Saint Petersburg, 1 sheet (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Селенгинская серия. Масштаб 1:200000. Лист М-48-VI (Улан-Удэ). СПб.: ВСЕГЕИ, 2001. 1 л.].

State Geological Map of the Russian Federation, 2001b. Selenga Series. Scale of 1:200000. Sheet M-48-VI (Ulan-Ude). A Map of the Neogene-Quaternary Formations. VSEGEI, Saint-Petersburg, 1 sheet (in Russian) [Государственная геологическая карта Российской Федерации. Селенгинская серия. Масштаб 1:200000. Лист М-48-VI (Улан-Удэ). Карта неоген-четвертичных образований. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2001. 1 л.].

Tarasov P., Bezrukova E., Karabanov E., Nakagawa T., Wagner M., Kulagina N., Letunova P., Abzaeva A., Granoszewski W., Riedel F., 2007. Vegetation and Climate Dynamics During the Holocene and Eemian Interglacials Derived from Lake Baikal Pollen Records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology & Palaeoecology* 252 (3–4), 440–457. <https://doi.org/10.1016/J.PALAEO.2007.05.002>.

Tarasov P.E., Bezrukova E.V., Krivonogov S.K., 2009. Late Glacial and Holocene Changes in Vegetation Cover and Climate in Southern Siberia Derived from a 15 kyr Long Pollen Record from Lake Kotokel. *Climate of the Past* 5 (3), 285–295. <https://doi.org/10.5194/cp-5-285-2009>.

Tarasov P.E., Dorofeyuk N.I., Vipper P.B., 2002. The Holocene Dynamics of Vegetation in Buryatia. *Stratigraphy and Geological Correlation* 10 (1), 88–96.

Tarmaev V.A., Korsunov V.M., Kulikov A.I., 2004. Linear Erosion in the Baikal Region. Buryatia Scientific Center SB RAS, Ulan-Ude, 163 p. (in Russian) [Тармаев В.А., Корсун В.М., Куликов А.И. Линейная эрозия в Байкальском регионе. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. 163 с.].

Trofimov V.T. (Ed.), 2001. *Loessial Cover of the Earth and Its Properties*. MSU Publishing House, Moscow, 463 p. (in Russian) [Лессовый покров Земли и его свойства / Ред. В.Т. Трофимов. М.: Изд-во МГУ, 2001. 463 с.].

Vanmaercke M., Poesen J., Van Mele B., Demuzere M., Bruynseels A., Golosov V., Bezerra J.F.R., Bolysov S. et al., 2016. How Fast Do Gully Headcuts Retreat? *Earth-Science Reviews* 154, 336–355. <https://doi.org/10.1016/j.earsci.2016.01.009>.

Volvakh A.O., Volvakh N.E., Ovchinnikov I.Yu., Malikov D.G., Scheglova S.N., 2020. Warming Evidences Recorded in Loess Deposits of the Last Glaciation and Dynamics of Loess Accumulation in North-West Cis-Salair, (South-East of West Siberia). *Geosphere Research* 3, 123–143 (in Russian) [Вольвах А.О., Вольвах Н.Е., Овчинников И.Ю., Маликов Д.Г., Щеглова С.Н. Свидетельства потеплений, записанные в лёссовых отложениях последнего оледенения, и динамика лёссово-накопления в Северо-Западном Присалаирье (юго-восток Западной Сибири) // Геосферные исследования. 2020. № 3. С. 123–143]. <https://doi.org/10.17223/25421379/16/10>.

Volvakh N.E., Kurbanov R.N., Zykina V.S., Murray A.S., Stevens T., Költringer C.A., Volvakh A.O., Malikov D.G., Taratunina N.A., Buylaert J.-P., 2022. First High-Resolution Luminescence Dating of Loess in Western Siberia. *Quaternary Geochronology* 73, 101377. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2022.101377>.

Vorobyova G.A., 2010. Soil as a Record of Natural Events in Pribaikalye: Problems of Evolution and Classification of Soils. ISU Publishing House, Irkutsk, 205 p. (in Russian) [Воробьева Г.А. Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2010. 205 с.].

Walker M., Head M.J., Lowe J., Berkelhammer M., Björck S., Cheng H., Cwynar L.C., Fisher D. et al., 2019. Subdividing the Holocene Series/Epoch: Formalization of Stages/Ages and Subseries/Subepochs, and Designation of GSSPs and Auxiliary Stratotypes. *Journal of Quaternary Science* 34 (3), 173–186. <https://doi.org/10.1002/jqs.3097>.

Zykina V.S., Zysin V.S., 2012. Loess-Soil Sequence and Pleistocene Evolution of Natural Environment and Climate in West Siberia. GEO, Novosibirsk, 477 p. (in Russian) [Зыкина В.С., Зыкин В.С. Лёссово-почвенная последовательность и эволюция природной среды и климата Западной Сибири в плейстоцене. Новосибирск: Гео, 2012. 477 с.].