Научная статья

УДК 902:551
DOI 10.25205/1818-7919-2025-24-5-21-37

Анализ условий позднечетвертичного осадконакопления в Тункинской рифтовой долине для решения задач геоархеологических исследований

Галина Гельевна Матасова [1], **Алексей Юрьевич Казанский** [2]
Александр Александрович Щетников [3], **Иван Анатольевич Филинов** [4]
Наталья Евгеньевна Бердникова [5]

[1, 3, 4] Институт земной коры
Сибирского отделения Российской академии наук
Иркутск, Россия

[2] Геологический институт Российской академии наук
Москва, Россия

[3, 4] Институт геохимии
Сибирского отделения Российской академии наук
Иркутск, Россия

[5] Иркутский государственный университет
Иркутск, Россия

[1] galinamatasova@mail.ru
[2] kazansky_alex@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8840-0978
[3] shch@crust.irk.ru, https://orcid.org/0000-0002-4591-6421
[4] filinovia@crust.irk.ru, https://orcid.org/0000-0002-7390-8373
[5] nberd@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-2470-6230

Аннотация

Приводятся результаты комплексных исследований разрезов отложений важнейших геоархеологических объектов Тункинской рифтовой долины с целью реконструкции обстановок и особенностей местного осадконакопления в позднем квартере и оценки влияния этих условий на стратегию освоения региона древним человеком. Установлено, что основным агентом переноса плейстоцен-голоценовых отложений в Тункинской рифтовой долине являются катастрофические потоки (паводки, сели, наводнения), мобилизующие значительный объем обломочного материала. Отложенный паводками материал подвергался эоловой переработке в высокодинамичных субаэральных условиях, обеспечивая формирование сплошного покровного лессовидного комплекса. Это обусловливало тотальную активизацию делювиальных процессов. Дополнительный материал приносился в виде воздушных взвесей и также отлагался в комплексе с местными продуктами развевания и перевевания осадков катастрофических паводков. Характерная для тункинских палеолитических местонахождений спорадичность распределения археологического материала по разрезу является в основном следствием его переотложения.

Ключевые слова

Тункинская рифтовая долина, геоархеология, позднечетвертичное осадконакопление, палеолит

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (№ 23-27-00022 и 25-27-00151), государственного задания ГИН РАН № АААА-А21-121011590055-6 и ИГХ СО РАН № 0284-2021-0003

Для цитирования

Матасова Г. Г., Казанский А. Ю., Щетников А. А., Филинов И. А., Бердникова Н. Е. Анализ условий позднечетвертичного осадконакопления в Тункинской рифтовой долине для решения задач геоархеологических исследований // Вестник НГУ. Серия: История, филология. 2025. Т. 24, № 5: Археология и этнография. С. 21–37. DOI 10.25205/1818-7919-2025-24-5-21-37

© Матасова Г. Г., Казанский А. Ю., Щетников А. А.,
Филинов И. А., Бердникова Н. Е., 2025

Analysis of the Conditions of Late Quaternary Sedimentation in the Tunka Rift Valley for Solving the Problems of Geoarchaeological Research

Galina G. Matasova [1], **Alexey Yu. Kazansky** [2]
Alexandr A. Shchetnikov [3], **Ivan A. Filinov** [4]
Natalia E. Berdnikova [5]

[1, 3, 4] Institute of the Earth's Crust
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Irkutsk, Russian Federation

[2] Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
Moscow, Russian Federation

[3, 4] Vinogradov Institute of Geochemistry
of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Irkutsk, Russian Federation

[5] Irkutsk State University
Irkutsk, Russian Federation

[1] galinamatasova@mail.ru
[2] kazansky_alex@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-8840-0978
[3] shch@crust.irk.ru, https://orcid.org/0000-0002-4591-6421
[4] filinovia@crust.irk.ru, https://orcid.org/0000-0002-7390-8373
[5] nberd@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0002-2470-6230

Abstract

Purpose. The paper presents the results of comprehensive studies of sediment sections of the reference geoarchaeological sites of the Tunka rift valley, with the aim of reconstructing the conditions and features of local sedimentation during the Late Quaternary period and assessing the influence of these conditions on the strategy of development of the region by ancient humans.

Results. The article deals with classifications by granulometric composition and magnetic properties of sediments. According to the classification of N. N. Verzilin, 6 granulometric types were identified: two types of sand, two types of silty sand, two types of siltstone. The sediments were divided into 2 groups by the degree of variability of their magnetic properties.

Conclusion. It has been established that the main agents responsible for the transportation of Pleistocene-Holocene sediments within the Tunka rift valley are catastrophic flows (floods, mudflows, inundations), mobilizing a significant volume of detrital material. Following the receding of water, the material deposited by the floods was subjected to aeolian processing in highly dynamic subaerial conditions, resulting in the formation of a continuous cover loess-like complex. This, in turn, caused the total activation of slope-wash processes. Additional material was brought in the form of air suspensions and was also deposited in a complex with local products of the blowing and scattering and reweaving of catastrophic floods sediments.

Keywords

Tunka Rift Valley, geoarchaeology, Late Quaternary sedimentation, Upper Paleolithic

Acknowledgements

This work was supported by Russian Science Foundation (project no. 23-27-00022 and 25-27-00151), State Assignment of the Geological Institute RAS (project no AAAA-A21-121011590055-6) and State Assignment of the Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS (project no. 0284-2021-0003)

For citation

Matasova G. G., Kazansky A. Yu., Shchetnikov A. A, Filinov I. A., Berdnikova N. E. Analysis of the Conditions of Late Quaternary Sedimentation in the Tunka Rift Valley for Solving the Problems of Geoarchaeological Research. *Vestnik NSU. Series: History and Philology*, 2025, vol. 24, no. 5: Archaeology and Ethnography, pp. 21–37. (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7919-2025-24-5-21-37

Введение

Археологические исследования Тункинской котловины ведутся уже более 100 лет. Целенаправленный поиск палеолитических местонахождений был инициирован в начале 1980-х гг. Г. И. Медведевым [Лбова и др., 2005]. Расширение списка палеолитических объектов в Тун-

кинской долине произошло в результате комплексного изучения четвертичных отложений, которое проводилось с 2010 г. сотрудниками Института земной коры СО РАН (Иркутск) [Shchetnikov et al., 2012; 2015; Kozyrev et al., 2014]. На сегодняшний день в долине известно незначительное количество археологических объектов (около 50), десять из них определены как палеолитические. Большая часть из них маркирована подъемными материалами или отдельными предметами в плейстоценовых отложениях [Бердникова и др., 2014]. В разрезах, расположенных в разных частях Тункинской долины, количество находок значительно различается. В разрезах на правом берегу Иркута (Туяна, Закту́й) были собраны коллекции археологического материала [Роговской и др., 2017], в то время как в разрезах на левом берегу (Белый Яр I и Белый Яр II) археологические находки единичны.

Целью данной работы являлась реконструкция условий осадконакопления и окружающей среды по комплексу гранулометрических и петромагнитных данных в разрезах отложений верхнепалеолитических местонахождений Тункинской котловины для объяснения причин различной интенсивности жизнедеятельности древнего человека и оценки перспектив археологических исследований на данной территории.

Общие условия осадконакопления в Тункинской рифтовой долине

Тункинская рифтовая долина простирается на 200 км в субширотном направлении от юго-западного окончания оз. Байкал до оз. Хубсугул (рис. 1). Это глубокое тектоническое понижение рельефа между двумя крупными высокогорными системами – альпинотипными Тункинскими Гольцами и хр. Хамар-Дабан.

Осадконакопление в Тункинском седиментационном бассейне реализуется в условиях высокой энергии рельефообразующих процессов и литодинамических потоков. Все притоки Иркута – магистрального водотока Тункинского рифта – селеактивны. В период исторических наблюдений катастрофические паводки здесь возникают с периодичностью 20–30 лет. Во время дегляциации этот процесс, очевидно, носил гораздо более интенсивный и масштабный характер. Кроме того, Тункинская секция Байкальской рифтовой зоны характеризуется наивысшей степенью сейсмической активности в регионе. Главные разломы этой зоны обладают потенциалом генерирования землетрясений практически максимальной для внутриконтинентальных структур магнитуды (M = 7,5–8). Крупные землетрясения нередко сопровождаются обвалами, перекрывающими днища горных долин. Последующий прорыв сейсмогенных плотин может приводить к катастрофическим паводкам.

Геоморфологическая позиция и литолого-стратиграфическое строение разрезов палеолитических местонахождений Тункинского рифта

Среди разрезов верхнего плейстоцена Тункинского Прибайкалья, включающих культуросодержащие горизонты, наиболее представительными являются Белый Яр I, Белый Яр II, Славин Яр, Шимки, Туяна и Закту́й (рис. 1, *б*). Первые три разреза вскрывают отложения деформированного новейшими тектоническими процессами террасового комплекса дистальных частей впадин Тункинского рифта, вовлеченных в инверсионные воздымания. Разрезы Туяна и Закту́й также расположены на окраине Тункинской впадины в основании склона ее горного обрамления и представлены субаэральными отложениями преимущественно покровного лессовидного комплекса. При этом разрез Закту́й локализуется в зоне фациального перехода склоновых осадков борта котловины в отложения террасового комплекса Иркута, вскрывая одновременно и шлейф субаэральных накоплений, и аллювиальные образования тылового шва террасы. Разрез Шимки вскрывает строение первой надпойменной террасы Иркута.

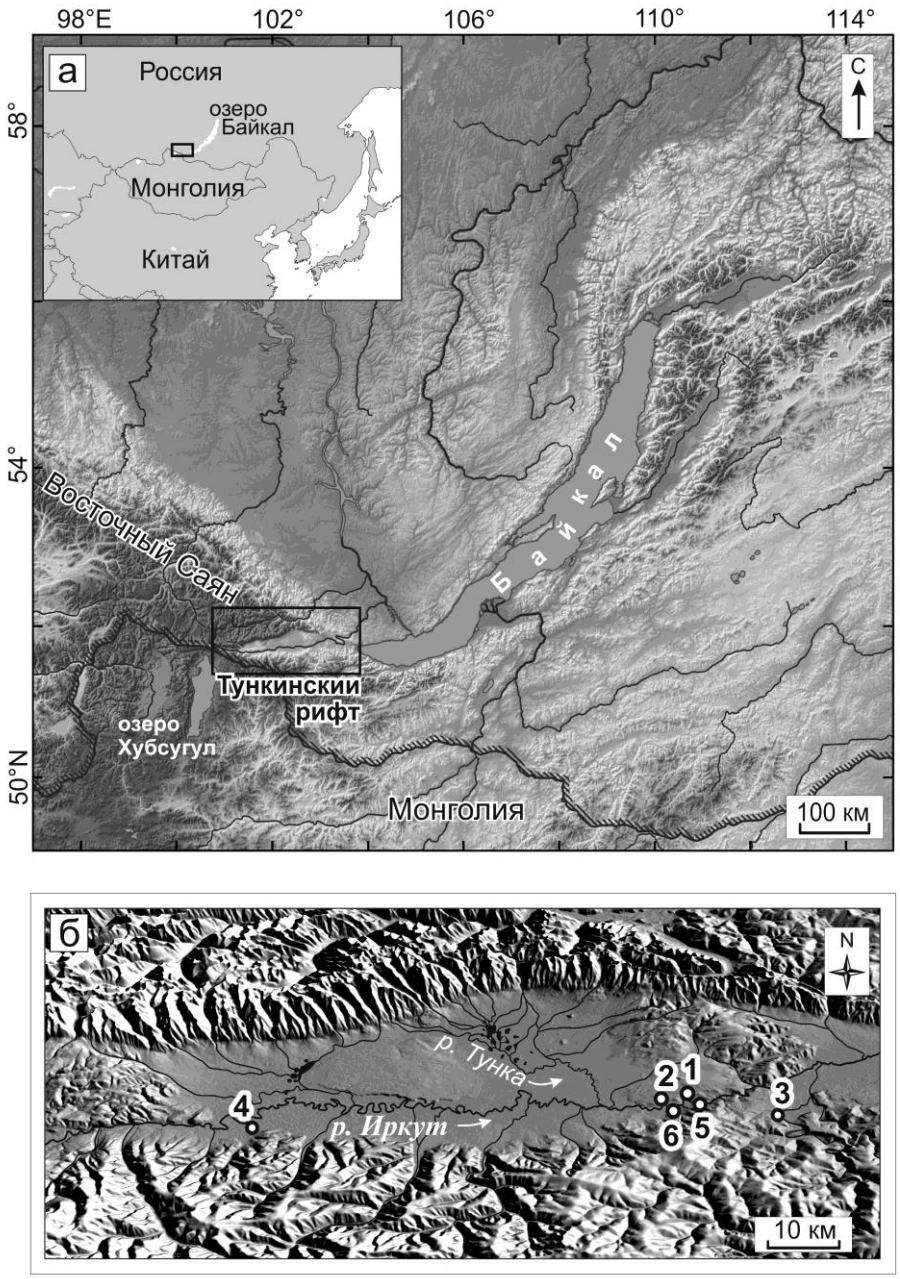

Рис. 1. Цифровая модель рельефа Байкальского региона (*а*) и центральной части Тункинской рифтовой долины (*б*) с местонахождением изученных геоархеологических объектов. Разрезы: *1* – Белый Яр I; *2* – Белый Яр II; *3* – Славин Яр; *4* – Шимки; *5* – Туяна; *6* – Закту́й

Fig. 1. Digital relief model of the Baikal region (*a*) and the central part of the Tunka rift valley (*b*) with the location of the studied geoarchaeological objects. Sections: *1* – Bely Yar I; *2* – Bely Yar II; *3* – Slavin Yar; *4* – Shimki; *5* – Tuyana; *6* – Zaktuy

Разрез Белый Яр расположен на левобережье Иркута в восточном окончании Тункинской впадины одноименного рифта, в подножие Еловского отрога. Разрез экспонирован в двух естественных обнажениях – Белый Яр I и Белый Яр II, расположенных в 2 км друг от друга. Здесь на цоколе из третичных туфогенных песчаников и брекчий залегает сложно построен-

ная толща преимущественно песчаных образований верхнего плейстоцена переменной мощности (от 16 до 27 м).

Разрез Шимки расположен на левобережье приустьевой части р. Тайтурка, впадающей в Иркут на юго-западном окончании Тункинской впадины (см. рис. 1, *б*). Здесь вскрывается толща песчано-глинистых отложений, слагающих 7–8-метровой высоты первую надпойменную террасу. Поисковые археологические работы на данном разрезе до настоящего времени не проводились.

Местонахождение Туяна расположено на относительных отметках 15–35 м от уреза р. Иркут в подножие хр. Хамар-Дабан, на периклинальном замыкании сводового поднятия. Вскрытые в раскопе на глубину 3,4 м отложения разреза представлены позднеплейстоцен-голоценовыми облесованными покровными супесями и суглинками. Верхняя часть отложений разреза представлена неясно слоистыми супесями, которые можно соотнести с поздним дриасом. Ниже располагаются лессовидные слоистые суглинки. Их подстилают солифлюциированные почвы.

Туяна является наиболее представительным многослойным археологическим местонахождением в Тункинской рифтовой долине. Основное количество археологического материала здесь фиксировалось в голоценовых (МИС1) и каргинских отложениях (МИС3), прежде всего – в солифлюциированных почвах [Kozyrev et al., 2014; Shchetnikov et al., 2019].

В целом в изученных разрезах (рис. 2) вскрыты отложения первой половины позднего плейстоцена (разрез Славин Яр, МИС4–МИС5?), во всех разрезах (кроме Шимков) широко и разнообразно представлены отложения второй половины позднего плейстоцена (МИС2–МИС3), также во всех разрезах достаточно детально представлены голоценовые отложения (МИС1).

Методы и материалы

Отбор образцов производился с шагом от 5 до 20 см в зависимости от мощности слоев изучаемого разреза. Из 6 разрезов было отобрано всего 923 образца, из них в Зактуе – 63 образца, в Туяне – 39, в Шимках – 34, в Славином Яре – 284, в Белом Яре I – 270, в Белом Яре II – 233. Материал для гранулометрических и петромагнитных исследований набирался из одних и тех же образцов.

Гранулометрический состав отложений изучался методом лазерной дифрактометрии на анализаторе размера частиц Microtrac X100. Результаты измерений были представлены в виде распределения 60 фракций (от 0,1 до 700 мкм) по объему (в %), которые, в свою очередь, были объединены, согласно классификации А. В. Раукаса [1981], в песчаную (> 100 мкм), крупноалевритовую (50–100 мкм), мелкоалевритовую (10–50 мкм) и глинистую (< 10 мкм) фракции. Кроме объемного содержания фракций для гранулометрической характеристики отложений использовались спектральные (моды) и расчетные параметры: $D_{ср}$ – средний размер зерна (как средневзвешенное значение), F – динамический фактор (отношение количества физического песка к количеству физической глины), степень сортированности осадков, рассчитанная как отношение стандартного отклонения к среднему значению параметра внутри гранулометрического типа.

Магнитные свойства отложений изучались по группам основных параметров: 1) концентрационно-зависимых (удельная магнитная восприимчивость X, магнитная восприимчивость ферромагнетиков X_{fer} и парамагнетиков X_p, намагниченность насыщения ферромагнетиков J_{fer} в поле 700 мТл, остаточная намагниченность насыщения J_{rs}, намагниченность парамагнетиков J_p в поле 700 мТл, их вклад в общую намагниченность J_p / J_i); 2) коэрцитивные характеристики (коэрцитивная сила B_c, остаточная коэрцитивная сила B_{cr}) и параметры магнитной «жесткости» (HIRM, *S*); 3) структурно-чувствительных (отношения B_c / B_{cr}, X_{fer} / J_{rs}); 4) показателей присутствия суперпарамагнитных (СПМ) зерен (X_{sp}, J_{sp}). Все магнитные параметры

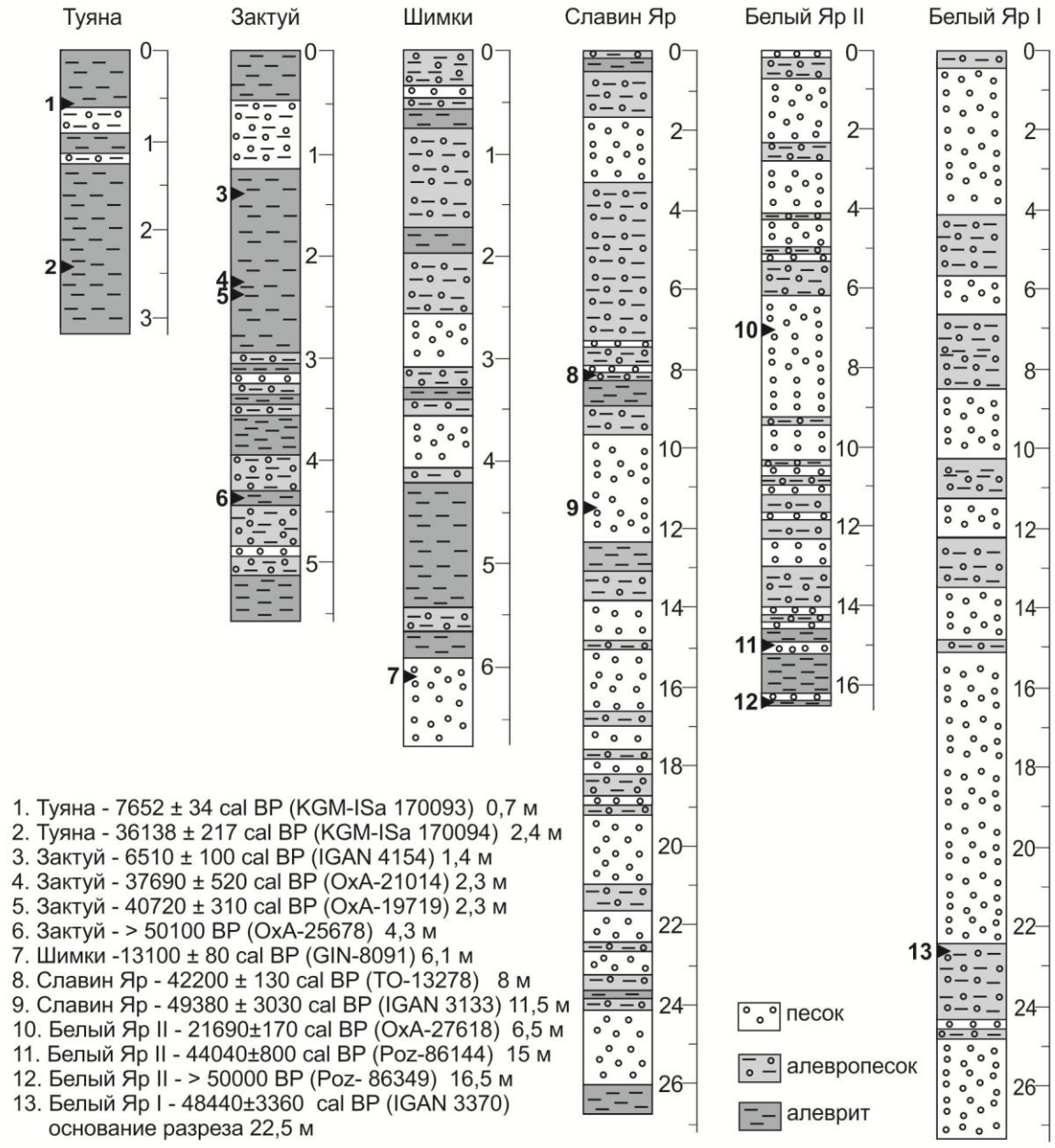

Рис. 2. Строение разрезов по гранулометрическим типам
Fig. 2. Structure of sections according to granulometric types

снимались с петель гистерезиса, получаемых на коэрцитивном спектрометре J_meter производства КФПУ (Казань) [Jasonov et al., 1998]. Состав магнитной фракции исследовался термомагнитным методом в модификации K(T) на каппа-мосте MFK1-FA с высокотемпературной приставкой CS4. Эксперименты проводились в нейтральной среде. Обработка и интерпретация магнитных характеристик производилась по стандартным методикам [Evans, Heller, 2003].

В работе задействовалось оборудование ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН (№ 075-15-2021-682).

Результаты исследований

Гранулометрический состав отложений. По гранулометрическому составу, согласно классификации Н. Н. Верзилина [1995], в изученных отложениях восточной части Сибирской субаэральной формации выделено 6 гранулометрических типов. По уменьшению зернистости это: 1) песок (песчаной фракции > 90 %); 2) песок алевритистый (песчаной фракции 60–90 %, алевритовой фракции 5–40 %); 3) алевропесок (песчаной фракции 20–60 %, алевритовой фракции 20–60 %, глинистой фракции 0–5 %); 4) алевропесок глинистый (песчаной фракции 20–60 %, алевритовой фракции 20–60 %, глинистой фракции 5–20 %); 5) алеврит песчанистый (песчаной фракции 5–40 %, алевритовой фракции 60–90 %, глинистой фракции 0–5 %); 6) алеврит песчанисто-глинистый (песчаной фракции 20–40 %, алевритовой фракции 60–90 %, глинистой фракции 20–40 %). Таким образом, выделены 2 типа песка, 2 типа алевропеска, 2 типа алеврита; во избежание чрезмерной детальности, неразличимой в масштабе рисунка, мы объединили первые два типа в «песок» (песчаной фракции > 60 %), вторые – в «алевропесок» (песчаной фракции 20–60 %, алевритовой фракции 20–60 %), третьи – в «алеврит» (алевритовой фракции 60–90 %). Распределение гранулометрических типов осадков по разрезам представлено в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

Соотношение гранулометрических типов осадков
изученных разрезов (содержание в %)

Table 1

Ratio of granulometric types of sediments
of the studied sections (content in %)

Разрез / состав	Белый Яр I	Белый Яр II	Славин Яр	Шимки	Зактуй	Туяна
Песок	60	60	50	40	5	0
Алевропесок	40	30	40	45	35	10
Алеврит	0	10	10	15	60	90

Из приведенных данных видно, что отложения 2-х разрезов (Зактуй, Туяна) резко отличаются от других по гранулометрическим типам. Между собой они также различаются. Отложения разрезов Белый Яр I, Белый Яр I и Славин Яр близки по гранулометрическому составу, отличие заключается в присутствии в Белом Яру II и Славином Яру примерно по 10–12 % алеврита, а в Белом Яру I этот гранулометрический тип не обнаружен.

Магнитные свойства отложений. По степени изменчивости концентрационно-зависимых параметров, как и по гранулометрическому составу, отложения изученных разрезов Тункинской котловины можно разделить на 2 группы (табл. 2): в первую группу входят разрезы Зактуй и Туяна, в которых значения концентрационных характеристик меняются в 2–4 раза, во вторую группу – разрезы Белый Яр I, Белый Яр II, Славин Яр и Шимки, где значения этих же характеристик меняются в 10–30 раз.

Обсуждение результатов и реконструкция обстановок осадконакопления в плейстоцене-голоцене во впадинах Тункинского рифта

Гранулометрические данные. Субаэральные осадки Тункинской котловины представлены тремя литологическими типами – песками, алевропесками и алевритами. В первых двух типах основу составляют песчаные фракции, которые транспортируются в среду осадко-

Таблица 2

Диапазоны изменений и средние значения
петромагнитных параметров отложений Тункинской котловины

Table 2

Ranges of changes and average values
of petromagnetic parameters of sediments of the Tunka basin

Параметр	Разрез						
	Белый Яр I	Белый Яр II	Славин Яр		Шимки	Зактуй	Туяна
			0–12	12–26			
Концентрация магнетиков							
$X \cdot 10^{-8}$	22–204 107	18–224 123	9,6–172 93,5	20,9–152 77,8	21–211 114	58–200 114	72–180 102
$J_{rs} \cdot 10^{-3}$	1,7–17,5 7,9	1,3–25 7	0,6–19,4 12,2	1,8–15,7 10,6	2,2–38,6 17,3	5–15 8,9	8,5–15,5 11
$J_{fer} \cdot 10^{-2}$	1,9–34 12,7	0,7–27,5 13,5	0,3–19,6 9,8	1,2–17,4 8,2	1,2–24 11,1	7–27 13,8	8,5–15,4 10,8
Магнитная жесткость							
B_c	4,4–14,5 7,7	1,8–32,4 5,3	8,4–18,7 12,7	8,3–17 12,4	4,5–44,5 12	3–7,4 5,7	6,6–10,6 8,3
B_{cr}	34–55 41	23–56 35,8	29–57 42,1	35–47 41,1	29–68 38	30–42 36,8	24–45 38,2
HIRM $\cdot 10^{-4}$	0–1,01 0,4	0–1,04 0,54	0–1,36 0,8	0,03–1,3 0,6	0–1,29 0,47	0–2,8 0,33	0–0,9 0,4
S	0,93–1,0 0,99	0,87–1,0 0,99	0,82–1,0 0,98	0,91–1,0 0,99	0,90–1,0 0,99	0,99–1,0 0,999	0,98–1,0 0,99

Окончание табл. 2

Параметр	Разрез						
	Белый Яр I	Белый Яр II	Славин Яр		Шимки	Зактуй	Туяна
			0–12	12–26			
Содержание парамагнетиков							
$J_p \cdot 10^{-3}$	10–51 23	2–62 21,7	21,7–53 37,1	16,1–55 31,1	14–59 43	15,5–39 28	29–45,6 40
J_p / J_i	0,05–0,57 0,17	0,01–0,88 0,18	0,13–0,92 0,33	0,13–0,76 0,29	0,06–0,81 0,32	0,05–0,26 0,17	0,16–0,34 0,27
Размер зерна							
B_{cr} / B_c	3,1–8,5 5,7	1,7–12,7 7,7	2,5–5,1 3,4	2,8–4,7 3,4	1,4–7,8 3,8	4,8–10 6,6	3,5–5,6 4,6
$X_{fer} / J_{rs} \cdot 10^{-5}$	6–26 14	2–40 16,7	4,1–10,8 6,9	4,4–13 6,9	1–15,6 7,1	9–22 12,2	6,6–11 8,4
$X_{fer} / J_{fer} \cdot 10^{-6}$	7,5–9,1 8,3	7–11 8,5	8–13,5 9,3	8–11,2 8,9	6–13,2 9,7	7–9 7,7	7,4–13 8,7
Содержание СПМ							
$J_{sp} \cdot 10^{-5}$	3,7–40 17,2	3,8–190 27	1,5–78,5 28,6	3,9–33 22	5,5–130 47,2	16–66 33,8	24–90 39
$X_{sp} \cdot 10^{-10}$	6,6–63,4 24	19–121 24	2–328 49,8	9–55 33	25–800 230	78–438 198	98–495 200

Примечание: в числителе – минимальные и максимальные значения параметров, в знаменателе – среднее значение. X, X_{sp} [м^3 кг$^{-1}$], J_{fer}, J_{rs}, J_p, J_{sp}, HIRM [Ам^2 кг$^{-1}$], B_c, B_{cr} [мТл], X_{fer} / J_{rs} [мА$^{-1}$]. Славин Яр подразделен по возрасту на 2 интервала, накопление нижней толщи (12–26 м) соответствует по времени МИС4–МИС5 (первая половина позднего плейстоцена), формирование верхней части разреза (0–12 м) происходило в МИС3–МИС1 (вторая половина позднего плейстоцена – голоцен). В разрезе Белый Яр II максимальные и средние значения приведены без учета магнетитовых прослоев (пояснения в тексте).

накопления способом сальтации либо волочением, что подразумевает близкие источники сноса обломочного материала. В котловине р. Иркут шириной до 20 км, с севера и юга закрытой горными хребтами, ближними источниками материала для построения мощных осадочных толщ могут быть: 1) развеянные аллювиальные отложения р. Иркут и ее притоков; 2) сносимые с гор временными и периодическими потоками продукты разрушения пород горных хребтов – склоновые отложения; 3) отложения катастрофических паводков в результате прорывов естественных дамб, формирующихся за счет склоновых и неотектонических процессов.

Голоценовые отложения разреза Шимки (см. рис. 1, *б*), находящегося на входе долины р. Иркут в Тункинскую котловину с запада, где ее рельеф меняется с горного на равнинный, имеют наибольшую мощность из всех изученных разрезов, характеризуются наибольшим разнообразием гранулометрических типов осадков, довольно слабой сортировкой, отсутствием более древних (плейстоценовых) отложений. Совокупность гранулометрических данных дает возможность предположить, что район Шимков являлся областью основной разгрузки поступающего в котловину обломочного материала в составе голоценовых паводковых потоков Иркута с запада.

Отложения разрезов Белый Яр I, II, локализованных на левом берегу Иркута и облекающих подошву Еловской междувпадинной перемычки, и отложения разрезов Туяна и Закту́й, вскрытых в основании склонов хр. Хамар-Дабан на правом берегу Иркута, почти напротив Белых Яров, в том же районе – в месте сужения котловины примерно в 60 км ниже по течению от Шимков, существенно отличаются своими гранулометрическими характеристиками. Белые Яры сложены в основном песками, чередующимися с небольшими по мощности (по сравнению с песками) слоями алевропесков. По строению разрезы схожи, слагающие их отложения одновозрастны (голоцен – вторая половина позднего плейстоцена). Отложения обоих Яров умеренно хорошо сортированы. Перепад высот по долине р. Иркут от Шимков до Белых Яров составляет ~ 65 м, по 1 м на 1 км. Гранулометрические данные свидетельствуют в пользу поступления обломочного материала тем же путем, что и в Шимки, т. е. вниз по котловине в составе суперпаводков, но их объем, мощность, скорость во второй половине позднего плейстоцена были гораздо сильнее, чем в голоцене. Мелкозернистый материал не задерживался по пути следования, вероятно, транспортировался далее, в область расширения котловины и заполнял ее нижнюю часть. Косвенно об этом свидетельствуют отложения разреза Славин Яр, находящегося еще ниже, примерно на 10 км, по течению Иркута, на левом берегу правого притока Иркута – р. Зун-Мурин, приблизительно в 10 км от ее впадения в Иркут. В этом разрезе отложения второй половины позднего плейстоцена и голоцена мелкозернисты, более половины объема отложений представлено алевропесками, появляются алевриты. В эту часть котловины дополнительно поступает обломочный материал, транспортируемый р. Зун-Мурин в составе сезонных паводков по ее долине. Отложения Славина Яра, формирующиеся как минимум из двух источников, умеренно хорошо сортированы. Что касается отложений первой половины позднего плейстоцена в разрезе Славин Яр, то они схожи с аналогичными отложениями Белых Яров второй половины позднего плейстоцена, в которых преобладают пески с подчиненным значением алевропесков и небольшими прослоями алевритов. Все описанные отложения можно назвать условно долинными, поскольку, скорее всего, они сформировались путем переотложения и перевевания осадков, приносимых мощными катастрофическими потоками и разгружаемых по мере транспортировки материала вниз по котловине. Косвенно на существование таких потоков указывают прослои аллювиальных песков в разрезах Шимки, Белый Яр I и II, диагностируемых, согласно [Vandenberge, 2013], по резкому увеличению грубозернистой фракции (обр. Sh-260 и WY-520).

Отложения разрезов Закту́й и Туяна отличны от остальных. Это преимущественно субаэральные отложения, и отличаются они от бассейновых прежде всего мощностью, строением, гранулометрическими характеристиками. Между собой они также различаются, несмотря на их близкий возраст. Наиболее мелкозернистый и маломощный разрез Туяна представлен

в основном алевритами, в Закту также преобладающими осадками являются алевриты, но участками в разрезе встречаются алевропески и даже небольшие песчаные прослои. Даты ^{14}C свидетельствуют о начале формирования этих отложений еще в первой половине позднего плейстоцена, но сокращенная мощность не позволяет дать им характеристику. Отложения обоих разрезов хорошо и очень хорошо сортированы, и по среднему размеру зерна близки к западносибирским лессовым отложениям [Жданова и др., 2007; 2009]. Соотношения гранулометрических фракций и логнормальный, почти симметричный гранулометрический спектр указывают на поступление бóльшей части обломочного материала из одного источника. В Туяне основная часть осадочного материала, скорее всего, транспортировалась воздушным путем с осаждением на пологих склонах предгорий с последующей переработкой склоновыми процессами (крип, плоскостной смыв, солифлюкция). В Закту верхняя часть разреза также сформировалась в результате склоновых процессов переработки первично эоловых осадков. Но в нижней части разреза Закту в спектральном составе, помимо основного пика в области алевритовых фракций, появляется дополнительный пик в диапазоне песчаных фракций, что указывает на дополнительный источник сноса местного значения. Учитывая геоморфологическую позицию разреза, можно предположить, что этим источником являются аллювиальные (пойменные) отложения р. Иркут. Основываясь на данных современного климата в этом регионе, можно предположить, что преобладающие ветра северо-западного, западного направления [Мартьянова и др., 1998] сохранились с позднего плейстоцена.

Магнитные характеристики. Несмотря на то что все изученные разрезы находятся в одной климатической зоне, в одном регионе и даже в одной долине, магнитные свойства отложений этих разрезов значительно разнятся. Различия заключаются в следующем.

1. Отложения разреза Славин Яр самые слабомагнитные, особенно нижняя половина разреза, в среднем в 1,5 раза слабее самых сильномагнитных отложений Белых Яров (см. табл. 2). При этом отложения Славина Яра наиболее магнитожесткие и мелкозернистые по магнитному зерну, соответствующие параметры в 1,5–2,5 раза отличаются от таковых в Белых Ярах. Магнитные характеристики в данном разрезе довольно четко и детально отражают его строение и генетический тип отложений, лучше, чем в остальных разрезах Тункинской котловины. По некоторым магнитным характеристикам отложения Славина Яра близки к отложениям Шимков и Туяны.

2. Отложения разрезов Белый Яр I и II, наоборот, наиболее магнитны, в верхних частях разрезов (~ до 6,5 м) наблюдаются вкрапления чистого магнетита в виде невыдержанных прерывистых слойков шириной до 5–7 мм. Отложения наиболее магнитомягкие, с широким диапазоном размеров магнитных частиц и с наименьшим вкладом парамагнетиков. Изменения магнитных характеристик недостаточно четко отражают строение разрезов, поэтому для детального изучения отложений следует привлекать другие методы (гранулометрию, геохимию, микроморфологию). По некоторым магнитным характеристикам отложения Белых Яров схожи с отложениями Закту, частично – Шимков.

3. Наиболее изменчивы магнитные характеристики в отложениях разреза Шимки, отсутствие видимых закономерностей не позволяет ориентироваться только на магнитные свойства отложений при изучении строения и генетических типов отложений. По разным группам параметров отложения Шимков близки то к Белым Ярам (по концентрации), то к Славину Яру (по магнитной жесткости и зерну), то к Туяне (по количеству парамагнитных минералов).

Все перечисленные особенности отложений имеют свои объяснения, опираясь на которые можно предположительно реконструировать общую картину изменения природной среды в Тункинской котловине.

Особенности магнитных свойств отложений Славина Яра следует рассматривать с учетом того, что обломочный материал, а вместе с ним и магнитный, поступал как минимум из 2-х источников, причем один из них не поставлял материал в остальные отложения Тункинской котловины. Речь идет об осадках, заполняющих долину р. Зун-Мурин, и это не только аллю-

виальные отложения, но, возможно, еще и осадки катастрофических прорывов (паводки, сели). Второй источник, как и в остальной части Тункинской долины, – аллювиальные отложения и отложения катастрофических событий самой Тункинской котловины.

Наибольшая концентрация магнитных минералов, наличие слойков чистого магнетита, отсутствие (или незначительное количество) гематита и парамагнитных минералов, отсутствие погребенных почв, широкий диапазон по размерам магнитных зерен, – все эти особенности осадконакопления разрезов Белые Яры свидетельствуют о накоплении осадков в высокодинамичной обстановке и, скорее всего, в эоловой обработке продуктов разрушения пород, приносимых катастрофическими (селевыми) потоками, промытых периодическими наводнениями на р. Иркут.

Неустойчивое поведение магнитных параметров в Шимках обусловлено также особенностями осадконакопления в высокодинамичной среде, но касается это только периодов малых похолоданий в голоцене. В периоды малых потеплений преобладание процессов педогенеза привело к закономерному поведению магнитных характеристик в ископаемых почвах, соответствующему записи магнитного сигнала в рамках «сибирского» механизма [Матасова и др., 2003; Matasova et al., 2023].

В Зактуе и Туяне «сибирский» механизм формирования магнитных свойств недостаточно четко выражен по иной причине: накопление на склонах супесчаных толщ, вмещающих погребенные почвы, происходило не так динамично, не с такой скоростью, как в других, более мощных и более опесчаненных отложениях Тункинской долины. Поэтому, с одной стороны, поступление магнитного материала не было таким интенсивным, как в других разрезах, и, соответственно, вмещающие отложения характеризуются меньшей магнитностью. С другой стороны, почвообразовательные процессы при низкой скорости поступления обломочного материала интенсивно перерабатывали осадки, приводя к более сильному новообразованию магнитных минералов и, соответственно, к повышению магнетизма почв. В результате в связи со «сближением» магнитных параметров разных по генезису отложений контрастность их магнитных свойств уменьшилась и четкая дифференциация по магнитным характеристикам смазалась.

Основные составляющие элементы климата – тепло-, влагообеспеченность, ветровая деятельность – реконструируются в результате совместного анализа гранулометрических и магнитных характеристик отложений. Тесная связь содержания крупнозернистых фракций, с одной стороны, и концентрации терригенных магнитных минералов и / или размеров магнитных зерен, с другой стороны, свидетельствует о стабильности скорости и объемов поступления осадков, постоянстве источников сноса и способов транспортировки. Отсутствие или слабая связь, как в Тункинской долине (за исключением разреза Шимки), говорит об обратном: о неустойчивости, неравномерности поступления материала, возможно, из разных источников воздушным и / или водным путем, т. е. в целом о нестабильных, неблагоприятных для проживания людей условиях. Сильная корреляция между мелкозернистыми фракциями (хотя и небольшими по содержанию) и такими магнитными характеристиками, как магнитная «жесткость», коэрцитивность, вклад парамагнетиков и суперпарамагнетиков, указывает на влияние тепло- и влагообеспеченности на состав и магнитные свойства осадков. Отсутствие или слабая связь свидетельствует о недостаточно комфортных (прохладных и засушливых) условиях в периоды оптимумов. Но как бы ни были комфортны (теплые, мягкие) условия с точки зрения жизнедеятельности людей, вряд ли бы они стали жить в местах проявления катастрофических событий (наводнений, селей).

Таким образом, совместный анализ гранулометрического состава и магнитных свойств отложений дает возможность реконструировать условия осадконакопления в различных частях Тункинской долины, на различных геоморфологических позициях и, исходя из климатических и ландшафтных особенностей, выбрать районы и условия, наиболее перспективные для поиска археологических объектов. Отсюда, в частности, следует, что ограниченное количество археологических находок в разрезах Белый Яр I и II обусловлено особенностями фор-

мирования их отложений – высокими темпами осадконакопления, поступлением рыхлого осадочного материала в составе катастрофических потоков.

Многочисленные археологические находки в разрезе Туяна, находящемся на самых высоких (из исследованных объектов) гипсометрических отметках относительно уреза воды, также объясняются особенностями среды осадконакопления – небольшой скоростью поступления материала, выраженными, развитыми (хотя и измененными склоновыми процессами) почвами, отсутствием следов катастрофических паводков. Пригодными для жизни людей условиями характеризуется также район локализации разреза Зактуй, приуроченный к инверсированному (приподнятому) участку краевой части тункинской впадины. Промежуточное положение занимает разрез Славин Яр, где скорости осадконакопления были выше, чем в разрезах Зактуй и Туяна, почвенные горизонты достаточно развитые, но археологических находок мало. Вероятно, по той же причине, что и в Белых Ярах, – влияние катастрофически паводков и склоновых селей.

Заключение

Результаты комплексного изучения позднечетвертичных отложений Тункинской рифтовой долины позволили сделать следующие выводы.

1. Основным агентом переноса плейстоценовых-голоценовых отложений в Тункинской котловине являются катастрофические потоки (паводки, сели, наводнения), мобилизующие значительный объем обломочного (а с ним и магнитного) материала.

2. После схода воды отложенный паводками материал подвергался эоловой переработке в высокодинамичных субаэральных условиях, обеспечивая формирование сплошного покровного лессовидного комплекса. Это, в свою очередь, обусловливало тотальную активизацию делювиальных процессов. Дополнительный материал приносился в виде воздушных взвесей и также отлагался в комплексе с местными продуктами развевания и перевевания осадков катастрофических паводков.

3. Условия осадконакопления и последующее преобразование отложений (высокая скорость поступления больших объемов рыхлого материала, склоновые процессы, слабый педогенез) обусловили дифференциацию осадочных слоев разрезов только по гранулометрическому составу, магнитные свойства отложений в данных условиях не могут являться основой для характеристики строения разрезов и идентификации генетических типов отложений. Здесь известные магнитные модели записи климата работают плохо, а в некоторых случаях (например, в Белом Яру I и II) не работают вовсе. Петромагнитные исследования могут давать только дополнительную информацию об изменениях природной среды и климата в позднем плейстоцене в Тункинской котловине.

4. Единичный подъемный археологический материал является в основном переотложенным и рассеян по всей Тункинской долине в результате перераспределения осадочного материала селевыми потоками. В крупнозернистых отложениях, формировавшихся в высокодинамичных обстановках, находки сохранившихся археологических стоянок маловероятны. Наиболее перспективными объектами являются разрезы субаэральных местонахождений, близких по условиям формирования к Туяне и Зактую, приуроченным к еланям и куйтунам – инверсированным участкам дистальных частей впадин.

Список литературы

Бердникова Н. Е., Бердников И. М., Роговской Е. О., Тимощенко А. А., Уланов И. В., Соколова Н. Б., Попов А. А., Когай С. А. Новые археологические объекты в Тункинской котловине (Байкальская рифтовая зона) // Евразия в кайнозое. Стратиграфия, палеоэкология, культуры. 2014. Вып. 3. С. 19–41.

Верзилин Н. Н. О классификации осадочных пород при литолого-палеогеографических исследованиях // Геология и геофизика. 1995. Т. 36, № 11. С. 131–141.

Жданова А. И., Казанский А. Ю., Зольников И. Д., Матасова Г. Г., Гуськов С. А. Опыт фациально-генетического расчленения субаэральных отложений Новосибирского Приобья геолого-петромагнитными методами на примере опорного разреза “Огурцово” // Геология и геофизика. 2007. Т. 48, № 4. С. 446–459.

Жданова А. И., Матасова Г. Г., Зольников И. Д., Казанский А. Ю., Гуськов С. А. Условия накопления четвертичных субаэральных отложений Новосибирского Приобья по геолого-геофизическим данным разреза Кольцово // Вестник Санкт-Петерб. гос. ун-та. Серия 7. Геология и География. 2009. № 3. С. 69–85.

Лбова Л. В., Липнина Е. А., Медведев Г. И., Новосельцева В. М., Постнов А. В., Федоренко А. Б. Предварительное археологическое зонирование территорий Восточного Саяна, проблемы и перспективы поиска объектов каменного века // Проблемы археологии, этнологии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. 2005. Т. 11, ч. 1. С. 150–156.

Матасова Г. Г., Казанский А. Ю., Зыкина В. С. Наложение “аляскинской” и “китайской” моделей записи палеоклимата в магнитных свойствах отложений верхнего и среднего неоплейстоцена на юге Западной Сибири // Геология и геофизика. 2003. Т. 44, № 7. С. 638–651.

Мартьянова Г. Н., Снытко В. А., Щипек Т. Признаки современных эоловых процессов в тункинских котловинах (Юго-Западное Прибайкалье). Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 1998. 56 с.

Раукас А. В. Классификация обломочных пород и отложений по гранулометрическому составу. Таллин: Ин-т геологии АН Эстонской ССР, 1981. 24 с.

Роговской Е. О., Бердникова Н. Е., Липнина Е. А., Воробьева Г. А., Бердников И. М., Кузнецов А. М., Лохов Д. Н., Щетников А. А. Особенности палеолита Тункинской долины // V (XXI) Всероссийский археологический съезд. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2017. С. 871–872.

Evans M. E., Heller F. Environmental Magnetism. New York: Academic Press, 2003. 299 p.

Jasonov P. G., Nurgaliev D. K., Burov B. V., Heller F. A modernized coercivity spectrometer // Geologica Carpathica. 1998. Vol. 49, no. 3. P. 224–226.

Kozyrev A., Shchetnikov A., Klementev A., Filinov I. A., Fedorenko A., White D. The early Upper Palaeolithic of the Tunka rift valley, Lake Baikal region, Siberia // Quaternary International. 2014. Vol. 348. P. 4–13.

Matasova G. G., Kazansky A. Yu., Shchetnikov A. A., Filinov I. A. 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. 2023. Vol. 14, no. 3. 0703. DOI 10.5800/GT-2023-14-3-0703

Shchetnikov A. A., Khenzykhenova F. I., Klementev A. M., Simakova A. N., Semenei E. Y., Filinov I. A. Changes of environments and climate during the Late Pleistocene and Holocene reconstructed from aeolian and colluvial deposits of the Zaktui site (Tunka rift valley, Baikal region) // Quaternary International. 2015. Vol. 355. P. 80–89.

Shchetnikov A. A., White D., Filinov I. A., Rutter N. Late Quaternary geology of the Tunka rift basin (Lake Baikal region) // Journal of Asian Earth Sciences. 2012. Vol. 46. P. 195–208.

Shchetnikov A. A., Bezrukova E. V., Kazansky A. Yu., Matasova G. G., Ivanova V. V., Khenzykhenova F. I., Danukalova G. A., Osipova E. M., Filinov I. A., Berdnikova N. E., Berdnikov I. M., Rogovskoy E. O., Lipnina E. A., Vorobyova G. A. The Tuyana section – a multiproxy record of sedimentation and environmental history during the Late Pleistocene and Holocene in the Tunka rift valley, Baikal region // Quaternary International. 2019. Vol. 534. P. 138–157.

Vandenberghe J. Grain size of fine-grained windblown sediment: A powerful proxy for process identification // Earth-Sci. Rev. 2013. Vol. 121. P. 18–30.

References

Berdnikova N. E., Berdnikov I. M., Rogovskoy E. O., Timoshchenko A. A., Ulanov I. V., Sokolova N. B., Popov A. A., Kogay S. A. New archaeological sites in the Tunka basin (Baikal rift zone). *Eurasia in the Cenozoic. Stratigraphy, paleoecology, cultures*, 2014, iss. 3, pp. 19–41. (in Russ.)

Evans M. E., Heller F. Environmental Magnetism. New York, Academic Press, 2003, 299 p.

Jasonov P. G., Nurgaliev D. K., Burov B. V., Heller F. A modernized coercivity spectrometer. *Geologica Carpathica*, 1998, vol. 49, no. 3, pp. 224–226.

Kozyrev A., Shchetnikov A., Klementev A., Filinov I. A., Fedorenko A., White D. The early Upper Palaeolithic of the Tunka rift valley, Lake Baikal region, Siberia. *Quaternary International*, 2014, vol. 348, pp. 4–13.

Lbova L. V., Lipnina E. A., Medvedev G. I., Novoseltseva V. M., Postnov A. V., Fedorenko A. B. Preliminary archaeological zoning of the territories of the Eastern Sayan, problems and prospects of searching for Stone Age objects. *Problems of archeology, ethnology, anthropology of Siberia and adjacent territories*, 2005, vol. 11, pt. 1, pp. 150–156. (in Russ.)

Matasova G. G., Kazansky A. Yu., Zykina V. S. Superposition of "Alaskan" and "Chinese" models of paleoclimate records in magnetic properties of upper and middle Neopleistocene deposits in southern West Siberia. *Russian Geology and Geophysics*, 2003, vol. 44, no. 7, pp. 607–619. (in Russ.)

Matasova G. G., Kazansky A. Yu., Shchetnikov A. A., Filinov I. A. 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*, 2023, vol. 14, no. 3, 0703. DOI 10.5800/GT-2023-14-3-0703

Martyanova G. N., Snytko V. A., Shchipek T. Signs of modern aeolian processes in the Tunka depressions (Southwestern Baikal region). Irkutsk, Institute of Geology SB RAS Publ., 1998, 56 p. (in Russ.)

Raukas A. V. Classification of clastic rocks and sediments by granulometric composition. Tallinn, Institute of Geology of the Academy of Sciences of the Estonian SSR, 1981, 24 p. (in Russ.)

Rogovskoy E. O., Berdnikova N. E., Lipnina E. A., Vorobyova G. A., Berdnikov I. M., Kuznetsov A. M., Lokhov D. N., Shchetnikov A. A. Features of the Paleolithic of the Tunka Valley. In: V (XXI) All-Russian Archaeological Congress. Barnaul, AltSU Press, 2017, pp. 871–872. (in Russ.)

Shchetnikov A. A., Khenzykhenova F. I., Klementev A. M., Simakova A. N., Semenei E. Y., Filinov I. A. Changes of environments and climate during the Late Pleistocene and Holocene reconstructed from aeolian and colluvial deposits of the Zaktui site (Tunka rift valley, Baikal region). *Quaternary International*, 2015, vol. 355, pp. 80–89.

Shchetnikov A. A., White D., Filinov I. A., Rutter N. Late Quaternary geology of the Tunka rift basin (Lake Baikal region). *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, vol. 46, pp. 195–208.

Shchetnikov A. A., Bezrukova E. V., Kazansky A. Yu., Matasova G. G., Ivanova V. V., Khenzykhenova F. I., Danukalova G. A., Osipova E. M., Filinov I. A., Berdnikova N. E., Berdnikov I. M., Rogovskoy E. O., Lipnina E. A., Vorobyova G. A. The Tuyana section – a multiproxy record of sedimentation and environmental history during the Late Pleistocene and Holocene in the Tunka rift valley, Baikal region. *Quaternary International*, 2019, vol. 534, pp. 138–157.

Vandenberghe J. Grain size of fine-grained windblown sediment: A powerful proxy for process identification. *Earth-Sci. Rev.*, 2013, vol. 121, pp. 18–30.

Verzilin N. N. On the classification of sedimentary rocks in lithologic-paleogeographic investigations. *Russian Geology and Geophysics*, 1995, vol. 36, no. 11, pp. 131–141. (in Russ.)

Zhdanova A. I., Kazansky A. Yu., Zolnikov I. D., Matasova G. G., Guskov S. A. Applications of geological and petromagnetic methods to facies-genetic division of subaerial deposition in the Ob' region near Novosibirsk (Ogurtsovo key section). *Russian Geology and Geophysics*, 2007, vol. 48, no. 4, pp. 349–360. (in Russ.)

Zhdanova A. I., Matasova G. G., Zolnikov I. D., Kazansky A. Yu., Guskov S. A. Deposition conditions Quaternary subaerial sediments of the Novosibirsk Ob' region according to the geological and geophysical data from the Koltsovo section. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Series 7: Geology and Geography*, 2009, no. 3, pp. 69–85. (in Russ.)

Информация об авторах

Галина Гельевна Матасова, доктор геолого-минералогических наук
Scopus Author ID 6603321863
WoS Researcher ID B-4749-2014
RSCI Author ID 63949

Алексей Юрьевич Казанский, доктор геолого-минералогических наук, профессор
Scopus Author ID 24461920300
WoS Researcher ID D-2607-2015
RSCI Author ID 61272
SPIN 8151-3812

Александр Александрович Щетников, кандидат геолого-минералогических наук
Scopus Author ID 23989643500
WoS Researcher ID L-1032-2017
RSCI Author ID 62348
SPIN 6386-4298

Иван Анатольевич Филинов, кандидат геолого-минералогических наук
Scopus Author ID 23060394600
WoS Researcher ID T-1907-2018
RSCI Author ID 70341
SPIN 2024-8196

Наталья Евгеньевна Бердникова
Scopus Author ID 55707335800
WoS Researcher ID AAH-8926-2019
RSCI Author ID 70233
SPIN 5002-1496

Information about the Authors

Galina G. Matasova, Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy)
Scopus Author ID 6603321863
WoS Researcher ID B-4749-2014
RSCI Author ID 63949

Alexey Yu. Kazansky, Doctor of Sciences (Geology and Mineralogy), Professor
Scopus Author ID 24461920300
WoS Researcher ID D-2607-2015
RSCI Author ID 61272
SPIN 8151-3812

Alexandr A. Shchetnikov, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy)
Scopus Author ID 23989643500
WoS Researcher ID L-1032-2017
RSCI Author ID 62348
SPIN 6386-4298
Ivan A. Filinov, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy)
Scopus Author ID 23060394600
WoS Researcher ID T-1907-2018
RSCI Author ID 70341
SPIN 2024-8196
Natalia E. Berdnikova
Scopus Author ID 55707335800
WoS Researcher ID AAH-8926-2019
RSCI Author ID 70233
SPIN 5002-1496

Вклад авторов:

Г. Г. Матасова – разработка концепции исследования, отбор и анализ материала, подготовка иллюстраций, формулирование выводов, подготовка первой версии статьи.
А. Ю. Казанский – разработка концепции исследования, отбор и анализ материала, подготовка иллюстраций, формулирование выводов, доработка текста.
А. А. Щетников – разработка концепции исследования, отбор и анализ материала, подготовка иллюстраций, доработка текста.
И. А. Филинов – отбор и анализ материала, подготовка иллюстраций.
Н. Е. Бердникова – разработка концепции исследования, анализ материала.

Contribution of the Authors:

Galina G. Matasova, development of the research concept, selection and analysis of material, preparation of illustrations, formulation of conclusions, preparation of the first version of the article.
Alexey Yu. Kazansky, development of the research concept, selection and analysis of material, preparation of illustrations, formulation of conclusions, revision of the text.
Alexandr A. Shchetnikov, development of the research concept, selection and analysis of material, preparation of illustrations, formulation of conclusions, revision of the text.
Ivan A. Filinov, selection and analysis of material, preparation of illustrations, revision of the text.
Natalia E. Berdnikova, development of the research concept, analysis of material, revision of the text.

Статья поступила в редакцию 18.10.2024;
одобрена после рецензирования 29.11.2024; принята к публикации 29.11.2024
The article was submitted on 18.10.2024;
approved after reviewing on 29.11.2024; accepted for publication on 29.11.2024