

Научная статья
УДК 551.4.07
doi: 10.17223/25421379/23/9

ПОДМЕНЕННАЯ РЕАЛЬНОСТЬ И ИСТИННЫЙ ГЕНЕЗИС КУРАЙСКИХ ГРЯД (ГОРНЫЙ АЛТАЙ, РОССИЯ)

Александр Васильевич Поздняков¹, Юрий Сергеевич Пупышев²,
Алексей Васильевич Пучкин³



^{1, 2, 3} Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

³ Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

¹ synergeia.pol@gmail.com

² pupyshev95@mail.ru

³ burabay@mail.ru

Посвящается памяти Льва Николаевича Ивановского

Аннотация. Приводятся результаты исследования, направленного на определение генезиса грядовой морфоскульптуры Курайской котловины, известной под названием «гигантская рябь течения». Установлено, что грядовые формы рельефа по своим морфологическим характеристикам, стратиграфическому строению и гидравлической крупности слагающего их обломочного материала не соответствуют условиям гигантского потока со скоростью течения до 10 м/с. Формирование грядового рельефа связывается с эрозионно-аккумулятивной деятельностью временных водотоков на поверхности дна понижавшегося ледово-подпрудного озера.

Ключевые слова: Горный Алтай, Чуйско-Курайская котловина, грядово-ложбинный рельеф, гигантская рябь течения, гравийная дюна, абразионно-аккумулятивная морфоскульптура

Источник финансирования: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90051\20 и в соответствии с научно-исследовательским проектом ИМКЭС СО РАН № 121031300226-5.

Для цитирования: Поздняков А.В., Пупышев Ю.С., Пучкин А.В. Подмененная реальность и истинный генезис Курайских гряд (Горный Алтай, Россия) // Геосферные исследования. 2022. № 2. С. 145–161. doi: 10.17223/25421379/23/9

Original article
doi: 10.17223/25421379/23/9

SUBSTITUTED REALITY AND THE TRUE GENESIS OF THE KURAY RIDGES (ALTAI MOUNTAINS, RUSSIA)

Alexander V. Pozdnyakov¹, Yuriy S. Pupyshev², Alexey V. Puchkin³

^{1, 2, 3} Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

³ National Research Tomsk National Research State University, Tomsk, Russia

¹ synergeia.pol@gmail.com

² pupyshev95@mail.ru

³ burabay@mail.ru

Abstract. The paper presents new objective evidence that the ridge-hollow relief of the Kuray basin, considered as a dune complex formed in a giant whirlpool, is an excavation erosion-accumulative cryptostructure, overlain by a cover of lacustrine psammite-pelitic deposits. The conclusions are based on the results of detailed field studies accompanied by instrumental leveling of landforms in transverse and longitudinal sections; mining works on opening of sediments by pits with subsequent description of textural and structural features of sedimentary strata. Studies have shown that the relief of the ridges is a network of depressions, separated by a corresponding network of watersheds: from the first order on their southern end to the fourth order on the northern end. Thus, the postulated statement about the supposedly existing giant high-speed whirlpool that formed the ridges relief in the Kuray basin is actually not confirmed by the synchronous and hydrophysical incompatibility of the interaction of genetically different processes: the simultaneous development of abrasion-accumulative and erosion processes within one territory is impossible. It has been established that the formation of the ridge-hollow relief occurred as a result of erosion-accumulative activity of fluvio-glacial channel streams with flooding regime. Ridge complexes of the Kuray basin belong to alluvial-proluvial facies of terrestrial (internal) deltas. During the existence of the lake basin, this relief was buried by the thickness of lake sediments. The conclusions of the predecessors about the wide distribution of ridge and dune forms of relief in the Chuya and Kuray

basins and in the adjacent territories are not confirmed (Baratal, Chagan-Uzun, etc.). The genesis of the Karakol ridges is associated with cryogenic hydrothermal structuring of clastic material, characterized by the formation of morphologically characteristic bands of rocks - homomorphic channel dune-ridge formations. And the formation of ridges in the Baratal tract, associated with spillways, is actually dells.

Keywords: Altai Mountains, Chuya and Kuray basins, ridge-hollow relief, giant current ripples, gravel dune, abrasion-accumulative landforms

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR according to the research project № 20-35-90051\20 and was carried out in accordance with the research project of IMCES SB RAS № 121031300226-5.

For citation: Pozdnyakov, A.V., Pupyshev, Yu.S., Puchkin, A.V. (2022) Substituted reality and the true genesis of the Kuray Ridges (Altai Mountains, Russia). *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 2. pp. 145–161. (In Russian). doi: 10.17223/25421379/23/9

Введение

Согласно общему контексту проводившихся нами исследований [Поздняков, Хон, 2001, 2018; Поздняков, 2019; Поздняков, Пупышев, 2020] и выводам других исследователей [Agatova et al., 2020; Herget et al., 2020], Чуйско-Курайское ледово-подпрудное озеро образовалось на границе неоплейстоцена и голоцена (ранний дриас) в пределах Чуйской и Курайской межгорных котловин юго-восточной части Горного Алтая (рис. 1). Среди известных подпрудных озер: Миссула – 630 м [Pardee, 1910; Smith et al., 2018], Сарезское с грунтовой плотиной – 600 м [Schuster, Alford, 2004], Муйское (Витим) [Margold et al., 2018], – Чуйско-Курайское ледово-подпрудное озеро характеризуется наиболее высокой плотиной. По уточненным нами данным [Поздняков, Пупышев, 2020], в максимум наполнения до абсолютной отметки уровня 2 133 м глубина его была 657 м, объем воды составлял 753 км³, а площадь акватории палеоозера – 3 054 км². Спуск озерного бассейна сопровождался формированием на склонах котловин в границах высот 1 530–2 133 м двухсот абразионно-аккумулятивных террас. Продолжительность наполнения при условии современного расхода воды 4,88 м³/с в зимнюю межень составляла 4 892 лет; продолжительность осушения, при условии равенства величины понижения уровня воды количеству террас, – 200 лет.

Занимаемая озером система котловин вытянута с северо-запада на юго-восток; ее крайними географическими координатами являются 49°42' и 50°17' с.ш. и 87°47' и 89°14' в.д. (см. рис. 1).

Горное обрамление Чуйско-Курайской системы котловин включает Северо-Чуйский и Южно-Чуйский хребты с юга, Курайский хребет с севера и хребты Сайлюгем и Чихачева с востока и юго-востока. Абсолютные высоты днища Курайской котловины варьируют от 1 480 м в центральной части до 1 750 м по периферии. В Чуйской котловине этот диапазон составляет от 1 700 до 2 150 м соответственно. Для горного обрамления Чуйской и Курайской котловин

характерен типичный альпийский рельеф, в котором выделяется два высотных уровня. Первый образуют гребни и вершины Южно- и Северо-Чуйского хребтов (абс. высота 3 000–4 000 м, с относительными превышениями в 1 500–2 000 м); рельеф отличается глубоким эрозионным расчленением, периодически сопровождающимся ледниковым экзарационным и флювиогляциальным моделированием. Второй уровень прослеживается по вершинам хребтов Курайского и Чихачева (абс. высота 2 500–3 000 м, с относительными превышениями 800–1 200 м). Здесь высокогорный уровень расчленен значительно слабее, поверхность его на ряде участков представляет собой древний, реликтовый холмисто-равнинный рельеф неогенового возраста, сохранившийся от последующей экзарации.

Краткая история исследования. Проблема формирования и деградации Чуйско-Курайского ледово-подпрудного озера привлекает внимание исследователей в течение уже более полувека [Лунгерсгаузен, Раковец, 1958]. Возросший научный интерес к ней был инициирован публикациями в 1984–1993 гг. А.Н. Рудого [Baker, Benito, Rudoy, 1993; Рудой, 2005] и В.В. Бутвиловского [Бутвиловский, 1993], а затем и иностранных ученых [Baker, Benito, Rudoy, 1993; Carling, 1996; Herget, 2005; Carling, Bristow, Litvinov, 2016]. Практически все это время проблема связывается с быстротечным размывом (прорывом) ледово-подпрудной плотины и его гидродинамическими эрозионно-аккумулятивными следствиями в нижнем бьефе. Полагается, что истечение всего объема воды из озера произошло за 1–3 суток [Baker, Benito, Rudoy, 1993; Бутвиловский, 1993; Рудой, 2005], и оно обусловило образование в Курайской котловине гигантского водоворота глубиной 400 м, со скоростью течения до 30–45 м/с (по другим суждениям – до 10 м/с [Инишев и др., 2015]), предопределившего формирование Курайского грядово-ложбинного рельефа, названного, по инициативе одного из соавторов постулируемой идеи [Рудой, 2005, 2006], «гигантской рябью течения», в англоязычной литературе – «гравийные дюны» [Carling, 1996].

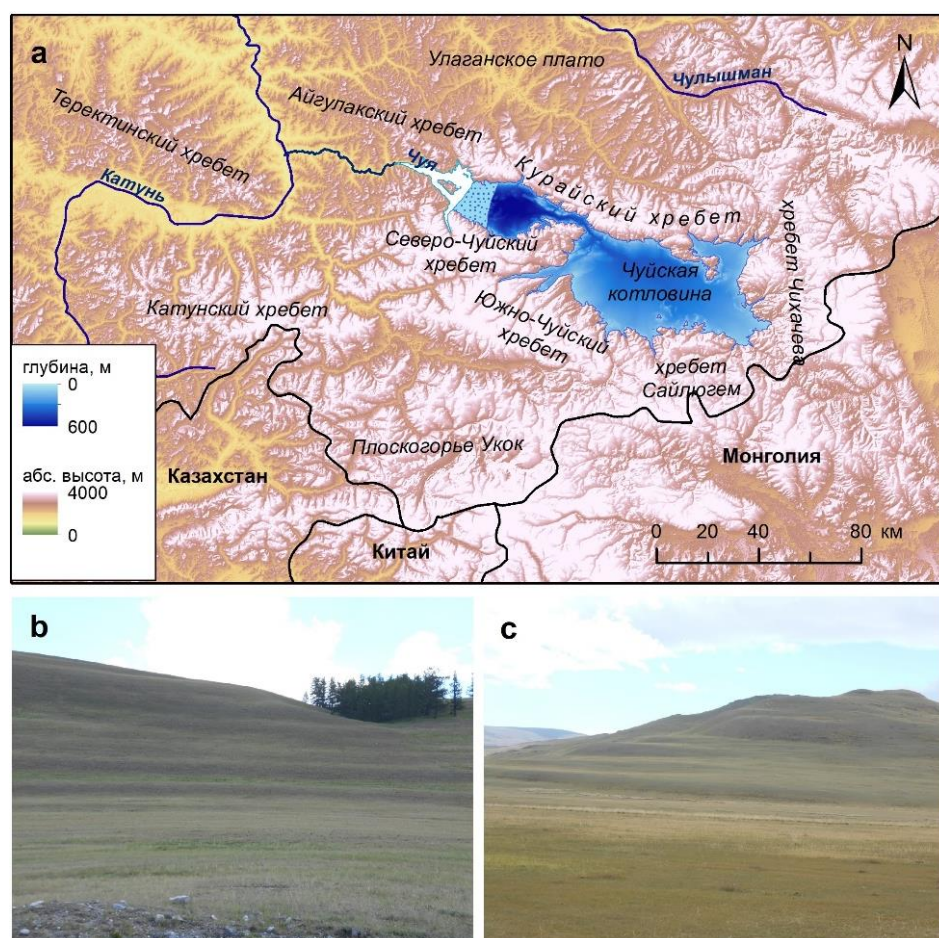


Рис. 1. Географическое положение Чуйско-Курайского ледово-подпрудного озера

а – абразионно-аккумулятивные террасы ледово-подпрудного озера; б – на высоте 1 630–1 690 м на склонах Курайской котловины; с – на абсолютной высоте 1 946–2 056 м в Чуйской котловине

Fig. 1. Geographical location of the Chuya-Kuray ice-dammed lake

а – paleoshorelines of the ice-dammed lake; б – at an absolute height of 1630–1690 m on the slopes of the Kuray basin; с – at an absolute height of 1946–2056 m in the Chuya basin

Данные положения о существовании водоворота и формировании в нем валунно-галечниковых дюн затем стали рассматриваться как научный факт, на этой основе проводилось численное моделирование динамики эрозионно-аккумулятивных процессов и определялись расходы воды в самом водовороте и в нижнем бьефе [Рудой, 2005; Инишев и др., 2015; Bohorquez, Carling, Herget, 2016; Bohorquez, Jimenez-Ruiz, Carling, 2019]. По результатам этих исследований выходило, что осушение озера произошло за 33,8 ч, при этом расход воды составил 10,5 млн м³/с [Bohorquez, Jimenez-Ruiz, Carling, 2019]. Согласно нашим исследованиям [Поздняков, Хон, 2001, 2018; Поздняков, Окишев, 2002; Поздняков, 2019; Поздняков, Пупышев, 2020], идеи упоминаемых авторов не подтверждаются.

В данной статье приводятся новые сведения по стратиграфии коррелятных отложений гряд, резуль-

таты общего анализа геоморфологического строения территории Курайской котловины, закономерностей ложбинного расчленения Курайского поля гряд.

Результаты нашего исследования имеют теоретическое и научно-методологическое значение для выявления истории и динамики природных процессов, имеющих распространение в различных регионах Евразии и Северной Америки.

Методы исследования

Для определения генезиса грядово-ложбинного морфолитогенетического комплекса применялись методы крупномасштабных маршрутных исследований, сопровождавшихся инструментальным нивелированием морфоскульптур в поперечном и продольном сечениях, выполнением горнопроходческих работ для вскрытия отложений шурфами с последующим опи-

санием текстурно-структурных особенностей осадочных толщ. Маршрутными исследованиями была покрыта вся территория Чуйско-Курайских котловин, а ложбинно-грядовый рельеф изучался в многократных повторностях и в различные сезоны года, включая и зимние. Большую ценность имеют наблюдения, проводившиеся в зимний период формирования наледей и летом в период дождей, когда физические свойства грунтов существенно изменялись. По полученным показателям и по местам распределения сурчин были установлены сохранившиеся от размыва участки покрова озерных отложений и определены места для детальных исследований, заложения шурфов и др.

С целью сравнительной характеристики гряд различного генезиса были проведены экспедиционные

исследования по долинам р. Чуи до ее устья, включая грядовые морфоскульптуры в урочищах озер Джангысколь и Баратал, по террасам р. Катунь до ее устья (пешие и водные маршруты на рафте) с целью уточнения генезиса гряд на их террасах в районе с. Иня и притока Инюшка, изучались гряды на правобережных катунских террасах в районе правого притока р. Бельтиртюк, с. Куюс и в приустьевой части р. Эдиган, на левобережных террасах р. Катунь в районе сел Подгорное и Платово.

Проведено экспедиционное обследование грядовых комплексов на правобережных террасах р. Малый Енисей (Тува), начиная от устья до сел Суг-Бажы и Бурен-Хем, на расстоянии 50 км вверх по течению реки.



Рис. 2. Исследование механизма формирования

а – продольного профиля динамического равновесия русла по типу брахистохроны; б – грядовой формы перемещения обломочного материала в русле [Поздняков, 2016]

Fig. 2. Study of the mechanism of formation

а – longitudinal profile of the dynamic equilibrium of the channel according to the type of brachistochrone; б – ridge form of clastic material movement in the channel [Pozdnyakov, 2016]

В полевых условиях проводилось экспериментальное моделирование грядовых форм движения обломочных частиц в водном потоке в специально конструируемых лотках [Поздняков, 2016]. Использовались две их модификации: одна для изучения механизма формирования продольного профиля динамического равновесия русла по типу брахистохроны (полевой лоток с. Курлек, выполненный в металле) и процессов спонтанного самоограничения турбулентной водной струи (рис. 2, а); другая для изучения грядовой формы перемещения обломочно-

го материала в русле (рис. 2, б) – эти лотки строились из досок на месте экспедиционных исследований на берегах русла р. Тютё, Горный Алтай.

Особенность экспериментального моделирования состояла в том, что наблюдение проводилось за процессом самоорганизации формы рельефа и последовательности изменения ее морфометрических параметров – от начальных (на горизонтальной поверхности) до стационарной динамически равновесной стадии. С этой целью уклон дна лотков составлял 0°, а расходы воды и смеси обломочных частиц с задан-

ным соотношением размеров (и гидравлической крупности) были постоянными ($d = 10$ мм; $d = 5$ мм; $d = 1$ мм; $d = 0,1$ мм; $d < 0,1$ мм; расход воды 0,5 л/с). Обломочный материал и вода поступали на дно лотка площадью $0,2 \times 0,2$ м² в самом его начале (длина лотка 5,0 м) и самопроизвольно удалялись формирующимся водным потоком в приемный бассейн.

По результатам исследования составлялся алгоритм пространственно-временной последовательности изменения морфометрических характеристик русловых форм рельефа.

Гидродинамические условия осадконакопления в грядах определялись по результатам гранулометрического анализа отложений. Количественное соотношение крупных фракций обломочного материала (от 1 см до > 50 см в диаметре) определялось в процентах по соотношению их объемов.

Гидравлическая крупность ω обломков рассчитывалась по формуле

$$\omega = \sqrt{\frac{4}{3}g} \sqrt{\frac{d(\rho_{\text{тв}} - \rho_{\text{ж}})}{C_d \rho_{\text{ж}}}}, \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения, d – размер обломков в миделевом сечении (в см); $\rho_{\text{тв}}$ – плотность обломков; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность воды; C_d – коэффициент сопротивления, зависящий от формы обломков и составляющий для шаровидных 0,45, для обломков прямоугольной формы – 2 [Альтшуль и др., 1977].

В определении генезиса пелито-псаммитовых отложений, образующих покров на валунно-галечниковой толще гряд, использовался метод структурно-текстурного анализа, проводившегося на основе характеристики структуры осадочных пород (размеры и взаимные соотношения обломочных частиц) и их текстуры (пространственные морфометрические характеристики слоев).

Для общей количественной морфометрической характеристики территории исследования составлялась цифровая модель рельефа Чуйско-Курайской межгорной котловины на основе матрицы высот SRTM (шаг сетки 90 м).

Исследования генезиса грядово-ложбинного рельефа

Днище Курайской межгорной котловины представляет собой полигенетическую аккумулятивную равнину, сложенную коррелятными озерными, флювиальными и флювиогляциальными отложениями (рис. 3). В контексте проводившихся исследований, научный интерес в первую очередь представляли два генетически разнородных объекта, взаимно исключаящих их синхронное формирование и развитие: 1 – грядово-ложбинный рельеф, сформировавшийся

на поверхности аккумулятивной флювиогляциальной равнины, в вышеуказанных публикациях характеризуемый как «гигантская рябь течения» [Рудой, 2005], или «гравийные дюны» [Бутвиловский, 1993; Baker, Benito, Rudoy, 1993; Carling, 1996; Herget, 2005], 2 – абразионно-аккумулятивный рельеф, представленный в различной степени денудированными абразионными уступами, барами и клифами на склонах Чуйско-Курайской котловины [Поздняков, Пупышев, 2020] (см. рис. 1, б, с).

Существуют два изолированных друг от друга участка грядово-ложбинного рельефа: Курайское поле, состоящее из четырех генераций гряд (рис. 3, 1–4) и Тюте-Актуринские гряды (рис. 3, 5). Оба они ориентированы согласно простираниям долин рек Тюте (Курайское поле гряд) и Актру (гряды) и располагаются, соответственно, на абсолютных высотах равнины 1 500–1 600 м и 1 600–1 700 м, с уклонами поверхности 2–3°. Западной границей грядово-ложбинной морфоскульптуры является эрозионный уступ р. Тюте, юго-восточной – озерная абразионно-аккумулятивная террасированная равнина (рис. 3, 9). Абсолютная высота поверхности в северной части 1 520 м, на южной оконечности – 1 600 м.

Тальвегово-грядовая сеть грядово-ложбинной морфоскульптуры. Морфоскульптура состоит из совокупности вытянутых с юга на север субпараллельных гряд и разделяющих их ложбин – тальвегов, меридионально ориентированных параллельно руслу р. Тюте (рис. 4). Исследованиями установлено, что грядовый рельеф представляет собой сеть ложбинных понижений, разделенных соответствующей сетью водоразделов: от первого порядка на южной их оконечности до четвертого порядка на северном окончании. Превышение высот гряд (водораздельных поверхностей) над тальвегами 4-го порядка в южной части грядового поля составляет 5–16 м, а на северном их окончании, в зоне формировавшихся тальвегов 1-го порядка, – 0,5–1 м. Ширина гряд по основанию, или расстояние между ограничивающими их тальвегами 4-го порядка, составляет 100–150 м, закономерно уменьшаясь в южном направлении до 40 м (расстояние между тальвегами 1-го порядка). По мере убывания относительной высоты гряд тальвеги 1-го порядка приобретают вид ложбин, пересекающих друг друга под углом 10–15°, и рельеф поверхности в целом приобретает ячеистую структуру. В каждой ячее размера 7–8 м на 10–12 м наблюдается возвышение, в центральной части которого располагается крупнообломочный материал, а в ограничивающих их ложбинах глубиной 0,3–0,5 м преобладает суглинистый с примесью щебня. Травяной покров разреженный, тогда как оконтуривающие их понижения покрыты густой травяной растительностью.

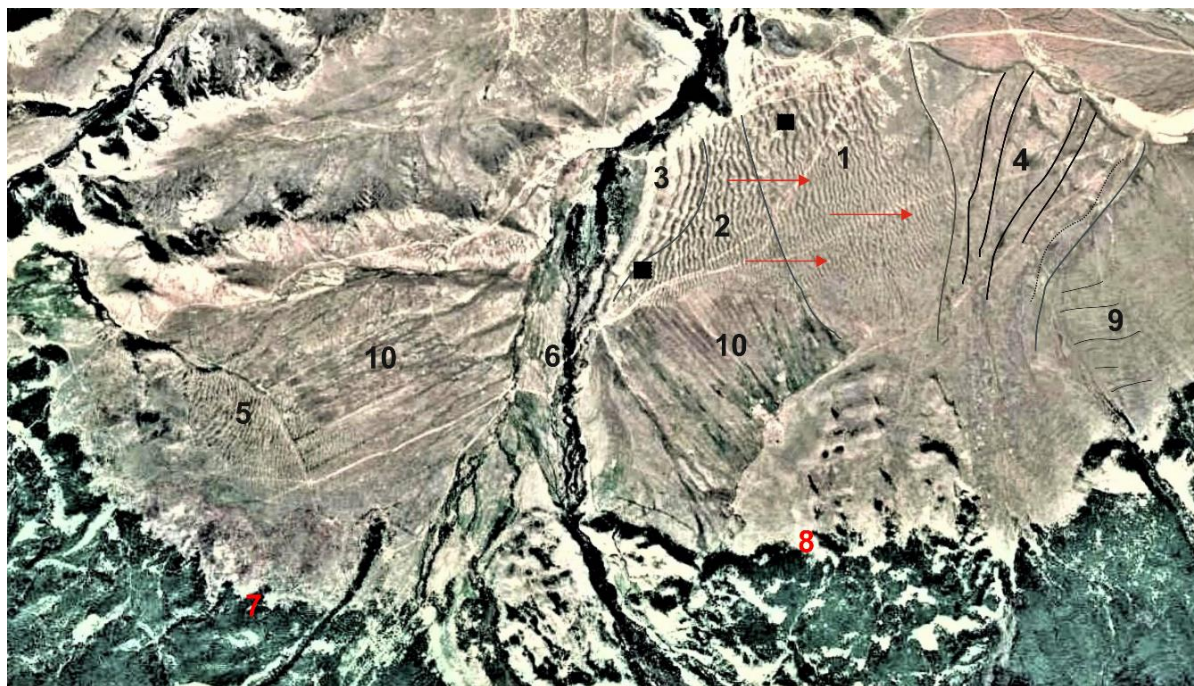


Рис. 3. Геоморфоскульптурные комплексы дна Курайской котловины

1–4 – наземные дельты (конусы выноса) различных возрастных генераций; 4 – наземная дельта (конус выноса) р. Тюте, формировавшаяся на заключительной стадии осушения дна котловины; 5 – реликты грядово-ложбинного рельефа наземной дельты р. Актру; 6 – современная формирующаяся наземная флювиогляциальная дельта р. Тюте; 7–8 – реликты моренно-флювиогляциальных комплексов наземных дельт рек: 7 – Тюте; 8 – Актру); 9 – абразионно-аккумулятивные террасы; 10 – техногенно измененный рельеф; квадратами отмечены участки детальных исследований грядового рельефа; стрелками показано направление течения катастрофического потока, по Н.А. Рудому [Рудой, 2005]

Fig. 3. Landforms of the bottom of the Kuray basin

1–4 – alluvial fans of various age generations; 4 – alluvial fan r. Tyute, formed at the final stage of draining the bottom of the basin; 5 – relics of the ridge-hollow relief of the alluvial fan of the river. Aktru; 6 – modern emerging fluvioglacial delta of the river Tyute; 7–8 – relics of moraine-fluvioglacial complexes, alluvial fans of rivers: 7 – Tyute and 8 – Aktru); 9 – abrasion-accumulative terraces (paleoshorelines); 10 – technogenically modified relief; squares mark the areas of detailed studies of the ridge relief; the arrows show the direction of the catastrophic flow according to N.A. Rudoy [Rudoy, 2005]

На всем протяжении межгрядовых ложбин в их тальвегах наблюдаются промоины, рытвины, частота встречаемости которых вниз по течению возрастает, и, наконец, появляются хорошо выраженные русла глубиной 0,15–0,3 м, а в крайней восточной части грядового поля – до 0,5 м. Уклон тальвегов, по данным инструментальных измерений, составляет 1,2–1,4° (рис. 5).

Согласно структурно-иерархической классификации речной сети Философова–Стралера, здесь выделяется три типа расчленения – бифуркационный, бифуркационно-перистый, перистый. Порядок стволовых (главных) тальвегов закономерно увеличивается с запада на восток от 1 до 3–4 (см. рис. 4).

Асимметричность гряд достаточно выражена: склоны восточной экспозиции характеризуются уклонами 15–20°, западной – более пологие, 10°. Асимметричность грядовых форм Тюте-Актуринского поля в целом, если не считать исключений,

незначительна. Уклоны противоположных склонов равны или различаются в десятые доли градуса.

Реликты абразионных уступов на вершинной поверхности гряд. На основе маршрутного исследования, инструментального нивелирования и анализа общего плана строения сети тальвегов и водораздельных гребней с использованием аэро- и космофотоснимков установлено, что все они имеют четко выраженную ступенчатость. В плане уступы, разделяющие вершинные поверхности гряд по относительной и абсолютной высоте, располагаются на линиях, соответствующих их абсолютной высоте изогипс (рис. 6). К тому же с уступами связано и формирование бифуркационных «узлов» – точек разветвления или слияния двух тальвегов. Перед каждым уступом у их основания наблюдаются небольшие понижения, отходящие от осевой линии под углом 5–10° на юго-запад и юго-восток.

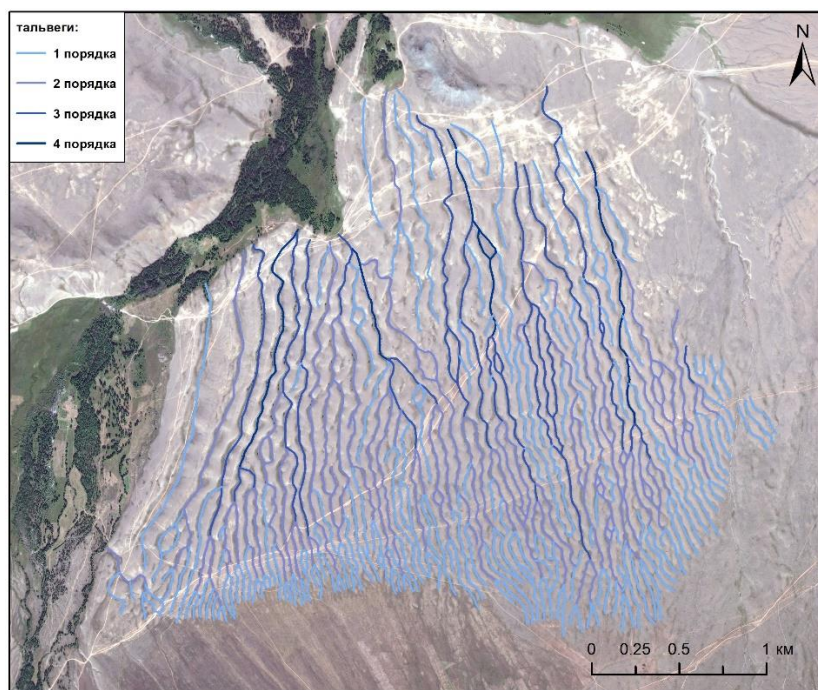


Рис. 4. Грядово-ложбинная перисто-бифуркационная сеть тальвегов 1–4-го порядков

Fig. 4. Ridge-hollow plumy-bifurcation network of thalwegs of 1–4 orders

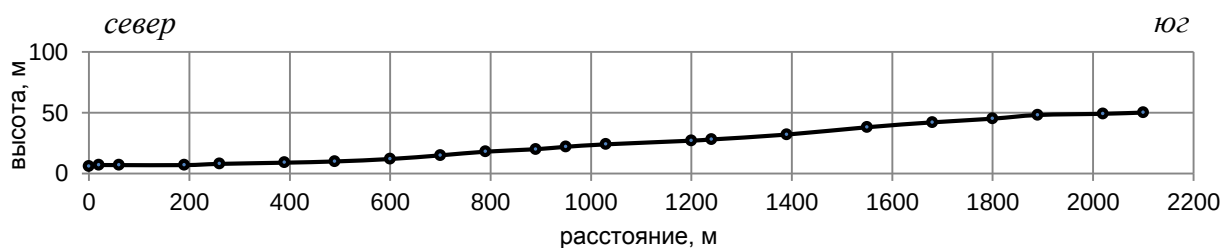


Рис. 5. Характерный уклон продольного профиля тальвегов межгрядовых ложбин

Fig. 5. Typical slope of the longitudinal profile of thalwegs in inter-ridge hollows

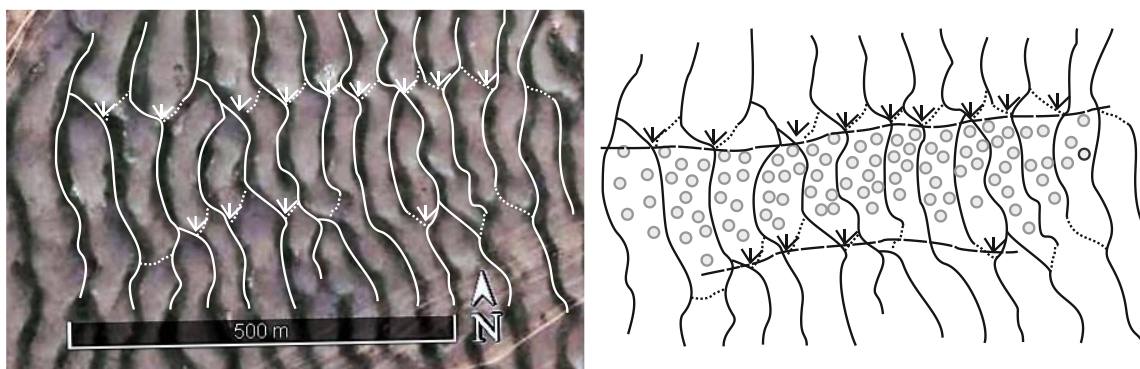


Рис. 6. Два типа бифуркации водотоков (деление потока на два и слияние двух в один) при пересечении ими абразионных уступов в период эрозионно-денудационного вскрытия (откапывания) ложбинно-грядовой морфоскульптуры

Fig. 6. Two types of bifurcation of watercourses (dividing a stream into two and merging two into one) when they cross abrasion ledges during the period of erosion-denudation opening (digging out) of the hollow-ridge morphosculpture

В отложениях преобладает суглинок, в периоды увлажнения размокающий до вязко-пластичной консистенции. Установлено, что данные участки представляют собой реликты конусов выноса, сформировавшиеся на границах пересечения водотоками абразионных уступов.

Геолого-геоморфологическая характеристика северной части Курайского грядово-ложбинного рельефа

Местоположение определяется координатами: 50°10'30.78" с.ш., 87°55'27.56" в.д. Грядово-ложбинный рельеф здесь представлен сочетанием стволных ложбин 3–4-го порядка и разделяющих их гряд – водоразделов, относительные высоты которых закономерно уменьшаются в восточном направлении. Первые четыре западные гряды, начиная от пограничной с руслом р. Тюте, характеризуются высотой 10–16 м.

На изучавшемся участке высота гряд в направлении запад–восток 50° уменьшается с 5 до 2 м. Соот-

ветственно меняется и ширина по их основанию – от 150 до 50 м. Во всех пяти шурфах вскрывается толща озерных отложений мощностью 0,6–3,0 м, представленная суглинками бурого и светло-серого цвета с горизонтальной слоисто-листоватой текстурой (рис. 7, шурфы 1, 2, слои 2, 4, 6). Пачки плотной тонкослоистой глины мощностью 0,4 м чередуются с маломощными (0,15 м) пачками тонкослоистых алевритов (см. рис. 7, шурф 2). Вся толща в разной степени деформирована криогенными турбациями в результате резких изменений гидротермического режима, что проявляется в текстурах нарушения слоистости в виде изгибания слоев, разрывов и вертикальных смещений (см. рис. 7, шурфы 1 и 2). Первично-горизонтальное напластование с выраженной ритмичностью осадконакопления наблюдается на глубине 2–3 м. В остальных шурфах (4–7) вскрывается подошва тонкослоисто-листоватых озерных отложений, аналогов отложениям, вскрытым в шурфах 1 и 2.

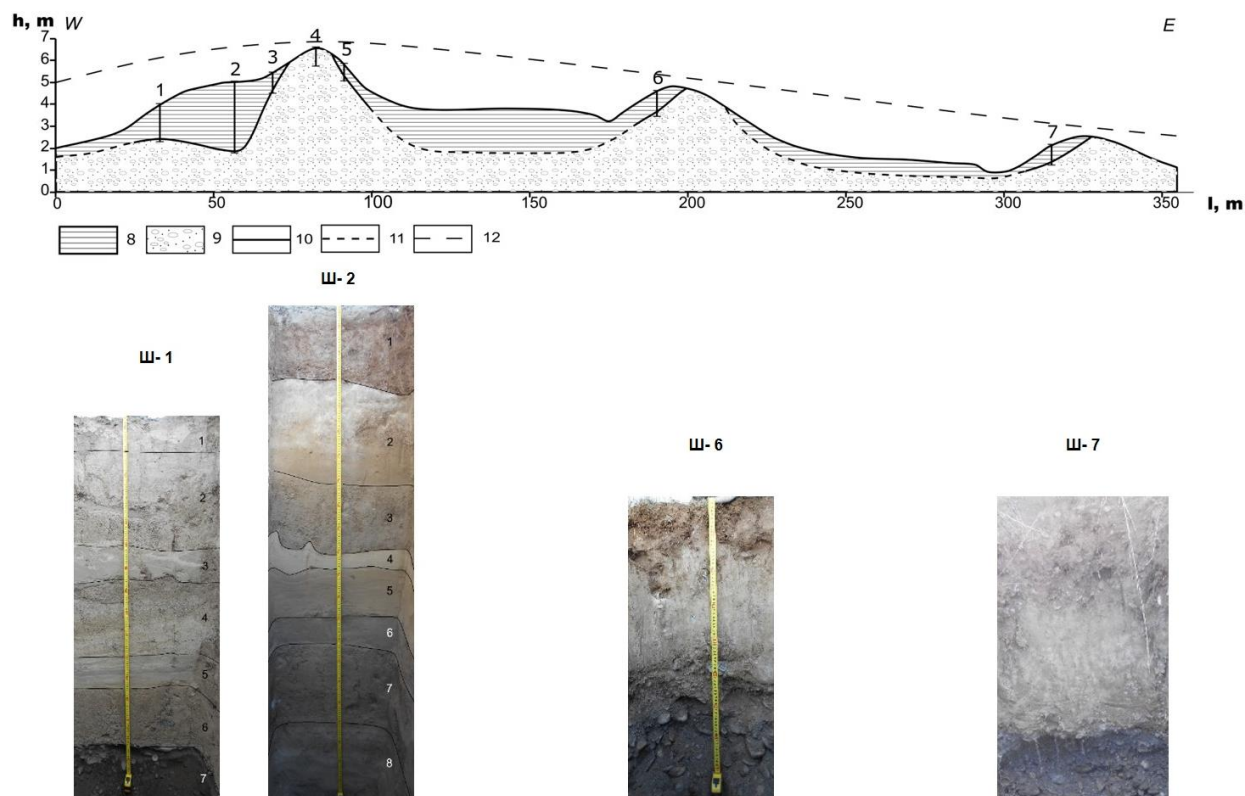


Рис. 7. Инструментальный профиль поверхности «откопанного» грядово-ложбинного рельефа и коррелятных отложений в северной части Курайского грядового поля

1–7 – номера разрезов отложений гряды; 8 – озерные отложения; 9 – ожелезненные валунно-галечниковые отложения флювиально-пролювиальных потоков; 10 – границы слоев достоверные; 11 – границы предполагаемые; 12 – уровень исходной озерно-аккумулятивной равнины с абсолютной высотой 1600 м. Ш-1–Ш-7 – номера шурфов.

Fig. 7. Instrumental profile of the surface of the "dug out" ridge-hollow relief and correlated deposits in the northern part of the Kuray ridge field

1–7 – numbers of sections of deposits of the ridge; 8 – lacustrine deposits; 9 – ferruginous boulder-pebble deposits of fluvial-proluvial flows; 10 – the boundaries of the layers are reliable; 11 – boundaries are assumed; 12 – the level of the initial lacustrine-accumulative plain with an absolute height of 1600 m. Ш-1–Ш-7 - numbers of pits

Южный участок исследования грядово-ложбинного рельефа

Для анализа выбрана ограниченная со всех сторон ложбинами-тальвегами гряда (рис. 8), располагающаяся в точке с координатами: 50°09'45.91" с.ш., 87°54'7.52" в.д., на расстоянии 350 м от эрозионного уступа р. Тюте. Ширина гряды по основанию 40 м, по длинной оси – 85 м, относительная высота по-

дошвы (от уровня тальвегов окружающих ее ложбин) склона западной экспозиции 8,0 м, восточной – 3 м. Гряда имеет выраженную асимметрию – склон западной экспозиции в 2 раза длиннее восточного.

Стратиграфический разрез отложений по поперечному профилю гряды (азимут 50°) составлен на основании вскрытия их четырьмя шурфами глубиной 0,5–1,8 м: два на склоне западной экспозиции и два на восточной.

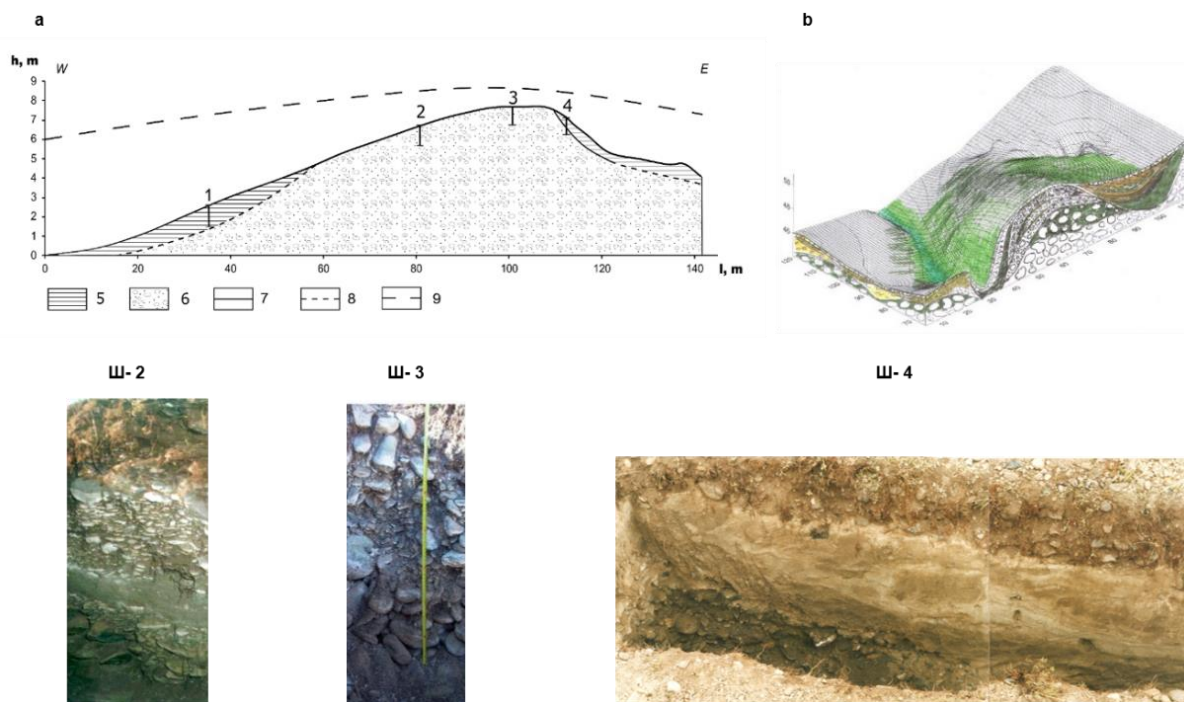


Рис. 8. Южный участок исследования Курайского грядового поля

а – геолого-геоморфологический разрез гряды на южном участке грядово-ложбинного поля: 1–4 – номера разрезов отложений гряды; 5 – реликты несогласно залегающей (с перерывом) толщи покрова озерных отложений, предположительно раннеголоценового возраста; 6 – конседиментационные отложения гряд, представленные слоями преимущественно крупной ожелезненной гальки и валунов с дресвой, с прослоями и линзами отмытого крупнозернистого песка (Ш-2 и Ш-3); 7 – границы слоев установленные и 8 – предполагаемые; 9 – предполагаемая граница поверхности озерно-аккумулятивной толщи; б – блок-диаграмма гряды в разрезе; Ш-1–Ш-4 – номера шурфов

Fig. 8. Southern section of the study of the Kurai ridge field

а – geological and geomorphological section of the ridge in the southern section of the ridge-hollow field; 5 – relics of the unconformably occurring (with a break) stratum of the cover of lacustrine sediments, presumably of Early Holocene age; 6 – consedimentary deposits of ridges, represented by layers of mainly large ferruginous pebbles and boulders with gruss, with interlayers and lenses of washed coarse-grained sand (Ш-2 and Ш-3); 7 – boundaries of layers established and 8 – assumed; 9 – the proposed boundary of the surface of the lacustrine-accumulative strata; б – block diagram of the ridge in the section; Ш-1–Ш-4 – numbers of pits

Гряда сложена преимущественно не дифференцированными по гранулометрической и гидравлической крупности галечниками и валунами (таблица). Геологический разрез отложений гряды интересен тем, что в нем сохранились от денудационного преобразования реликты озерных отложений (разрезы в первом и четвертом шурфах) и базальная толща пролювиальных отложений, сингенетически соответствующих формам их аккумуляции: сочетание рус-

ловых фаций размыва с фациями аккумуляции осадков на бортах русел и разделяющих их поверхностях (отложения, вскрытые вторым и третьим шурфами; см. рис. 8).

Первым шурфом, пройденным в нижней части склона западной экспозиции, на расстоянии 30 м от промоины временного водотока в тальвеге ложбины, вскрыты суглинки светло-коричневого цвета с неясной слоистостью. В сухом состоянии очень плотные,

трудно поддающиеся разрыхлению. Истинная мощность не установлена. Генезис отложений определен как предположительно озерный.

Вторым шурфом (см. рис. 8, ш-2), глубиной 2,0 м, на этом же склоне установлена стратиграфически упорядоченная толща галечников с характерной для русловых аллювиально-пролювиальных отложений косослоистой текстурой. Она представлена слоями крупной и средней гальки с примесью валунов и слоями мелкой и средней гальки и гравия с дресвой. В разрезе отложений выделяется выдержанный слой отмытого сортированного крупнозернистого песка

без включений крупных обломков, гравия и алевритового материала – единственный слой, где обломочные частицы отсортированы по гидравлической крупности, характеризующей паводочный режим руслового потока. Наклон слоев 10° , согласный с уклоном поверхности гряды.

На границе перехода склона в водораздельную поверхность шурфом глубиной 1,7 м (см. рис. 8, ш-3) вскрыты гранулометрически не дифференцированные отложения крупных и средних размеров галечников и валунов с песчано-гравийным заполнителем. Слоистость отложений не выражена.

Гидравлическая крупность ω обломочного материала гряд

Hydraulic fineness ω of clastic material of ridges

Курайское поле гряд, ω , м/с	%	Тюте-Актуринское поле гряд, ω , м/с	%
< 0,12	20	< 0,12	4
0,12–0,15	7	0,12–0,15	2
0,15–0,18	7	0,15–0,18	2
0,18–0,7	6	0,18–0,7	2
0,7–2,7	51	0,7–2,7	40
2,7–3,8	9	2,7–5,0	40

На склоне восточной экспозиции шурфом глубиной 1,2 м (см. рис. 8, ш-4) установлены реликты озерных отложений, представленных плотными суглинками. Все слои деформированы криотурбациями и, возможно, вязкопластическим течением толщи при соответствующем ее увлажнении.

Кроме пелитово-алевритовой структуры и слоистости осадков, к диагностическим признакам их озерного генезиса отнесено наличие ксеновключений глины, видимо, окатыша (см. рис. 8, ш-4), образовавшегося в прибрежной части озера при размыве его палеоберегов. Базальная толща состоит из крупной гальки и валунов с дресвяным и песчаным заполнителем.

Гранулометрический состав отложений и его дифференциация по гидравлической крупности

Как следует из результатов гранулометрического анализа (рис. 9, таблица), доли фракций размером крупной гальки, валунов и глыб с гидравлической крупностью $\omega = 0,7–5,0$ м/с и фракций размером от суглинистых частиц до крупнозернистого песка и щебня с гидравлической крупностью от 0,12 до 0,7 м/с в общей массе обломков примерно равны, что характеризует непостоянство развития эрозионно-аккумулятивных процессов, характерное для временных русловых водотоков.

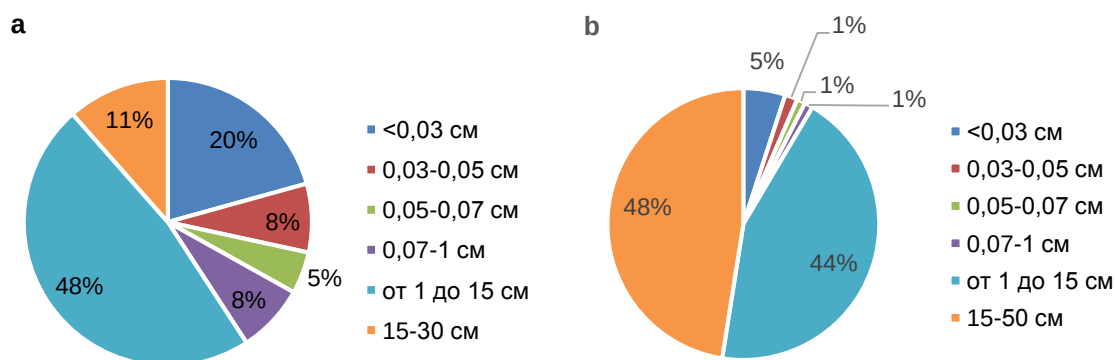


Рис. 9. Гранулометрический состав отложений гряд
а – Курайское грядовое поле; б – Тюте-Актуринское грядовое поле

Fig. 9. Granulometric composition of the sediments of the ridges
a – Kuray ridge field; b – Tyute-Akturinsky ridge field

Доля валунов заметно возрастает к нижним частям разрезов отложений, где этот материал преобладает; в его слоях практически отсутствует суглинистый заполнитель. Доля глыбового материала (от 0,5 до 2,0 м и более) в общей массе отложений зависит от близости к моренам: по мере приближения к ним доля глыбового материала заметно возрастает (см. таблицу).

Дифференциация отложений по гидравлической крупности объективно характеризует скорость течения водного потока, необходимую для перемещения и осадконакопления обломочного материала; в период формирования гряд она менялась от 0,12 до 5,0 м/с. Особенно большой скоростью характеризовался поток, формировавший Тюте-Актуринское поле гряд, где для перемещения более 50 % обломочного материала была необходима скорость течения турбулентно-пульсирующего водного потока, превышавшая 3–5 м/с.

Краткая сравнительная характеристика реликтов грядовых комплексов сомнительного генезиса

Полагается, что прорыв ледово-подпрудной плотины обусловил формирование единого водного потока на всем протяжении долины р. Чуи, переходящей затем в долину р. Катунь [Baker, Benito, Rudoy, 1993; Carling, 1996; Herget, 2005]. По мнению упоминаемых исследователей, кроме Курайского поля дюн этой паводковой волной было предопределено образование нескольких «дюнных» полей на граничащих с долиной р. Чуи участках и на террасах р. Катунь.

Нами было проведено экспедиционное обследование всех этих участков: отдельных гряд и их совокупности в низовьях р. Чаган-Узун; на правом берегу р. Чуи в районе пос. Ортолык; гряд на склонах в урочище Баратал на левобережье р. Чуи; исследованы грядовый рельеф в районе озер Кара-Кель и Джангыс-коль, реликты дюнных гряд на левобережных террасах р. Катунь в районе сел Иня (ниже устья р. Чуи), Подгорное и Платово (в нижнем течении р. Катунь).

Проведены рекогносцировочные экспедиционные исследования реликтов дюнного рельефа на высоких (60–80 м) террасах р. Малый Енисей (Ка-Хем) на расстоянии 50 км, от устья реки до участков их распространения в районах сел Суг-Бажи, Бурен-Хем, Кундустуг.

Грядовый рельеф на правом побережье р. Чуи. Согласно [Herget, 2005], «дюнное поле» расположено на правом побережье р. Чуи, в 4 км от с. Ортолык, на выровненной поверхности с абсолютной высотой 1 780–1 900 м (по [Herget, 2005] – 1 820 м), вероятно, древний конус выноса р. Янтерек (правый приток р. Чуи). К северу эта часть поверхности со-

членяется со склонами котловины, где наблюдается морфологически контрастно выраженная серия абразионных уступов, распространяющаяся на север, вплоть до палеограницы Чуйско-Курайского озера на абсолютной высоте 2 133 м. Средний уклон поверхности к современной долине Чуи составляет менее 1°. На характеризуемом автором [Herget, 2005] участке поверхности фрагментарно сохранились очень пологие абразионные уступы.

Равнина сложена продуктами размыва и аккумуляции озерных отложений, представленными суглинками с примесью гравия и мелкой гальки. Главной же характеристикой рельефа, в контексте рассматриваемой проблемы, является безошибочно дешифрируемая на аэрофотоснимках и космических снимках Google Earth серия абразионных ступеней, распространяющаяся по склонам от высоты 2 130 м до 1 760 м (до бортов русла р. Чуи) на всей площади, начиная от долины р. Янтерек и до р. Тобожок [Поздняков, Пупышев, 2019, 2020].

Изложенные факты не оставляют места для возможности образования дюнного поля на дне высокоскоростного потока. Потому и отсутствуют следы эрозионно-аккумулятивной деятельности потока, мчавшегося со скоростью 4,8 м/с (скорость, достаточная для перемещения глыб) и создавшего гряды высотой 4 м. Если согласиться с [Herget, 2005], то характеризуемые валы (предполагаемые реликты флювиальных дюн) сформировались до существования озерного бассейна, и их генетическая связь с озером противоречит выдвинутой им же идее.

Генезис «дюнного поля» Чаган-Узуна. Как утверждает [Herget, 2005], «дюнное поле» расположено на расстоянии 1,4 км от устья р. Чанан-Узун, на ее правом побережье, на абсолютной высоте 1 760 м. На местности (по нашим данным) участок рельефа представляет собой сочетание лощин и валов, относительное превышение которых над днищами уменьшается в соответствии с генеральным уклоном от 23,0 до 6,3 м. Автор [Herget, 2005] назвал их двумерными антидюнами, позднее модифицированными водным потоком в дюны, формировавшиеся на дне потока глубиной 50–80 м, движущегося со скоростью 7 м/с. Каких-либо данных о характеристике отложений, слагающих «дюнно-антидюнные» формы, не приводится. Не заметили никаких следов и мы. Однако если бы на рассматриваемом участке действительно существовал водный поток с указанными гидродинамическими характеристиками (скорость течения – 7 м/с!), то поле его эрозионно-аккумулятивной деятельности, несомненно, было бы четко ограниченным и представляло собой глыбово-валунный покров типа каменной мостовой.

Поле дюн в урочище Баратал (рис. 10). Абсолютная высота места расположения – 1 720 м. Автор [Herget, 2005] уверенно полагает, что грядовый рельеф состоит из двумерных дюн, сформированных спиллвеем – водосливом (spillway), якобы образовавшимся на противоположном склоне и по инерции «высочившим» на исследуемый склон (направление спиллвея показано стрелкой). Параметры водного потока-спиллвея: высота гряд – 2 м; диаметр слагающих гряды обломков – 12 см; протяженность поля в поперечном сечении – 150 м, в продольном – 350 м.

Заключение о генезисе: отсутствие следов эрозионной деятельности «спиллвея», несоразмерность морфометрических характеристик гряд и скорости течения предполагаемого потока и прочее не позво-

ляют согласиться с мнением автора [Herget, 2005]. Наиболее вероятно, что происхождение Баратальских гряд связано с развитием струйного смыва частиц и формированием ложбин стока – делей. На рис. 10, б показан пример широко распространенных грядовых эрозионно-денудационных морфоскульптур, формирующихся по типу делей на склонах Катунских террас.

«Дюнное поле» Караколь (рис. 11) располагается в относительно замкнутой ландшафтной системе урочищ Ештыкколь. Центральное место в ней занимают аккумулятивная равнина с уклоном поверхности к центру впадины 0,00050 (измерено по карте масштаба 1:50000), и озера Джангысколь (абс. высота 1 752 м) и Караколь (абс. высота 1 872 м).



Рис. 10. Склоны террас р. Катунь, с. Иня

а – Баратальское «дюнное поле», якобы сформировавшееся «спиллвеем» [Herget, 2005], стрелкой показано направление потока; б – делли, характерная морфоскульптура ложбин стока

Fig. 10. The slopes of the alluvial terrace's river Katun, vil. Inya

а – Baratal "dune field", allegedly formed by a "spillway" [Herget, 2005], the arrow shows the direction of the flow; б – dell, typical landforms of water flows



Рис. 11. Криогенные сортированные каменные полосы в окрестностях оз. Караколь («дюнное поле» [Herget, 2005])

а – общий вид в плане; б – вид вкрест простирания гряд; с – гранулометрический состав отложений: дресва, мелкий и крупный щебень – 80 % и обломки до 15 см по длинной оси – 20 %

Fig. 11. Cryogenic sorted stone strips near Karakol lake ("dune field" [Herget, 2005])

а – general view in plan; б – profile view of the ridges; с – granulometric composition of deposits: gruss, small and large rubble – 80 % and clasts up to 15 cm along the long axis – 20 %

Разница в абсолютной высоте двух частей котловины составляет 120 м. Каракольская и Джангыз-кольская части котловины разделены поперечным выступом коренных пород в виде вала с наименьшей высотой 1 930 м. Микро- и мезорельеф дна котловины характеризуется сочетанием криогенных форм рельефа в широких их генетических модификациях [Рэй и др., 2007]: морозная сортировка, криогенный крип, морозобойное растрескивание; термокарст, пучение и наледообразование; криогенное (морозное) выветривание и др.

Морфоскульптура грядового поля представляет собой пример хорошо изученных процессов криогенной структурной упорядоченности обломочного материала, происходящей ввиду резких перепадов температур с переходом через ноль в соответствующих климатических условиях. Вскрытые нами отложения гряд представлены деятельным слоем формирующихся каменных полос, состоящих из щебня с дресвой, мощностью до 0,7 м. Следы эрозионного коридора, соединявшего гипотетический водный поток с Каракольской, Джангыз-кольской и Курайской котловинами, отсутствуют. Согласно теории динамической геологии, геоморфологии и гидродинамики, дно водного потока глубиной 20–25 м, движущегося со скоростью 5,5 м/с, должно быть выстлано перлювием и ограничено скальными склонами. Фактических данных, объективно подтверждающих постулаты автора [Herget, 2005], нами не обнаружено.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что грядовый рельеф Курайской котловины сложен не однородной косослоистой гравийной толщей, как утверждалось ранее [Бутвиловский, 1993; Carling, 1996; Рудой, 2005; Carling, Bristow, Litvinov, 2016], а совокупностью гетерогенных с резким несогласием сочленяющихся отложений. Горизонтально залегающие алевроитопелитовые с тонкослоисто-листоватой текстурой отложения представляют собой реликты озерно-аккумулятивного покрова, облекавшего подстилаемую поверхность грядово-ложбинного рельефа.

Валунно-галечниковая толща по текстуре слоистости, гранулометрическому составу и отсутствию сортировки по гидравлической крупности типична для аллювиальных и флювиогляциальных русловых потоков с паводковым режимом осадконакопления.

Слоистость в отложениях гряд характеризует многоактный конседиментный процесс – синхронно происходившие осадконакопление и формирование русел, что типично для потоков с паводковым режимом.

Динамика гряды (дюны) – суть движения деформируемого твердого тела [Поздняков, Окишев, 2002;

Поздняков, 2013], состоящего из совокупности обломков различной крупности. За один период времени гряда перемещается на расстояние, равное ее длине по основанию. С увеличением количества периодов перемещения гряды возрастает степень сортированности слагающих ее частиц по размеру и гидравлической крупности. Курайские дюны сложены несортированным по гидравлической крупности и гранулометрически не дифференцированным материалом.

Одним из критериев отнесения гряд к категории подвижных русловых форм является характеристика их асимметрии, определяющаяся соотношениями скорости потока, гидравлической крупности и размеров обломков. Наклон дистальной части склона гряды, ориентированной навстречу течению водного потока, тем меньше, чем больше скорость течения. При высокой скорости течения, когда относительная высота движущегося слоя обломков приближается к среднему размеру их диаметра (на грани перехода в гладкую фазу наклон приближается к нулю), гряда исчезает. И наоборот, с уменьшением скорости течения водного потока при соответствующем уменьшении крупности обломков возрастают численные параметры гряды, увеличивающие наклон ее дистальной части и высоту дюны. Такие гряды типичны для глубоких водных потоков с медленным течением и влекомым песчаным материалом.

Установленные нами структурно-текстурные закономерности строения коррелятных отложений гряд дают основание относить их к фациям русловых флювио-гляциально-пролювиальных отложений наземных дельт (конусов выноса рек) рек Тюте и Актру. Благоприятные условия для их формирования создаются в переходных зонах сочленения горных долин с зонами устойчивой аккумуляции в межгорных котловинах. Диагностическими признаками фации пролювиальных отложений являются слабовыраженная слоистость и отсутствие дифференциации обломочного материала по размерам и гидравлической крупности. А наличие в данных отложениях прослоев грубозернистого песка, формировавшихся на спаде транспортирующей способности водотоков, кроме прочего, свидетельствует об образовании отложений в водотоках с резко выраженным паводочным (пиковым) режимом расходов воды.

В действительности грядово-ложбинный рельеф представляет собой откопанную геоморфологическую крипоструктуру, образовавшуюся в период, предшествующий формированию озера и озерного осадконакопления. Данное обстоятельство отрицает и возможность образования гряд в высокоскоростном (до 6–10 м/с) потоке глубиной 400 м, инициированном разрушением ледовой плотины.

Какие-либо следы эрозионно-аккумулятивной деятельности гиперболизированного водоворота на всей детально изученной территории Чуйско-Курайской котловины отсутствуют. Нет и следов колоссальной эрозионной работы постулируемого исследователями [Рудой, 2005; Инишев и др., 2015] транзитного потока.

Кроме того, принципиально важное значение имеет гидродинамическая несовместимость синхронного формирования в ограниченном стенками (в данном случае склонами) водном бассейне морфоскульптур вследствие абразии и эрозионно-аккумулятивных бегущих гряд – «ряби течения». Необходимым условием для первых (абразии) является энергия ветровых волн, а для бегущих гряд – высокоскоростные турбулентно-пульсационные струйные течения. Существование абразионно-аккумулятивной морфоскульптуры на склонах котловин – неопровержимый факт, объективно отрицающий возможность образования дюн на поверхности днища котловин.

Не подтверждаются и выводы предшественников [Рудой, 2005; Инишев и др., 2015; Bohorquez, Carling, Herget, 2016; Bohorquez, Jimenez-Ruiz, Carling, 2019] о широком распространении грядово-дюнных форм рельефа в Чуйской и Курайской котловинах и на прилегающих к ним участках. Их генезис связан с криогенно-гидротермическим структурированием обломочного материала, что сопровождалось образованием морфологически выраженных каменных полос, гомоморфных русловым дюнным грядам.

Палеогеографическая история развития процессов. Можно полагать, что в кратковременный период доозерного этапа (видимо, на переходе от плейстоцена к голоцену) реки Тюте и Актру характеризовались паводочным режимом с пиковыми расходами воды в летний период. В результате на равнинной поверхности днища Курайской котловины формировались наземные дельты, сложенные крупногалечниковым и валунным материалом. Рельеф наземных дельт представлял собой сложную, пересеченную

густой сетью русел поверхность с относительным превышением высот 3–5 м и более.

На озерном этапе формирования водного бассейна (видимо, с начала голоцена до его середины) процессы осадконакопления были связаны с сезонными ритмами: зимой тяжелые суглинки и глина с единичными включениями валунов и гальки – результат ледового переноса в период ледоходов; в абляционный период (летом) поверхность наземных дельт покрывалась тонкозернистыми алевритистыми песками.

Окончательное формирование грядового рельефа началось в период понижения уровня озера, когда на обнажающейся поверхности склонов и днища котловин образовывалась абразионно-аккумулятивная морфоскульптура – комплекс террас, ограниченных абразионными уступами. А с понижением озера до уровня 1 500–1 700 м осушались затопленные долины рек Тюте и Актру, в их устьях закладывались временные водотоки – зачатки новых наземных дельт. На поверхности аккумулятивной равнины ими была создана эрозионно-ложбинная сеть, осуществлявшая эрозионно-селективное откапывание валунно-галечниковых гряд. Базисом эрозии водотоков служил постепенно понижавшийся уровень озера, в результате чего по линиям абразионных уровней формировались аккумулятивные конусы выноса, игравшие роль управляющего фактора бифуркации водотоков. На эрозионно-абразионное моделирование рельефа накладывался процесс криогенного структурирования грунтов.

Закономерности динамики ледово-подпрудных озерных бассейнов сами по себе имеют научно-познавательную значимость. Однако меньшую научно-теоретическую и прикладную важность в этом многофакторном явлении представляет инициируемое им образование морфолитогенетически разнородных морфоскульптур в абразионном и эрозионном циклах на стадиях формирования и деградации озерного бассейна.

Список источников

- Альтшуль А.Д., Калицун В.И., Майрановский Ф.Г., Пальгунов П.П. Примеры расчетов по гидравлике. М. : Стройиздат, 1977. 255 с.
- Бутвиловский В.В. Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1993. 253 с.
- Инишев Н.Г., Рудой А.Н., Земцов В.А., Вершинин Д.А. Первая компьютерная модель течений в межгорной котловине при сбросе ледниково-подпрудного озера (на примере Курайской котловины, Горный Алтай) // Доклады Академии наук. 2015. Т. 461, № 2. С. 220–222.
- Лунгерсгаузен Г.Ф., Раковец О.А. Некоторые новые данные о стратиграфии третичных отложений Горного Алтая // Труды ВАГТ. 1958. Вып. 4. С. 79–91.
- Поздняков А.В. Географическое русловедение и морфодинамика речных русел (к выходу в свет монографии Р.С. Чалова) // География и природные ресурсы. 2013. № 4. С. 177–181.
- Поздняков А.В. Обратимая самоорганизация продольного профиля водотока циклоидального типа (экспериментальные исследования) // Теория и методы современной геоморфологии : материалы XXXV Пленума Геоморфологической комиссии РАН. Симферополь, 2016. С. 101–106.

- Поздняков А. В. Самонамораживание ледово-подпрудной плотины – алгоритм саморегуляции // География и природные ресурсы. 2019. № 2. С. 10–18.
- Поздняков А.В., Окишев П.А. Механизм формирования донных гряд и возможный генезис «гигантской ряби» Курайской котловины Алтая // Геоморфология. 2002. № 1. С. 82–90.
- Поздняков А.В., Пупышев Ю.С. Континуально-дискретный режим деградации Чуйско-Курайского ледово-подпрудного озера // Геосферные исследования. 2020. № 1. С. 56–65. DOI: 10.17223/25421379/14/4
- Поздняков А.В., Пупышев Ю.С. Чуйско-Курайское ледово-подпрудное озеро в стадиях формирования и деградации // Вестник СГУГиТ. 2019. Т. 24, № 2. С. 238–247.
- Поздняков А.В., Хон А.В. К методике оценки расходов воды в Чуйско-Курайском ледово-подпрудном озере в стадии деградации // Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 130–135.
- Поздняков А.В., Хон А.В. О генезисе «гигантской ряби» в Курайской котловине Горного Алтая // Вестник Томского государственного университета. 2001. № 274. С. 24–33.
- Рудой А.Н. Гигантская рябь течения (история исследований, диагностика, палеогеографическое значение). Томск : Изд-во Том. пед. ун-та, 2005. 224 с.
- Рудой А.Н. Гигантская рябь течения (история исследований, диагностика и палеогеографическое значение) // Материалы гляциологических исследований. 2006. Вып. 101. С. 24–48.
- Рэй Р.Д., Кранц У.Б., Кейн Т.Н., Ганн Р.Д. Модель сортированных правильными (регулярными) фигурами грунтов : пер. с англ. // Вестник кибернетики. 2007. № 6. С. 55–76.
- Agatova A.R., Nepop R.K., Carling P.A., Bohorquez P., Khazin L.B., Zhdanova A.N., Moska P. Last ice-dammed lake in the Kuray basin, Russian Altai: New results from multidisciplinary research // Earth Sci. Rev. 2020. V. 205. P. 103183. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103183
- Baker V.R., Benito G., Rudoy A.N. Palaeogidrology of late Pleistocene Superflooding, Altay Mountains, Siberia // Science. 1993. V. 259. P. 348–350.
- Bohorquez P., Carling P.A., Herget J. Dynamic simulation of catastrophic late Pleistocene glacial-lake drainage, Altai Mountains, central Asia. // Int. Geol. Rev. 2016. V. 58 (14). P. 1795–1817. DOI: 10.1080/00206814.2015.1046956
- Bohorquez P., Jimenez-Ruiz P.J., Carling P.A. Revisiting the dynamics of catastrophic late Pleistocene glacial-lake drainage, Altai Mountains, central Asia // Earth Sci. Rev. 2019. V. 197. Art. 102892. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.102892
- Carling P.A. Morphology, sedimentology and palaeohydraulic significance of large gravel dunes, Altai Mountains, Siberia // Sedimentology. 1996. V. 46. P. 647–664.
- Carling P.A., Bristow C.S., Litvinov A.S. Ground-penetrating radar stratigraphy and dynamics of megaflood gravel dunes // Journal of the Geological Society. 2016. V. 173 (3). P. 550–559.
- Herget Jü. Reconstruction of Pleistocene ice-dammed lake outburst floods in the Altai Mountains, Siberia. Boulder, CO, 2005. 118 p. (The Geological society of America; special paper 386).
- Herget J., Agatova A.R., Carling P.A., Nepop R.K. Altai megafloods – The temporal context // Earth Sci. Rev. 2020. V. 200. P. 102995. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.102995
- Margold M., Jansen J.D., Codilean A.T., Preusser F., Gurinov A.L., Fujioka T., Fink D. Repeated megafloods from glacial Lake Vitim, Siberia, to the Arctic Ocean over the past 60,000 years // Quaternary Science Reviews. 2018. 187. P. 41–61. DOI: 10.1016/J.QUASCIREV.2018.03.005
- Pardee J.T. The glacial Lake Missoula, Montana // J. Geol. 1910. V. 18. P. 376–386.
- Smith L.N., Sohbati R., Buylaert J.P., Lian O.B. Murray A., Jain M. Timing of lake-level changes for a deep last-glacial Lake Missoula: optical dating of the Garden Gulch area, Montana, USA // Quaternary Science Reviews. 2018. V. 183. P. 23–35. DOI: 10.1016/J.QUASCIREV.2018.01.009
- Schuster R., Alford D. Usui landslide dam and Lake Sarez, Pamir Mountains, Tajikistan // Environmental and Engineering Geoscience. 2004. V. 10 (2). P. 151–168.

References

- Altshul A.D., Kalitsun V.I., Mayranovsky F.G., Palgunov P.P. *Primery raschetov po gidravlike* [Examples of calculations for hydraulics]. Moscow: Stroyizdat, 1977. 255 p. In Russian
- Butvilovskiy V.V. *Paleogeografiya poslednego oledeneniya i golotsena Altaya: sobytiyno-katastroficheskaya model'* [Paleogeography of the last glaciation and Holocene of Altai: event-catastrophic model]. Tomsk: TSU, 1993. 253 p. In Russian
- Inishev N.G., Rudoy A.N., Zemtsov V.A., Vershinin D.A. The first computer model of currents in the Kurai intermountain basin, Altai, under release of a glacial-dammed lake // Doklady Earth Sciences. 2015. 461(1), pp. 283–285. doi.org/10.1134/S1028334X15030125
- Lungersgauzen G.F., Rakovets O.A. *Nekotorye novye dannye o stratigrafii tretichnykh otlozheniy Gornogo Altaya* [Some new data on stratigraphy of tertiary deposits of the Altai Mountains] // Trudy VAGT. 1958. No. 4. pp. 79–91. In Russian
- Pozdnyakov A.V. *Geograficheskoe ruslovedenie i morfodinamika rechnykh rusel (k vykhodu v svet monografii R.S. Chalova)* [Geographical channels studies and morphodynamics of river channels (to the publication of the monograph by R.S. Chalov)] // География и природные ресурсы. 2013. No. 4. pp. 177–186. In Russian
- Pozdnyakov A.V. *Obratimaya samoorganizatsiya prodol'nogo profilya vodotoka tsikloidal'nogo tipa (eksperimental'nye issledovaniya)* [Reversible self-organization of the longitudinal profile of the watercourse of cycloidal type (experimental studies)] // Theory and methods of modern geomorphology: Proceedings of XXXV Plenum of the Geomorphological Commission of RAS. Simferopol. 2016. pp. 101–106. In Russian
- Pozdnyakov A.V. Self-Freezing of the Ice Dam: The Self-Regulation Algorithm // Geography and Natural Resources. 2019. 40(2). pp. 180–186. doi: 10.1134/S1875372819020112

- Pozdnyakov A.V., Okishev P.A. *Mekhanizm formirovaniya donnykh gryad i vozmozhnyy genesis "gigantskoy ryabi" Kurayskoy kotloviny Altaya* [The mechanism of formation of bottom ridges and the possible genesis of the «giant ripples» of the Kurai basin of Altai] // *Geomorfologiya*. 2002. No. 1. pp. 82–90. In Russian
- Pozdnyakov A.V., Pupyshev Y.S. Continuous discrete mode of degradation of the Chuya-Kuray ice-dammed lake // *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 2020. No. 1. pp. 56–65. DOI: 10.17223/25421379/14/4
- Pozdnyakov A.V., Pupyshev Yu.S. *Chuysko-Kurayskoe ledovo-podprudnoe ozero v stadiyakh formirovaniya i degradatsii* [Chuya-Kuray ice-dammed lake at the stages of formation and degradation] // *Vestnik SGUGiU*. 2019. 24. No. 2. pp. 238–247. In Russian
- Pozdnyakov A.V., Khon A.V. *K metodike otsenki raskhodov vody v Chuysko-Kurayskom ledovo-podprudnom ozere v stadii degradatsii* [To the methodology of estimation of water expenditures in the Chuya-Kuray ice-dammed lake in the stage of degradation] // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2018. No. 1. pp. 130–135. In Russian
- Pozdnyakov A.V., Khon A.V. *O genezise "gigantskoy ryabi" v Kurayskoy kotlovine Gornogo Altaya* [About the genesis of “giant ripple bars” in Kuray basin, Altai Mountains] // *Tomsk State University Journal*. 2001. No. 274. pp. 24–33. In Russian
- Rudoy A.N. *Gigantskaya ryab' techeniya (istoriya issledovaniy, diagnostika, paleogeograficheskoe znachenie)* [Giant Current Ripples (history of research, diagnostics, paleogeographic significance)]. Tomsk: TSPU. 2005. 224 p. In Russian
- Rudoy A.N. *Gigantskaya ryab' techeniya (istoriya issledovaniy, diagnostika, paleogeograficheskoe znachenie)* [Giant Current Ripples (history of research, diagnostics, paleogeographic significance)] // *Materialy glyatsiologicheskikh issledovaniy*. 2006. V. 101. pp. 24–48. In Russian
- Rey R.D., Krants U.B., Keyn T.N., Gann R.D. *Model' sortirovannykh pravil'nymi (regulyarnymi) figurami gruntov (perevod s angliyskogo)* [Model of soils sorted by regular (regular) shapes (translated from English)] // *Vestnik kibernetiki*. 2007. No. 6. pp. 55–76. In Russian
- Agatova A.R., Nepop R.K., Carling P.A., Bohorquez P., Khazin L.B., Zhdanova A.N., Moska P. Last ice-dammed lake in the Kuray basin, Russian Altai: New results from multidisciplinary research // *Earth Sci. Rev.* 2020. V. 205. p. 103183. doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103183
- Baker V.R., Benito G., Rudoy A.N. Palaeogidrology of late Pleistocene Superflooding, Altai Mountains, Siberia // *Science*. 1993. V. 259. pp. 348–350.
- Bohorquez P., Carling P.A., Herget J. Dynamic simulation of catastrophic late Pleistocene glacial-lake drainage, Altai Mountains, central Asia // *Int. Geol. Rev.* 2016. V. 58 (14). pp. 1795–1817. doi.org/10.1080/00206814.2015.1046956
- Bohorquez P., Jimenez-Ruiz P.J., Carling P.A. Revisiting the dynamics of catastrophic late Pleistocene glacial-lake drainage, Altai Mountains, central Asia // *Earth Sci. Rev.* 2019. V. 197. p. 102892. doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102892
- Carling P.A. Morphology, sedimentology and palaeohydraulic significance of large gravel dunes, Altai Mountains, Siberia // *Sedimentology*. 1996. V. 46. pp. 647–664.
- Carling P.A., Bristow C.S., Litvinov A.S. Ground-penetrating radar stratigraphy and dynamics of megaflood gravel dunes // *Journal of the Geological Society*. 2016. V. 173 (3). pp. 550–559.
- Herget J. Reconstruction of Pleistocene ice-dammed lake outburst floods in the Altai Mountains, Siberia. *The Geological society of America, Special Paper 386*. Boulder, Colorado, USA. 2005. 118 p.
- Herget J., Agatova A.R., Carling P.A., Nepop R.K. Altai megafloods – The temporal context // *Earth Sci. Rev.* 2020. V. 200. p. 102995. doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.102995
- Margold M., Jansen J.D., Codilean A.T., Preusser F., Gurinov A.L., Fujioka T., Fink D. Repeated megafloods from glacial Lake Vitim, Siberia, to the Arctic Ocean over the past 60,000 years // *Quaternary Science Reviews*. 2018. 187. pp. 41–61. doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2018.03.005
- Pardee J.T. The glacial Lake Missoula, Montana // *J. Geol.* 1910. V. 18. pp. 376–386.
- Smith L.N., Sohbati R., Buylaert J.P., Lian O.B., Murray A., Jain M. Timing of lake-level changes for a deep last-glacial Lake Missoula: optical dating of the Garden Gulch area, Montana, USA // *Quaternary Science Reviews*. 2018. V. 183. pp. 23–35. doi.org/10.1016/J.QUASCIREV.2018.01.009
- Schuster R., Alford D. Usoi landslide dam and Lake Sarez, Pamir Mountains, Tajikistan // *Environmental and Engineering Geoscience*. 2004. 10(2). pp. 151–168.

Информация об авторах:

Поздняков А.В., доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия.

E-mail: synergeia.pol@gmail.com

Пупышев Ю.С., аспирант, младший научный сотрудник, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия.

E-mail: pupyshev95@mail.ru

Пучкин А.В., кандидат географических наук, научный сотрудник, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН; доцент, кафедра краеведения и туризма, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: burabay@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Pozdnyakov A.V., Dr. Sci. (Geography), Chief Researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia.

E-mail: synergeia.pol@gmail.com

Pupyshev Y.S., graduate student, Junior Researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia.

E-mail: pupyshev95@mail.ru

Puchkin A.V., Cand. Sci. (Geography), Researcher, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS; Associate Professor, Department of Local History and Tourism, Geology and Geography Faculty, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: burabay@mail.ru

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 27.11.2021; одобрена после рецензирования 15.01.2022; принята к публикации 14.06.2022

The article was submitted 27.11.2021; approved after reviewing 15.01.2022; accepted for publication 14.06.2022