

ГЕОМОРФОЛОГИЯ

УДК 551.4.07

КОНТИНУАЛЬНО-ДИСКРЕТНЫЙ РЕЖИМ ДЕГРАДАЦИИ ЧУЙСКО-КУРАЙСКОГО ЛЕДОВО-ПОДПРУДНОГО ОЗЕРА

А.В. Поздняков^{1,2}, Ю.С. Пупышев¹

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия



Наблюдаемые на склонах Чуйской и Курайской впадин Горного Алтая абразионно-аккумулятивные уступы свидетельствуют о существовании в неоплейстоцене ледово-подпрудного озера. Впервые проведены инструментальные измерения и дешифрирование космических снимков, на основе которых определено количество абразионных террас и баров (201). На основе анализа изменения абсолютных и относительных высот абразионно-аккумулятивных террас установлено, что спуск озера был длительным и неравномерным, с пиковыми расходами воды более 2 200 м³/с.

Ключевые слова: континуально-дискретный расход воды, ледово-подпрудное озеро, абразионные террасы, неоплейстоцен.

Введение

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. Согласно уточненным данным [Поздняков, Пупышев, 2019], в максимум наполнения до абсолютной отметки уровня 2 133 м, при объеме 753 км³, площадь акватории палеозера составляла 3 054 км², глубина 657 м. В формировании и разрушении этого феномена отражалось множество различных по генезису и динамике процессов, имеющих важное и теоретическое, и научно-познавательное, и практическое значение.

Современное состояние проблемы и постановка задач исследования. С момента открытия Чуйско-Курайского ледово-подпрудного озера [Лунгерсгаузен, Раковец, 1958] среди исследователей продолжают дискуссии по многим аспектам этого феномена, прежде всего в отношении имеющих принципиальное теоретическое и прикладное значение причин и механизма формирования ледовой плотины, ее длительной устойчивости, разрушения, а также определения расходов воды на этапе деградации озерного бассейна. Согласно постулируемым положениям, ледовая плотина сформировалась за счет подпруживания р. Чуя горно-долинными ледниками [Окишев, Бородавко, 2001], а ее разрушение осуществилось в течение нескольких часов или дней [Бутвиловский, 1993; Baker et al., 1993; Рудой, 2001; 2005; Зольников, Деев, 2013; Инишев и др., 2015].

В ряде исследований ставится под сомнение абразионный генезис террас – они трактуются как

формы флювиального генезиса [Зольников, Деев, 2013].

До сих пор не установлена степень упорядоченности распределения относительных высот террас. Определение их осуществлялось глазомерно или, в лучшем случае, с использованием GPS-приемников [Окишев, Бородавко, 2001; Бородавко, 2003].

Дискуссионным остается и вопрос максимальной абсолютной высоты ледово-подпрудного озера. У одних исследователей она оценивается в 2 100 м [Окишев, Бородавко, 2001; Herget, 2005], у других – 2 200–2 250 м [Рудой, 2005; Русанов, 2008].

Цель и задачи научного исследования. Важнейшим аспектом изучения ледово-подпрудного ультравысоконапорного [Поздняков, 2019] Чуйско-Курайского озера является определение расходов воды в период его деградации. Количественная оценка расходов воды такого палеоводоёма возможна лишь на основе анализа изменения относительных и абсолютных высот абразионно-аккумулятивных уступов, формировавшихся в процессе понижения его уровня. Поэтому в основу исследования были положены высокоточное инструментальное профилирование абразионно-аккумулятивного комплекса и его количественная морфометрическая характеристика, что сопровождалось разработкой цифровой модели рельефа котловин (ЦМР). Принципиальное значение имеет определение временной продолжительности формирования абразионно-аккумулятивных уступов. С этой целью рассчитаны скорости волновой переработки поверхности склонов и формирования абразионных уступов. Проведен анализ результатов экспедиционных и теоретических исследований, направленных на изучение структуры и грануломет-

рического состава абразионно-аккумулятивных отложений террас.

Исследование абразионно-аккумулятивной морфоскульптуры

Формы рельефа парагенетически связаны с коррелятивными отложениями волновой переработки делювиальных отложений и являются характерной чертой склоновой морфоскульптуры Чуйской и Курайской котловин. Их изучение позволяет определить динамику уровня озера в период его спуска и то, каким был спуск: скоротечным, равномерным или континуально-дискретным.

Определение количества абразионно-аккумулятивных террас. По морфологическим характери-

кам Чуйско-Курайский комплекс террас не отличается от так называемых «старых троп буйволов» – абразионно-аккумулятивных уступов, опоясывающих склоны долин р. Мисула в Северной Америке [Pardee, 1910], тоже формировавшихся в период раннего дриаса.

Террасы Чуйско-Курайской котловины по морфологическим и морфометрическим признакам делятся на два типа: бары на участках дна с уклоном менее 10° (отмелые берега) и террасы на более крутых, приглубых участках дна (рис. 1). Это связано с особенностями волновой деятельности, зависящей от количественного соотношения длины волн и глубины воды, что и определяет принципиальные различия в развитии абразионно-аккумулятивных процессов.

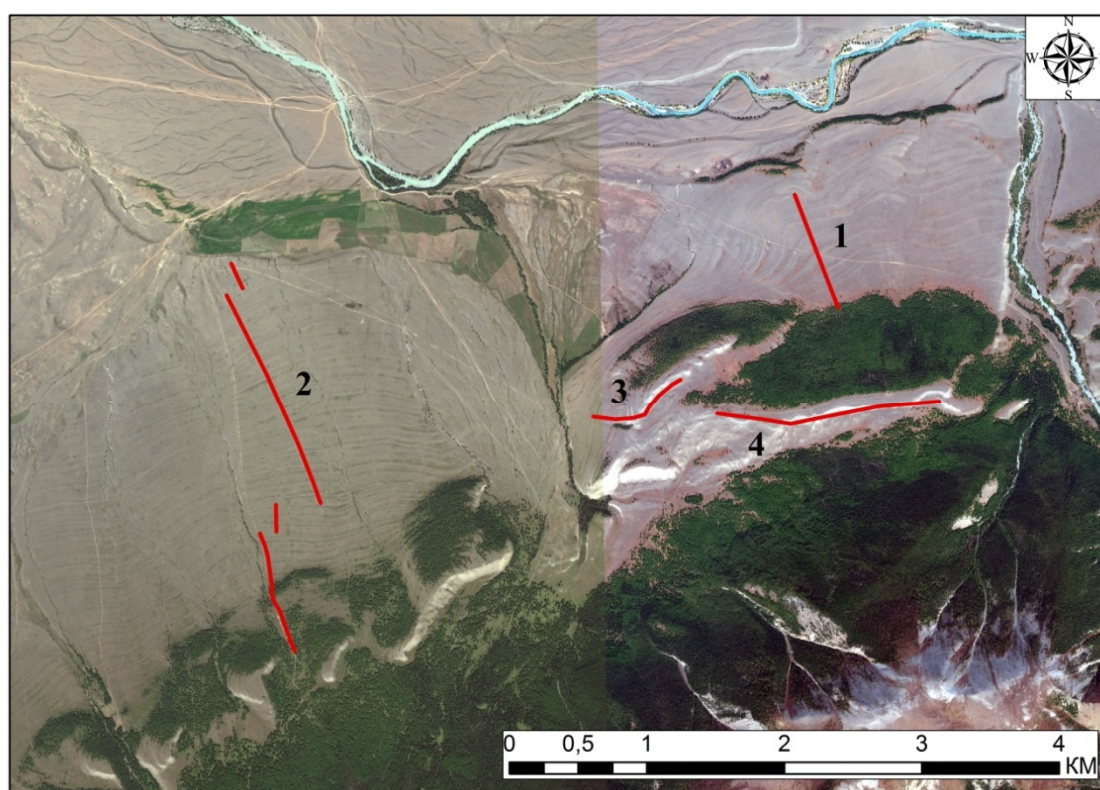


Рис. 1. Инструментальные нивелировочные профили абразионно-аккумулятивного рельефа на склонах междуречья левых притоков р. Чуя Балтырган и Арыджан, Курайская котловина

1 – нивелировочный профиль абразионно-аккумулятивных баров, абсолютная высота 1 610–1 646 м. Профили, характеризующие абразионно-аккумулятивные террасы на абсолютных высотах: 2 – 1 524–1 708 м; 3 – 1 626–1 748 м; 4 – 1 743–1 828 м

Fig. 1. Instrumental leveling profiles of abrasive-accumulative relief on the slopes of the interfluve of the left tributaries of the Chuya Baltyrgan and Aryjan rivers, the Kuray basin

1 – leveling profile of abrasion-accumulating bars, absolute height 1610–1646 m. Profiles characterizing abrasion-accumulating terraces at absolute heights: 2 – 1 524–1 708 m; 3 – 1 626–1 748 m; 4 – 1 743–1 828 m

Для исследования закономерностей распределения относительных высот абразионных уступов нами проведено высокоточное инструментальное нивелирование с использованием оптического нивелира ADA Ruber-X32. Участки нивелирования расположены на левом борту Курайской котловины в

междуречье рек Балтырган и Арыджан, где абразионно-аккумулятивный террасовый комплекс морфологически выражен наиболее контрастно. Нивелирование баров и террас проводилось в диапазонах абсолютных высот 1 531–1 828 м по четырем пересекающим вкрест их простирающимся профилям (см. рис. 1).

В Чуйской котловине относительные превышения высот абразионно-аккумулятивных форм определены по результатам дешифрирования космических снимков сервисов Google Earth и Bing. Участок дешифрирования находится в северо-западной части Чуйской котловины в пределах абсолютной высоты поверхности 1 800–2 200 м.

Исследование сопровождалось маршрутными наблюдениями, направленными на выбор наиболее представительных участков абразионно-аккумулятивной морфоскульптуры и определение дешифровочных признаков для количественной оценки объектов абразионной морфоскульптуры по космическим снимкам и топографическим картам масштабов 1:50 000–1:100 000.

По результатам исследования установлена 201 морфологически выраженная абразионно-аккумулятивная терраса, из них 91 терраса – в результате инструментального нивелирования на склонах Курайской кот-

ловины, в диапазоне абсолютных высот 1 531–1 828 м и 110 террас – на основе дешифрирования космических снимков и экспедиционных исследований в Чуйской котловине, в диапазоне абсолютных высот 1 828–2 133 м.

Закономерности распределения относительных высот абразионно-аккумулятивных уступов. График распределения относительных высот $H_n(Y)$ в зависимости от абсолютной высоты Y поверхности склонов, подвергавшихся волновой абразионно-аккумулятивной переработке, характеризует отчетливо выраженную периодичность их чередования, подобную сезонным трендам (рис. 2). Пики относительных высот террас в 6–7 м чередуются с понижениями их уровней в 1–3 м. Данный характер периодичности совпадает с установленным ранее [Поздняков, Хон, 2018] по независимым результатам измерения высот 34 абразионных уступов в Курайской части котловины с использованием GPS-приемника.

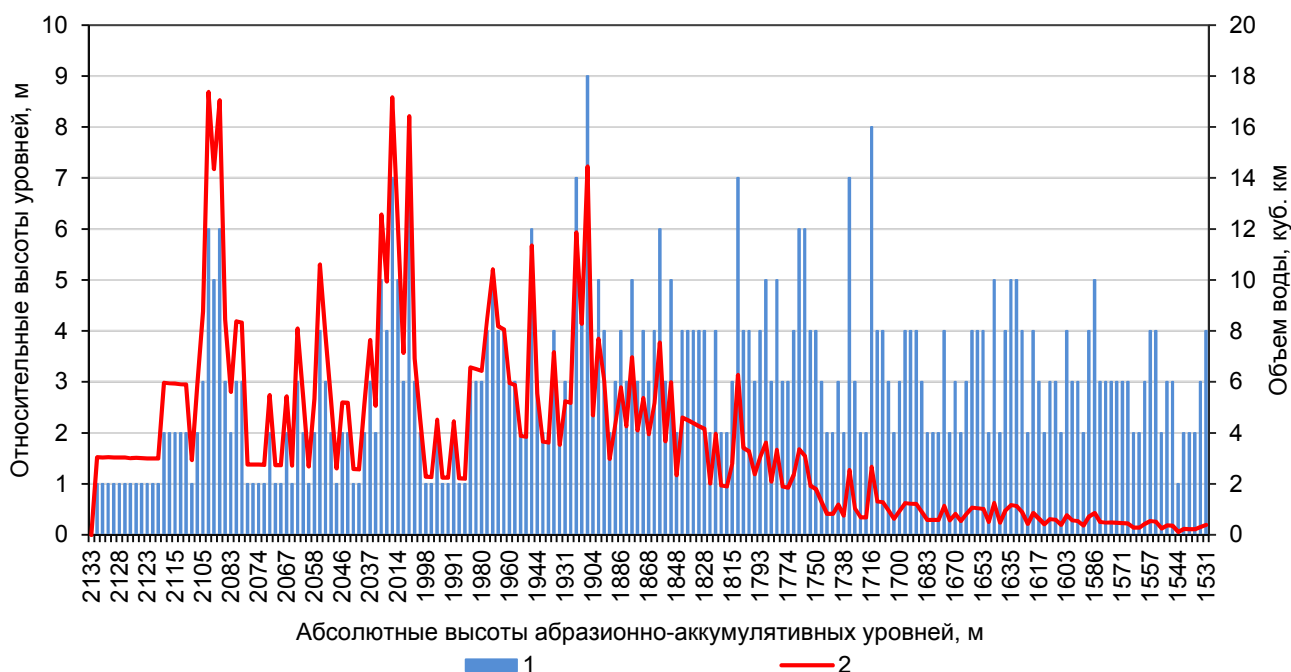


Рис. 2. Закономерности распределения относительных высот $H_n(Y)$ абразионно-аккумулятивных уступов (1) и объемов воды в слоях $m = (h_n - h_{n-1})$ (2) в зависимости от абсолютной высоты Y поверхности

Fig. 2. Regularities of distribution of relative heights $H_n(Y)$ of abrasive-accumulative terraces (1) and water volumes in layers $m = (h_n - h_{n-1})$ (2) depending on the absolute height Y of the surface

Очевидно, что относительная высота H_n абразионного уступа соответствует толщине m спущенного слоя воды из озерного бассейна. Данное обстоятельство позволяет провести количественную оценку объема V_n воды в слое m :

$$m = (Y_n - Y_{n-1}), \quad (1)$$

где Y_n – абсолютная высота террасы и, следовательно, уровня озера в начальный период, а Y_{n-1} – в последующий. При известной закономерности изменения площади поверхности акватории озера (Y) на

каждом соответствующем уровне абсолютной высоты Y_n объем V_n определяется как

$$V_n = S_n \times m_n. \quad (2)$$

Оценка скорости волновой переработки делювиальных склоновых отложений. Единственным источником информации для определения расходов Q при переливе ее через плотину является продолжительность времени формирования абразионно-аккумулятивных уступов и баров, относительная высота которых $H_n(t) = (Y_n - Y_{n-1})$ соответствует слою

$m = H_n$ воды. Задача решалась численными методами и практическим определением объема абразионно-аккумулятивной переработки делювиального материала на склонах озерного бассейна.

Применительно к характеристике абразионных процессов берегов водохранилищ энергия (E_v) ветровых волн определяется их высотой (h), длиной волны (λ) и весом (P) объема воды. За единицу измерения энергии волн в практике изучения абразионных процессов на водохранилищах [Качугин, 1975] обычно применяется тонна-метр в секунду. Для определения скорости размыва слагающих берега пород в одних методиках расчета используются коэффициенты устойчивости к размыву, а в других – коэффициенты размываемости K_p [Свод правил..., 1998], измеряемые для разного состава рыхлых пород в m^3 на тонна-метр работы волн.

Для определения секундного потока энергии волн используется формула полной энергии [Сафьянов, 1978]:

$$E = 1/16 \rho g \times h^2 \lambda / \tau, \quad (3)$$

где: ρ – плотность воды; g – ускорение свободного падения; h – высота волны; λ – длина волны; τ – период волны.

Для оценки E по формуле (3) приняты следующие количественные характеристики ветрового волнения:

ρ – плотность воды – 1 000 кг/ m^3 ;

g – ускорение свободного падения – 9,8 м/ c^2 ;

h – высота волны – 0,3 м;

λ – длина волны – 5 м;

τ – период волны – 1,9 с;

v – скорость волны, $v = \lambda / \tau$, определяемая зависимостью $v = 1,28 \sqrt{\lambda}$.

Данные количественные характеристики волнения приняты на основе многолетних наблюдений за

динамикой климатических характеристик [Научно-прикладной..., 1993], согласно которым установившаяся скорость ветра в котловинах не превышает 2–5 м/ c , преобладающее направление ветра широтных румбов, а безветренные дни (штили) по количеству превосходят сумму всех других – 65%. В то же время наблюдаются шквалистые порывы ветра до 30–40 м/ c , которые в расчет энергии ветровых волн не принимаются, поскольку они характеризуются кратковременным действием и потому высоких, полностью сформированных волн, достигающих максимальных характеристик, не образуют. Учитывая, что продолжительность безледового периода на озерах и реках составляет всего 5 месяцев, и 65% из этого времени характеризуется безветрием, можно принять суммарную длительность абразионной деятельности 95 дней. Наибольшей повторяемостью (10%) отличаются ветры со скоростью 2–5 м/ c , создающие волну высотой $h = 0,3$ м при непрерывно действующем ветре в течение 10 ч, и только они характеризуются абразионно-аккумулятивной созидательностью. Остальные ветры создают волны незначительной высоты в силу их эпизодичности и малой энергии, быстро теряющейся на начальной стадии формирования прибрежной отмели. В соответствии с указанными условиями секундное поступление энергии E_v подходящих по нормали к берегу волн на один метр его длины составляло бы

$$\begin{aligned} E_v &= \frac{1}{16} \rho g \times h^2 \frac{\lambda}{\tau} = \\ &= \frac{1}{16} \left(1000 \times 9,8 \times 0,3^2 \times \frac{5}{1,9} \right) = \\ &= 145,07 \text{ кгмс} = 0,145 \text{ тмс}. \end{aligned} \quad (4)$$

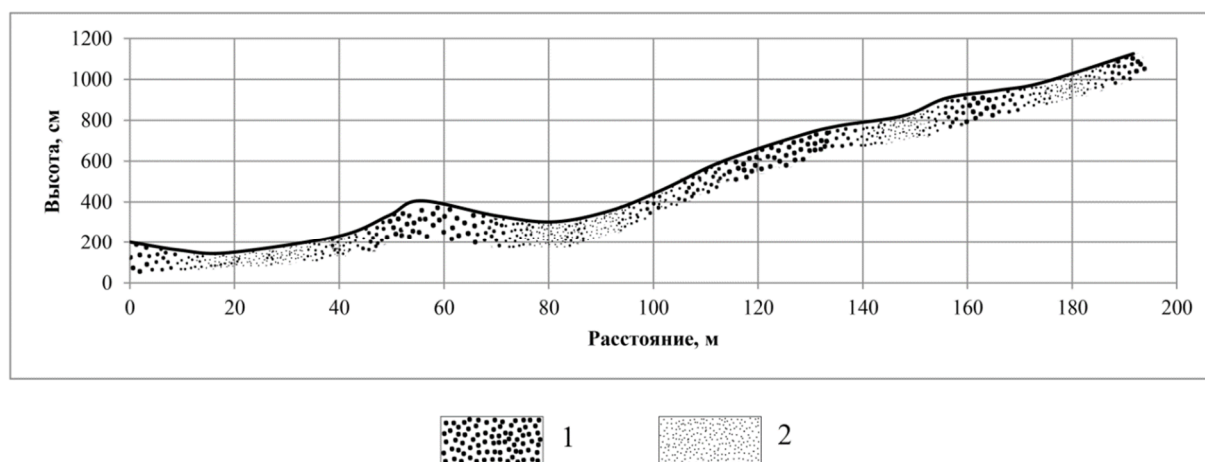


Рис. 3. Поперечный профиль бара; фрагмент профиля № 1 с детальным изучением коррелятных абразионно-аккумулятивных отложений

1 – галька от 2 до 6 см, слагающая вершины баров; 2 – тонкозернистый песок с примесью дресвы, слагающий межбаровые понижения

Fig. 3. Cross-section profile of the bar; fragment of profile № 1 with a detailed study of correlated abrasive-accumulative deposits.

1 – pebbles from 2 to 6 cm, composing the tops of bars; 2 – fine-grained sand with an admixture of gruss, composing interbar depressions

Такова размывающая энергия одной волны с ее указанными выше параметрами. Если полагать, что ветер с принятыми характеристиками действовал бы непрерывно в течение 820 800 с (10% от 95 суток) на одном уровне воды, то годовая энергия подходящих по нормали к берегу ветровых волн составила бы $E_p = 119\,016$ т на погонный метр берега.

Рыхлый покров на склонах Чуйско-Курайской котловины представлен флювиогляциальными песками с гравием и галькой, характеризующимися коэф-

фициентом устойчивости к размыву $K_p = 0,0003$ м³/тм [Качугин, 1975]. На таких участках объем абразионного размыва при тех же параметрах волн составлял бы $V = 35,7$ м³, а морфометрические характеристики абразионных уступов зависели бы от величины понижения уровня за один безледовый период – $T = 95$ сут.

Нами проведено определение реального объема обломочного материала, слагающего абразионно-аккумулятивный бар (рис. 3, 4).



Рис. 4. Галька 2–3 класса окатанности в абразионно-аккумулятивных отложениях системы баров (фрагмент инструментального профиля № 1)

Fig. 4. Pebbles of 2–3 roundness classes in abrasion-accumulating deposits of the bar system (fragment of instrumental profile № 1)

Установлено, что, при высоте бара 2,06 м и расстоянии между барами 55,6 м на 1 п.м береговой линии объем перераспределенного песчано-дресвяно-галечникового материала (см. рис. 3) составляет 57 м³ [Поздняков, Пупышев, 2018].

Расходы воды Чуйско-Курайского озера в период его деградации

Проведенные расчеты в основном подтверждают базисные положения гипотезы о том, что формирование одной абразионной террасы (бара) происходило в течение одного летнего сезона, а понижение абсолютной высоты $y(t)$ уровня озера и, соответственно, относительной высоты и абразионных уступов носило континуально-дискретный характер (см. рис. 2). Изоморфным ему было и изменение мощности m слоя воды при понижении уровня озера на величину $m = (y_n - y_{n-1})$. Для определения расхода q воды из Чуйско-Курайского озера на участке перелива через плотину построена цифровая модель рельефа (ЦМР; рис. 5), позволяющая рассчитать для любой заданной абсолютной высоты абразионно-аккумулятивного уровня, начиная с $y = 2\,133$ м и кончая $y = 1\,740$ м, соответствующую им площадь s акватории и объем v в слое $\delta m(t) = (y_n - y_{n-1})$.

Из графиков изменения расходов q воды (см. рис. 2), построенных на основе анализа комплекса проведенных исследований, следует вывод о том, что спуск озерного водоема характеризовался паводочным режимом. В начальный период спуска, когда площадь s акватории была максимальной (3 000–3 050 км²), а понижение уровня 1–2 м/год, расход воды составлял 370–730 м³/с (рис. 6).

Периодически повторявшиеся пиковые паводковые расходы воды, особенно хорошо выраженные на уровнях с абсолютной высотой 2 100–1 700 м, достигали 800–2 120 м³/с, что, видимо, было обусловлено климатическими флуктуациями. В целом спуск озера происходил неравномерно и с постепенным затуханием.

Паводковые расходы воды значительно превышали современные расходы в р. Чуя, что предопределило катастрофические изменения ландшафтов и морфоскульптуры долин Чуи и Катунь [Pozdnyakov, 2005; Pozdnyakov, Borodavko, 2015].

Наиболее вероятный алгоритм последовательности событий в течение года представляется следующим. В период оледенения долины горных рек были заполнены ледниками [Ивановский, 1981; Галахов, Самойлова, 2007, 2008], и, несомненно, расход воды

в р. Чуе на рассматриваемой территории был близким к нулю. Даже сейчас, в период потепления климата, зимние расходы на замыкающем в пределах Курайской котловины Чаган-Узунском створе составляют 4,88 м³/с. В период оледенения одновре-

менно происходило замораживание каналов стока на поверхности ледовой плотины и в стоках воды из озера тоже. Поэтому можно предполагать, что в течение зимнего времени составляющие баланса стоков воды «в озеро / из озера» были близкими к нулю.

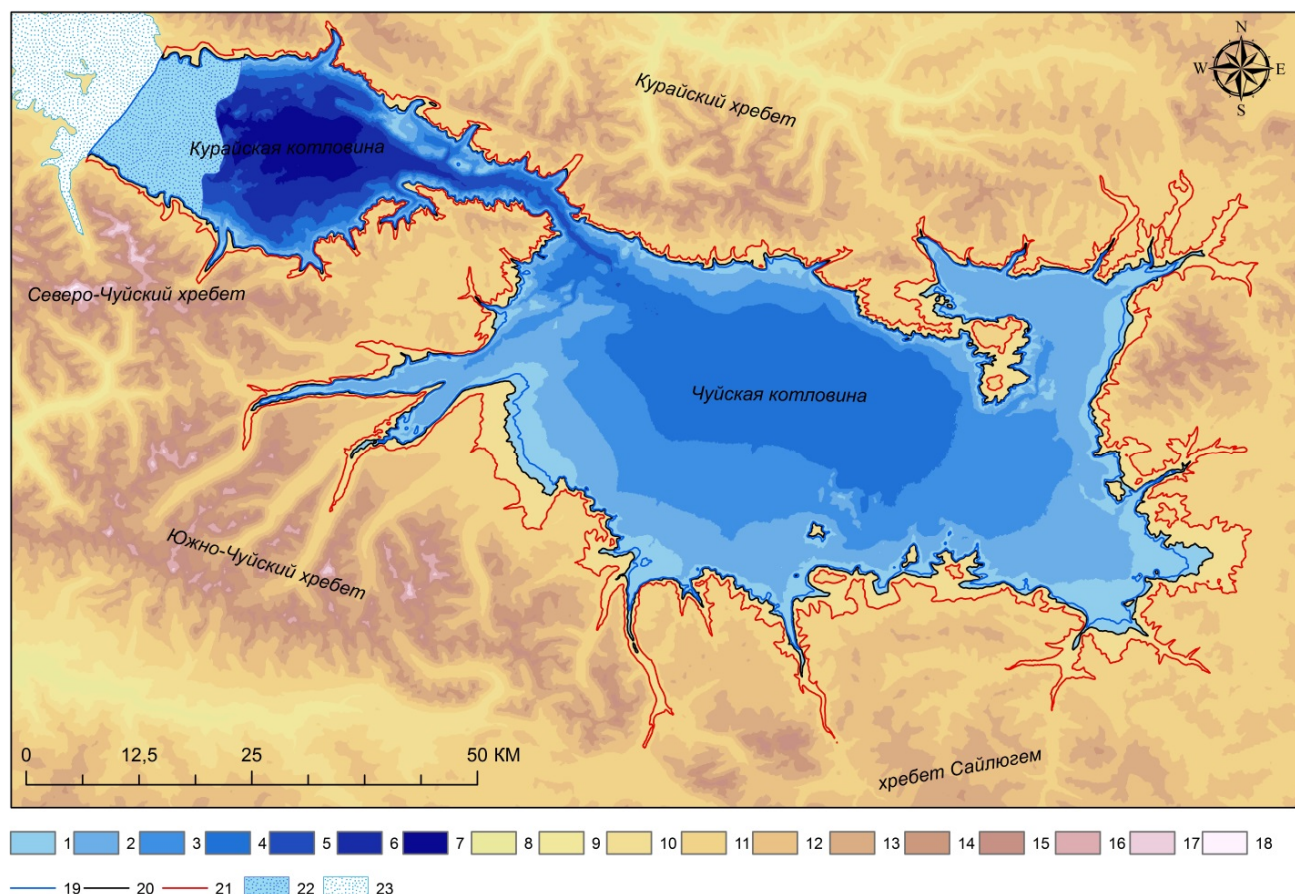


Рис. 5. Чуйско-Курайское ледово-подпрудное озеро – цифровая модель рельефа (ЦМР)

Глубина Чуйско-Курайского озера, м: 1 – 0–100; 2 – 100–200; 3 – 200–300; 4 – 300–400; 5 – 400–500; 6 – 500–600; 7 – глубже 600. Абсолютная высота, м: 8 – 1 500–1 750; 9 – 1 750–2 000; 10 – 2 000–2 250; 11 – 2 250–2 500; 12 – 2 500–2 750; 13 – 2 750–3 000; 14 – 3 000–3 250; 15 – 3 250–3 500; 16 – 3 500–3 750; 17 – 3 750–4 000; 18 – выше 4 000. 19 – береговая линия озера по абс. высоте 2 100 м [Окишев, Бородавко, 2001]; 20 – береговая линия озера по абс. высоте 2 133 м (авторское обоснование); 21 – береговая линия озера по абс. высоте 2 250 м (по [Русанов, 2008]); 22 – ледовая ультравысоконапорная плотина (ледоем) на участке перелива воды из озера [Поздняков, 2019]; 23 – окончание ледовой подпруды

Fig. 5. Chuya-Kurai ice-dammed lake - digital elevation model (DEM)

The depth of Chuya-Kurai lake, m: 1 – 0–100; 2 – 100–200; 3 – 200–300; 4 – 300–400; 5 – 400–500; 6 – 500–600; 7 – deeper than 600. Absolute height, m: 8 – 1 500–1 750; 9 – 1 750–2 000; 10 – 2 000–2 250; 11 – 2 250–2 500; 12 – 2 500–2 750; 13 – 2 750–3 000; 14 – 3 000–3 250; 15 – 3 250–3 500; 16 – 3 500–3 750; 17 – 3 750–4 000; 18 – above 4 000. 19 – shoreline of the lake on abs. height of 2 100 m [Okishev, Borodavko, 2001]; 20 – shoreline of the lake on abs. height 2 133 m (author's justification); 21 – shoreline of the lake on abs. height of 2 250 m (according to [Rusanov, 2008]); 22 – ice ultra-high-pressure dam (ice reservoir) on the site of water overflow from the lake [Pozdnyakov, 2019]; 23 – the end of the ice sub-pond

Со второй половины июня происходило освобождение акватории от ледового покрова, начинались развитие абразионных процессов на склонах котловины и формирование уступов и баров. Нельзя отрицать возможность небольшого подъема уровня воды озера, происходившего за счет стока воды с поверхности ледников в процессе их абляции. Затем открывались и формировались новые каналы стока

через плотину, возобновлялся сток воды из озера и понижение его уровня. Эта стадия спуска озера продолжалась до сентября и завершалась быстрым формированием ледового покрова, подобно тому как это наблюдается на современных сибирских водохранилищах ГЭС [Бузин, Зиновьев, 2009], где ледовый покров формируется при средней температуре воздуха –2...–11°C в течение 3–10 суток.

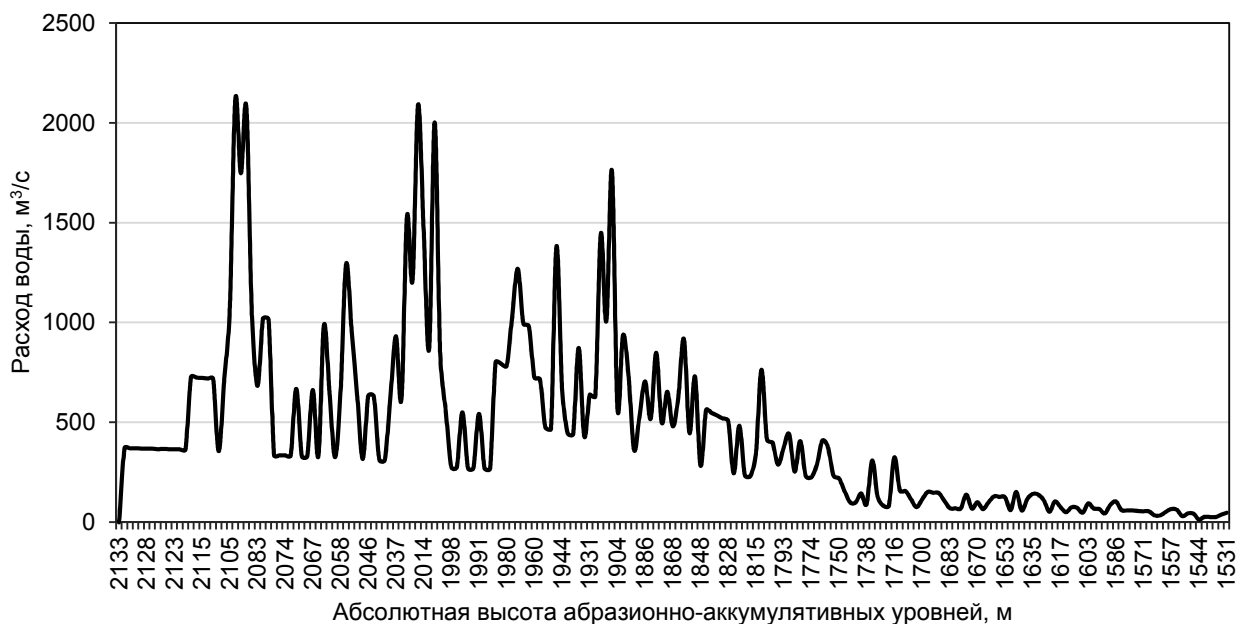


Рис. 6. Характеристика паводочного режима Чуйско-Курайского ледово-подпрудного озера в стадии его деградации

Fig. 6. The characteristic of the flood mode of the Chuya-Kurai ice-dammed lake at the stage of degradation

Закключение

Согласно проведенным исследованиям, спуск озера не мог быть мгновенным или кратковременным, как это постулировалось ранее: в результате прорыва ледово-подпрудной плотины Чуйско-Курайского озера образовался транзитный водный поток с расходом воды, достигавшим 4,5–10 млн м³/с [Инишев и др., 2015], или, как считали основоположники идеи о гиперболизированном водном потоке [Бутвиловский, 1993; Рудой, 2005], расходы были еще больше – до 18 млн м³/с, и весь этот объем воды был сброшен за три дня [Herget, 2005]. Анализ распределения относительных высот абразионных уступов на затоплявшихся склонах котловины свидетельствует, что спуск озера был многолетним и имел резко выраженный континуально-дискретный пиковый характер. Спуск озера не мог быть мгновенным, потому что в противном случае формирование абразионно-аккумулятивного морфолитогенетического комплекса было бы невозможным. Согласно результатам проведенного анализа, расходы воды на начальной стадии спуска озера в максимумах составляли 1 000–2 120 м³/с, а с учетом объема воды, накопившегося в ледовой

плотине и ледниках, спускавшихся в долину р. Чуи, они были больше.

Установленные количественные характеристики Чуйско-Курайского ледово-подпрудного озера позволяют вынести суждения о наиболее вероятной продолжительности его формирования. Имея в виду максимальный объем накопившейся в котловине воды (753 км³, без учета потерь на испарение и на накопление льда в плотине ниже створа), принимая во внимание современный расход воды в русле р. Чуи (измерения на гидрологических постах у сел Чаган-Узун и Белый Бом), можно сформулировать логически непротиворечивое суждение о ежегодных объемах поступающей воды в котловину и, таким образом, определить наиболее вероятную продолжительность формирования Чуйско-Курайского ледово-подпрудного озера. Летний среднееголетний максимальный расход воды (пост Чаган-Узун) составляет 20,7 м³/с, а минимальный зимний – 4,88 м³/с. Таким образом, по летнему варианту расходов воды наполнение котловины до максимальной абсолютной высоты 2 133 м могло произойти в течение 1 153 лет; при среднегодовом расходе 12,8 м³/с – за 1 868 лет, а общая продолжительность существования озерного бассейна составляла 2 068 лет.

ЛИТЕРАТУРА

- Бородавко П.С.** Эволюция Чуйско-Курайской лимносистемы в позднем неоплейстоцене : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Томск, 2003. 22 с.
- Бужин В.А., Зиновьев А.Т.** Ледовые процессы и явления на реках и водохранилищах. Барнаул : Пять плюс, 2009. 168 с.
- Бутвиловский В.В.** Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1993. 253 с.

- Галахов В.П., Самойлова С.Ю.** Оледенение Чуйской котловины в максимум последнего похолодания (Юго-Восточный Алтай) // Материалы V Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода. 2007. С. 70–72.
- Галахов В.П., Самойлова С.Ю.** Древнее оледенение «сухих долин» Чуйской котловины (Юго-Восточный Алтай) // Известия Русского географического общества. 2008. Вып. 3. С. 35–39.
- Зольников И.Д., Деев Е.В.** Гляциальные суперпаводки на территории Горного Алтая в четвертичном периоде: условия формирования и геологические признаки // Криосфера Земли. 2013. Т. XVII, № 4. С. 74–82.
- Ивановский Л.Н.** Гляциальная геоморфология гор. Новосибирск : Наука, 1981. 172 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.
- Качугин Е.Г.** Геологическое изучение динамики берегов водохранилищ. М. : Наука, 1975. 145 с.
- Лунгерсгаузен Г.Ф., Раковец О.А.** Некоторые новые данные о стратиграфии третичных отложений Горного Алтая // Труды БАГТ. 1958. Вып. 4. С. 79–91.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР.** Сер. 3. Многолетние данные. СПб., 1993. Ч. 1–6, вып. 20. 718 с.
- Окишев П.А., Бородавко П.С.** Реконструкции «флювиальных катастроф» в горах Южной Сибири и их параметры // Вестник Томского государственного университета. 2001. № 274. С. 3–13.
- 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., Пупышев Ю.С.** Динамика абразионно-аккумулятивных процессов в условиях непрерывного понижения уровня водного бассейна // XXXVI пленум Геоморфологической комиссии РАН : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Геоморфология – наука XXI века». Барнаул : Изд-во Алт. гос. ун-та, 2018. С. 314–319.
- Поздняков А. В.** Самонамораживание ледово-подпрудной плотины – алгоритм саморегуляции // География и природные ресурсы. 2019. № 2. С. 10–18.
- Поздняков А.В., Пупышев Ю.С.** Чуйско-Курайское ледово-подпрудное озеро в стадиях формирования и деградации // Вестник СГУГиТ. Новосибирск : СГУГиТ, 2019. Т. 24, № 2. С. 238–247.
- Рудой А.Н.** Возможные гидравлические характеристики и геохронология гляциальных суперпаводков на Алтае // Известия Русского географического общества. 2001. Т. 133, вып. 5. С. 30–40.
- Рудой А.Н.** Гигантская рябь течения (история исследований, диагностика, палеогеографическое значение). Томск : Изд-во Том. пед. ун-та, 2005. 224 с.
- Русанов Г.Г.** Максимальный уровень Чуйского ледниково-подпрудного озера в Горном Алтае // Геоморфология. 2008. № 1. С. 65–71.
- Свод правил** Проектирование морских берегозащитных сооружений : СП 32-103-97 / Корпорация «Трансстрой». М., 1998. URL: http://www.znaytovar.ru/gost/2/SP_3210397_Proektirovanie_mors.html (дата обращения: 20.10.2019).
- Сафьянов Г.А.** Береговая зона океана в XX веке. М. : Мысль, 1978. 263 с.
- Baker V.R., Benito G., Rudoy A.N.** Palaeogidrolology of late Pleistocene Superflooding, Altay Mountains, Siberia // Science. 1993. V. 259. P. 348–350.
- Hergert Jü.** Reconstruction of Pleistocene ice-dammed lake outburst floods in the Altai Mountains, Siberia. The Geological society of America, Special Paper 386. Boulder, CO, 2005. 118 p.
- Pardee J.T.** The glacial Lake Missoula, Montana // J. Geol. 1910. V. 18. P. 376–386.
- Pozdnyakov A.V.** Synergetics of geosystems. Tomsk : Tomsk State University, 2005. 190 p.
- Pozdnyakov A.V., Borodavko P.S.** Algorithm of natural cataclysm in SE Altai at the Pleistocene/Holocene boundary and its effects on geosystems dynamics // Gradualism vs Catastrophism in Landscape Evolution: Extended abstracts of International conference. Bar-naul : Publishing House of Altai State University, 2015. P. 55–60.

Авторы:

Поздняков Александр Васильевич, доктор географических наук, главный научный сотрудник, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия.

E-mail: synergeia.pol@gmail.com

Пупышев Юрий Сергеевич, аспирант, Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия.

E-mail: pupyshev95@mail.ru

Geosphere Research, 2020, 1, 56–65. DOI: 10.17223/25421379/14/4

A.V. Pozdnyakov^{1,2}, Yu.S. Pupyshev¹

¹ *Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia;*

² *National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia*

CONTINUOUS DISCRETE MODE OF DEGRADATION OF THE CHUYA-KURAY ICE-DAMMED LAKE

The abrasion-accumulative terraces observed on the sides of the Chuy and Kurai depressions of Gorny Altai indicate the existence of an ice-dammed lake in the Neopleistocene. During the descent of the lake along the sides of the basins in the range of absolute heights of 1531–2133 m, abrasive-accumulative terraces and bars (201 pcs) were formed that fixed the levels of shore abrasion processing. For each level of the lake, quantitative characteristics of the lake basin were obtained; at maximum filling, Chuisko-Kurai Lake had a depth of 673 m, an area of 3054 km², and a water volume of 753 km³.

Calculations to determine the speed of shore abrasion processing show that the minimum necessary time for the formation of one terrace is at least one warm season and, therefore, it can be assumed that the descent of Lake Chuisko-Kurai lasted for 200 years. An analysis of changes in the relative heights of the abrasion-accumulating terraces and the corresponding lake levels, based on the results of instrumental measurements and interpretation of satellite images, indicates a continually discrete and long-term process of descent of the lake. It was established that the seasonal trend of water discharge was characterized by a frequency of 5–10 years (with alternating large and small water discharge), which could be caused by climate fluctuations. At the initial stage of the descent of the lake, the water discharge varied between 1000–2120 m³/s.

Previously postulated provisions that the descent of the lake occurred as a result of the destruction of the dam within a few days or hours, accompanied by water consumption of 10 million m³/s, are unjustified erroneous conclusions.

The filling of the basin to a maximum absolute height of 2133 m could occur within 1153 years; with an average annual flow rate of 12.8 m³/s – 1868 years; and the most probable duration of the existence of the lake basin was 2068 years.

Keywords: continuous-discrete water flow, ice-dammed lake, mountain Altai, abrasion terraces, water discharge, catastrophic floods.

REFERENCES

- Borodavko P.S. *Evolutsiya Chuysko-Kurayskoy limnosistemy v pozdnem neopleystotsene* [The evolution of the Chuya-Kurai limn system in the Late Neopleistocene]: avtoref. ... kand.geogr. nauk. Tomsk, 2003. 22 p. In Russian
- Buzin V.A., Zinov'ev A.T. *Ledovye protsessy i yavleniya na rekakh i vodokhranilishchakh* [Ice processes and phenomena on rivers and reservoirs]. Barnaul: «Pyat' plus», 2009. 168 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
- Galakhov V.P., Samoylova S. Yu. *Oledenenie Chuyskoy kotloviny v maksimum poslednego pokholodaniya (Yugo-Vostochnyy Altay)* [Glaciation of the Chui basin in the maximum of the last cold snap (South-Eastern Altai)] // *Materialy V Sserossiyskogo soveshchaniya po izucheniyu chetvertichnogo perioda*. Moscow, GEOS, 2007. pp. 70–72. In Russian
- Galakhov V.P., Samoylova S. Yu. *Drevnee oledenenie «sukhikh dolin» Chuyskoy kotloviny (Yugo-Vostochnyy Altay)* [Ancient glaciation of "dry valleys" of Chui basin (South-Eastern Altai)] // *Izvestiya RGO*. 2008. №3, pp. 35–39. In Russian
- Zol'nikov I.D., Deev E.V. *Glyatsial'nye superpavodki na territorii Gornogo Altaya v chetvertichnom periode: usloviya formirovaniya i geologicheskie priznaki* [Quaternary glacial superfloods at the Gorny Altai: formation conditions and geological features] // *Kriosfera Zemli*. 2013. XVII, №4, pp. 74–82. In Russian
- Ivanovskiy L. N. *Glyatsial'naya geomorfologiya gor* [Glacial geomorphology of mountains]. Novosibirsk: Nauka, 1981. 172 p. In Russian
- Inishev N.G., Rudoy A.N., Zemtsov V.A., Vershinin D.A. *Pervaya komp'yuternaya model' techeniy v mezhgornoy kotlovine pri sbrose lednikovo-podprudnogo ozera (na primere Kurayskoy kotloviny, Gornyy Altay)* [The first computer model of currents in the Kurai intermountain basin, Altai, under release of a glacial-dammed lake] // *Doklady Earth Sciences*. 2015. V. 461. № 1. pp. 283–285. In Russian
- Kachugin E.G. *Geologicheskoe izuchenie dinamiki beregov vodokhranilishch* [Geological study of the dynamics of the banks of reservoirs]. Moscow: Nauka, 1975. 145 p. In Russian
- Lungersgauzen G.F., Rakovets O.A. *Nekotorye novye dannye o stratigrafii tretichnykh otlozheniy Gornogo Altaya* [Some new data on stratigraphy of tertiary deposits of Gorny Altai] // *Trudy VAGT*. 1958. №4, pp. 79–91. In Russian
- Nauchno-prikladnaya spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye* [Scientific-applied reference on the climate of the USSR. Series 3. Perennial data.]. Part. 1–6. № 20. Saint Petersburg, 1993. 718 p. In Russian
- Okishev P.A., Borodavko P.S. *Rekonstruktsii «flyuvial'nykh katastrof» v gorakh Yuzhnoy Sibiri i ikh parametry* [Reconstructions of "fluvial catastrophes" in the mountains of Southern Siberia and their parameters] // *Tomsk State University Journal*. 2001. № 274, pp. 3–13. 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 Chuisko-Kurais ice-dammed lake in the stage of degradation] // *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2018. № 1. pp. 130–135. In Russian
- Pozdnyakov A.V., Pupyshv Yu.S. *Dinamika abraziionno-akkumulyativnykh protsessov v usloviyakh nepreryvnogo ponizheniya urovnya vodnogo basseyna* [The dynamics of abrasion-accumulative processes in the conditions of a continuous decrease in the level of the water basin] // XXXVI plenum Geomorfologicheskoy komissii RAN: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Geomorfologiya – nauka XXI veka». 2018. pp. 314–319. In Russian
- Pozdnyakov A.V. *Samonamorazhivanie ledovo-podprudnoy plotiny – algoritm samoregulyatsii* [Self-freezing of the ice dam: the self-regulation algorithm] // *Geography and Natural Resources*. 2019. № 2, pp. 10–18. In Russian
- Pozdnyakov A.V., Pupyshv Yu.S. *Chuysko-Kurayskoe ledovo-podprudnoe ozero v stadiyakh formirovaniya i degradatsii* [Chuya-Kurai ice-dammed lake at the stages of formation and degradation] // *Vestnik SGUGiT*. 2019. 24, №2, pp. 238–247. In Russian
- Rudoy A.N. *Vozmozhnye gidravlicheskie kharakteristiki i geokhronologiya glyatsial'nykh superpavodkov na Altaye* [Possible hydraulic characteristics and geochronology of glacial superfloods in Altai] // *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva*. 2001. T. 133. № 5, pp. 30–40. In Russian
- Rudoy A.N. *Gigantskaya ryab' techeniya (istoriya issledovaniy, diagnostika, paleogeograficheskoe znachenie)* [Gigantic ripples (history of research, diagnostics, paleogeographic significance)]. Tomsk: TSPU. 2005. 224 p. In Russian
- Rusanov G.G. *Maksimal'nyy uroven' Chuyskogo lednikovo-podprudnogo ozera v Gornom Altaye* [The maximum level of the Chuisky glacial dam lake in the Altai Mountains] // *Geomorfologiya*. 2008. № 1, pp. 65–71. In Russian
- Svod pravil Proektirovanie morskikh beregozashchitnykh sooruzheniy SP 32–103–97 Korporatsiya «Transstroy»* [Set of rules Design of marine coastal protection structures SP 32–103–97 Transstroy Corporation]. Moscow, 1998. URL: http://www.znaytovar.ru/gost/2/SP_3210397_Proektirovanie_mors.html. In Russian

- Safyanov G.A. *Beregovaya zona okeana v XX veke* [The coastal zone of the ocean in the twentieth century]. Moscow: «Mysl'», 1978. 263 p. In Russian
- Baker V.R., Benito G., Rudoy A.N. Palaeogidrology of late Pleistocene Superflooding, Altay Mountains, Siberia // *Science*, 1993. V. 259. pp. 348–350.
- Herget Jü. 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.
- Pardee J.T. The glacial Lake Missoula, Montana // *J. Geol.*, 1910. V. 18. pp. 376–386.
- Pozdnyakov A.V. Synergetics of geosystems. Tomsk: Tomsk State University, 2005. 190 p.
- Pozdnyakov A.V., Borodavko P.S. Algorithm of natural cataclysm in SE Altai at the Pleistocene/Holocene boundary and its effects on geosystems dynamics // *Gradualism vs Catastrophism in Landscape Evolution: Extended abstracts of International conference*. Barnaul, Russia: Publishing House of Altai State University, 2015. pp. 55–60.

Author's:

Pozdnyakov Alexander 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 Yury S., graduate student, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia.

E-mail: pupyshev95@mail.ru