ISSN 0869-6071

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО

ИЗВЕСТИЯ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

сентябрь–октябрь
Том 133. Вып. 5
2001

Санкт-Петербург
„НАУКА"

Учредители:

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК,
РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО,
ИНСТИТУТ ОЗЕРОВЕДЕНИЯ

ИЗВЕСТИЯ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

Том 133

Журнал основан в 1865 г.

(*Издается 6 номеров в год*)

Редакционная коллегия:

д-р геол.-минер. наук *Ю. П. Селиверстов* (гл. ред.),
д-р геогр. наук *Ю. Н. Гладкий* (зам. гл. ред.),
д-р геогр. наук *А. Г. Исаченко* (зам. гл. ред.),
д-р геогр. наук *Ал. А. Григорьев* (отв. секр.),
д-р геогр. наук *А. П. Алхименко*, д-р геогр. наук *А. А. Анохин*,
чл.-кор. *Н. С. Касимов*, акад. *К. Я. Кондратьев*, акад. *В. М. Котляков*,
д-р биол. наук *В. Н. Мовчан*, д-р геогр. наук *А. В. Постников*,
д-р геогр. наук *В. М. Разумовский*, д-р физ.-мат. наук *В. А. Рожков*,
д-р геогр. наук *Д. В. Севастьянов*, чл.-кор. *А. И. Сорокин*,
чл.-кор. *А. А. Чибилев*

© Коллектив авторов, 2001

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

© *А. Н. РУДОЙ*

ВОЗМОЖНЫЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ГЕОХРОНОЛОГИЯ ГЛЯЦИАЛЬНЫХ СУПЕРПАВОДКОВ НА АЛТАЕ

Введение. Характерной чертой режима всех ледниково-подпрудных озер являются их катастрофические прорывы с паводками — йокульлаупы. При достижении критического уровня, который иногда может документироваться самыми высокими озерными террасами, озера прорывают ледниковые плотины и продуцируют мощные гляциальные паводки — дилювиальные потоки, или фладстримы. Эти потоки производят большую геологическую работу. С одной стороны, они разрушают исходную поверхность, образуя набор специфических дилювиально-эрозионных и эворзионных форм — ущельев прорыва и заплеска, водобойных ниш и котлов высверливания и т. п., с другой — аккумулируют переносимый обломочный материал, образуя оригинальные формы и отложения дилювиальной аккумуляции — дилювиальные террасы, валы, гигантские знаки ряби течения и дилювиальные бермы [23, 24].

Работы о геологической деятельности дилювиальных потоков появились в первой четверти XX в. в Америке [35, 44, 45]. За прошедшие десятилетия в сотнях публикаций, посвященных режиму позднечетвертичного североамериканского оз. Миссула, были не только подробно рассмотрены геолого-геоморфологические следы его катастрофических прорывов, но и предприняты попытки расчетов гидравлических параметров этих потоков. В результате было установлено, что катастрофические потоки из оз. Миссула были самыми крупными потоками пресной воды на Земле [39], а геологическая деятельность самого озера рассматривалась в монографиях и учебниках как «особый» случай катастрофических изменений земной поверхности на фоне «нормальной» эволюции Земли.

После открытия дилювиальных форм рельефа и отложений в горах Алтая [2, 17, 21] стало ясно, что катастрофические гляциальные суперпаводки были закономерным событием в ледниковой истории суши. Эти паводки сильно трансформировали исходный рельеф, являясь мощным геологическим фактором, роль которого ранее не учитывалась. За последние 15 лет в России появились многочисленные данные о развитии дилювиальных форм не только в речных долинах Алтая, но и Тувы [5, 11]. Однако если качественная оценка результатов геологической работы дилювиальных потоков в настоящее время в первом приближении проведена (т. е. открыты и описаны дилювиальные отложения и рельеф в ключевых участках, установлен их генезис), то все вопросы, касающиеся механизма седиментации дилювиальных отложений, гидравлических характеристик дилювиальных потоков, а также хронологии паводковых событий, находятся в процессе активного обсуждения. Решение этих вопросов позволит не только определить место дилювиальных процессов в общем ряду экзодинамических геологических процессов, но и оценить роль катастрофических процессов в эволюции лика Земли в целом.

Следы плейстоценовых ледниково-подпрудных озер в межгорных котловинах Южной Сибири зафиксированы повсеместно в виде лестниц береговых линий и мощных толщ озерно-ледниковых отложений, имеющих часто ленточную слоистость [15, 16]. На одном только Алтае общая площадь озер, реконструированная по этим материалам, со-

ставляла в позднем плейстоцене не менее 27 тыс. км^2, а суммарный объем достигал 7.3 тыс. км^3. В целом же в горах Южной Сибири, по предварительным оценкам, эти параметры составляли соответственно 100 тыс. км^2 и 60 тыс. км^3 [47].

Самыми крупными ледниково-подпрудными озерами из изученных были Чуйское и Курайское, которые на определенном этапе их эволюции представляли собой единый Чуйско-Курайский ледниково-подпрудный водоем. Обнаруженные недавно [20] на абсолютных отметках свыше 2400 м новые перевалы-спиллвеи из Курайской котловины в бассейн р. Чаган-Узуна и из Чуйской — в бассейн р. Башкауса, а также комплекс дилювиальных валов на перевале Кызыл-Джалык (правый приток р. Те-те)—Кызыл-Чин и Кызкынор (левые притоки р. Чаган-Узуна) показали, что рекордные объемы Чуйско-Курайской системы ледниково-подпрудных озер достигали 3500 км^3, т. е. были гораздо больше максимальных объемов оз. Миссула.

В результате неоднократных катастрофических прорывов четвертичных котловинных ледниково-подпрудных озер в магистральных долинах стока были сформированы дилювиальные морфолитологические комплексы, аналогичные дилювиальным парагенетическим ассоциациям Северной Америки [48]. Крупномасштабные геоморфологические, седиментологические и палеогидрологические исследования производятся сегодня в наиболее изученных ключевых участках Алтая, где отмечен наиболее полный набор типов и форм дилювиального морфолитокомплекса. К этим участкам относятся: 1) поле гигантской ряби течения на левом берегу р. Катунь в предгорьях Алтая (участок Платово—Подгорное); 2) дилювиальный морфолитологический комплекс в Центральном Алтае между долинами рр. Иня и Большой Яломан и 3) весь бассейн Курайской межгорной впадины.

Расчеты главных гидравлических параметров дилювиальных потоков по морфометрии и вещественному составу гигантских знаков ряби и топографии каналов стока. Для мелкой песчаной ряби речных русел в целом было установлено, что высота и длина волны гряд увеличиваются с увеличением глубины и скорости воды. Эксперименты, однако, показывают, что эта взаимосвязь очень сложна, хотя в отдельных интервалах парных параметров гряд и потока она может быть и линейной: $B = 4.2D$, где B — длина гряды (длина волны), а D — глубина потока [27]. Близкие взаимоотношения приводит и М. С. Ялин [51]: $B = 5D$. При некоторой критической глубине воды эта зависимость уже может меняться на обратную: чем глубже потока, тем ниже дюны, но, вероятно, тем больше длина волны [10]. Первая зависимость часто применяется для расчета русловых процессов в отечественной литературе, вторая — в западной.

Как отмечает Р. Б. Дайнхарт [41], правила Ялина вполне справедливы для малых гравийных форм русла. Однако если исходить из приведенных формул, то уже при стометровой длине паводковой дюны глубина потока должна была бы быть 20 м. При глубинах в сотни метров, какие имели четвертичные дилювиальные суперрекифладстримы, следовало бы ожидать совсем другую морфометрию русловых форм скэбленда. Следовательно, приведенные зависимости мало пригодны для мезоформ ряби, генерированных высокоэнергетическими течениями (см. таблицу).

Первые определения расходов дилювиальных потоков (фладстримов) позднечетвертичного североамериканского оз. Миссула для различных участков производились по известной в гидрологии формуле Шези [45]. Полученные результаты были грандиозны: от 2 до 10 млн м^3/с. Тем не менее неопределенность коэффициента шероховатости русла приводила к значительным неточностям, а сами результаты казались многим сомнительными. Позднее В. Р. Бейкер [29] на основании статистического анализа большого количества натурных данных вывел эмпирические зависимости между размерами гряд (высотой и длиной волны) и глубиной и скоростью потоков, в руслах которых эти гряды формировались: $H = 0.923V^{0.455}$; $B = 37.8V^{0.348}$ и $B = 8.24D^{0.87}$, где H — средняя высота волны ряби, B — средняя длина волны, D — глубина потока над полем ряби и V — средняя скорость течения воды.

В. Р. Бейкер определил и диапазон условий, в пределах которых справедливы эти взаимоотношения: глубина потока от 12 до 152 м, средняя скорость течения 9—

Морфометрия русловой ряби течения и гидравлические характеристики потоков в четырех пунктах исследований

Район	Источник	Дата	Длина волны, м	Высота волны, м	Глубина потока, м	Средняя скорость течения, м/с	Напряжение сдвига ложа, н/м^2	Мощность, вт/м^2	Расход, м^3/с
Р. Северный Татл, Вашингтон	[41]	Декабрь, 1989	6—15	0.2	1.4	2.5	100	250	175
Р. Медина, Техас	[11]	Август, 1978	80	3	10	3.5	300	1000	7000
Колумбийское плато	[29]	Плейстоцен	120	6	100	18	1800	32000	10000000
Алтай	[17, 48]	То же	200	15	400—500	32.5	До 20000	До 1000000	Свыше 18000000

18 м/с, крупность частиц, слагающих паводковые дюны, — от гравия до валунов диаметром до 1.5 м и некоторые другие [29].

Согласно зависимостям В. Р. Бейкера, для участка гигантской ряби сс. Платово—Подгорное на 12—14-метровой левобережной террасе р. Катунь в предгорьях Алтая были получены средние скорости потока около 16 м/с, глубины потока около 60 м и расходы воды с учетом современной морфологии долины не менее 600 000 м^3/с. Эти цифры несколько превышают ранее опубликованные ([17], и др.) в связи с уточнением морфометрии грядового рельефа методом крупномасштабной топографической съемки.[1]

Участок Платово—Подгорное находится почти в 300 км от возможных мест прорыва (Чуйская, Курайская или Уймонская межгорные впадины [23]). Поток здесь распластывался, его глубины и скорости уменьшались. В горах скорости и глубины фладстримов были гораздо больше. Для поля дилювиальных дюн на участке рр. Малый Яломан—Иня в Центральном Алтае, согласно зависимостям В. Р. Бейкера, были получены глубины потока более 400 м и скорости — около 30 м/с, а расходы соответственно — более 1 млн м^3/с. Полученные величины, как видим, не удовлетворяют условиям, для которых справедливы формулы В. Р. Бейкера, и требуют иных, независимых, подтверждений.

По расчетам П. А. Карлинга, автора первых специальных работ по флювиальной геоморфологии и седиментологии грядового дилювиального рельефа на Алтае [36, 37], обычные расходы дилювиальных потоков над участками образования ряби к моменту стабилизации фладстримов варьировали в интервале от 2×10^4 м^3/с до 5×10^4 м^3/с с максимумом на пике паводка в 750 000 м^3/с. Максимальные глубины потока достигали 50 м. Эти данные основаны на результатах компьютерной обработки множественных гранулометрических проб и крупномасштабной топографической съемки, произведенной на участках Платово—Подгорное, Малый Яломан—Иня и на полях развития рельефа гигантской ряби в Курайской впадине (междуречье рр. Актру и Тете, правобережье р. Актру и в урочище Кара-Коль).

Как видим, результаты расчетов П. А. Карлинга не противоречат данным, полученным по формулам В. Р. Бейкера, хотя сам ход экспериментальных и аналитических работ несомненно более сложен. Следует еще раз подчеркнуть, что гидравлические параметры дилювиальных потоков над полями гигантских знаков ряби, в особенности — в зонах обратных течений, не отражают максимальные характеристики потока на стрежне, где скорости и глубины воды были гораздо больше [23].

---

[1] Топографическая съемка поля гигантских знаков ряби в предгорьях Алтая была проведена летом 1988 г. студентами Томского университета под руководством М. В. Дементьева.

Для оценки прорывов приледниковых озер часто применяют эмпирические формулы Дж. Клейга и У. Мэтьюза [38], Дж. Бегета [34] и Дж. Коста [40], в которых предполагается прямая связь между объемами сброшенных озер и расходами йокульлаупов на створах прорыва плотин:

$$Q_{max} = 0.0075V^{0.667}, \quad (1)$$

$$Q_{max} = 0.0065V^{0.69}, \quad (2)$$

$$Q_{max} = 0.0113V^{0.06}, \quad (3)$$

где Q_{max} — максимальные расходы йокульлаупов, а V — объем озера. Согласно этим формулам, плейстоценовая система Чуйско-Курайских ледниково-подпрудных озер продуцировала йокульлаупы с расходами от 4 до 9×10^5 м³/с.

В настоящее время предпочтение отдается формуле (1), как более точной [42]. В основе этой модели лежит уравнение регрессии, выведенное по результатам наблюдений десяти прорывов современных ледниково-подпрудных озер. Недостаток этой модели (как и других, ей подобных) для целей четвертичной гляциогидрологии заключается в том, что: 1) она не учитывает топографию каналов прорыва и уже на некотором удалении от озерной ванны вниз по долине стока сильно занижает значение расходов воды; 2) зависимость выведена эмпирическим путем для современных приледниковых озер, размеры которых по крайней мере на два порядка меньше четвертичных [21]. Тем не менее при невозможности прямых измерений в дилювиальных потоках я исхожу из того, что перечисленные зависимости представляют вполне сходимые результаты и на них можно ориентироваться при отсутствии альтернативных корректных методов палеогидравлических расчетов.

По материалам полевых и картографических работ Алтайской российско-американской геоэкологической экспедиции 1991 г. были выполнены вычисления расходов дилювиальных потоков при прорыве всей Чуйско-Курайской системы четвертичных ледниково-подпрудных озер [31]. В гидрологических расчетах профилей водной поверхности использовалась компьютерная программа HEC-2 [49]. Ход вычислений основывался на решении уравнения удельной энергии, выведенного из уравнения Бернулли для установившегося, плавно изменяющегося течения. Основанием для вычисления были 17 поперечных профилей через долину р. Чуи, выбранных на участке длиной около 18 км приблизительно между «Золотаревской будкой» и пос. Чибит по «новой долине Чуи» (см. рис. 6 в [23]). Детальные геометрические данные канала стока по семи профилям были получены из топографических карт масштаба 1 : 25 000. Вычисленный максимальный расход для Чуйско-Курайского йокульлаупа оказался равен 18×10^6 м³/с. Эта оценка превышает таковую для максимального расхода дилювиального потока из ставшего уже хрестоматийным североамериканского оз. Миссула, который был оценен в 17×10^6 м³/с [39]. Сравнение расходов центральноазиатских и североамериканских гляциальных суперпаводков представляется вполне корректным, так как для обоих регионов задача решалась по единой методике, а в полевых экспериментах участвовали одни и те же специалисты.

Наличие потоков с такими расходами, предполагающими катастрофический прорыв, разламывание ледниковых плотин, не препятствует сценарию множественных йокульлаупов с расходами порядка 1 млн м³/с и связанных с повторяющимися заполнениями и опорожнениями ледниково-подпрудных озер. Более того, такие регулярные, «заурядные», потоки которые все же были очень велики, могли оказывать на земную поверхность более сильное влияние благодаря не столько своей мощности, сколько систематичности, чем супермощные, феноменальные, но единичные йокульлаупы.

Высокие расходы и скорости суперпотоков определяли их способность производить огромную эрозионную и транспортирующую работу. Это следует из известных эмпирических формул, согласно которым твердый сток и интенсивность эрозии пропорциональны квадрату расхода русловых потоков и кубу их скорости. Строение скэбленда показывает, что геологическая работа, совершенная катастрофическими

гляциальными суперпотоками, производилась поразительно быстро. Расчеты подтверждают, что для прохождения всего объема воды из Чуйско-Курайских озер через проанализированный участок потребовалось бы на пике гидрографа, исходя из приведенных выше цифр, всего около 10 мин. Такие потоки имели чрезвычайно высокие напряжения сдвига ложа (τ), описываемые в виде:

$$\tau = \gamma DS \tag{4}$$

и

$$\omega = \gamma QS/W = \tau\overline{V}, \tag{5}$$

где τ — напряжение сдвига ложа, γ — удельный вес воды, S — уклон русла, D — глубина потока, Q — расход, V — средняя скорость течения воды, W — ширина потока. Комбинация этих факторов дает колоссальное давление на единицу площади ложа (ω).

Согласно формулам (4) и (5), при кульминации йокульлаупов глубины паводков превышали 400 м, скорости варьировали от 20 до 45 м/с (субкритические и суперкритические значения соответственно). Напряжения сдвига ложа составляли от 5000 н/м^2 (субкритическое) до 20 000 н/м^2 (суперкритическое), а мощность потока равнялась соответственно от 10^5 до 10^6 вт/м^2.

В лаборатории палеогидрологического и гидроклиматического анализа Аризонского университета было установлено, что для формирования главных черт рельефа изрезанных земель Колумбийского базальтового плато в Северной Америке при расходе паводка из оз. Миссула в 17 млн м^3/с потребовалось не более 3 ч. Для совершения адекватной работы такой реке, как Миссисипи, в ее половодном режиме потребовалось бы по крайней мере 30 тыс. лет [32]. Сравнение энергии четвертичных гляциальных паводков Центральной Азии с потенциальной работой, например р. Оби, дадут результаты никак не менее впечатляющие.

Геохронология и дискуссия. Наблюдения в современных горно-ледниковых бассейнах показывают тесную связь изменений объема ледникового стока с площадью оледенения. На примере Центрального Тянь-Шаня было установлено, что полный годовой сток рек возрастает одновременно с ростом площади оледенения [8]. Это подтверждается и материалами о режиме современного оледенения Кавказа [14]. На реконструированных за 106-летний период инструментальных наблюдений интегральных кривых составляющих баланса массы репрезентативного для Кавказа ледника Джанкуат видно, что пики ледникового стока и аккумуляции вещества на леднике совпадают [9], а уменьшение стока происходит одновременно с уменьшением площади и массы льда. М. Б. Дюргеров и В. В. Поповнин полагают, что сразу же после кульминации оледенения объем стока должен увеличиваться за счет начавшегося потепления и усиления абляции. Но через какое-то время край ледника начинает более или менее устойчиво отступать, в результате чего сократится и физическая площадь ледника. Таким образом, возникнут две разнонаправленные тенденции: увеличение стока за счет климатического потепления, с одной стороны, и уменьшение объема стока из-за сокращения ледника — с другой. В некоторый момент времени, пишут эти исследователи, обе тенденции скомпенсируют друг друга, рост стока прекратится, после чего наступит преобладание второй тенденции, которое должно охватывать весь остаток регрессивной фазы.

Многократное увеличение талого ледникового стока было рассчитано и для времени позднеплейстоценового оледенения Алтая [25]. Таким образом, выдвинутое автором 20 лет назад предположение о том, что в ледниковые эпохи объем речного стока должен был существенно превышать современный, подтверждается как наблюдениями в современных ледниковых бассейнах, так и расчетами объема талого стока для ледникового максимума и постмаксимума позднего вюрма.

Итак, с понижением границы питания и ростом площади аккумуляции ледников одновременно или с некоторым запаздыванием будет увеличиваться и общая пло-

щадь оледенения, а значит, и объем талого стока в его абсолютном выражении. В ледниковые же эпохи, при больших депрессиях снеговой линии, на Алтае — свыше 1200 м существенно вырастали и расходные части ледников относительно исходных или современных, и талый сток опять-таки увеличивался относительно исходного или современного. Отсюда следует, что межгорные котловины, имеющие по одному узкому и глубокому каналу стока, в ответ на ледниковое подпруживание немедленно отвечали концентрацией талых вод в котловине. Поэтому *ледниковые озера в горах и на равнинах существовали всегда, когда оледенение становилось достаточно большим, чтобы блокировать речные долины.*

Установив причинно-следственную связь между ростом оледенения и трансгрессиями озер, мы вправе синхронизировать увеличение и деградацию тех и других на всех основных этапах их эволюции и из этих соображений оценивать возраст и длительность существования ледниково-подпрудных озер и датировать их прорывы.

Это — важная теоретическая предпосылка, которая позволяет при ограниченном наборе абсолютных датировок восстанавливать хронологический ход озерно-ледниковых событий преимущественно на основании математических моделей, что в сегодняшней ситуации с определениями абсолютного возраста представляется более надежным.

Полученные за последние 20 лет абсолютные датировки по ледниковым и межледниковым отложениям в горных сооружениях Центральной Азии в лучшем случае озадачивают. Если технология получения всех этих дат корректна, то в одном случае (выводы А. А. Свиточа с соавторами и Е. В. Девяткина на основании палеомагнитных, ТЛ и ^{14}C данных) среднечетвертичное оледенение было максимальным, а все последующие оледенения были по размерам меньше предыдущих («альпийская схема»). При этом Е. В. Девяткин устанавливает соответствие кульминаций оледенений с максимумами общей увлажненности климата [6, 7, 26]. В другом случае (работы В. С. Шейнкмана, ревизовавшего ТЛ-методом разрезы, проанализированные предыдущими исследователями, и работы В. В. Бутвиловского, основанные на большом количестве полученных им радиоуглеродных дат [3, 28]) максимальным было последнее оледенение. Заметим, что и датировки В. С. Шейнкмана и В. В. Бутвиловского также не совпадают, т. е. не совпадают и события последнего ледниково-послеледникового времени в их реконструкциях.

В магистральных долинах стока, таких как Чуя, Катунь, Чулышман и Бия, способы традиционной, «моренной» геоморфологии вообще не работают. В этих долинах нет ни одной единодушно закартированной морены (кроме «чибитской морены» в районе пос. Акташ), и не потому, что эти долины не занимались ледниками, а потому, что, как было показано [22, 23, 25], эти морены были уничтожены дилювиальной эрозией, так как здесь проходили пути сбросов ледниково-подпрудных озер. И если в долины притоков разные исследователи в своих реконструкциях все же помещают позднечетвертичные и голоценовые ледники, потому что в них имеются конечные морены, то в крупнейших речных долинах «моренный» метод оказывается бессильным, и разные авторы по субъективным соображениям (или в силу различных темпераментов) либо вообще не доводят до них ледники, либо наоборот: заполняют древние троги льдом до предполагаемых тримлайнов и выводят ледники куда-нибудь за Горно-Алтайск, застенчиво обрезая границы максимального продвижения ледников северной рамкой карты [13]. В третьем же случае за конечные морены в предгорьях и в межгорных впадинах принимаются дилювиально-аккумулятивные образования, по которым и реконструируется максимум оледенения. А на основе уже этих, заведомо неверных, реконструкций восстанавливаются температуры воздуха и атмосферные осадки для соответствующих временных срезов. Так, Б. А. Борисов и Е. А. Минина [1] охарактеризовали все известные в то время поля гигантской ряби течения на Алтае как ребристый рельеф основной морены, а П. А. Окишев, по крайней мере для Курайской впадины, восстановил по этой «морене» положение гипотетического ледника и соответственно оценил депрессию снеговой линии [13].

Трудность определения абсолютного возраста прорывов озер заключается еще и в том, что продолжительность образования дилювиальных форм и длительность формирования датированных отложений иного генезиса, которые могли бы служить определенными возрастными реперами, совершенно несопоставимы: если для первых речь идет о минутах, часах или днях, то для вторых — о тысячелетиях, в лучшем случае — многих десятках и сотнях лет. Поэтому время накопления отложений нескольких паводков может уложиться в одну погрешность определения абсолютного возраста. Датирование отложений, относящихся к промежуточным между паводками событиям, в общем тоже может быть не более успешным по двум причинам: во-первых, по вышеуказанной, а во-вторых, исследователю предстоит решать геологическими или биогеографическими методами, какие именно события имели место и как они могут быть зашифрованы в конкретных разрезах и в рельефе.

В этой работе я опираюсь в основном на ранее приведенные гляциогидрологические зависимости, а также на некоторые авторские датировки и на данные Е. В. Девяткина, Л. Н. Ивановского, В. А. Панычева, Л. А. Орловой и А. М. Малолетко, которые представляются верными. Приходится исходить также из того, что при любых возрастных оценках отложений, например известных на Алтае разрезов Чаган, Чаган-Узун, Кубадру и других, последовательность запечатленных в них событий не изменится.

Установив синхронность заполнения котловин талыми водами с ледниковыми эпохами, по крайней мере до уровней, однозначно дешифрируемых как озерные террасы, установив через талый сток скорость этого заполнения до уровня 2200 м над ур. моря (она равняется в среднем около 100 лет для Чуйской и около 30 лет — для Курайской впадин [25]), мы приходим к выводу, что дальнейшее заполнение впадин водой прекращалось потому, что озера опорожнялись и (или) потому, что снеговая линия опускалась к зеркалу водоема и ниже.

Максимальные трансгрессии озер, т. е. максимальные запасы воды по времени, совпадали с максимумами оледенений. Однако именно в это время ледниковые плотины были настолько мощными, что маловероятно, чтобы озера прорывались с той околовековой периодичностью, о которой говорилось выше. Регулярные сбросы воды из озерных бассейнов должны были происходить в начале и конце оледенений, когда ледяные дамбы были неустойчивы. Кроме этого, при кульминации четвертичных оледенений депрессия снеговой линии вызывала консервацию озер, превращавшихся в «наледные» ледоемы. В эти временны́е интервалы озера, погребенные под озерными, наледными и глетчерными льдами, а также под снежно-фирновой толщей, тысячелетиями не вскрывались вообще [19, 47].

Все исследователи реконструируют размеры Курайского и Чуйского ледниково-подпрудных озер по сохранившимся озерным террасам. Очевидно, что эти древние береговые линии не могут фиксировать самые большие запасы воды в котловинах, потому что максимальные ее объемы, как сказано, за исключением времени «наледных» ледоемов и «пойменных озер», были одновременно с максимальными размерами ледников. На этих этапах в береговой полосе водоемов разрушались в основном ледники подножий и «шельфовые» ледники из питающих котловины долин. Это были озера в ледяных ваннах, почти не оставившие материальных следов, потому стенки этих ванн в процессе деградации оледенения растаяли.

С такой же мерой точности и достоверности мы можем рассуждать и о количестве «суперпрорывов» Чуйско-Курайской озерной системы, имевших расходы более 1 млн м³/с. Такие максимальные расходы рассчитывались для случая, когда озера сбрасывали весь объем воды. В. В. Бутвиловский [3], ссылаясь на современные ледниково-подпрудные озера, пишет, что, раз начавшись, опорожнение озер происходит до полного осушения котловин (сами примеры этих современных озер он не приводит). По-видимому, В. В. Бутвиловский все же не совсем прав. Как раз примеры современных приледниковых озер, в том числе и самых крупных, показывают, что полное опорожнение происходит значительно реже, чем сбросы части воды при самых различных механизмах деформации ледниковых плотин [4, 43, 46]. Поэтому нан-

более вероятным для обсуждения представляется сценарий редких, единичных (быть может, даже — единичного) феноменальных йокульлаупов с расходами более 15—20 млн м³/с на фоне систематических, с околовековым периодом прорывов ледниково-подпрудных озер с расходами менее 1 млн м³/с.

Вероятно, такой околовековой период катастрофических осушений до получения более точных данных можно считать сегодня характерным для крупных четвертичных ледниково-подпрудных озер Центральной Азии, имея в виду сходные климатические условия их питания. Задача состоит в том, чтобы найти достоверные геологические подтверждения этому, возможно в виде пачек или слоев дилювия в паводковых террасах. Не исключено, что такими пачками могут быть описанные ранее косослоистые серии в разрезе условно «низкой» террасы р. Катуни ниже устья р. Чуи [23]. Еще более плодотворными могут быть поиски повторяющихся серий в геологических разрезах дилювиального предгорного конуса на Предалтайской равнине, Приобском плато и на юге Западной Сибири.

Попытки литологически обосновать многократность катастрофических прорывов оз. Миссула были предприняты в конце 70-х годов XX в. Р. Л. Чамберсом и Р. Б. Уэйтом [50, 52] по песчано-алевритовым ритмитам, обнаруженным в штатах Монтана и Орегон в США (формация «таучет бэдз»). Эти ритмиты состоят из 35—40 чередующихся слоев, каждый из которых, начинаясь снизу слоистым алевритом, замещается к кровле слоя тонкозернистым песком или ленточными глинами. Р. Л. Чамберс предположил, что каждый такой слой-ритмит маркирует один цикл «заполнение—опорожнение» Миссулы, а варвы несут информацию о минимальной деятельности воды в период накопления. Р. Б. Уэйт уточнил, что 40 ритмитов соответствуют 40 отдельным паводкам, причем главный довод Р. Б. Уэйта заключался в том, что отдельные ритмиты имеют следы субаэрального размыва на поверхности напластования и некоторые ритмиты имеют скелеты животных, а также биотурбационные текстуры [52]. Исследования ритмитов северного Адайхо и северо-восточного Вашингтона показали наличие переслаивания подневисконсинских дилювиальных и непаводковых отложений. Последние представлены ленточными песками и глинами, насчитывающими по 20—55 слоев в промежутках между ритмами. Р. Б. Уэйт и Р. М. Торсон поспешили заключить, что это подтверждает гипотезу «сорока паводков», так как доказывает наличие длительных перерывов между катастрофическими потоками [53].

Р. Б. Уэйт предположил также, что после катастрофических опорожнений оз. Миссула заполнение озерной впадины происходило в течение 30—60 лет, сами же сбросы озера происходили за счет всплывания ледниковой плотины [53].

Ход рассуждений американских сторонников 40 прорывов оз. Миссула полностью повторен В. В. Бутвиловским, который в заключение декларирует: «...имеют место два сценария катастрофического осушения подпрудных озер: однократный (бассейн Башкауса) и многократный. Тот и другой доказаны»! ([3], с. 147). Во втором сценарии, для Чуйского и Курайского озер, В. В. Бутвиловский называет и количество прорывов: 5.

Свои умозаключения В. В. Бутвиловский делает на основе изучения текстур субаэральных, «флювиогляциальных» и ленточных отложений долины р. Чаган-Узун, длительность накопления которых, как установлено [15, 16, 22], занижена им на порядок. Но ведь «флювиогляциальные» отложения В. В. Бутвиловского, как и формация «таучет бэдз», являются отложениями относительно низких скоростей течения воды!

Гипотеза «40 паводков», на которую часто и неточно ссылается В. В. Бутвиловский, базируется на ряде допущений: если подпруживание депрессии Паско носило только гидравлический характер, если каждое такое подпруживание приводило к отложению отдельного и различимого ритмита, если субаэральная экспозиция одного ритмита означает осушение водоема и если ритмиты образовывались на большой глубине (не доказываемой при этом характером самих отложений) [30], то тогда «ритмиты фиксировали скачок паводковых вод вверх по сухой долине, сопровождавшийся стремительным ростом глубины потока. После этого в течение нескольких часов происходило постепенное увеличение глубины, стационирование и осушение озера» [52].

Почти все здание «водно-ледникового апокалипсиса» В. В. Бутвиловского, включая и «пятикратные» прорывы котловинных озер Восточного Алтая, построено на хрупком фундаменте таких и подобных допущений. Это, разумеется, приемлемо, если бы эти допущения не носили в последних работах этого исследователя характера утверждений или доказанных фактов.

Критическое рассмотрение гипотезы «40 паводков» оз. Миссула предпринималось сразу же с момента ее появления. В. Р. Бейкер и Р. С. Банкер, в частности, писали, что отложения низкоэнергетических потоков, в том числе и формация «таучет бэдз», не могут служить качественным материалом для палеогидравлических моделей прорывов оз. Миссула хотя бы уже потому, что связь этих отложений с паводками не строго доказана [30].

По-видимому, можно согласиться с В. Р. Бейкером и Р. С. Банкером [30], что характерные черты Колумбийского скэбленда были сформированы в результате одного супермощного дилювиального потока. Геологические же следы менее мощных потоков следует искать в заведомо дилювиальных отложениях высокоэнергетических течений, т. е. в дилювиальных валах и террасах и в гигантских знаках ряби.

Полевое изучение дилювиально-аккумулятивной террасы в устьевой части долины р. Малого Яломана позволило наметить в более чем стометровой толще дилювия осадочные пачки и серии, которые как будто указывают на то, что вся Яломанская терраса сформировалась в результате трех крупных паводков. Последний, самый крупный, имел семь пульсаций (т. е. гидрограф стока имел семь пиков). Однако хотя эти отложения изучались в течение нескольких полевых сезонов, эти предварительные результаты требуют проверки на других створах.

Понимая синхронность дилювиальных процессов с начальными и конечными стадиями оледенения, мы также должны отдавать себе отчет и в том, что строение скэбленда, которое мы сегодня наблюдаем, обусловлено все же работой последних суперпотоков из последних ледниково-подпрудных озер, прорванных во время деградации последнего оледенения.

Сейчас имеется несколько надежных радиокарбоновых датировок из различных районов Алтая от предгорий до высокогорных котловин, которые показывают, что последний феноменальный катастрофический прорыв Чуйско-Курайской системы ледниково-подпрудных озер, который оставил, в частности, гигантскую рябь течения в Курайской и, возможно, в Яломанской впадинах, а также в предгорьях Алтая на участке Платово—Подгорное, произошел не позднее 13 тыс. л. н. Этот вывод делается на основании двух фактов. Возраст растительных остатков из озерных суглинков в буграх пучения плато Ештыкколь в западной части Курайской впадины составляет, по определению В. А. Панычева, 10 845 ± 80 лет (СО АН-236). Это означает, что позднее примерно 11 тыс. л. н. воды в этой части Курайской впадины не было. По мергелям и растительным остаткам в отложениях Северного Алтая были получены абсолютные датировки в 13 890 ± 200 и 12 750 ± 65 лет (СО АН-779). Эти даты А. М. Малолетко связывает со временем образования Айских кавитационно-эворзионных впадин и разноса эрратических глыб в предгорьях [12]. Таким образом, катастрофический, дилювиальный, поток проходил по долине Катуни около 13 тыс. л. н. После этой геологической даты озера деградировали одновременно с деградацией питающих ледников. Это не исключает, конечно, их катастрофических сбросов, но гидравлические параметры этих сбросов были, вероятно, не такими грандиозными.

В центре Чуйской межгорной впадины в разрезе крупного бугра пучения (пинго) автор обнаружил растительные остатки, по которым В. А. Панычев и Л. А. Орлова определили абсолютный возраст вмещающих пород: 3810 ± 105 лет (СО АН-2146). Есть основания полагать, что сами бугры пучения формировались еще позже — около 2140 л. н. [18]. Таким образом, в это время озера в Чуйской котловине уже не было, как не было ледниково-подпрудных озер и в других межгорных впадинах Южной Сибири. Другими словами, можно уверенно говорить о том, что окончательное исчезновение ледниково-подпрудных озер произошло позднее 5 тыс. л. н., когда

обширные некогда приледниковые водоемы распались на ряд небольших озер, реликты которых сохранились и поныне.

Ледниково-подпрудные озера в горах и на равнинах существовали всегда, когда оледенение становилось достаточно большим, чтобы блокировать речные долины.

Главные гидравлические параметры дилювиальных потоков, определенные независимыми методами для перигляциальных равнин Северной Америки и гор Южной Сибири, показывают, что дилювиальные рельефообразующие процессы входят в число самых мощных известных плейстоценовых экзогенных процессов. Генерированные оледенениями, дилювиальные процессы трансформировали ледниковые и приледниковые территории многих районов Земли, создавая характерные ландшафты равнинных и горных скэблендов.

Список литературы

[1] *Борисов Б. А., Минина Е. А.* Ребристые основные морены гор Южной Сибири и их значение для стратиграфии и палеогеографии плейстоцена // Четвертичная геология и геоморфология. М.: Наука, 1980. С. 21—23.

[2] *Бутвиловский В. В.* О следах катастрофических сбросов ледниково-подпрудных озер Восточного Алтая // Эволюция речных систем Алтайского края и вопросы практики. Тез. докл. Барнаул, 1982. С. 12—16.

[3] *Бутвиловский В. В.* Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. Томск, 1993. 253 с.

[4] *Виноградов Ю. Б.* Гляциальные прорывные паводки и селевые потоки. М.: Гидрометеоиздат, 1977. 153 с.

[5] *Гросвальд М. Г., Рудой А. Н.* Четвертичные ледниково-подпрудные озера в горах Сибири // Изв. РАН. Сер. геогр. 1996. № 6. С. 112—126.

[6] *Девяткин Е. В.* Меридиональный анализ экосистем плейстоцена Азии (основные проблемы) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1993. Т. 1. № 4. С. 77—83.

[7] *Девяткин Е. В., Малаева Е. М., Мурзаева В. Э., Шелкопляс В. Н.* Плювиальные плейстоценовые бассейны Котловины Больших Озер Западной Монголии // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1978. № 5. С. 11—19.

[8] *Диких А. Н.* Ледниковый сток рек Тянь-Шаня и его роль в формировании общего стока // Материалы гляциологических исследований. 1993. Вып. 77. С. 41—50.

[9] *Дюргеров М. Б., Поповнин В. В.* Реконструкция баланса массы пространственного положения и жидкого стока ледника Джанкуат во второй половине XIX в. // Материалы гляциологических исследований, 1981. Вып. 40. С. 73—81.

[10] *Кондратьев Н. Е., Попов И. В., Снищенко Б. Ф.* Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 272 с.

[11] *Лукина Н. В.* История Дархатского палеоозера в свете корреляций событий плейстоцена Азии // Стратиграфия и корреляция четвертичных отложений Азии и Тихоокеанского региона. М.: Наука, 1991. С. 85—90.

[12] *Малолетко А. М.* О происхождении Майминского вала (Алтай) // Вопр. геогр. Сибири. Томск, 1980. Вып. 13. С. 92—98.

[13] *Окишев П. А.* Динамика оледенения Алтая в позднем плейстоцене и голоцене. Томск, 1982. 209 с.

[14] *Панов В. Д.* Эволюция современного оледенения Кавказа. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. 432 с.

[15] *Рудой А. Н.* Некоторые вопросы палеогеографической интерпретации литологии и особенностей распространения озерно-ледниковых отложений Горного Алтая // Гляциология Сибири. Томск, 1981. Вып. 1 (16). С. 111—134.

[16] *Рудой А. Н.* К диагностике годичных лент в озерно-ледниковых отложениях Горного Алтая // Изв. ВГО. 1981. Т. 113. Вып. 4. С. 334—340.

[17] *Рудой А. Н.* Гигантская рябь течения — доказательство катастрофических прорывов гляциальных озер Горного Алтая // Современные геоморфологические процессы на территории Алтайского края. Тез. докл. Бийск, 1984. С. 60—64.

[18] *Рудой А. Н.* О возрасте тебелеров и времени окончательного исчезновения ледниково-подпрудных озер на Алтае // Изв. ВГО. 1988. Т. 121. Вып. 4. С. 344—348.

[19] *Рудой А. Н.* Ледоемы и ледниково-подпрудные озера Алтая в плейстоцене // Изв. ВГО. 1990. Т. 122. Вып. 1. С. 43—52.

[20] *Рудой А. Н.* Геоморфологический эффект и гидравлика позднеплейстоценовых йокульлаупов ледниково-подпрудных озер Алтая // Геоморфология. 1995. № 4. С. 61—76.

[21] *Рудой А. Н.* Основы теории дилювиального морфолитогенеза // Изв. РГО. 1997. Т. 129. Вып. 1. С. 12—22.

[22] *Рудой А. Н.* О связи гляциальных и дилювиальных процессов рельефообразования // Изв. РГО. 1997. Т. 129. Вып. 2. С. 13—21.

[23] *Рудой А. Н.* Геологическая работа четвертичных гляциальных суперпаводков. Формы дилювиальной эрозии и эвозии // Изв. РГО. 2001. Т. 133. Вып. 4. С. 31—40.

[24] *Рудой А. Н., Галахов В. П., Данилин А. Л.* Реконструкция ледникового стока верхней Чуи и питание ледниково-подпрудных озер в позднем плейстоцене // Изв. ВГО. 1989. Т. 122. Вып. 2. С. 236—244.
[25] *Свиточ А. А., Боярская Т. Д., Воскресенская Т. Н. и другие.* Разрез новейших отложений Алтая. (Опорные разрезы новейших отложений) / Под ред. К. К. Маркова. М.: Изд-во МГУ, 1978. 208 с.
[26] *Снищенко Б. Ф.* О связи высоты песчаных гряд с параметрами речного потока и русла // Метеорология и гидрология. 1980. № 6. С. 84—91.
[27] *Шейнкман В. С.* Опыт палеогляциологических реконструкций для гор Сибири и его использование в целях геоэкологического прогноза // Материалы гляциологических исследований. 1995. Вып. 78. С. 114—118.
[28] *Baker V. R.* Paleohydrology and sedimentology of Lake Missoula flooding in eastern Washington // Spec. Pap. Soc. Amer. 1973. Vol. 144. 79 p.
[29] *Baker V. R., Bunker R. S.* Cataclysmic Late Pleistocene Flooding from Lake Missoula: A Review // Quaternary Sc. Rev. 1985. Vol. 1. P. 1—41.
[30] *Baker V. R., Benito G. & Rudoy A. N.* Paleohydrology of Late Pleistocene Superfloodung, Altay Mountains, Siberia // Science. 1993. Vol. 259. P. 348—350.
[31] *Baker V. R., Greeley R., Komar P. D., Swanson D. A. & Wait R. B.* The Columbia and Snake River Plains / Geomorphologic Systems of North America // Geol. Soc. of America. Spec. 1987. Vol. 2. P. 403—468.
[32] *Baker V. R., Kochel R. S.* Flood Sedimentation in Bedrock Fluvial Systems // Flood Geomorphology. N. Y.: J. Wiley & Sons, 1988. P. 123—137.
[33] *Reget J. E.* Comment on «Outburst floods from glasial Lake Missoula» by G. K. C. Clark, W. H. Mathews and R. T. Pack // Quaternary Research. 1986. Vol. 25. P. 136—138.
[34] *Bretz J. H.* The Channeled Scabland of the Columbia Plateau // Journal of Geology. 1923. Vol. 31. P. 617—649.
[35] *Carling P. A.* A preliminary palaeohydraulic model applied to late Quaternary gravel dunes: Altai Mountains, Siberia // Global Continental Changes: the Context of Palaeohydrology (Eds J. Branson, A. G. Brown and K. J. Gregory) / Geol. Soc. Spec. Pub., London, 1996. N 115. P. 165—179.
[36] *Carling P. A.* Morphology, sedimentology and palaeohydravlic significance of large gravel dunes, Altai Mountains, Siberia // Sedimentolog. 1996, Vol. 43. P. 647—664.
[37] *Clague J. J. & Mathews W. H.* The Magnitude of Jokulhlaups // Journal of Glaciology. 1973. Vol. 13. P. 501—504.
[38] *O'Connor J. T., Baker V. R.* Magnitudes and implications of peak discharges from glacial Lake Missoula // Geol. Soc. Amer. Bull. 1992. Vol. 104. P. 267—279.
[39] *Costa J. E.* Floods from dam failures // Flood Geomorphology. N. Y.: J. Wiley & Sons, 1988. P. 439—463.
[40] *Dinehart R. L.* Gravel-bed deposition and erosion by bedform migration observed ultrasonically during storm flow, North Toutle River, Washington // Journal of Hydrology. 1992. Vol. 136. P. 51—71.
[41] *Friend D. A.* Glacial Outburst Floods of the Kinnicot Glacier, Alaska: a Flood hazard assessment // 27 Int. Geogr. Congr. Wash., D. S., Aug. 9—14, 1992. P. 195—196.
[42] *Nye J. F.* Water flow in Glaciers: jokulhlaups, tunnels and veins // Journal of Glaciology. 1976. Vol. 17. N 76. P. 181—207.
[43] *Pardee J. T.* The glacial Lake Missoula, Montana // Journal of Geology. 1910. Vol. 18. P. 376—386.
[44] *Pardee J. T.* Unusual currents in glacial Lake Missoula, Montana // Geol. Soc. Amer. Bull. 1942. Vol. 53. P. 1569—1600.
[45] *Post A., Mayo L. R.* Glacier-dammed lakes and outburst Floods in Alaska // Hydrological Investigations Atlas HA-455. US Geol. Survey, 1971. 10 p. + 3 maps.
[46] *Rudoy A. N.* Mountain Ice-Dammed Lakes of Southern Siberia and their Influence on the Development and Regime of the Intracontinental Runoff Systems of North Asia in the Late Pleistocene. Chapter 16 // Palaeohydrology and Environmental Change (Eds G. Benito, V. R. Baker, K. J. Gregory). Chichester: J. Wiley & Sons Ltd, 1998. P. 215—234.
[47] *Rudoy A. N., Baker V. R.* Sedimentary Effects of cataclysmic Late Pleistocene Glacial Outburst Flooding, Altay Mountains, Siberia // Sedimentary Geology. 1993. Vol. 85. N 1—4. P. 53—62.
[48] *The U. S.* Army Corps of Engineers HEC-2 Water Surface Profiles Computer Program // U. S. Army Corps of Engineers, Davis, CA, 1985.
[49] *Chambers R. L.* Sedimentation in glacial Lake Missoula // M. S. Thesis, Univ. Montana. Missoula, 1978.
[50] *Yalin M. S.* Mechanisms of sediment transport. Pergamon Press, 1972. 292 p.
[51] *Waitt R. B., Jr.,* About forty last-glacial Lake Missoula jokulhlaups through southern Washington // Journal of Geology. 1980. Vol. 88. P. 653—679.
[52] *Waitt R. B., Jr.,* Case for periodic, colossal jokulhlaups from Pleistocene glacial Lake Missoula // Geol. Soc. Am. Bull. 1985. Vol. 96. P. 1271—1286.
[53] *Waitt R. B., Jr., Thorson R. M.* The Cordilleran Ice Sheet in Washington, Idaho and Montana // Late Qutaernary of the United States. 1983. Vol. 1. P. 53—70.

Томск

Поступило в редакцию
18 декабря 2000 г.