

А.В. ПОЗДНЯКОВ*, **

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
634055, Томск, проспект Академический, 10/3, Россия, synergeia.pol@gmail.com

**Томский государственный университет,
634050, Томск, проспект Ленина, 36, Россия, synergeia.pol@gmail.com

САМОНАМОРАЖИВАНИЕ ЛЕДОВО-ПОДПРУДНОЙ ПЛОТИНЫ: АЛГОРИТМ САМОРЕГУЛЯЦИИ

Впервые обоснована связь формирования ультравысоконапорной ледовой плотины Чуйско-Курайского ледово-подпрудного озера с развитием наледных процессов на р. Чуе. Рассмотрен механизм саморегуляции в процессе самонаморазживания ледово-подпрудной плотины как следствие синхронного формирования речной (Чуйской) наледи и процессов наполнения котловины водой. Выявлено, что образование наледи на участках начального подпруживания водного потока обуславливало увеличение высоты плотины и занимаемой ею площади, а следовательно, и ее массы. Благодаря этому создавались условия для развития процессов режеляции и вязкопластического течения монолитного ледового массива без образования трещин и формирования каналов водного стока внутри ледового тела. Эти факторы стали причиной длительного устойчивого неразрушения плотины. Характеризуется возможная ретроспективная оценка продолжительности наполнения озера при различных расходах воды в русле р. Чуи. Установлено, что предложенный механизм формирования высоконапорной ледовой плотины не противоречит известным криогенно-гидрофизическим закономерностям и потому может относиться к событиям, приближающимся к реально происходившим.

Ключевые слова: ледниково-подпрудное озеро, высоконапорная ледовая плотина, ледоём, многолетняя налесь, режеляция, устойчивость.

A.V. POZDNYAKOV*, **

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
634055, Tomsk, pr. Akademicheskii, 10/3, Russia, synergeia.pol@gmail.com

**Tomsk State University, 634050, Tomsk, pr. Lenina, 36, Russia, synergeia.pol@gmail.com

SELF-FREEZING OF THE ICE DAM: THE SELF-REGULATION ALGORITHM

For the first time, the connection between the formation of the ultra-high pressure ice dam on the Chuya-Kurai glacier-dammed lake and the development of aufeis processes on the Chuya river was substantiated. Consideration is given to the mechanisms of self-regulation in the process of glacier-dammed lake self-freezing as a consequence of a consequence of synchronous processes of Chuya river aufeis formation and the filling of the hollow with water. It is found that aufeis formation in sections of initial damming of the water flow caused an increase in the height and area of the dam and, hence, in its weight. Due to the large weight, favorable conditions were created for the development of the processes of regelation and plastic viscous flow of the monolithic ice massif, without formation of cracks and water flow channels inside the ice body. These factors were responsible for the long-term resistance of the dam to destruction processes. A possible retrospective assessment of the lake filling duration at different flow rates in the Chuya channel is made. It is established that the suggested formation mechanism for a high-pressure ice dam is consistent the well-known cryogenic-hydrophysical patterns and can, therefore, apply for realistic events.

Keywords: glacier-dammed lake, high pressure ice dam, ice reservoir, perennial aufeis, regelation, stability.

ВВЕДЕНИЕ

В формировании и разрушении Чуйско-Курайской ультравысоконапорной ледниково-подпрудной плотины как исключительного по морфометрическим характеристикам природного объекта, отражалось множество различных по генезису и динамике процессов, имеющих важное теоретическое, научно-методологическое и познавательное значение. Однако, несмотря на длительный период изучения данного феномена (более 60 лет) и объем собранного исследователями фактического материала [1–6],

знания об истинных механизмах формирования ледовой плотины, физических причинах ее устойчивости, истории развития и разрушения до сих пор находятся на стадии противоречивых толкований [7]. Результаты анализа отчасти согласуются с позицией К. Поппера [8] о том, что и «ложная теория», стимулируя научный интерес, может иметь научно-теоретическую значимость, приближая к истине. Однако этот постулат не учитывает начала и «ложной теории», и «истинной», в основе которых лежат артефакты — объекты и явления природы не известного для исследователя происхождения. Если нет артефактов и идей, объясняющих их генезис, то нет и предмета объяснения, и потому отсутствует возможность появления реального факта в виде научной истины; следовательно, не может быть и теории. Процесс переведения ложной теории в истинную нельзя осуществить в отсутствие главных атрибутов научного знания — системных принципов анализа. Системный анализ — единственный способ объективного доказательства истинности и ложности суждений.

Системный анализ непременно начинается с определения причинно-следственных связей между элементами, при этом движение идет по их цепочкам в обратном направлении — от выходных характеристик системы к ее входным началам. Применительно к рассматриваемому самоорганизующемуся объекту — «ультравысоконапорная ледовая плотина», выходную характеристику представляет собой динамика процессов аккумуляции льда, в результате которой плотина формировалась как длительно устойчивая неразрушающаяся структура. Методология системного критицизма сводится к совокупности аналитических процедур, позволяющих, во-первых, определить артефакты; во-вторых, выдвинуть объясняющую их генезис идею; в-третьих, отделить ложные суждения от истинных. И только после этого можно рассматривать собственно объект как операционально замкнутую структуру, функционирующую на основе обратных связей.

Чуйско-Курайское ледово-подпрудное озеро образовалось на границе неоплейстоцена и голоцена. В научных публикациях [1, 2] формирование плотины постулировалось как образование за счет подпруживания ледниками, спускавшимися в Курайскую котловину навстречу друг другу с противоположных хребтов — Северо-Чуйского и Курайского (по долинам р. Маашей с Айгулакского хребта, по долинам рек Бельгибаш, Бока, Ештыкольского плато). Утверждается [1, 2], что в районе массива Белькенёк (в зоне предполагаемой аккумуляции ледников) ледниковая плотина имела наибольшую высоту — 800 м (абс. выс. 2200 м). Площадь ледникового покрова, перекрывавшего сток р. Чуи, превышала 200 км²; в поперечном сечении с запада на восток, начиная от массива Белкенёк, его протяженность составляла 15 км (рис. 1). Характеризуя современные представления о строении Чуйско-Курайской ледово-подпрудной плотины, авторы в своих исследованиях утверждают, что подпруживавшие русла рек ледники характеризовались «...интенсивным блоковым дроблением льда, трещиноватостью, что обеспечивало нахождение тальми водами достаточных каналов стока... Наиболее вероятно, частичный сброс воды Чуйско-Курайского озера происходил через подледниковые и внутриледниковые каналы» [1, с. 4, 7]. Данные утверждения характеризуют устойчивость плотины как недостаточную



Рис. 1. Крупнейшая в мире наледь Улахан-Тарын (долина р. Момы, Республика Саха (Якутия)).

для удержания напора воды, создававшегося гидростатическим давлением более чем в 65 кг/см^2 , и подтверждают, что формирование ультравысоконапорной ледовой плотины было бы невозможным.

Чуйско-Курайская ледово-подпрудная ультравысоконапорная плотина имела высоту 650 м, если судить по разности надежно установленных абсолютных высот реликтов абразионной деятельности 2100 м и днища Курайской котловины 1450 м. По разнице же мало сохранившихся элементов, предположительно абразионного генезиса, на абсолютной высоте 2170 м высота плотины достигала 720 м. По уточненным нами данным, при высоте уровня озера 2100 м площадь поверхности акватории составляла 2866 км^2 , объем водной массы озера — $648,7 \text{ м}^3$, а протяженность береговой линии — $775,2 \text{ км}$. Конечно же, эта ледовая структура представляла собой грандиозное, может быть единственное в своем роде природное сооружение как замечательный пример самоорганизации в новейшей истории развития Земли.

В статье впервые рассматривается механизм формирования ультравысоконапорной ледовой плотины в результате развития наледного намораживания.

МЕХАНИЗМ САМОРЕГУЛЯЦИИ В ПРОЦЕССЕ САМОНАМОРАЖИВАНИЯ ЛЕДОВО-ПОДПРУДНОЙ ПЛОТИНЫ

Проблема формирования ледовых подпруд и, как следствие, образования озерных бассейнов не так проста, как кажется, если обсуждать механизм формирования длительно функционирующей устойчивой от размыва и разрушения ультравысоконапорной ледовой плотины. Сёрджевый механизм ее формирования не может быть принят в силу высокой водопроницаемости ледовой подпруды. По результатам многочисленных наблюдений за динамикой пульсирующих ледников в различных областях горно-долинного оледенения (ледники Медвежий на Западном Памире, Колка в Северной Осетии на Кавказе и др.) установлено [9–11], что ледово-подпрудные озера — явления кратковременные. Движение ледника в виде сёрджей происходит вследствие его дробления на множество частей, в результате при той же начальной величине сдвигающего усилия и уклонах коренного ложа внутреннее трение, трение и сцепление на подошве тела ледника резко уменьшаются, обуславливая ускоряющееся лавинообразное движение всей массы льда. Отсюда следует, что образование устойчивых высоконапорных сёрджевых плотин маловероятно.

Важнейшая часть вопроса — это механизм формирования ультравысоконапорной плотины как целостного водонепроницаемого ледового тела, удерживавшего напор водной толщи с гидростатическим давлением, в максимуме достигавшим 65 кг/см^2 . Очевидно, что свойства водопроницаемости ледового тела плотины существенно различаются в зависимости от типа ледовых потоков. К первому типу можно отнести ледово-подпрудные плотины, формирующиеся в условиях медленного сползания ледового тела по ложу долины с наложенным на него вязкопластическим течением льда; они отличаются устойчивостью, достаточной для формирования неглубоких и кратковременно существующих озер.

Второй тип ледовых подпруд образуется в результате сёрджей. Создаваемые ими плотины характеризуются наименьшей устойчивостью [9, 10].

К третьему типу ледово-подпрудных плотин предлагается относить, возможно, единственный в своем роде самоорганизующийся природный феномен, в котором функции плотины выполняет ледом, соединявшийся с долинными ледниками. Таковой, на наш взгляд, являлась Чуйско-Курайская ультравысоконапорная плотина, характеризовавшаяся крайне высокой устойчивостью. Продолжительность ее существования определялась не только оптимальными климатическими условиями с преобладанием отрицательных температур воздуха и достаточным количеством снежных осадков, типичных для перигляциальной зоны, но и конструктивными особенностями, связанными с ранее не известными механизмами ее формирования. По сравнению с обычным льдом речной многолетний наледный лед характеризуется большей плотностью. Плотность льда составляет в среднем 917 кг/м^3 , тогда как плотность речного наледного льда зависит от мутности и может превышать плотность воды — более 1000 кг/м^3 . В ультравысоконапорной плотине плотность льда под давлением собственного веса еще более возрастает, и процессы режеляции, достигая максимального развития, вопреки [1, 2], не предполагают возможности образования трещин.

В физике процессов самоорганизации ультравысоконапорных плотин важнейшая задача — это определение механизма формирования ледоёма. В современных достаточно обоснованных представлениях это связывается с заполнением внутригорных котловин ледниково-моренной массой [12], поступающей из зон оледенения окружающих котловины хребтов. Поэтому один из главных диагностических признаков существования ледоёмов — наличие моренного материала на занимаемых ими

ранее территориях. Мнение Б.Ф. Сперанского, а затем и А.И. Москвитина, о том, что Курайская котловина представляла собой один из гигантских ледоёмов [12], отвергалось, поскольку оно находится в противоречии с определением понятия ледоём: «...ледоёмами можно называть только такие внутригорные котловины, в которых имеется комплекс ледниковых и флювиогляциальных образований...» [12, с. 72]. Таким образом, формирование ледоёма из чистого льда считается невозможным.

В итоге складывается следующая дилемма. С одной стороны, существование ледоёма, в его современном понимании, в Курайской котловине и в самом деле не подтверждается фактами — спускавшиеся в котловину по горным долинам ледники с Северо-Чуйского и Курайского хребтов на территории дна Курайской котловины не оставили существенных моренных образований. И, согласно вышеизложенным обоснованиям [6], формирование ледоёма, выполнявшего функции плотины, было маловероятным. С другой стороны, не установлены и следы самой ледово-подпрудной

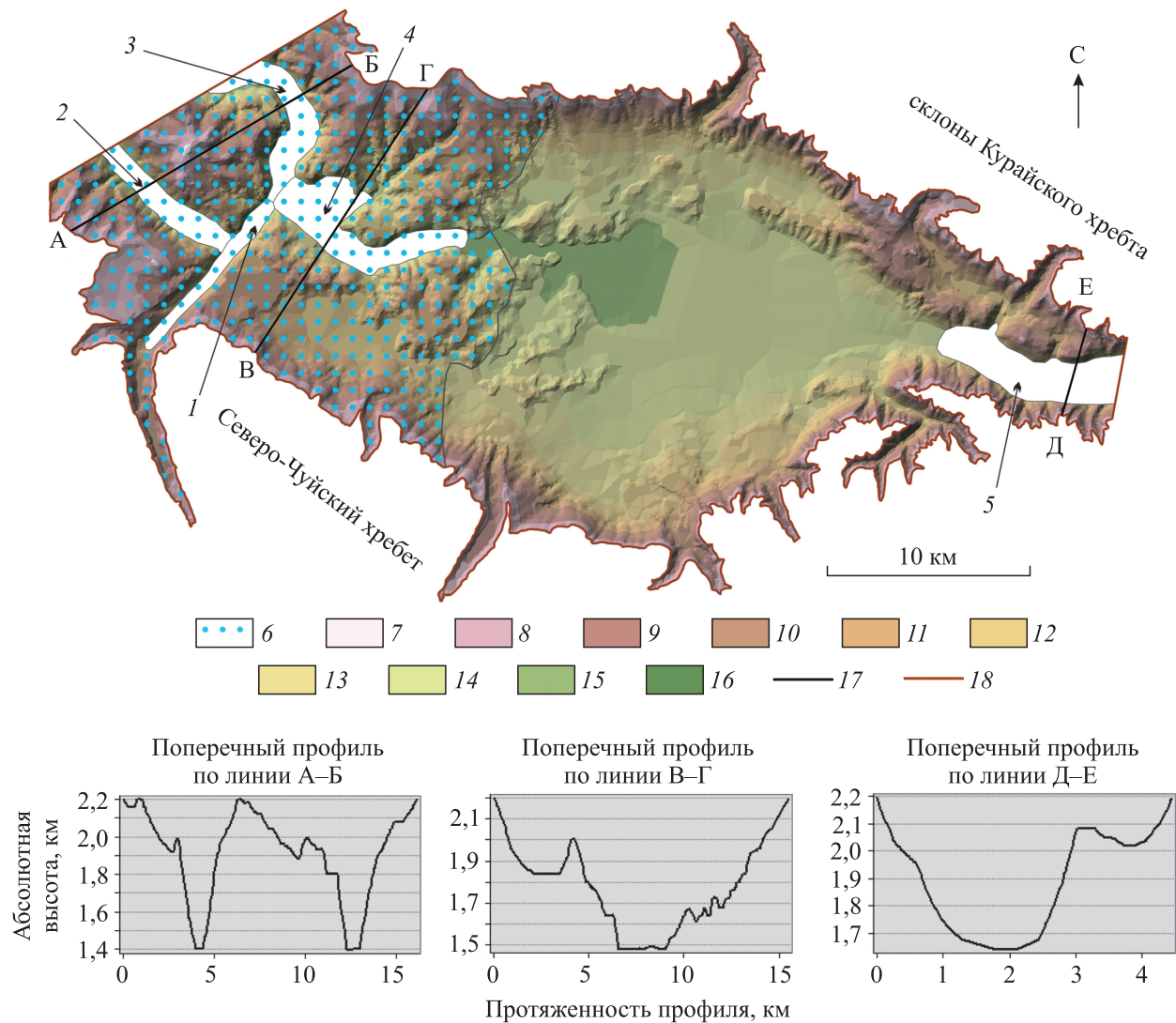


Рис. 2. Курайская котловина в границах озерного ледово-подпрудного бассейна. М-б 1:200 000.

Многолетние долинныя наледи (наледи-перелетки, формировавшие долинный ледоём): 1 — горно-долинный ледник и долинная наледь р. Маашей, 2 — долинная наледь-ледоём левого притока р. Чуи (современная часть долины р. Чуи), 3 — многолетняя долинная наледь древней части долины р. Чуи, 4 — многолетняя долинная наледь р. Чуи, формировавшая ледоём, 5 — Куэктанарская долинная наледь-ледоём. 6 — высоконапорная ледово-подпрудная плотина на заключительной стадии ее формирования, по [1, 2] (с дополнениями автора). Абсолютная высота, м: 7 — >2200, 8 — 2100–2200, 9 — 2000–2100, 10 — 1900–2000, 11 — 1800–1900, 12 — 1700–1800, 13 — 1600–1700, 14 — 1500–1600, 15 — 1400–1500, 16 — <1400. 17 — линии поперечных профилей; 18 — граница озера по изолинии с абс. выс. 2200 м.

плотины, простиравшейся в северо-восточном направлении по горно-ледниковой долине р. Маашей через склон массива Белькенёк и долину р. Таджилу протяженностью 15 км и абс. выс. 2100 м. Если плотина, как утверждается в [1, 2], была бы образована горно-долинными ледниковыми потоками толщиной более 600 м, то на всем протяжении она трассировалась бы моренными отложениями. По крайней мере, если бы на этом месте были моренные свалы, они были бы сравнимы с таковыми в районе р. Чибитки, в пригородах г. Акташа и по долине р. Чуи, вплоть до устья ее правого притока р. Бельгибаш. Отсюда следует, что плотина представляла собой преимущественно ледовую, с некоторым содержанием моренного материала, подпруду, функции которой выполнял ледоём, формировавшийся по иным, ранее не известным принципам, например, вследствие самонамораживания.

Наледебразование представляет собой широко распространенный наблюдаемый процесс на территориях криолитозоны Сибири и Дальнего Востока. Идеальные условия для образования наледей присутствуют и на территории Чуйской и Курайской котловин. Суть процесса изучена, она проста: при замерзании водных потоков или обводненных грунтов образуются замкнутые обводненные таликовые очаги с повышенным давлением воды, которая прорывается по трещинам на дневную поверхность и, покрывая ее, замерзает, образуя наледь. Реже, но встречаются и другие, наблюдавшиеся нами, механизмы формирования обширных наледей, связанные с медленным, периодически происходящим подъемом уровня воды, изливающейся на замерзшую поверхность реки (долина рек Почели и Юшкuty — бассейн р. Амгуни, Нижнее Приамурье). Неоднократное повторение процесса ведет к нарастанию толщины и площади ледового покрова. По такому типу формируются крупнейшие в мире наледи (тарыны) в Якутии. Большая Момская наледь, например, имеет протяженность 26 км и в ширину 10 км. Механизм ее образования связан с периодическим изливанием воды по трещинам в верхнем течении реки. Вода, распространяясь по уклону ледовой поверхности замерзшей реки, слой за слоем формирует наледь [13] толщиной до 7–10 м за зимний период (см. рис. 1, 2).

Для непрерывного увеличения толщины наледного покрова необходимы специфические климатические условия: короткий период летнего потепления, предполагающий формирование летующих наледей (перелетков). В Чуйско-Курайской котловине наиболее благоприятными условиями для того времени было наличие перигляциальной зоны, в которой находилась вся эта территория. Началом формирования ледоема могла стать первичная гляциальная подпруда, однако развитие было возможным и в ее отсутствие — в результате образования шуги, зажоров, донного льда и других процессов.

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛОТИНЫ-ЛЕДОЕМА

В настоящее время зимний расход воды в р. Чуе на замыкающем в пределах Курайской котловины Чаган-Узунском створе составляет 4,88 м³/с, а летний — 20,7 м³/с [14]. В период оледенения долины горных рек были заполнены ледниками [15–17], и, несомненно, расход воды в р. Чуе на рассматриваемой территории был заведомо меньше современного. Но даже сейчас, в период потепления климата, в зимнее время в небольших притоках Чуи расход воды приближается к нулю [16], и русла закрыты наледями. Например, русло ее левого притока — р. Тетё с летним расходом до 3 м³/с — в начале мая в нижнем течении сухое, а в среднем — закрыто наледью (авторские наблюдения, апрель–май, 2016–2017 гг.)

Можно вполне обоснованно полагать, что алгоритм формирования ледоема в Курайской котловине был копией ежегодно наблюдаемого процесса образования крупнейшей в мире Улахан-Тарынской (Момской) наледи на р. Моме [18], по гидрологическому режиму сходной с наледями р. Чуи. Максимальные расходы воды рек Момы и Чуи, соответственно, в летний и зимний периоды составляют: р. Мома — 45,5 и 1 м³/с [18]; р. Чуя в пределах Курайской котловины — 20,7 и 4,8 м³/с [14]. В днище долины р. Момы за один зимний сезон образуется наледь, превышающая по площади Курайский ледоём (Момская наледь — 260 км², Курайская — более 200 км² [1, 2]). Различие состоит лишь в том, что Момская наледь к концу лета разрушается в результате воздействия летних температур, максимум которых здесь достигает 30 °С. А Курайская по своей площади и толщине ледового покрова, формировавшаяся по типу многолетней наледи, видимо, расширялась до размеров ледоема. Саморегулирование в процессе формирования плотины-ледоема осуществлялось в соответствии с алгоритмом: маломощный расход Q воды → распластывание ее тонким слоем $m(S) = Q/S$ по площади S поверхности → увеличение высоты $h + \Delta m$ и площади ΔS поверхности плотины → увеличение уровня $Y = h + \Delta m$ воды озера и т. д., по замкнутому кругу саморегуляции. Операционально замкнутый процесс останавливался при изменении физико-географических и климатических условий, предполагающих устойчивое увеличение продолжительности периода с положительной температурой воздуха и увеличение расхода воды Q .

Процесс увеличения слоя льда распространялся по древней долине р. Чуи и по современной, в тот период представлявшей долину ее левого притока первого порядка (см. рис. 2). Толщина льда в них, судя по морфометрическим характеристикам данных участков долин, превышала 600 м, что, несомненно, предполагало развитие их вязкопластического течения. При этом давление в теле ледовой плотины превышало 65 кгс/см^2 — величина, вполне достаточная для развития процессов вязкопластических деформаций льда и процессов ползучести [19], что, несомненно, предполагало увеличение площади основания высоконапорной ледовой плотины и, следовательно, возрастание ее длительной устойчивости к разрушению.

НАЛЕДЬ-ЛЕДОЕМ В КУЭХТАНАРСКОМ СУЖЕНИИ ДОЛИНЫ Р. ЧУИ

Среди исследователей обсуждается [1, 2, 20] проблема существования ледово-подпрудной плотины в Сукорско-Куэхтанарском сужении долины р. Чуи (см. рис. 2). Полагается, что плотина была сформирована горно-долинным ледником р. Куэхтанар, который всплыл, когда уровень озера в Курайской котловине достиг 1900 м [1, 2, 19].

Морфометрические параметры предполагаемой плотины определяются на основе результатов детальных геоморфологических исследований долины р. Куэхтанар (правый приток р. Чуи). При максимальной абсолютной высоте уровня Чуйского озера в 2100 м и абсолютной высоте днища долины р. Чуи в 1720 м высота ледовой плотины составляла бы 370 м; ширина ее по основанию не могла превышать ширину долины р. Куэхтанар и составляла бы не более 2000 м. Возможность формирования высоконапорной ледово-подпрудной плотины при несоизмеримо малых соотношениях площади ее основания и высоты маловероятна. Противоречит идее существования плотины, разделяющей Чуйское и Курайское ледово-подпрудные озера, и другой неоспоримый факт — неразрывность по абсолютной высоте абразионно-аккумулятивных уступов, характеризующих Чуйско-Курайское подпрудное озеро как единое целое. Тем не менее можно предполагать образование на этом участке не ледовой плотины, а многослойной наледи типа ледоема (по изложенному выше механизму), соответствовавшего уровню водной поверхности Чуйско-Курайского водоема. Климатический и гидрологический режимы р. Чуи для развития наледных процессов на данном участке были благоприятными. В условиях малых расходов воды (менее $4 \text{ м}^3/\text{с}$) и уклонов продольного профиля, низких зимних и летних температур воздуха развитие процессов нарастания наледей, в соответствии с изложенным выше алгоритмом, можно считать достаточно обоснованным. Всплывание льда, его разрушение и удаление за пределы, очевидно, было невозможным, поскольку объемный вес льда, в связи с содержанием обломочного материала до 10 %, превышал 1 г/см^3 . Следовательно, уровень водной поверхности озера во всех рассматриваемых его частях — Курайской, Чуйской и в пределах сужающейся Куэхтанарской части долины р. Чуи — в период наполнения котловин водой изменялся в соответствии с законами сообщающихся сосудов, т. е. был безнапорным. А формировавшееся в результате наледных процессов ледовое тело за счет сцепления и трения на бортах долины р. Чуи не меняло своего пространственного положения, но при этом в силу криогенно-гидрофизических противоречий и конструктивных морфометрических характеристик оно не могло выполнять функции плотины.

ОЦЕНКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЧУЙСКО-КУРАЙСКОЙ ЛЕДОВО-ПОДПРУДНОЙ ПЛОТИНЫ

Установленные количественные характеристики Чуйско-Курайского ледово-подпрудного озера позволяют вынести суждения о наиболее вероятной продолжительности его формирования. При максимальном объеме накопившейся в котловине воды, составлявшем 621 км^3 без учета потерь на испарение и на накопление льда в плотине ниже створа, учитывая современный расход воды в русле р. Чуи (измерения на гидрологических постах у сел Чаган-Узун и Белый Бом), можно сформулировать логически не противоречивое суждение о ежегодных объемах воды, поступавшей в котловину, и определить наиболее вероятную продолжительность формирования Чуйско-Курайского ледово-подпрудного озера. Летний среднемноголетний максимальный расход воды (пост Чаган-Узун) составляет $20,7 \text{ м}^3/\text{с}$, а минимальный зимний — $4,88 \text{ м}^3/\text{с}$. Таким образом, по летнему варианту расходов воды наполнение котловины до максимальной абсолютной высоты 2100 м могло произойти в течение 951,3 года. Однако исследователями отмечено [15–17], что долины рек в этот период были заполнены льдом и русловой водный сток, вероятно, был меньше современного зимнего расхода — $4,88 \text{ м}^3/\text{с}$. При этом условии наполнение котловины водой продолжалось бы 4035,2 года. Логично полагать, что

этот период был более продолжительным, если иметь в виду потери воды на испарение и на формирование ледовой плотины (наледного ледоёма) на участках современной и древней долин р. Чуи (см. рис. 2).

Однако нельзя исключать и другую версию продолжительности наполнения озера. Так, принципиально не нарушает логику предполагаемых событий и представление о том, что формирование ледовой плотины и наполнение котловины происходило на этапе перехода климата от похолодания к потеплению, когда расход воды в реках приближался к современному среднегодовому, равному, по результатам измерения на Чаган-Узунском посту, $12,8 \text{ м}^3/\text{с}$. В этом случае за год в котловину поступало $403\,660\,800 \text{ м}^3$ воды, и наполнение котловины произошло бы в течение 1538,4 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В практике строительства ГЭС к категории высоконапорных относятся плотины высотой более 45 м. Чуйско-Курайская плотина превышает наиболее высокую естественным образом образовавшуюся гравитационную плотину Сарезского озера по высоте (567 м) и по объёму воды (17 км^3). Устойчивость ледовой плотины определяется совокупностью конструктивных обстоятельств, повышающих ее сопротивление сдвиговым напряжениям, уменьшающих водопроницаемость и, таким образом, увеличивающих длительность ее существования. К таковым, несомненно, относятся размеры плотины по высоте и занимаемой ею площади, а также высокая плотность льда. Этим требованиям отвечают самонамораживание, заключающееся в функционально связанной неразрывности в процессах медленного подъема высоты уровня озера, а также плоскостной сток воды по площади поверхности при переливе воды через плотину, что сопровождается послойным образованием наледи.

В результате всех этих обстоятельств сформировалась мощная ледово-подпрудная плотина-ледоём, занимавшая нижнее течение долины р. Маашей, современную часть долины р. Чуи, образовавшуюся по левому притоку первого порядка, и древнюю долину р. Чуи (см. рис. 2). Благодаря высокой устойчивости плотины к разрушениям, озеро в стадии наполнения котловины существовало на протяжении не менее 1500 лет.

Высокая устойчивость плотины подтверждается и другими, теоретически доказанными объективными фактами. В частности, проведенный анализ расходов воды в стадию деградации ледово-подпрудной плотины [21] свидетельствует о континуально-дискретном виде истечения воды из озера, но не в виде катастрофического прорыва плотины, как полагают некоторые авторы [4–6, 20].

При этом критику положений Б.Ф. Сперанского и А.И. Москвитина [12] о возможности формирования в горно-ледниковых котловинах «чистых», не содержащих моренного материала ледоёмов, видимо, следует считать несостоятельной. Подтверждается это и недавно полученными фактами о существовании в Горном Алтае «...совершенно особой разновидности котловинных ледников..., формировавшихся без “предварительной” фазы аккумуляции льда за счет его притока из высокогорных хребтов» [22, с. 31].

Предложенный механизм формирования высоконапорной ледовой плотины не противоречит установленным криогенно-гидрофизическим закономерностям и потому может относиться к реально происходившим событиям, позволяющим избегать надуманных суждений в изложении алгоритма формирования и деградации рассматриваемого природного феномена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Окишев П.А., Бородавко П.С. Реконструкции «флювиальных катастроф» в горах Южной Сибири и их параметры // Вестн. Том. ун-та. — 2001. — № 274. — С. 3–12.
2. Бородавко П.С. Эволюция Чуйско-Курайской лимносистемы в позднем неоплейстоцене: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. — 22 с.
3. Лунгерсгаузен Г.Ф., Раковец О.А. Некоторые новые данные о стратиграфии третичных отложений Горного Алтая // Труды Всесоюз. аэрогеологич. треста. — 1958. — Вып. 4. — С. 79–91.
4. Бутвиловский В.В. Палеогеография последнего оледенения и голоцена Алтая: событийно-катастрофическая модель. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 1993. — 252 с.
5. Baker V.R., Benito G., Rudoy A.N. Palaeohidrology of late Pleistocene superflooding. Altay Mountains, Siberia // Science. — 1993. — Vol. 259. — P. 348–351.
6. Herget J. Reconstruction of Pleistocene ice-dammed lake reburst floods in the Altai Mountains, Siberia // Geol. Soc. Amer. Spec. Pap. — 2005. — Vol. 386. — 118 p.

7. **Поздняков А.В.** Современные проблемы и задачи геоморфологии // Теория и методы современной геоморфологии: Материалы XXXV пленума Геоморфол. комиссии РАН. — Симферополь, 2016. — Т. 1. — С. 107–115.
8. **Поппер К.Р.** Предположения и опровержения: рост научного знания. — М.: Изд-во АСТ, 2008. — 640 с.
9. **Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б.** Пульсирующие ледники. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 192 с.
10. **Осипова Г.Б., Цветков Д.Г.** Исследование динамики сложных ледников по космическим снимкам // Изв. РАН. Сер. геогр. — 2002. — № 3. — С. 29–38.
11. **Кренке А.Н.** Подвижка ледника // Гляциологический словарь — Л.: Гидрометеиздат, 1984. — С. 334–335.
12. **Девяткин Е.В., Ефимцев Н.А., Селиверстов Ю.П., Чумаков И.С.** Еще о ледомах Алтая // Труды Комиссии по изучению четвертичного периода. — М.: Изд-во АН СССР, 1963. — Вып. 22. — С. 64–75.
13. **Карпухин С.** Улахан-Тарын, или Большая Момская наледь [Электронный ресурс]. — <https://karpukhins.livejournal.com/185346.html> (дата обращения 28.02.2018).
14. **Ресурсы** поверхностных вод СССР. Т. 15: Алтай и Западная Сибирь. Горный Алтай и Иртыш / Под ред. В.А. Семёновой. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — 328 с.
15. **Галахов В.П., Самойлова С.Ю.** Оледенение Чуйской котловины в максимум последнего похолодания (Юго-Восточный Алтай) // Материалы V Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода. — М.: Геос, 2007. — С. 70–72.
16. **Галахов В.П., Самойлова С.Ю.** Древнее оледенение «сухих долин» Чуйской котловины (Юго-Восточный Алтай) // Изв. РГО. — 2008. — Вып. 3. — С. 35–39.
17. **Ивановский Л.Н.** Гляциальная геоморфология гор. — Новосибирск: Наука, 1981. — 172 с.
18. **Ресурсы** поверхностных вод СССР. Т. 17: Гидрологическая изученность. Ленско-Индигорский район. Яна, Индигорка / Под ред. И.В. Осиповой. — Л.: Гидрометеиздат, 1966. — Вып. 7. — 328 с.
19. **Pozdnyakov A.V.** Glacial geosystems: principles of self-organization // Geography and Natural Resources. — 2013. — Vol. 34, N 2. — P. 118–123.
20. **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) // Докл. РАН. — 2015. — Т. 461, № 2. — С. 220–222.
21. **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.
22. **Агатова А.Р., Непоп Р.К.** Новые данные о плейстоценовом оледенении горного обрамления Чуйской впадины (Юго-Восточный Алтай) // Геоморфология. — 2010. — № 3. — С. 22–31.

Поступила в редакцию 05.03.2018

После доработки 05.03.2018

Принята к публикации 27.12.2018