

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 551.1/4+528.7(571.65°62'56)

Б.П. Важенин

СЦЕНАРИИ ПРОРЫВА СЕЙСМОГЕННЫХ, ЛЕДНИКОВЫХ И ИНЫХ ПРИРОДНЫХ ПЛОТИН В ГОРНЫХ ДОЛИНАХ

С использованием материалов аэрокосмических съемок, в том числе из интернет-сервисов Google Earth и SASPlanet, а также полевых исследований проанализировано строение природных плотин разных генетических типов в горных долинах: сейсмогенных – обвальных, оползневых и тектонических, в виде конусов выноса, реликтовых моренных, ледниковых; вызывающих образование озёр и подпрудных бассейнов седиментации – фланговых и тыловых. Рассмотрены сценарии прорыва запруд, реализующиеся в природе. Плотины ранжированы по их устойчивости к разрушению в порядке: ледниковые, конусы выноса, обвальные, сейсмостектонические, моренные.

Ключевые слова: обвалы; ледники; морены; конусы выноса; горные долины.

Горные реки за тысячелетия их существования стремятся выработать продольный профиль равновесия долин. Однако ледники, оползни, обвалы, осыпи и сели осложняют решение этой задачи. Они нередко перегораживают долины, подпруживают поверхностный речной сток по ним и тем самым нередко вызывают образование подпрудных озёр, порой крупных – длиной в десятки километров. В геологическом масштабе времени такие запруды, надо полагать, эфемерны – эрозия не преминет когда-то их размыть. Содействие им в этом могут оказывать некоторые другие силы природы, например землетрясения, новые горные ледники, селевые потоки.

Морфология и прорыв природных плотин в горных долинах

Обвальные и оползневые плотины. В горных долинах при сильных землетрясениях нередко возникают сейсмогенные обвальные и оползневые плотины, которые затрудняют поверхностный сток, в результате чего появились подпрудные озёра: Сарезское и Яшилкуль на Памире, Рица и Казенойам на Кавказе, Кучерлинское на Алтае; *Голубое* (курсивом выделены географические объекты, исследованные автором не только дистанционно, но и в «поле»), оз. Обвал в Северном Приохотье; малые озёра *Орангутан* и *Увязка* в Бахапчинских горах, *Юрюн-Тас* в горах Черского (рис. 1) [1].

Обвальные сейсмогенные плотины являются довольно устойчивыми долговременными образованиями, поскольку они, как правило, занимают самый низкий гипсометрический уровень в долинах вблизи места их схода; формируются при высоких динамических условиях (скорость перемещения, давление, встряска), обеспечивающих дробление обваливающихся блоков горных пород до размерности глыб и щебня, уплотнение, распластывание и вписывание обвального тела в рельеф субстрата. Это в наибольшей степени относится к крупным скальным обвалам объемами свыше 1 млн м³. Знаменитый Усойский обвал-оползень на Памире объемом 2,2 км³, возникший при землетрясении 1911 г., имеет видимые горизон-

тальные размеры 3,7 × 4 км, а максимальную высоту более 730 м (рис. 1, а). Обвал, запрудивший другое памирское озеро Яшилкуль, простирается на 3,9 км по долине р. Аличур и на 1 км – поперек. Сейсмообвал *Улахан-Чистай-300* (здесь и далее число в названии гравитационного тела означает его объем в млн м³) в одноименном хребте гор Черского на северо-востоке России имеет размеры 1,1 × 2,3 км и высоту над погребенным тальвегом ~360 м (рис. 1, б). Плащевидное обвальное тело *Чул-300* в Туманском хр. Северного Приохотья, запрудившее долины р. Чул и двух ее левых притоков, имеет размеры 2,2 × 2,3 км при мощности до 50–100 м. Обвал, запрудивший Кучерлинское озеро на Алтае, имеет размеры 1,1 × 1,4 км и высоту до 250 м.

Устойчивость скальных оползней несколько ниже, так как ниже динамические условия их формирования, не обеспечивающие полного дробления смещающихся со склона масс горных пород до обломков размерности глыб и щебня, вписывание их в рельеф субстрата, и достижение наинизшего гипсометрического уровня в долине на пути их смещения. Порой они «зависают» на выположенных участках склона и могут сместиться вниз, например под воздействием нового сильного землетрясения.

На участке долины, расположенном выше завала, возникает подпрудный бассейн седиментации, в котором отлагается большая часть влекомых водотоком наносов (рис. 1). При этом достаточно крупного подпрудного озера там ныне может и не быть (рис. 1, б). Его водный баланс, регулирующий заполнение и спуск озера, является функцией расхода воды блокированного водотока, фильтрационной способности завала и времени существования запруды. Бассейны седиментации различаются по величине и форме в зависимости от направления схода гравитационного тела – либо вдоль, либо поперек долины. Крупные удлиненные бассейны седиментации возникают при поперечном смещении гравитационных тел (рис. 1, а–в). По площади они стремятся к величине площади блокированного водосбора, но не достигают этого предела. Величина их зависит от места схода гравитационных тел. При блокировании долины в низовьях реки

площадь водосбора и, соответственно, бассейна седиментации будет больше, чем если это произойдет в ее верховьях. Так, например, срыв Усойского обвала-оползня вызвал образование Сарезского озера длиной свыше 75 км, являющегося, по сути, огромным под-

прудным бассейном седиментации (рис. 1, а) в низовьях р. Мургаб (Бартанг). Несколько меньше (длиной 18,6 км) подпрудный бассейн другого крупного памирского озера Яшилкуль, возникшего при обвале в долине р. Аличур ранее XIII в.

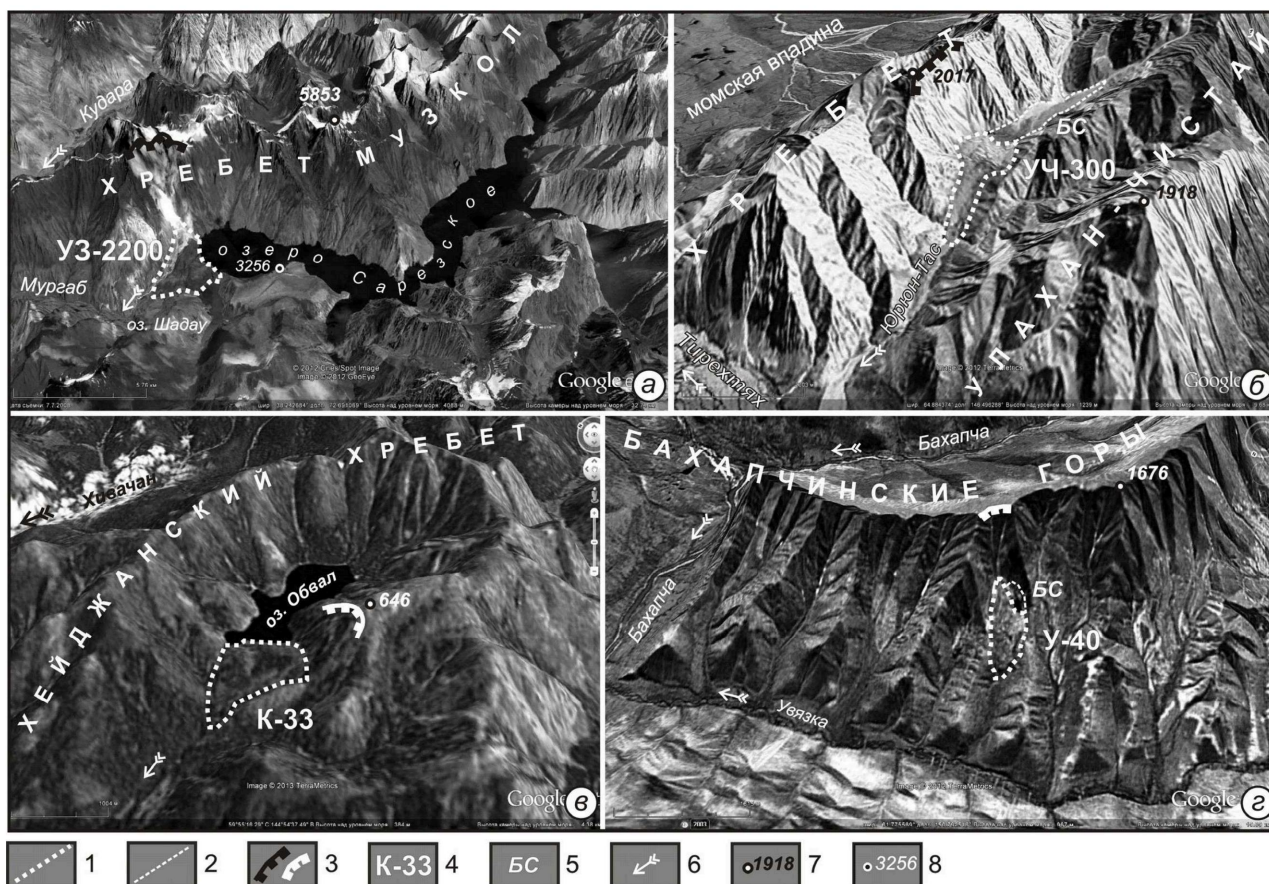


Рис. 1. Обвалные и оползневые плотины в горных долинах: а – на Памире, б – в горах Черского, в, г – в Северном Приохотье. 1 – контуры крупных (объемами свыше 1 млн м³) скальных обвалов и оползней; 2 – контуры подпрудных бассейнов седиментации; 3 – бровки стенок срыва и ниш отрыва крупных обвалов и оползней; 4 – индексы обвалов и оползней, где буквы означают их названия: УЗ – Усойский завал, УЧ – Улахан-Чистай, К – Кумалкан, У – Увязка, а числа – их объемы в млн м³; 5 – подпрудные бассейны седиментации; б – здесь и далее – направления поверхностного стока вод; 7 – здесь и далее – абсолютные отметки горных вершин в метрах; 8 – здесь и далее – абсолютные отметки уреза вод в метрах

Подпрудный бассейн на фланге сейсмообвала Улахан-Чистай-300 имеет длину до 3 км и ширину около 0,5 км при длине блокированной долины выше завала около 6 км (рис. 1, б). Нижняя его часть (у левого фланга завала) длиной 1 км выстлана с поверхности супесчано-песчаными отложениями, верхняя представлена длинными песчано-гравийно-галечными пролювиально-селевыми конусами выноса. В подпрудном бассейне за время существования завала – около 4 тыс. лет – накопилась толща рыхлых отложений мощностью 140 м [1. С. 148]. В подпрудном бассейне у верхнего бьефа завальной плотины располагаются два небольших озера размером до 100 м – предполагаемые остатки, возможно, существовавшего ранее более крупного подпрудного озера. Вода из них в виде воронкообразных водоворотов «уходит» под отложения бассейна седиментации и завала. Превышение низшей части гребня завала (в его тылу) над поверхностью бассейна седиментации составляет 50 м. Отсутствие следов её обработки водным пото-

ком является свидетельством спуска предполагаемого озера не посредством перелива воды через запруду, а фильтрацией сквозь неё. Вода из подпрудного бассейна, просачиваясь сквозь завал, выходит на его правом фланге тремя мощными источниками, преодолев путь в его толще длиной 750, 1 100 и 1 600 м.

При срыве оползня или обвала в направлении, совпадающем с осью долины, что может быть только в ее верховьях, выше них – в тылу – образуются небольшие по площади, обычно изометричные в плане «тыловые» подпрудные бассейны, названные так в отличие от упомянутых ранее крупных и продолговатых – «фланговых». Примерами могут служить бассейны седиментации при сейсмообвалах Сфинкс-150, Туманы-42, Уптар-16-37, Угловой-24, Оло-24, Увязка-40 (рис. 1, г).

Из многих десятков изученных на северо-востоке России [1] долин с крупными сейсмотавалами лишь незначительная часть имеет ныне подпрудные озёра: Орангутан в Бахапчинских горах, Голубое; озеро с

говорящим названием Обвал в Северном Приохотье (рис. 1 в); озёра в тылу обвалов *Угловой-24* в горах *Елау*, *Сфинкс-150* и *Увязка-40* в Бахапчинских горах, *Чул-300* в Северном Приохотье и у верхнего бьефа завала *Улахан-Чистай-300* (рис. 1, б) в одноименном хребте гор Черского.

Крупнейшие из них – озёра «фланговых» бассейнов седиментации: Обвал длиной 1 760 м (рис. 1, в) и *Голубое* – 520 м. *Голубое* образовалось в результате обрушения с правого борта устьевой части долины руч. *Голубой* (длиной 6,5 км) сейсмообвала *Голубой-20* размером около $0,6 \times 1$ км, высотой до 120 м. Ограниченная фильтрация воды сквозь завал, обеспечившая возникновение сравнительно большого озера при незначительном водосборе, обусловлена, вероятно, присутствием в теле завальной плотины помимо глыб и щебня еще и какого-то количества более водоупорных отложений конечной морены палеоледника *Голубой* и боковой морены палеоледника *Светлый* (имевшего длину 19,6 км).

Более крупное оз. Обвал, имеющее еще меньший водосбор, обязано своим существованием, по видимому, тому, что запружено не хорошо проницаемым для воды обвалом, а оползнем (размером около $0,68 \times 1$ км) со слабо раздробленными скальными блоками в его теле, что угадывается в рельефе его поверхности, читаемом по стереомодели на космоснимках в интернет-сервисе Google Earth.

Прорыв обвальных плотин. При наличии достаточно мощного речного стока, заблокированного обвалом, происходит его размыв за счет суффозии, довольно интенсивно протекающей в теле завала, сложенного грубообломочным трещиноватым материалом (глыбами и щебнем) со сравнительно небольшим количеством мелкоземистого заполнителя. Интенсивность суффозионного размыва усиливается резкой неравномерностью гранулометрического состава тела завала, которая создает каналы подземного стока с чередующимися расширениями и сужениями, благодаря чему из сужений, где повышается напор воды, легко вымывается мелкозем и, тем самым, пропускная

способность завала возрастает. На поверхности завалов над каналами стока вод происходит просадка поверхности с образованием суффозионных ложбин. Такие ложбины наблюдаются на многих завальных плотинах, исследованных дистанционно и в «поле»: *Улахан-Чистай-300* (рис. 1, б), *Чул-300*, *Сфинкс-150*, *Туманы-42*, *Унтар-16-37*, *Угловой-24*, *Оло-24*, *Голубой-20*, *Увязка-14* (рис. 1, г), *Яшилькуль* [1].

С течением времени за счет вымывания из тела обвала мелкоземистого заполнителя и более крупных гранулометрических фракций (пожалуй, до щебня включительно) и просадок глыб происходит превращение суффозионной ложбины в суффозионно-эрозионный каньон V-образного поперечного профиля с крутыми осыпными бортами и со значительным поверхностным стоком воды по нему. Это превращение возможно, разумеется, лишь при некоем достаточном расходе воды в заблокированной завалом реке. Такой процесс реализован, например, в долине р. *Чул* (приток р. *Туманы*, бассейн Охотского моря) – горного водотока III порядка, шириной 20–30 м и длиной от завала до истоков 17 км (рис. 2). Во фронтальной части плащевидного обвала-потока *Чул-300*, перегородившей долину более 2 000 лет тому назад, образовался суффозионно-эрозионный каньон длиной около 1,5 км, шириной 70–100 м и глубиной до 60 м [1. С. 160–164]. Такие каньоны наблюдаются на обвалах *Туманы-42*, *Юрюн-Тас-50* [1. С. 147, 148, 164]. Не завершилось еще формирование каньонов на обвалах *Улахан-Чистай-300*, *Сфинкс-150*, *Унтар-16-37*, *Угловой-24*, где верхние части каналов стока фильтрующихся вод выражены в рельефе суффозионными ложбинами, а низовья – суффозионно-эрозионными каньонами. Обвалы неплохо блокируют сток влекомых наносов в подпрудных бассейнах седиментации. Ниже них по течению формируются аккумулятивные шлейфы из продуктов размыва завалов. При врезании водотоков в такие шлейфы и в отложения подпрудных бассейнов с течением времени образуются сейсмогенно стимулированные уровни речных террас, как это наблюдается у обвала *Чул-300* и Усойского завала.

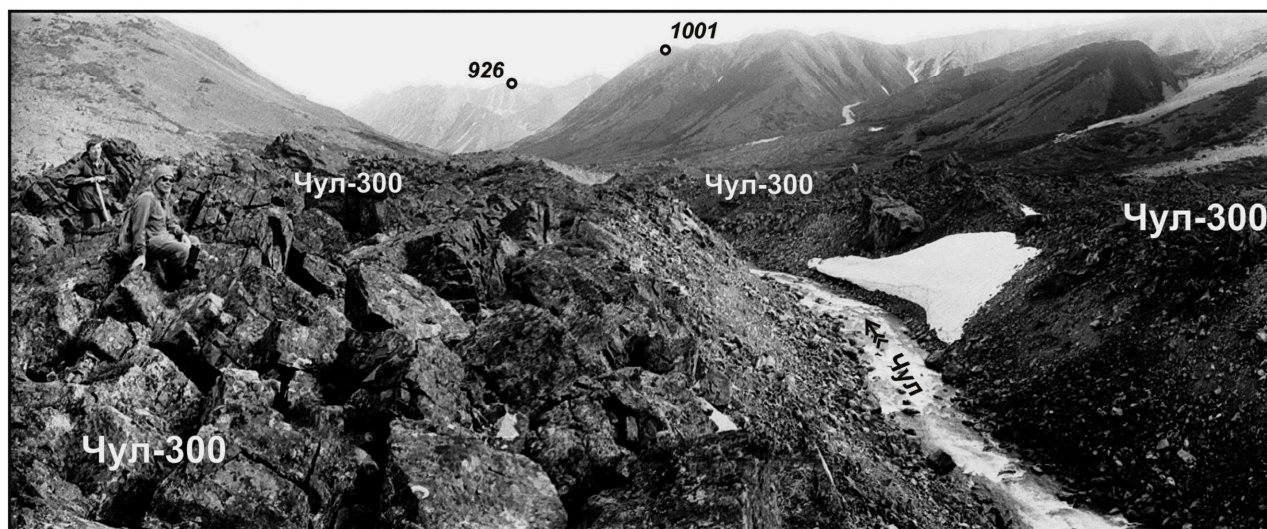


Рис. 2. Суффозионно-эрозионный каньон, прорезанный р. Чул во фронтальной части обвала *Чул-300* в Туманском хребте

Тектонические и сейсмотектонические запруды. Менее известны озёра, возникшие в результате полной или частичной запруды горных долин вследствие их деформаций обычно сейсмогенными сбросовыми и взбросовыми уступами, а также вертикальными и горизонтальными подвижками блоков земной коры размерами около первых километров: Амткел на Кавказе, Дарпир, Такалыр и пра-Нукэ на северо-востоке России (рис. 3).

Озёра Дарпир (рис. 3, б; 4, б) и Такалыр (рис. 3, в, в) запруджены сбросовыми (взбросовыми) уступами с их падением в направлении противоположном стоку

воды, что обеспечивает высокую устойчивость к прорыву дамб из коренных скальных пород, слагающих днища долин. Оз. Дарпир дополнительно к этому подпружено крупными пролювиально-селевыми конусами выноса в долине р. Дарпир-Сиен (рис. 4, б), что позволяет ему поддерживать уровень воды глубиной около 75 м (по данным начальника метеостанции Дарпир Колымского УГМС А.Н. Кочетова), несмотря на брешь в уступе крупного сбрососдвига Дарпир, пробитую оперяющим его разломом, трассирующемся по долине р. Дарпир-Сиен [1. С. 152–156].

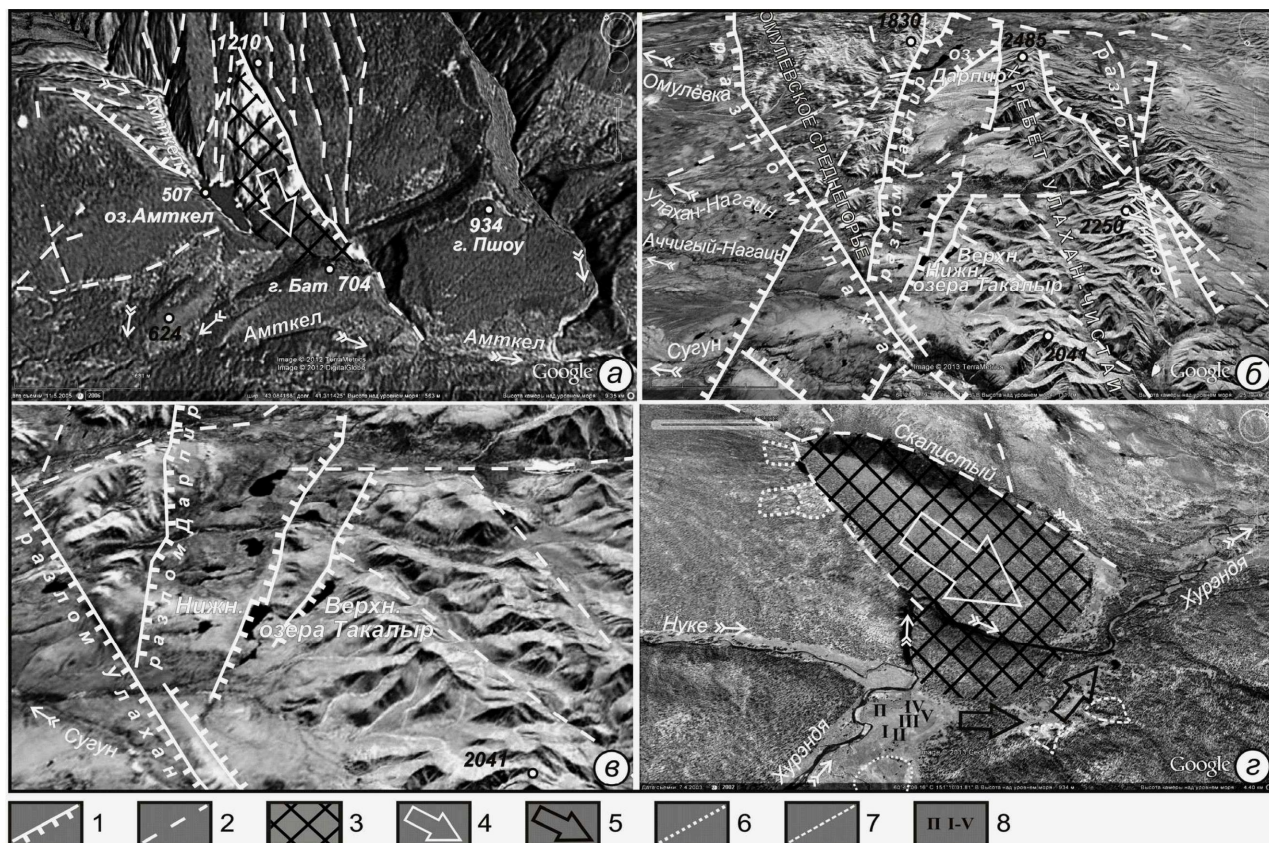


Рис. 3. Тектонические и сейсмотектонические запруды горных долин: а – оз. Амткел в Абхазии; б, в – озёр Дарпир и Такалыр в горах Черского; г – долины р. Хурэнды в Северном Приохотье. 1 – сбросовые и взбросовые уступы, местами со сдвиговой составляющей; 2 – разломы без заметной вертикальной составляющей, в том числе и раздвиговые; 3 – блоки горных пород, сместившиеся по вертикали и горизонтали; 4 – направления горизонтального смещения блоков; 5 – брошенный участок долины р. Хурэнды; 6 – контуры малых (объемами < 1 млн м³) оползней; 7 – контуры пролювиально-селевых конусов выноса; 8 – пойма и надпойменные террасы на месте бывшего подпрудного озера пра-Нукэ, сформировавшиеся за счет вреза р. Хурэнды при спуске её вод через раскрывающуюся и промываемую расщелину

Оз. Амткел возникло после сильного землетрясения 1891 г. [2. С. 7–9] в результате просадки с амплитудой около 100 м блока горных пород размером 1,2 × 3 км в левом борту долины р. Амткел (рис. 3, а). Величина просадки оценивается по резкости и выдержанности по высоте сбросового уступа (вдоль всей его 3-километровой длины), послужившего сместителем этого блока и стыкующегося с расщелиной (глубиной более 250 м) между гг. Бат и Пшоу. При этом блок сместился, вероятно, на несколько десятков метров к югу, перекрыв собой свободный сток воды по долине р. Амткел. Из новообразованного сбросового уступа на поверхность блока рухнул обвал из глыб известняка размером до 30 м и более. Объем его оце-

нен иркутскими сейсмогеологами в 100 млн м³ [Там же. С. 7]. Они, однако, посчитали основной причиной возникновения запруды сход этого обвала. Однако столь крупный обломочный материал, слагающий обвальную запруды, да еще и известняковый, обладает высокой фильтрационной способностью, что не обеспечивает, как правило, образование крупного долговременного подпрудного озера [1. С. 37–68]. Кроме того, глыбы покрывают довольно равномерным по мощности слоем всю поверхность блока вплоть до его самой верхней части у горы с отметкой 1 210 м (рис. 3, а), тогда как стенка срыва классических обвалов (обычно сравнимая по площади с самим обвальным телом) всегда свободна от обломочного

материала (рис. 1, а–г). Наиболее вероятно, что подземный сток из озера осуществляется по трещинам (а возможно, и по карстовым пустотам) у южной периферии сместившегося блока и отчасти сквозь обвальное тело.

Еще один пример запруды за счет горизонтального смещения блока земной коры наблюдается в Северном Приохотье (рис. 3, г). Река Хурэнды (водоток IV порядка, приток р. Малтан, бассейн р. Колыма) без видимых причин «бросила» свою хорошо разработанную долину шириной около 0,5 км по днищу и «ушла» в гору по Г-образному в плане и V-образному в поперечном сечении ущелью в коренном левом борту [1. С. 175–178]. Длина ущелья около 1,15 км, глубина – до 50–70 м, ширина по бровкам обрывистых склонов – около 60–90 м, а по днищу, практически полностью занятому руслом реки, – 15–20 м. Ущелье имеет типичный облик сейсмотектонической расщелины. Возраст его определяется как позднплейстоценовый-голоценовый – по разрыву им позднплейстоценовой морены, выстилающей маломощным чехлом пологие склоны и низкие водоразделы, а также по отсутствию следов ледниковой денудации и аккумуляции в самом ущелье. Ущелье отсекает от ограниченного крутыми обвально-осыпными склонами бло-

ка коренных пород размером $2,1 \times 1,4$ км в левом борту долины р. Хурэнды близ устья руч. Нуке фрагмент поперечником до 0,6 км. Формирование ущелья и перехват им речного стока непротиворечиво объясняются сейсмогенными подвижками (или подвижкой) этого сейсмоблока – НУКЕ-1,5 [Там же. С. 70–72] – к востоку в долину р. Хурэнды, сопровождавшимися расколом его на две неравновеликие части, сходом оползней объемами до 1 млн м³ с пологих склонов и селевой подпрудой днища долины за счет выносов из долин двух правых притоков р. Хурэнды. При этом возникло существовавшее некоторое время подпрудное озеро пра-Нуке, следы которого сохранились в рельефе в виде серии из шести уровней террас, образовавшихся за счет вреза р. Хурэнды в отложения бывшего подпрудного озера пра-Нуке при его спуске через раскрывающуюся и промываемую расщелину.

Прорыв тектонических и сейсмотектонических дамб, обладающих максимальной устойчивостью к речной эрозии, тем не менее, нередко происходит, как это демонстрируют пример уже прорванной запруды долины р. Хурэнды (рис. 3, г) и незавершившийся такой же процесс у озёр Дарпир (рис. 3, б; 4, б) и Амткел (рис. 3, а). Здесь решающую роль играют новообразованные тектонические и сейсмотектонические разломы.

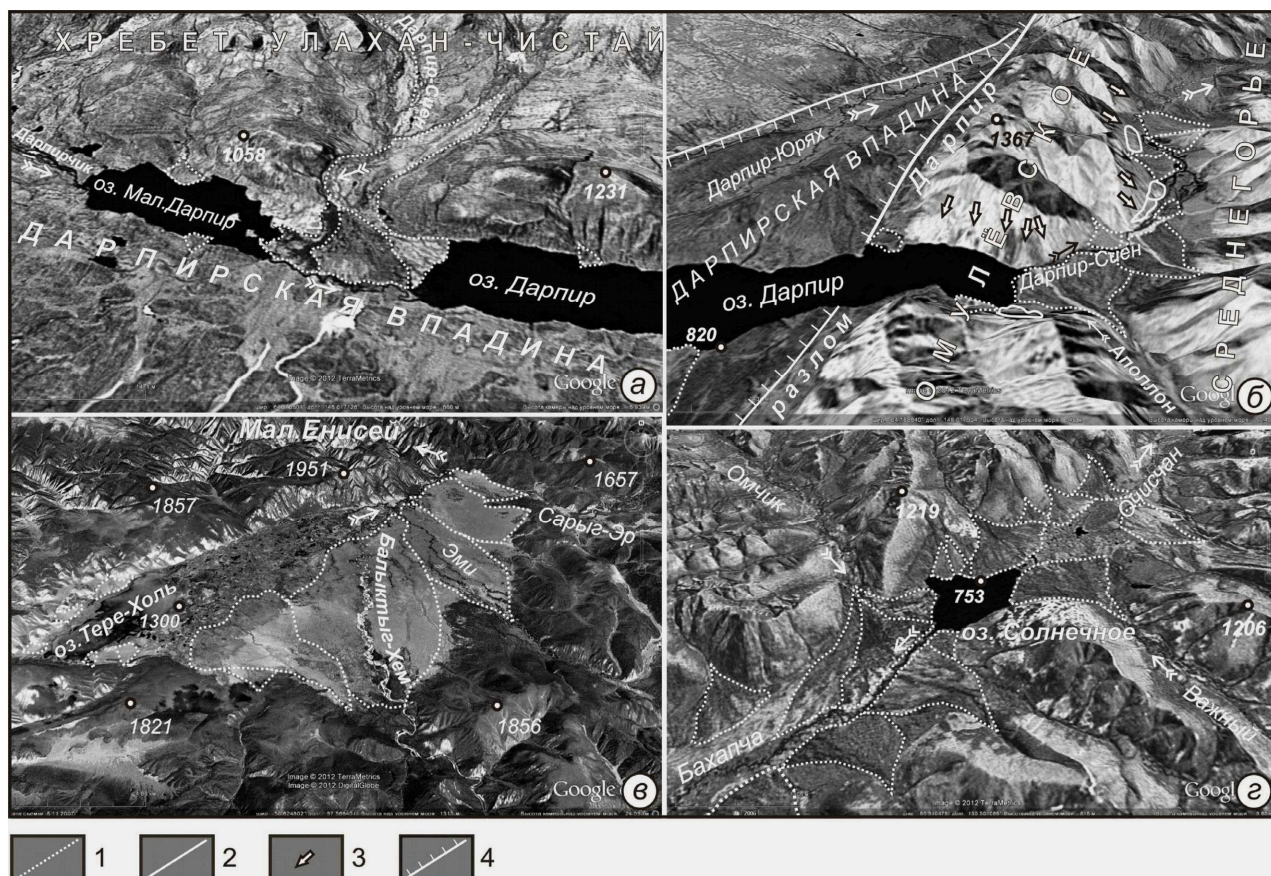


Рис. 4. Подпруды горных долин пролювиально-селевыми конусами выноса: а – разделение озёрного водоема конусом выноса (радиусом 2 км) р. Дарпир-Сиен на два озера – Дарпир и Мал. Дарпир; б – частичная подпруды оз. Дарпир конусом выноса (радиусом 1,8 км) руч. Аполлон и серией других таких же в долине р. Дарпир-Сиен; в – подпруды стока из оз. Тере-Холь в Терехольской впадине серией крупных (радиусом до 15 км) пролювиально-селевых конусов выноса; г – блокирование сквозной долины в водоразделе рр. Бахапча и Арманы в Северном Приохотье с двух сторон с образованием оз. Солнечное. 1 – контуры пролювиально-селевых конусов выноса; 2 – контуры скальных обвалов объемами в первые млн м³; 3 – направления схода обвально-осыпных конусов выноса; 4 – крупные сбросовые уступы высотой до 1 000 м

Пролувиально-селевые и обвально-осыпные конусы выноса могут производить частичную подпруду горных долин и внутригорных впадин. Обвально-осыпные конусы эту роль исполняют редко, поскольку залегают обычно у подножий смещающих склонов, блокируя только узкие долины с V-образным поперечным профилем, которые составляют преимущественно верхние звенья эрозионной сети с незначительным расходом водотоков. При частичной подпруде горных долин крупными (радиусом в километры – первые десятки километров) пролувиально-селевыми конусами выноса существуют озёра: *Дарпир* и *Мал. Дарпир* в Омулевском Среднегорье гор Черского; оз. Солнечное, Эликчанские озёра в Северном Приохотье; оз. Байкалёнок в Северо-Западном Приохотье; оз. Тере-Холь в Тыве (рис. 4).

Пролувиально-селевые конусы выноса (радиусом до первых десятков километров) распадаются по выположенным участкам днищ долин и внутригорных впадин, достигая их противоположных бортов, чем затрудняют водный сток по ним. Но эффективно блокировать его они не могут ввиду их сравнительно высокой проницаемости, определяемой преимущественно песчано-гравийно-галечным составом. Особенно широко они развиты в перигляциальных зонах позднеледниковых оледенений и в плейстоценовых областях сильных древних землетрясений. И ледники, и землетрясения поставляют в гидросеть большое количество грубообломочного материала, из которого водотоки, вышедшие на выположенные участки долин и впадин, и создают обширные конусы выноса. Примером таких образований может служить устьевой конус выноса (радиусом 1,8 км) 8-километрового *руч. Аполлон*, подпрудивший *р. Дарпир-Сиен*, вытекающую из оз. *Дарпир* (длиной до 12 км) в Омулевском Среднегорье гор Черского (рис. 4, б). Поскольку глубина оз. *Дарпир*, «сидящего» на одноименном крупном региональном разломе, превышает 75 м, а мощность отложений в дистальных частях таких конусов выноса едва ли достигает 10 м, то главную роль в возникновении оз. *Дарпир* играет тектонический фактор. Но некоторое повышение уровня озера всё же обеспечивается подпрудой этим и еще пятью такими же конусами, расположенными на 8-километровом участке долины *р. Дарпир-Сиен* ниже озера [1. С. 152–156]. Устьевой конус выноса радиусом 2 км верхней части *р. Дарпир-Сиен* разделяет когда-то бывшую единой озёрную чашу на два водоема *Дарпир* и *Мал. Дарпир* (рис. 4, а). Особенно крупные конусы выноса радиусами 15, 13 и 10 км выстилают две трети площади плоского днища внутригорной Тере-Хольской впадины (размером 18 × 34 км) в Тыве, подпруживая мелководное оз. Тере-Холь в истоках Малого Енисея (рис. 4, в). Здесь их роль в возникновении озера можно считать ведущей.

Прорезание подпруд в виде конусов выноса происходит, очевидно, довольно плавно и синхронно с поступлением новых порций обломочного материала, наращивающего конусы выноса в длину и по вертикали. Оно локализуется практически исключительно на их дистальных концах, где мощность пролувия

ниже из-за «растекания» его веером от вершины к периферии конуса (рис. 4).

Древнеледниковые моренные запруды. Множество крупных (размером до 10 км и более) подпрудных озёр образовалось в результате деградации горнодолинного оледенения: Лаго-Маджоре, Комо, Гарда в Итальянских Альпах; Лама, Кета, Хантайское на плато Путорана; Лабынкыр в хр. Сунтар-Хаята; Табанда, *Джека Лондона*, Малык, Момонтай, Уи в горах Черского; Макси, Киси в Северном Приохотье; Коолен на Чукотке; *Азас*, Маны-Холь, Ноян-Холь в Тыве и др. (рис. 5). Здесь роль плотин играют реликтовые древнеледниковые морены – чаще конечные. Реже блокируют водный сток в пределах горных долин береговые морены с образованием небольших (размером до 1 км и более) озёр, например: в бассейне *руч. Дядя Ваня*, а также озёра *Мечта*, *Серая Чайка* и др., расположенные севернее оз. *Танцующих Хариусов* (рис. 5, б).

Возникновение «эффективных» (с образованием крупных озёр) моренных запруд происходило не только в долинах мощных ледников, обладавших высокой экзарационной и аккумулятивной способностью, но и в местах вертикальных тектонических движений переменного знака, благоприятных для возникновения водоемов. Таковы крупные ледниково-тектонические озёра южного склона Альп: Лаго-Маджоре, Комо, Гарда с площадью водного зеркала 212, 146 и 370 км² соответственно [БСЭ, 3-е изд.]. Их глубины – 370, 410 и 346 м – значительно превышают мощность подпруживающих конечных морен. Озёра *Джека Лондона*, Лабынкыр и Малык (рис. 5, б–г) подпружены конечными моренами длиной 11, 10 и 16 км, шириной 3, 6,31 и 6,25 км. Много более мощные конечно-моренные комплексы шириной в десятки километров подпруживают крупные озёра на западе плато Путорана (рис. 5, а).

Аномально мощные моренные подпруды могут возникать в плейстоценовых областях древних сильных землетрясений в результате поступления на ледники обильного обломочного материала при сходе крупных сейсмогенных обвалов, оползней, осыпей, как это произошло, например, после Аляскинского землетрясения 1964 г. в горах Чугач и Святого Ильи [3. С. 292–299; 4. С. 73]. Тогда на поверхность ледников обрушилось более десятка только крупных обвалов объемами свыше 1 млн м³, которые по прошествии почти 50 лет превратились в поверхностные морены, а некоторые, как на леднике Шерман в горах Чугач, уже трансформируются в конечно-моренные валы [1. С. 47].

Ввиду медленной транспортировки в теле и на поверхности ледников обломочный материал, вследствие многократных фазовых переходов воды, трения обломков друг об друга и о субстрат, дезинтегрируется по имевшимся трещинам на фрагменты, практически лишённые трещин; окатывается с образованием большого объема мелких гранулометрических фракций и сгружается в области абляции, формируя конечные морены. Эти образования у ледников длиной в десятки километров состоят из несортированного обломочного материала разных гранулометрических

фракций и потому обладают слабой фильтрационной способностью, о чем свидетельствует наличие много-

численных крупных и малых озёр при конечно-моренных комплексах (рис. 5).

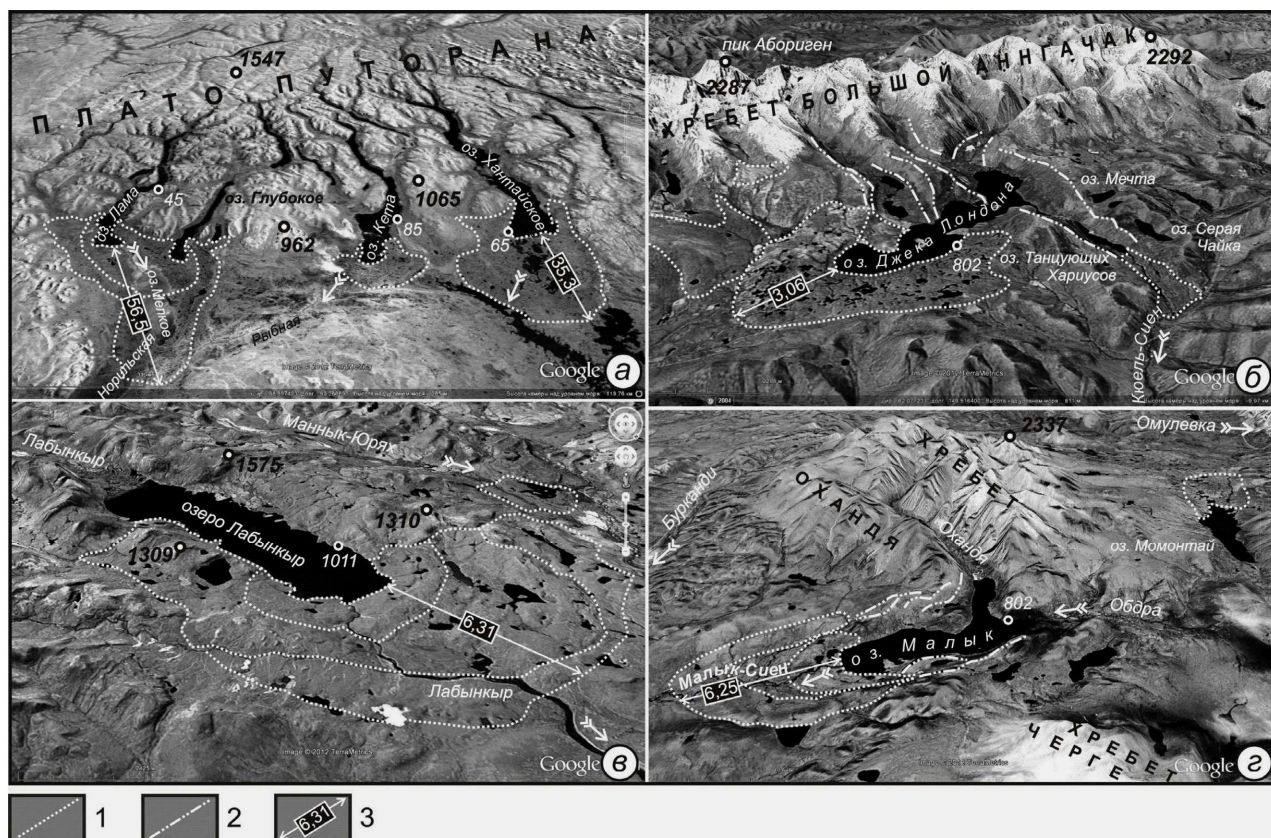


Рис. 5. Запруды горных долин реликтовыми моренами позднеледниковых ледников: а – на плато Пutorана; б, в – в горах Черского; в – в хр. Сунтар-Хаята. 1 – контуры конечно-моренных комплексов; 2 – хорошо выраженные в рельефе валы береговых морен; 3 – ширина конечно-моренных комплексов в километрах

Прорыв древнеледниковых моренных плотин. Крупные озёра после деградации горно-долинного оледенения остаются не во всех долинах, подпруженных моренами. Это наблюдается, в частности, в местах выхода языка долинного ледника на подгорную равнину или в широкую межгорную впадину, где экзарационное выпаживание ложа ледника заметно ослабевает, а мощность отложений конечно-моренного комплекса становится недостаточной для эффективной подпруды обильного водного стока. Такая ситуация хорошо выражена в долине позднеледниковых палеоледника Нярка длиной 27 км в Северном Приохотье, оставившего при отступании серию из пяти узких (до 50–100 м шириной) конечно-моренных дуг длиной до 8,7 км, вложенных одна в другую. И все они прорезаны руслом р. Нярка (бассейн Вилиги, впадающей в Охотское море) шириной до 30–40 м. А каких-либо следов спущенного подпрудного озера на материалах дистанционных съемок здесь не наблюдается. Следовательно, прорезание каждой из этих дуг происходило во время существования ледника – по мере его отступления.

Водоупорность конечно-моренных отложений крупных горных ледников не позволяет воде из подпрудных бассейнов фильтроваться сквозь тела таких плотин. Размыв их осуществляется за счет перелива воды через них и идет, как правило, довольно мед-

ленно – без пережестывания через их гребни, поскольку они обычно довольно длинны и высота их не столь постоянна по длине, как у искусственных плотин. Поэтому поверхностный сток быстро локализуется в каком-то одном месте и регулируется величиной сечения прорана и притоком воды в озеро. Об этом свидетельствует анализ многочисленных материалов аэро- и космических съемок моренных запруд (рис. 5). Высокодинамичный спуск древнеледниковых тектонических озёр еще менее вероятен. Кроме того, следует учитывать и обычно очень большую ширину конечно-моренных дуг и, тем более, комплексов, измеряемую километрами и десятками километров, а также пологость их склонов, придающих им огромный запас устойчивости к внезапному прорыву.

Современные ледниковые запруды. Более редки озёра, подпруженные действующими ледниками: Мерцбахера на Тянь-Шане вблизи пиков Победы и Хан-Тенгри; небольшие озёра (размером до 1,5 км) в Рушанском хребте на Памире, сравнительно крупные озёра в горах Чугач на Аляске (рис. 6).

Озёра, подпруженные глетчерным льдом, могут возникать большей частью в местах слияния притоков с главными стволами сложных долинных и дендритовых ледников [3. С. 27]. Таковы небольшие озёра в Рушанском хребте на Памире (рис. 6, в). Также блокировать водный сток способны пульсационные по-

движки ледников с образованием озёр, таких как Берг и Софрон на флангах ледника Стеллер (притока ледника Беринга – крупнейшего в горах Чугач и в Северной Америке). На правом фланге ледника Майлс (рис. 6, з) располагается такое же оз. Ван Клив, почти спущенное ныне (космоснимок Google Earth, 2006 г.). А ранее этот ледник даже перекрывал своим языком долину (шириной более 6 км по днису) большой аляскинской р. Коппер и подпруживал оз. Майлс размером $6,5 \times 9$ км. Оз. Мерцбахера располагается на поверхности ледника Сев. Иныльчек перед слиянием его с ледником Южный Иныльчек (рис. 6 а, б).

Прорыв ледниковых плотин происходит наиболее динамично. Оз. Мерцбахера, возникшее в XIX в., состоит из двух водоемов, разделенных ледовой перемычкой, и имеет общую длину до 2,6 км при ширине до 1 км. Дважды в год (летом и зимой) происходит полный сброс воды из нижней части в долину р. Иныльчек (рис. 6, а, б). Прорыв осуществляется в течение 2–7 суток с расходом сброса воды до $1\,000\text{ м}^3/\text{с}$ [5]. По-видимому, не менее динамичен (если не катастрофичен) прорыв упомянутых аляскинских озёр Майлс и Ван Клив (рис. 6, з [3. С. 293–294]).

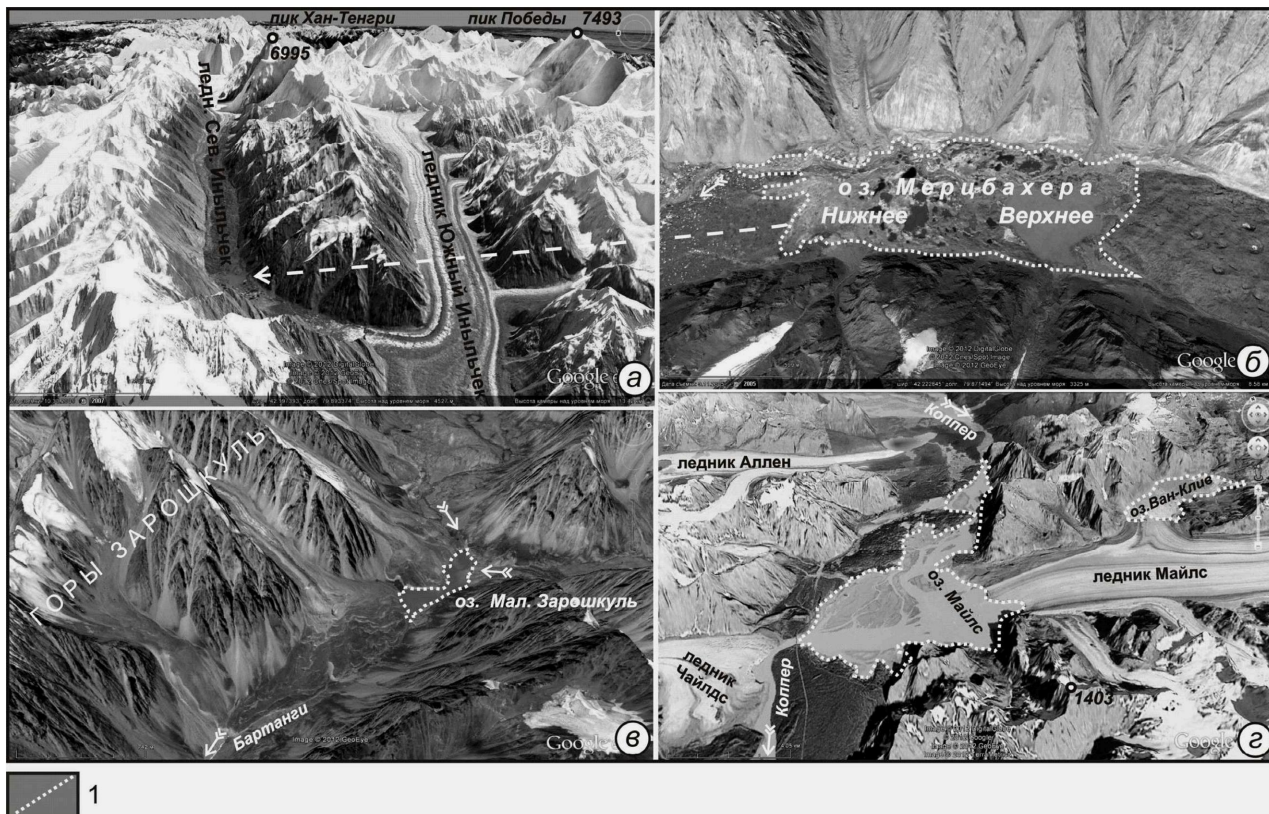


Рис. 6. Подпрудно-ледниковые озёра: а, б – в горах Тянь-Шань; в – в Рушанском хребте на Памире; з – в горах Чугач на Аляске. 1 – береговые линии озёр при максимальных уровнях

Выводы

Из пяти разновидностей природных запруд наиболее эфемерны и динамичны собственно ледниковые. На примере оз. Мерцбахера видно, что они способны как быстро и многократно разрушаться, так и восстанавливаться.

Пролувиально-селевые конусы выноса могут лишь отчасти подпруживать речной сток и легко размываются по наиболее слабому месту на их периферии.

Обвальные плотины, благодаря высокой фильтрационной способности, могут сохраняться в течение тысячелетий, существенно преобразуясь только над каналами стока подпруженных вод.

Тектонические и сейсмостектонические дамбы могли бы претендовать на звание «рекордсмена» по устойчивости к речной эрозии, если бы не тесная ге-

нетическая связь процессов созидания таких запруд и их сейсмостектонического прорыва.

Наиболее устойчивы широко распространенные конечно-моренные плотины – благодаря своей большой ширине, пологости поперечного профиля, водоупорности и сочетанию с подпрудой за счет тектонических движений и экзарационного выпахивания ложа водоемов.

В оживленной дискуссии в прессе и Интернете о возможности катастрофического прорыва Усойского завала, например, вследствие обрушения в Сарезское озеро Правобережного оползня объемом около $1,25\text{ км}^3$ [6. С. 183–194] забывают как-то о результате, если можно так выразиться, «природно-технического эксперимента» при обрушении в 1963 г. в водохранилище Вайонт в Итальянских Альпах оползня объемом около 260 млн м^3 с образованием выплеска высотой около 250 м, при котором бетонная арочная плотина – «скорлупка» – высотой 262 м устояла [5]!

ЛИТЕРАТУРА

1. Вазенин Б.П. Принципы, методы и результаты палеосейсмогеологических исследований на северо-востоке России. Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2000. 205 с.
2. Хромовских В.С., Солоненко В.П., Жилкин В.М. и др. Сейсмогенные структуры и некоторые закономерности сейсмотектонического развития Западного Кавказа // Современные сейсмодислокации и их значение для сейсмического микрорайонирования. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1977. С. 5–14.
3. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Ледники. (Природа мира). М. : Мысль, 1989. 447 с.
4. Апродов В.А. Зоны землетрясений. (Природа мира). М. : Мысль, 2000. 461 с.
5. Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <http://ru.wikipedia.org>
6. Папырин Л.П. Сарезская катастрофа: геофизический прогноз // Геофизика XXI столетия. М. : Научный мир, 2001. С. 183–194.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 25 февраля 2015 г.

DESTRUCTION SCENARIOS FOR SEISMOGENIC, GLACIAL AND ANY OTHER NATURAL DAMS IN MOUNTAIN VALLEYS

Tomsk State University Journal, 2015, 394, 230-238. DOI 10.17223/15617793/394/37

Vazhenin Boris P. North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute, FEB RAS (Magadan, Russian Federation). E-mail: vazhenin@neisri.ru

Keywords: rock falls; glaciers; moraines; talus cones; mountain valleys.

The structural types and destruction scenarios of natural dams, which differ by their genesis, are examined using the Google Earth and SASPlanet data and the author's field study results. As it is established, landslide and rock fall dams of seismic origins serve as the barriers for Sarezskoye and Yashilkul Lakes in the Pamirs, Ritsa and Kazenoyam Lakes in the Caucasus, Kucherlinskoye Lake in Altai, and Goluboye Lake in the northern Priokhotye. Typical rock falls consist of boulders and rubble rocks and have a high filtering capacity, and, as a result, they are subject to a rapid wash-out by the locked water flow, which process is associated with formation of suffusion scour channel followed by suffusion-erosion canyon, like in the Chul R. valley (the tributary of the Tumany River, the Sea of Okhotsk coasts). Natural dams of tectonic origins developed as a result of faulting processes in valleys and displacements of crustal blocks having size of about several kilometers. The examples are Amtkel Lake in the Caucasus, and Darpir, Takalyr and pra-Nuke Lakes in the Russian North-East, which display their maximum resistance to river-caused erosion processes. However, they often become destroyed due to newly-formed faults, as it is exemplified by the terminated destruction of the Khurendya R. valley dam and the still continuing wash-out of Darpir and Amtkel Lakes dams. Talus cones have their radial size up to several tens of kilometers and consist of sand, gravel and pebble rocks. They can be easily cut through over their distal areas having the minimum sediment thickness. The examples of the partial dam barriers are Darpir, Maly Darpir, Solnechnoye and Elikchanskiye Lakes in the North-East of Russia, Baikalyonok Lake in the northwestern Priokhotye, and Tere-Khol' Lake in Tyva. Many large lakes are dam-locked by end moraines and their complexes, which can be from several kilometers to tens of kilometers in size, and are the remnants of mountain valley glaciation. The examples are Maggiore, Komo and Garda Lakes in the Italian Alps; Keta, Lama and Khantayskoye Lakes over Putorana Plateau; Labyntyr, Tabanda, Jack London, Malyk, Momontay, Ui and Koolen Lakes in the North-East of Russia; Azas, Many-Khol', Noyan-Khol' Lakes in Tyva. A slow wash-out of wide, gently sloping and water-resistant end moraines occurs due to locked water overflow, and depends on the opening size and the lake influx. Active glacial dams are subject to the most intense destruction. Merzbacher Lake in the Tien-Shan consists of two parts separated by an ice dam and has a length of about 2.6 km. Twice a year, during 2–7 days, all lake water from the lower part is discharged into the Inylchek R. valley, the discharge rate about 1 000 m³/sec. Miles and Van Cleve Lakes in Alaska appear to have the same dynamic dam destruction scenarios. Natural dams are classified by their destruction-resistance capacity as follows: glacial dams, talus cones, rock falls, seismotectonic and moraine dams.

REFERENCES

1. Vazhenin B.P. *Printsipy, metody i rezul'taty paleoseysmogeologicheskikh issledovaniy na severo-vostoke Rossii* [Principles, methods and results of paleoseismogeological research in northeastern Russia]. Magadan: SVKNII DVO RAN Publ., 2000. 205 p.
2. Khromovskikh V.S., Solonenko V.P., Zhilkin V.M. et al. *Seysmogennyye struktury i nekotorye zakonomernosti seysmotektonicheskogo razvitiya Zapadnogo Kavkaza* [Seismogenic structures and some patterns of seismotectonic development of Western Caucasus]. In: Gorshkov G.P. (ed.) *Sovremennyye seysmodislokatsii i ikh znachenie dlya seysmicheskogo mikrorayonirovaniya* [Modern seismic dislocations and their role in seismic zoning]. Moscow: Moscow State University Publ., 1977, pp. 5–14.
3. Dolgushin L.D., Osipova G.B. *Ledniki. (Priroda mira)* [Glaciers. (The nature of the world)]. Moscow: Mysl' Publ., 1989. 447 p.
4. Aprodov V.A. *Zony zemletryaseniy. (Priroda mira)* [The earthquake zones. (The nature of the world)]. Moscow: Mysl' Publ., 2000. 461 p.
5. Wikipedia. Free Encyclopedia. Available from: <http://ru.wikipedia.org>. (In Russian).
6. Papyrin L.P. *Sarezskaya katastrofa: geofizicheskiy prognoz* [Sarez catastrophe: the geophysical forecast]. In: *Geofizika XXI stoletiya* [Geophysics of the 21st century]. Moscow: Nauchnyy mir Publ., 2001, pp. 183–194.

Received: 25 February 2015