



Прорывоопасность завально-оползневых озер Тянь-Шаня

С.А. Ерохин, В.В. Загинаев

*Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук
Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызстан, erochin@list.ru, zagavit@mail.ru*

Аннотация. Прорывы завально-оползневых озер водно-глинистой разновидности обычно протекают спокойно, не бывают катастрофическими, в отличие от прорывов водно-ледовых озер, так называемых, завально-оползневых озер каменных глетчеров, прорывы которых обуславливают формирование селевых потоков огромной мощности, представляющих большую угрозу, для жителей горных долин и подгорных равнин. В данной работе приведены данные о случаях прорывов завальных озер, образованных обычными водно-глинистыми оползнями, а также озер, образованных вследствие перекрытия долины водно-ледовых оползней каменных глетчеров на территории Кыргызстана (Тянь-Шань). Описана механика прорывного процесса и приведены примеры прорывов для обоих случаев.

Ключевые слова: завально-оползневые озера, прорывоопасность, каменные глетчеры, селевой поток, Кыргызстан, Тянь Шань

Ссылка для цитирования: Ерохин С.А., Загинаев В.В. Прорывоопасность завально-оползневых озер Тянь-Шаня. В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 6-й Международной конференции (Душанбе–Хорог, Таджикистан). Том 1. – Отв. ред. С.С. Черноморец, К.С. Висхаджиева. – Душанбе: ООО «Промоушн», 2020, с. 183–193.

The outburst hazard of the landslide-dammed lakes of the Tien Shan

S.A. Erokhin, V.V. Zaginaev

*Institute of Water Problems and Hydropower Energy, National Academy of Science of
Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan, erochin@list.ru, zagavit@mail.ru*

Abstract. Outburst floods from landslide-dammed lakes of a water-clay variety usually proceed quietly, are not catastrophic, unlike outbursts of water-ice lakes, the so-called landslide-dammed lakes of rock glaciers, the outbursts of which cause the formation of debris flows of great power, which pose a great threat to inhabitants of mountain valleys. This paper presents data on the cases of outbursts of landslide dammed lakes formed by ordinary water-clay landslides, as well as lakes formed as a result of the overlap of the valley of water-ice landslides of rock glaciers in Kyrgyzstan (Tien Shan). The mechanics of the outburst process are described and examples of outbursts for both cases are given.

Key words: landslide-dammed lake, outburst hazards, rock glaciers, debris flow, Kyrgyzstan, Tien Shan

Cite this article: Erokhin S.A., Zaginaev V.V. The outburst hazard of the landslide-dammed lakes of the Tien Shan. In: Chernomorets S.S., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 6th International Conference (Dushanbe–Khorog, Tajikistan). Volume 1. Dushanbe: “Promotion” LLC, 2020, p. 183–193.

Введение

Завально-оползневые озера образуются в горных долинах в случае перекрытия их от борта до борта мощными оползневыми завалами (рис. 1). Выше завала скапливается

вода, формируется ванна озера, которая постепенно заполняется по мере водопритока из верхних участков долины [Ерохин и Загинаев, 2016]. Плотины таких озер представлены рыхлообломочным оползневый материал с большим содержанием глинистых и пылеватых частиц, который является почти абсолютным водоупором, способным задержать всю поступающую из вышележащей части долины воду [Ерохин и Загинаев, 2017]. Поэтому в озерах этого подтипа почти нет подземного стока, а весь водоприток идет на пополнение объема озера, скорость роста которого зависит от расхода водопритока.



Рис. 1. Выше завала оползня из боковой долины, в долине Кайнома, на северо-западных предгорьях Ферганского хребта образовалось завально-оползневое озеро объемом около 300 тыс. м³. Фото С.А. Ерохина

Fig. 1. The landslide lake was formed above the landslide dam from the lateral Kainoma valley, on the north-western foothills of the Fergana range with a volume of about $300 \times 10^3 \text{ m}^3$. Photo by S.A. Erokhin

Объем таких озер может составлять от нескольких десятков тысяч до нескольких миллионов куб. метров. Так, по расчетам И.А. Торгоева объем завально-оползневого озера на участке Кургон-Джар в долине р. Кара-Ункур на момент его максимального наполнения 8 апреля 2018 г. составил 8,6 млн м³ [Торгоев, 2018]. Оползень-поток, из сильно разжиженной рыхлообломочной массы с большим содержанием глины, вышел из боковой левой долины в главную долину реки Кара-Ункур и заблокировал оползневый завалом высотой до 20-30 м. русло реки Кара-Ункур и всю ее современную пойму от борта до борта (рис. 2). Река была перекрыта на одни сутки, а затем, начался размыв плотинной перемычки по правому борту долины.

Объект исследования

Объектом исследования являются завально-оползневые озера, расположенные в горах Тянь-Шаня, на территории Кыргызской Республики (включая Северный и Западный Тянь-Шань). Всего по всей стране насчитывается порядка 38 завально-оползневых озер. Из них 23 озера расположены в южных областях Ошской (10 озер) и Джалал-Абадской (13 озер). 15 озер приходятся на северные области: Иссык-Кульская (5), Нарынская (3), Чуйская (7) [Ерохин и др., 2020].

Методика

Для понимания механики прорывов завально-оползневых озер, расположенных на территории Кыргызской Республики были изучены архивные материалы: отчеты полевых исследований, опубликованные статьи, аэрофотоснимки, а также фотоснимки с полевых работ и аэровизуальных обследований последних десяти лет.

Результаты

Объем каждого завально-оползневого озера нарастает до предела, определенного высотой гребня плотинной перемычки. В зависимости от величины притока период наполнения озера длится от нескольких часов до нескольких суток. По мере поступления воды уровень озера поднимается до гребня плотинной перемычки. На этом уровне из максимально наполненной ванны озера начинается перелив воды, в процессе которого формируется русло перелива.

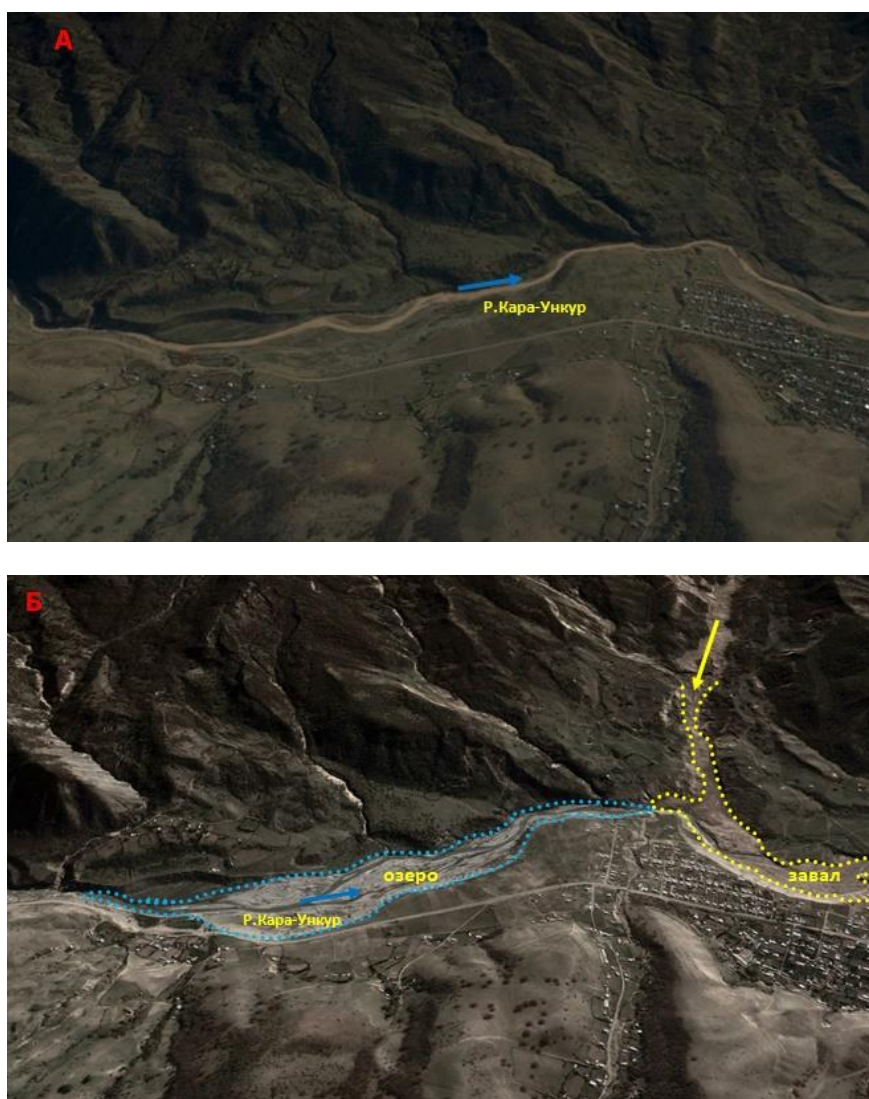


Рис. 2. Долина реки Кара-Ункур на участке Кургон-Джарю: А-до образования и прорыва завально-оползневого озера (съемка 1.11.2016); Б - после прорыва завально-оползневого озера (съемка 22.10.2017). Источник: Google Earth

Fig. 2. Valley of the Kara-Unkyur river in the Kurgon-Dzharyu area: A-before the formation and outburst of the dammed landslide lake (1.11.2016); Б - after the breakthrough of a landslide lake (22.10.2017). Source: Google Earth

Для озер завально-обвальных и завально-селевых период формирования русла перелива является самым прорывопасным. Так как, постепенное углубление русла на этих озерах переходит в лавинообразное увеличение его сечения. Происходит трансформация спокойного русла перелива в бурно развивающийся прорывной проран. Естественно ожидать, что и на завально-оползневых озерах будет происходить тот же процесс: внезапного размыва оползневой дамбы с формированием гидродинамической волны прорыва огромной разрушительной силы. Поэтому местные жители, которым угрожает затопление при прорыве оползневого озера, с помощью МЧС и других хозяйствующих организаций, искусственно углубляют это русло с целью сброса воды из озера и устранения угрозы его прорыва (рис. 3).

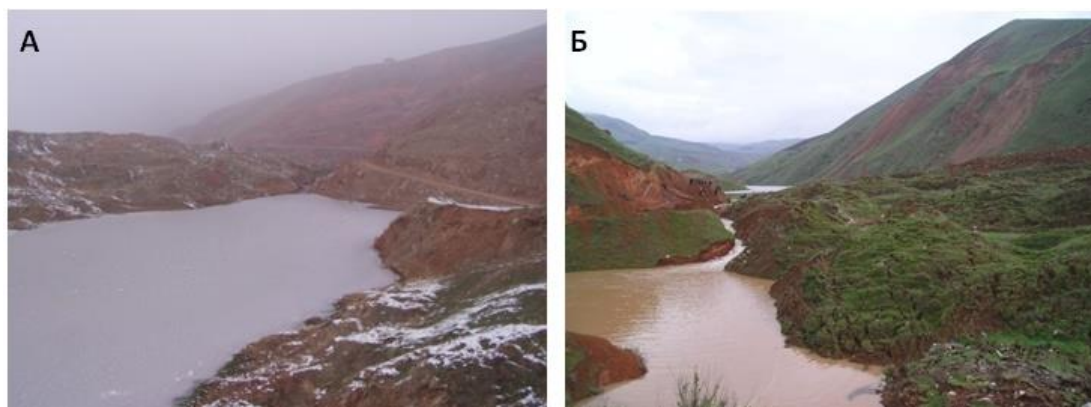


Рис. 3. В плотинах завально-оползневых озер искусственно устроены каналы поверхностного стока для сброса воды из озера и устранения угрозы его прорыва борта. А – озеро в долине реки Каратуз (Жалал-Абадская область); Б – озеро в долине реки Будалык (Ошская область). Фото Ерохина С.А.

Fig. 3. In dams of landslide lakes, surface runoff channels were artificially arranged to discharge water from the lake and eliminate the threat of its side outburst. A - lake in the Karatuz valley (Jalal-Abad region); B - lake in the Budalyk valley (Osh region). Photo by Erokhin S.A.

Однако перелив воды на плотинах завально-оползневых озер обычно не бывает катастрофическим. По крайней мере, не было еще отмечено случая, чтобы прорывной поток трансформировался в селевой с катастрофическими последствиями для населения. В результате прорыва крупных завально-оползневых озер, типа озера на участке Кургон-Джар в долине р. Кара-Ункур (см. рис. 2), образуются паводки с аномально высокими расходами, зона поражения которых не выходит за пределы речной поймы и первой надпойменной террасы. Но далеко не все завально-оползневые озера прорывают и дают паводки. Для прорыва необходимо, чтобы энергии потока перелива через плотинную перемычку было достаточно для эрозионного размыва отложений, слагающих плотину. Однако оползневые отложения являются весьма устойчивыми к эрозии, поэтому на многих обвально-оползневых озерах, типа озера в долине Кайнома (рис. 4), углубление русла перелива не происходит, так как водоток по этому руслу имеет столь незначительный расход, что его мощности не достаточно для размыва вязких глинистых оползневых отложений. Между притоком воды в озеро и стоком из него устанавливается равновесие, которое подкрепляется устойчиво стабильной глубиной русла перелива. Это равновесие может продолжаться сотни и даже тысячи лет, при условии, что величина расхода притока воды в озеро не будет превышать предела, при котором размывающая энергия водостока из озера будет выше эрозионной устойчивости оползневых отложений, слагающих плотину. Следовательно, нарушение равновесия может быть нарушено, если произойдет переполнение озерной ванны, вследствие приноса в неё больших объемов воды паводками или селевыми потоками.

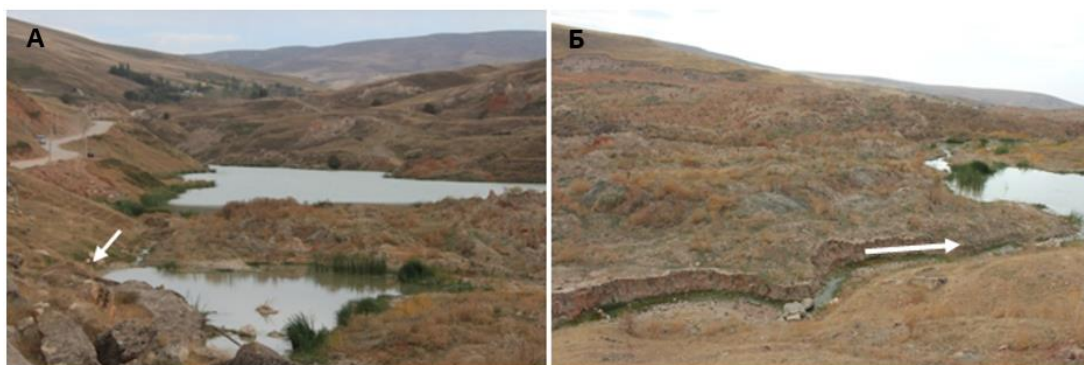


Рис. 4. Завально-оползневое озеро в долине Кайнома имеет поверхностный сток (А) через искусственный канал стока (Б). Углубление канала не наблюдается, так как энергии потока перелива недостаточно при расходе около 10 л/с (на момент обследования озера 12.09.2018) для размыва вязких оползневых отложений. Фото С.А. Ерохина

Fig. 4. Landslide-dammed lake has a surface runoff in the Kainoma valley (A) over an artificial runoff channel (B). Deepening of the channel is not observed, since the energy of the overflow is insufficient at a flow rate of about 10 l/s (September 12, 2018) for erosion of viscous landslide deposits. Photo by S.A. Erokhin

Таким образом, вышеприведенная информация позволяет сделать вывод о том, что завально-оползневые озера являются прорывоопасными при формировании русла поверхностного стока, в ближайшие часы после заполнения озерной ванны. В случае сохранения озера после формирования поверхностного стока его прорывоопасность понижается почти до нуля, так как вероятность моментального поступления в озеро больших объемов воды ничтожно мала.

Интереснейшей разновидностью озер завально-оползневого подтипа являются озера перигляциальной зоны с плотинами из столкнувшихся каменных глетчеров (рис. 5) боковых долин.



Рис. 5. Завально-оползневое озеро Джасылкель в верховьях долины реки Чон-Кемин, на стыке хребтов Кунгей-Алатау и Заилийский Алатау. Фото С.А. Ерохина

Fig. 5. Landslide lake Zhaysylkel in the the Chon-Kemin valley, at the connection of the Kungey-Alatau and Zailiyskiy Alatau ranges. Photo by S.A. Erokhin

Механизм движения каменных глетчеров – медленное оползание вниз по долинам, благодаря пластично-текучим свойствам погребенных и подземных льдов. Каменные глетчеры противоположных боковых долин, выползая навстречу друг другу, смыкаются на дне главной долины, как это произошло в верховьях долины Чон-Кемин на участке формирования озера Джасылкель (рис. 5). Благодаря водоупорным свойствам каменных глетчеров они могут удерживать талую ледниковую воду, из которой формируются озера, выше участка смыкания каменных глетчеров.

В отличие от обычных водно-глинистых оползней водно-ледовые оползни каменных глетчеров образуют плотины, внутри которых могут формироваться подземные каналы стока. Они обеспечивают некоторую долговечность озера, например озеро Джасылкель (рис. 5), однако в случае их закупорки неизбежен его прорыв. Поэтому озера каменных глетчеров, как и озера моренно-ледникового типа, являются прорывоопасными в период подземного стока из озера, и резко снижают свою прорывоопасность после формирования у них поверхностного стока. Достоверность этого заключения подтверждается результатами анализа прорыва озера Ортокель в долине реки Иссык-Ата на северном склоне Кыргызского хребта (рис. 6). В раннем голоцене каменные глетчеры из боковых так тесно сомкнулись своими языками на днище главной долины, что полностью перекрыли течение реки Иссык-Ата. Выше участка смыкания образовалось озеро Ортокель объемом до 6,5 млн м³.



Рис. 6. Завально-оползневое озеро Ортокель после прорыва стало проточным и непрорывоопасным. Фото С.А. Ерохина

Fig. 6. Ortokel landslide-dammed lake became flowing and non-dangerous after the outburst. Photo by S.A. Erokhin

Сток из озера на первом этапе его развития был подземным и достаточно интенсивным, чтобы не допустить перелива воды через гребень плотины. Образовалось равновесие между притоком воды в озеро и её оттоком через подземные каналы стока, поэтому период первого этапа развития был весьма длительным. Возможно несколько тысяч лет. Об этом говорят значительные (1-3 м) накопления озерного песка на дне ванны озера (рис. 7) и хорошо сохранившиеся пятна озерной супеси по её бортам (рис. 8), по которым фиксируется уровень максимального наполнения озера.



Рис. 7. Дно озера Ортокель покрыто мощным (1-3 м) слоем озерного песка. Фото С.А. Ерохина

Fig. 7. The bottom of Ortokel Lake is covered with a thick (1-3 m) layer of lake sand. Photo by S.A. Erokhin



Рис. 8. Уровень максимального наполнения озерной ванны фиксируется по хорошо сохранившимся пятнам озерной супеси на её бортах. Фото С.А. Ерохина

Fig. 8. The maximum level of the lake recorded by the well-preserved patches of lake sandy loam on its sides. Photo by S.A. Erokhin

Длительный период развития озера закончился его прорывом после смены подземного стока на поверхностный. Причиной прорыва мог стать моментальный приток в озеро большого объема воды или селевой суспензии, что привело к резкому подъему его уровня и формированию мощного потока перелива через гребень плотинной

перемычки. В процессе перелива образовался глубокий прорывной проран, через который стекла почти вся вода озера (рис. 9).

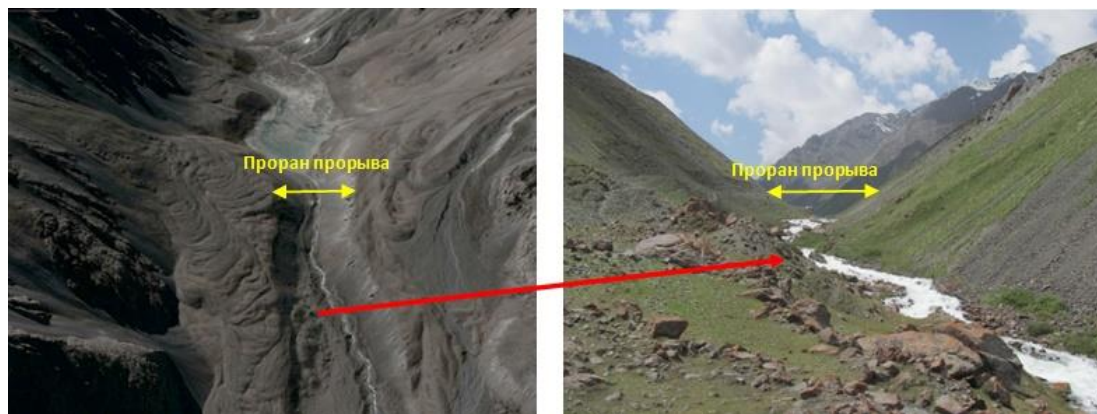


Рис. 9. В процессе перелива образовался глубокий прорывной проран, через который произошло опорожнение озера Ортокель. Фото С.А. Ерохина

Fig. 9. the deep outburst ravine was formed during the overflow, through which Ortokel Lake was outburst. Photo by S.A. Erokhin

После прорыва озеро стало проточным и не прорывоопасным. Его ванна заполняется водой эпизодически в половодье.

Прорыв этого крупного озера был катастрофически быстрым с формированием мощного прорывного потока расходом до 1-1,5 тыс. м³/сек. Это заключение подтверждается следующими фактами:

- 1) формирование длинного и глубокого, с V-образным поперечным сечением прорана прорыва озера (рис. 9 и 10);
- 2) образование обширного селевого конуса выноса в устье прорана прорыва озера, при его выходе в котловину нижележащего озера Аякель (рис. 10);

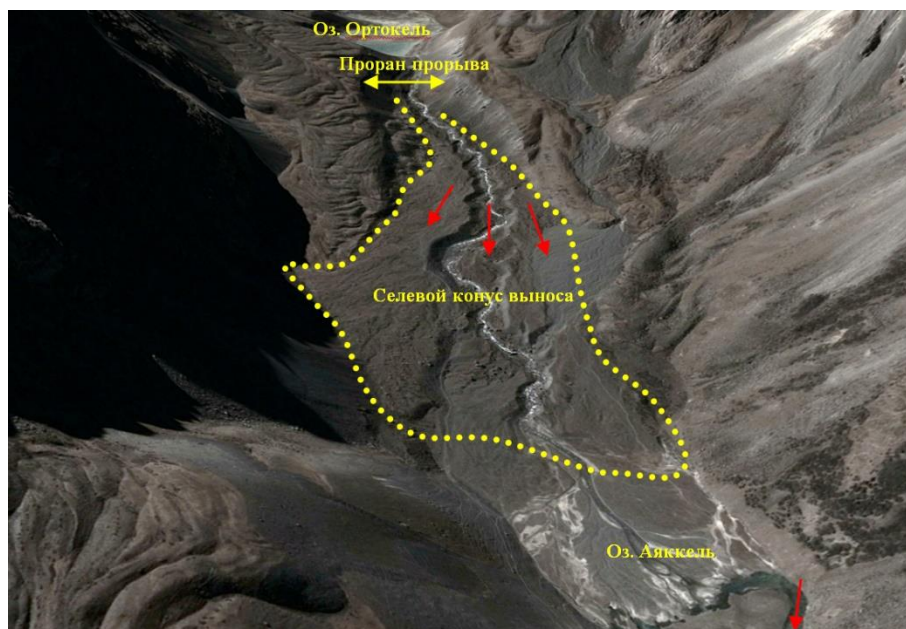


Рис. 10. В устье длинного и глубокого, с V-образным поперечным профилем, прорана после прорыва озера Ортокель образовался обширный селевой конус выноса. Источник: GoogleEarth

Fig. 10. An extensive debris flow fan was formed at the mouth of a long and deep ravine with a V-shaped transverse profile, after a outburst of the Ortokel Lake. Source: GoogleEarth

3) поток такой мощности не мог не трансформироваться в селевой поток ниже по долине. На пути своего движения он глубоко врезался в рыхлообломочные отложения днища долины Иссык-Ата, подрезал её борта, поэтому борта долины крутые, почти вертикальные, с высотой уступа подреза 20-30 м (рис. 11);



Рис. 11. Подрезанный селевым потоком левый борт долины Иссык-Ата. Высота уступов подреза 20-30м. Фото С.А. Ерохина

Fig. 11. The left side of the Issykata valley eroded by a debris flow. The height is 20-30m. Photo by S.A. Erokhin

4) селевой поток, образованный прорывным потоком озера Ортокель, был уникальным по своей мощности. На всем протяжении долины реки Иссык-Ата, до её слияния с рекой Туюк-Иссык-Атинский, он выпалал глубокий (3-10 м) и широкий (40-60 м) селевой лоток (рис. 12). Но даже в это большое сечение лотка селевая масса не вмещалась. Она была настолько велика, что выплескивалась за его пределы. Поэтому по берегам русла реки Иссык-Ата прослеживаются навалы селевого глыбово-каменного материала (рис. 13).

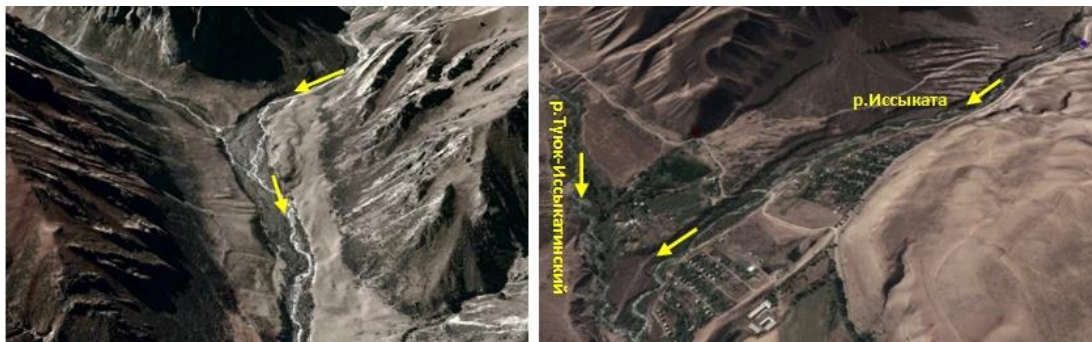


Рис. 12. На всем протяжении долины реки Иссык-Ата, после прорыва озера Ортокель, образовался селевой лоток с крутыми, почти вертикальными бортами, высотой 5-20 м. Источник: GoogleEarth

Fig. 12. a debris flow channel with steep vertical sides, 5-20 m high, was formed throughout the Issykata valley after the outburst of Ortokel Lake. Source: GoogleEarth



Рис. 13. Навалы и россыпи глыбово-каменного селевого материала по берегам русла реки Иссик-Ата. Источник: GoogleEarth

Fig. 13. Block-stone deposits of debris flow material along the banks of the Issykata River. Source: GoogleEarth

Образование селевого потока огромной мощности показывает уникальные, очень опасные, возможности прорывов завально-оползневых озер каменных глетчеров, так называемой водно-ледовой разновидности. Они представляют большую угрозу для жителей горных долин, в отличие от довольно спокойных прорывов завально-оползневых озер водно-глинистой разновидности.

Заключение

Из рассмотренных примеров прорывов завально-оползневых озер, следует, что наибольшую опасность для населения и территорий представляют прорывы из озер образованные вследствие оползания каменных глетчеров. Так как в завальном теле последних возможно появление подземных каналов, и как в случае с озером Джасылкель при последующей закупорке подземных каналов стока, возрастает угроза последующего прорыва.

Селевой поток, образованный прорывным потоком озера Ортокель, был уникальным по своей мощности. На всем протяжении долины реки Иссик-Ата, до её слияния с рекой Туюк-Иссыкатинский, он выпалал глубокий (3-10 м) и широкий (40-60 м) селевой лоток [Ерохин и др., 2020]. Но даже в это большое сечение лотка селевая масса не вмещалась, а выплескивалась за его пределы. По берегам русла реки Иссик-Ата прослеживаются навалы селевого глыбово-каменного материала. Настолько была велика селевая масса. Образование селевого потока огромной мощности показывает уникальные, очень опасные, возможности прорывов завально-оползневых озер водно-ледовой разновидности. Они представляют большую угрозу для жителей горных долин в отличие от довольно спокойных прорывов завально-оползневых озер водно-глинистой разновидности.

Поэтому изучению прорывоопасности завально оползневых озер необходимо уделить особое внимание и продолжать изучение в будущем.

Список литературы

- Ерохин С.А., Загинаев В.В. Технологии оценки прорыва типов моделей плотин горных озер и вызванных ими селевых георисков в Тянь-Шане. Современная техника и технологии в научных знаниях. Материалы докладов VIII Международной конференции молодых ученых и студентов. Бишкек, 2016. С. 118-124.
- Ерохин С.А., Загинаев В.В. Прогноз прорывоопасности горных озер Кыргызстана на основе их каталога. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории КР. Бишкек, МЧС КР, 2017. С. 627-639.
- Ерохин С.А., Чонтоев Д.Т., Загинаев В.В. Прорывоопасные озера Кыргызстана. Изученность, типизация, критерии оценки прорывоопасности, методика и рекомендации. Бишкек, 2020, 272 с.
- Торгоев И.А., Алёшин Ю.Г., Суеркулов К. Анализ оползневых факторов массовой активизации оползней в Кыргызстане в 2017 году. Научно-инженерный центр «ГЕОПРИБОР» НАН КР. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Издание пятнадцатое с изменениями и дополнениями. МЧС КР. 2018, с. 676-679.