

DEBRIS FLOWS: Disasters, Risk, Forecast, Protection

Proceedings
of the 7th International Conference

Chengdu, China, 23–27 September 2024



Edited by
S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC
Moscow
2024

СЕЛЕВЫЕ ПОТОКИ: катастрофы, риск, прогноз, защита

Труды
7-й Международной конференции

Чэнду, Китай, 23–27 сентября 2024 г.



Ответственные редакторы
С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева

ООО «Геомаркетинг»
Москва
2024

泥石流： 灾害、风险、预测、防治

會議記錄

第七届国际会议

中国成都, 2024年9月23日至27日



編輯者

S.S. Chernomorets, K. Hu, K. Viskhadzhieva

Geomarketing LLC

莫斯科

2024

УДК 551.311.8
ББК 26.823
С29

Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). – Ed. by S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva. – Moscow: Geomarketing LLC. 622 p.

Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 7-й Международной конференции (Чэнду, Китай). – Отв. ред. С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева. – Москва: ООО «Геомаркетинг», 2024. 622 с.

泥石流：灾害、风险、预测、防治。 會議記錄 第七届国际会议. 中国成都。 編輯者 S.S. Chernomorets, K. Hu, K.S. Viskhadzhieva. – 莫斯科: Geomarketing LLC. 622 p.

ISBN 978-5-6050369-6-8

Ответственные редакторы: С.С. Черноморец (МГУ имени М.В. Ломоносова), К. Ху (Институт горных опасностей и окружающей среды Китайской академии наук), К.С. Висхаджиева (МГУ имени М.В. Ломоносова).

Edited by S.S. Chernomorets (Lomonosov Moscow State University), K. Hu (Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS), K.S. Viskhadzhieva (Lomonosov Moscow State University).

При создании логотипа конференции использован рисунок из книги С.М. Флейшмана «Селевые потоки» (Москва: Географгиз, 1951, с. 51).

Conference logo is based on a figure from S.M. Fleishman's book on Debris Flows (Moscow: Geografgiz, 1951, p. 51).

© Селевая ассоциация

© Debris Flow Association



Радиоактивные сели в долине реки Майлуу-Суу (Кыргызстан)

И.А. Торгоев, Ю.Г. Алешин

*Научно-инженерный центр «Геоприбор» Национальной Академии наук, Бишкек,
Кыргызстан, isakbektor@mail.ru*

Аннотация. наибольшую угрозу для жизнедеятельности населения, функционирования объектов экономики и инфраструктуры в Кыргызстане представляют оползни, перекрывающие долины и ущелья горных рек. При разрушении оползневых перекрытий (плотин) часто возникает волна прорыва, устремляющаяся вниз в виде селевого потока. Подобные каскадные сценарии, связанные с оползнями и селями, особенно опасны тогда, когда в зону воздействия оползней и селей попадают радиоактивные хвостохранилища, как это неоднократно имело место в долинах рек Майлуу-Суу, Кичи-Кемин в Кыргызстане. Опасность разрушения таких хранилищ, размещенных в руслах и поймах рек, связана с тем, что волна прорыва оползневой запруды может трансформироваться в радиоактивный и/или токсичный селевой поток с загрязнением прилегающих территорий. В настоящее время нарастет риск разрушения урановых хвостохранилищ в среднем течении р. Майлуу-Суу, расположенных на противоположном берегу от оползня «Кой-Таш». Неизбежная разгрузка этого оползня объемом около 4 млн м³ в русло р. Майлуу-Суу может вызвать формирование оползневой запруды высотой до 20 м с подъемом уровня воды на 12 м выше основания дамб хвостохранилищ, расположенных на противоположном берегу. В статье дается оценка последствий размыва такой оползневой дамбы с возникновением волны прорыва, которая может трансформироваться в разрушительный селевой поток, чреватый трансграничным радиоактивным загрязнением долины в полосе до 15 м по обоим берегам и конуса выноса реки на территории соседнего Узбекистана. Для предотвращения риска разрушения хвостохранилищ при возможном каскадном сценарии, развития событий, вызванных обрушением оползня, разработан проект переноса наиболее уязвимых объектов на безопасный участок, в стороне от долины реки.

Ключевые слова: *оползни, оползневые дамбы, хвостохранилища, селевые потоки, радиоактивное загрязнение*

Ссылка для цитирования: Торгоев И.А., Алешин Ю.Г. Радиоактивные сели в долине реки Майлуу-Суу (Кыргызстан). В сб.: Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды 7-й Международной конференции (Чэнду, Китай). – Отв. ред. С.С. Черноморец, К. Ху, К.С. Висхаджиева. – М.: ООО «Геомаркетинг», 2024, с. 500–510.

Radioactive debris flows in the valley of the Mailuu-Suu River (Kyrgyzstan)

I.A. Torgoev, Yu.G. Aleshin

*Scientific and Engineering Center “Geopribor” of the National Academy of Sciences,
Bishkek, Kyrgyzstan, isakbektor@mail.ru*

Abstract. The greatest threat to the livelihoods of the population, the functioning of economic facilities and infrastructure in Kyrgyzstan are landslides that block the valleys and gorges of mountain rivers. When landslide ceilings (dams) are destroyed, a breakthrough wave often occurs, rushing down in the form of a debris flow. Such cascade scenarios associated with landslides and debris flows are especially dangerous when radioactive tailings fall into the zone affected by landslides and debris flows, as has repeatedly happened in the valleys of the Maily-Suu and Kichi-Kemin rivers in



Kyrgyzstan. The danger of destruction of such storage facilities located in river beds and floodplains is due to the fact that the wave of a breakthrough of a landslide dam can transform into a radioactive and/or toxic debris flow with contamination of adjacent territories. Currently, the risk of destruction of uranium tailings in the middle reaches of the river is increasing. Mailu-Suu, located on the opposite bank from the Koi-Tash landslide. The inevitable discharge of this landslide with a volume of about 4 million m³ into the river bed. Mailu-Suu can cause the formation of a landslide dam up to 20 m high with a rise in water level by 12 m above the base of the tailing's dams located on the opposite bank. The article assesses the consequences of the erosion of such a landslide dam with the occurrence of a breakthrough wave, which can transform into a destructive debris flow, fraught with transboundary radioactive contamination of the valley in a strip of up to 15 m on both banks and the river fan in the territory of neighboring Uzbekistan. To prevent the risk of destruction of tailings dumps in a possible cascade scenario, the development of events caused by the collapse of a landslide, a project has been developed to transfer the most vulnerable objects to a safe area, away from the river valley.

Key words: *landslides, landslide dams, tailings ponds, debris flows, radioactive contamination*

Cite this article: Torgoev I.A., Aleshin Yu.G. Radioactive debris flows in the valley of the Mailu-Suu River (Kyrgyzstan). In: Chernomorets S.S., Hu K., Viskhadzhieva K.S. (eds.) Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection. Proceedings of the 7th International Conference (Chengdu, China). Moscow: Geomarketing LLC, 2024, p. 500–510.

Введение

Горнопромышленный район Майлуу-Суу является особым районом Кыргызстана с точки зрения масштабов и интенсивности развития оползневых процессов. Здесь, на небольшой территории площадью около 100 км² насчитывается свыше 200 оползней различных типов, размеров, генезиса и возраста [Havenith H.-B. et al., 2006]. Крупномасштабные техногенные воздействия на слабоустойчивые горные склоны рассматриваемого района: подработка массива горных пород при подземной добыче урановой руды и угля; многолетняя эксплуатация нефтяных залежей; отбор подземных вод; подрезка склонов при сооружении транспортных коммуникаций и магистральных трубопроводов; пригрузка горных склонов горными отвалами, хвостохранилищами и инженерными сооружениями – все это вызвало необратимые изменения в геологической среде рассматриваемого района и стимулировало массовое развитие оползней [Торгоев, 2023], часть из которых показана на рис. 1б.

Наибольшую угрозу для жизнедеятельности в трансграничном водосборном бассейне р. Майлуу-Суу представляют оползни развивающиеся (возникающие) на склонах, приуроченных к бортам долины этой реки и ее притоков (рис. 1б), т.к. они могут породить многоступенчатые катастрофы, формирующиеся по следующей схеме: оползень (обвал) => перекрытие русла или => долины реки => образование подпруженного водоема (завального озера) => затопление долины => прорыв оползневой плотины => паводок или прорывной поток, часто трансформирующийся в селевой поток [Торгоев, 2023].

В большинстве случаев оползни и сели проявляются независимо друг от друга. Однако иногда, как например, в бассейне р. Майлуу-Суу между ними возникает парагенетическая связь, предопределяющая дальнейший ход процессов. В этом случае нередко источником возникновения селей являются оползневые отложения, которые служат источником их питания (твердой составляющей). Подобное возможно при продолжительных ливнях, которые доводят до насыщения рыхлые оползневые отложения на склонах, затем разжижают их и создают условия для текучести селевой массы.



Селевые паводки в районе г. Майлуу-Суу образуются чаще всего за счет ливневых дождей, отмеченных как в самой долине, так и в среднегорной зоне бассейна, в основном при суточной сумме атмосферных осадков не менее 30 мм в районах образования селевых паводков. В редких случаях они могут формироваться при небольших осадках в сочетании резким повышением температуры воздуха, приводящей к интенсивному таянию снега в высокогорной части бассейна.

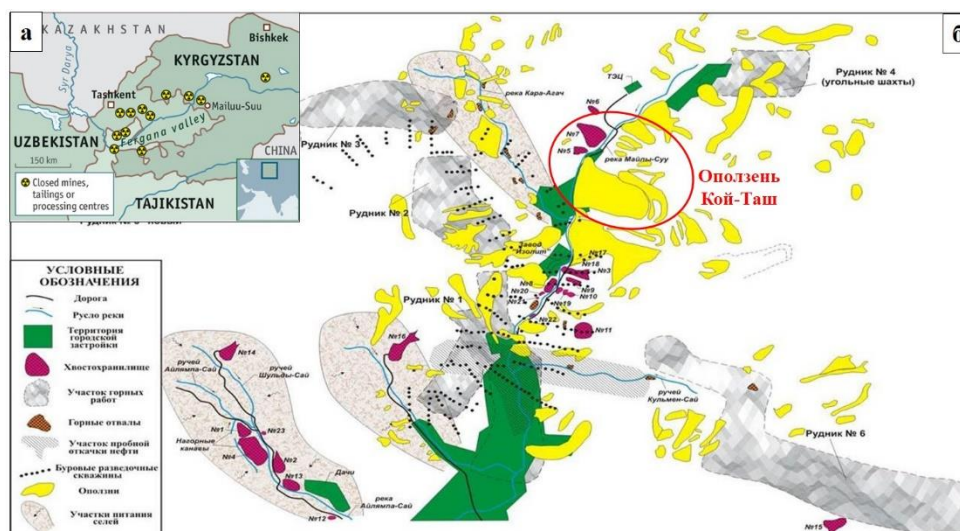


Рис. 1. Горнопромышленный район Майлуу-Суу в Кыргызстане: а – карта расположения объектов уранового наследия в бассейне реки Сырдарья с указанием г. Майлуу-Суу (Mailuu-Suu); б – карта хвостохранилищ и отвалов в среднем течении р. Майлуу-Суу, оказавшихся в оползне- и селеопасной зонах

Повторяемость паводков и селей по наблюдениям с 1917 г. в бассейне р. Майлуу-Суу составляет в среднем 1 раз в 1.5 года. Распределение селей во времени – крайне неравномерное: в отдельные годы отмечается прохождение до четырех-пяти паводков и грязевых потоков (например, в 1928 г. – три, в 1929 г. – пять, в 1930 г. – два, в 1958 г. – пять, в 2012 г. – семь), в то время как продолжительность периода без селей может составлять 5–7 лет, в течение которого происходит накопление твердого материала в бассейнах селевых логов. В результате работ по инженерно-геологическому районированию территории бассейна р. Майлуу-Суу, наиболее детально проведенных в среднем и нижнем течении реки, было установлено, что водо-селесборные бассейны основных притоков реки: Айлампасай, Сары-Бээ, Кугай, Келме-Сай, Ашваз, Карагач являются активными в селевом отношении за счет широкого распространения здесь оползней, оплывин и осовов [Торгоев, 2023].

Краткий обзор проблемы

Очень часто спровоцированные оползнями селевые потоки превосходят по своей разрушительной силе и ущербу инициирующее явление – оползень и/или землетрясение. В июле 1949 г. на территории Тянь-Шаня в Таджикистане, в окрестностях села Хаит произошло сильное землетрясение магнитудой $M = 7.4$, очаг которого располагался на глубине 20 км. Это землетрясение спровоцировало в эпицентральной зоне каменную лавину объемом около 80 млн m^3 , которая, обрушившись с высоты 2950 м, прошла расстояние более 6 км (рис. 2), похоронив под собой села Хаит и Кусурак с тысячами жителей [Havenith et al., 2013.]. Кроме этого, значительную часть оползней, возникших при этом землетрясении и его фор- и афтершоках, составили лессовые оползни в долине реки Ясман (рис. 2), которые трансформировались в массовый грунтовый поток, разрушивший 22 населенных пункта, в которых погибли 4000 жителей. Такой



разрушительный массивный поток возник в несколько этапов (рис. 2): во-первых, ко-сейсмическое разрушение неглубокого лессового покрова на крутых склонах (маленькие оранжевые стрелки) вызвало возникновение множества оползней; во-вторых, произошло слияние лессового материала в небольшие ориентированные с севера на юг долины оползни-потоки (большие оранжевые стрелки) с образованием плотин (оранжевые эллипсы) и небольших водоемов (маленькие голубые эллипсы) в основной долине, ориентированной на юго-запад; в-третьих, размыв нескольких оползневых плотин из лесса (эффект домино) способствовал формированию разрушительного селевого потока (длинные оранжевые и голубые линии и стрелки). Подобные факты свидетельствуют о том, что отличительной особенностью синергетических (многоступенчатых) процессов в горных ущельях является взаимоусиление негативных эффектов.

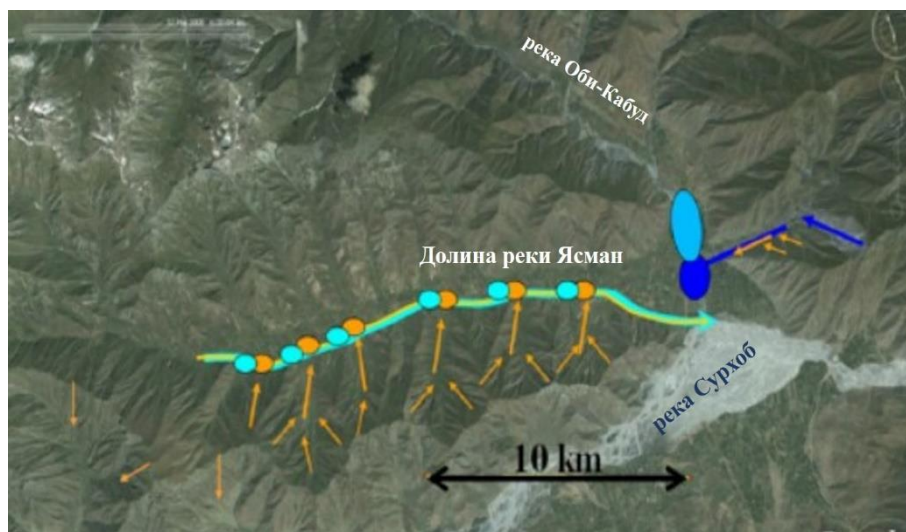


Рис. 2. Часть эпицентральной зоны Хаитского землетрясения 1949 г. ($M = 7,4$) с местонахождением каменной лавины Хаит (справа - движения отмечены темно-синими линиями) и Ясманский грунтовый поток (левая и центральная часть – движение лесса показано оранжевым цветом, грунтовый поток – голубой цвет). Предполагаемые временные водоемы, образовавшиеся после землетрясения, обозначены светло-голубыми эллипсами

Особая опасность развития подобных многоступенчатых сценариев, неоднократно имевших место в районе Майлуу-Суу, связана с тем, что в зоне затопления и/или в зоне распространения прорывных потоков и селей могут оказаться не только жилые застройки и объекты инфраструктуры, но и многочисленные урановые хвостохранилища [Aleshin et al., 2002], размещенные вдоль русла трансграничной р. Майлуу-Суу и ее притоков (рис. 1б). В апреле 1958 г. имела место катастрофическая авария на хвостохранилище № 7 в г. Майлуу-Суу, когда в результате неблагоприятного сочетания экстремальных атмосферных осадков и повышенной сейсмической активности весны 1958 г, была прорвана намывная дамба этого хранилища, высота которой составляла несколько десятков метров. В результате аварии в р. Майлуу-Суу 16 апреля 1958 г. было выброшено по разным оценкам от 200 до 600 тыс. м³ «хвостов» – мелкодисперсных отходов переработки урановых руд [Алешин, 2000]. Образовавшийся радиоактивный селевой поток с расходом 108 м³/с, прошедший по руслу реки, произвел большие разрушения в городе, в пределах первых надпойменных террас, вызвал десятки человеческих жертв. При массовом выбросе хвостов в реку поступило около 8 тонн урана и десятки граммов радия, которые содержались как в жидкой, так и в твердой фазах хвостов. Из-за этой аварии радиоактивные материалы, хранившиеся в хвостохранилище на площади 60 тыс. м², вызвали загрязнение долины реки в Кыргызстане и ее конуса выноса на территории Узбекистана общей площадью свыше 10 млн м², т.е. коэффициент синергического усиления составил почти 170. Последствия



этой и других аварий, связанных с оползневым разрушением хвостохранилищ, устранялись много лет, однако пятна загрязнения со следами урана, молибдена, кобальта, селена, свинца и мышьяка остались на конусе выноса реки до настоящего времени [Li et al., 2021].

Данные об оползневых плотинах в бассейне р. Майлуу-Суу

В долине р. Майлуу-Суу, на бортах которой развиты древние и современные оползни, перекрытия реки возникали на многих участках его русла, начиная с ее истоков (запрудное озеро Кутман-Куль), вплоть до среднего течения [Torgoev et al., 2004]. В среднем течении р. Майлуу-Суу большие оползневые дамбы наиболее часто формировались на участках левобережных оползней «Тектоник», «Кой-Таш» (рис. 1а).

Наиболее катастрофические последствия спровоцировал завал реки на участке оползня «Тектоник», произошедший 4 июля 1992 г. Обрушение склона на северном фланге оползня объемом $1,5 \times 10^6$ м³ продолжалось в течении 15 мин с начальной скоростью около 5 м/с, после чего смещение всей массы продолжалось еще 30 мин. Долина реки на заблокированном участке имеет трапециевидный профиль с достаточно широким дном (90 м), поэтому максимальная высота оползневой плотины не превышала 12 м, причем река начала переливаться через оползневую плотину на правом борту долины через несколько часов после перекрытия русла, постепенно размывая плотину [Torgoev, 2023]. Однако, несмотря на это и относительно небольшой расход воды в реке $Q \cong 20\text{--}25$ м³/с, глубина водоема превысила 6 м, а площадь затопления затронула двухэтажные жилые дома, промышленные здания и сооружения, транспорт и инженерные коммуникации в пойме реки в районе завода «Кыргызэлектроизолит» (бывший гидрометаллургический завод № 3 по извлечению урана). Общий ущерб от оползня и наводнения составил почти 40 млн долл. США. В мае 1994 г. в результате неоднократных подвижек южного языка оползня «Тектоник» возникла запруда в русле реки рядом с заводом, при размыве которой в движение волны прорыва были вовлечены мелкодисперсные радиоактивные материалы небольшого хвостохранилища № 17, размещенного непосредственно на левом берегу р. Майлуу-Суу.

В апреле 2017 г. произошла частичная разгрузка оползня «Кой-Таш» объемом свыше 2 млн м³ вниз по склону, в русло р. Майлуу-Суу, которая вызвала блокирование русла реки оползневой дамбой высотой до 10 м и протяженностью свыше 500 м (рис. 3б). Основной причиной смещения оползневых масс на участке «Кой-Таш» стало сильное увлажнение склона за счет аномально большого количества осадков, выпавших зимой и весной 2017 г. По данным наблюдений на гидрометеорологической станции «Ак-Терек», расположенной в 25 км восточнее Майлуу-Суу, в апреле 2017 г. в рассматриваемом районе выпало 310 мм осадков, что более, чем в 2 раза превышает среднемесячное количество осадков в апреле, составлявшее в 2008–2016 гг. 142 мм/месяц. Примечательно, что только за 21–22 апреля 2017 г., то есть непосредственно перед сходом оползня выпало 64 мм осадков, что более, чем в 10 раз превышает средний уровень суточного осадконакопления апреля месяца. Рекордное количество атмосферных осадков в апреле 2017 г. сопровождалось повышенным уровнем и расходом воды в р. Майлуу-Суу, что в свою очередь обусловило сильный подмыв основания склона Кой-Таш [Torgoev, 2023].

В результате блокирования русла реки в верхнем бьефе оползневой дамбы образовалось подпрудное озеро (рис. 3а, б), объем которого до прорыва дамбы составил по приблизительным оценкам около 800 тыс. м³ при паводковом расходе воды в р. Майлуу-Суу, равном 30 м³/с. Накопление воды в подпруженном водоеме вызвало затопление основания удерживающих дамб урановых хвостохранилищ № 5, 7 (рис. 3б). После переполнения подпрудного озера, примерно через 20 ч после блокирования реки начался поверхностный размыв оползневой дамбы за счет перелива воды по ее правому берегу, где высота оползневой дамбы была ниже. В результате размыва дамбы по правому борту долины произошло смещение русла реки в сторону поселка Южный Карагач и затопление близкорасположенных к реке жилых строений и хозяйственных



построек (рис. 3в), разрушение новой правобережной автодороги Майлуу-Суу – Сары-Бээ (рис. 3б).

Таким образом, многократное повторение процессов перекрытия русла р. Майлуу-Суу на участке оползней Тектоник, Кой-Таш, в долинах р. Ашваз, Бедре-Сай сопровождалось возникновением временных подпрудных озер (водоемов). При переполнении этих водоемов происходил размыв оползневых запруд, сложенных рыхлыми отложениями оползней, с трансформацией волны прорыва в наносоводные и грязевые селевые потоки.



Рис. 3. Последствия оползневого блокирования р. Майлуу-Суу при обрушении оползня Кой-Таш 22 апреля 2017 г.: а – общий вид склона, оползневой дамбы и подпрудного озера; б – затопление основания удерживающей дамбы хвостохранилища № 5 и разрушенная новая автодорога; в – проран по правому борту долины р. Майлуу-Суу

Моделирование зоны затопления и селевого потока при разгрузке оползня «Кой-Таш»

Геофизические исследования оползня Кой-Таш, выполненные нами в 2022 г., позволили установить, что в настоящее время объем неустойчивой части склона составляет около 4 млн м³ (рис. 4). Нарастание объема неустойчивых грунтов, а также пониженное значение запаса устойчивости склона по сравнению с 2017 г. можно объяснить следующими причинами:

- из-за наличия серии глубоких трещин в верхней части потенциально неустойчивого участка склона состояние и структура массива грунтов и пород хуже, чем до обрушения склона в 2017 г. К тому же вероятность повторного смещения неустойчивых масс усугубляет отсутствие механического упора в средней части склона (рис. 4);
- физико-механические характеристики пород и грунтов сместившейся массы оползня намного ниже по сравнению с прочностными характеристиками до разгрузки (схода) оползня в апреле 2017 г., что обуславливает снижение запаса устойчивости.

В случае повторной разгрузки оползня «Кой-Таш» с прогнозируемым объемом 3–4 млн м³ неизбежно оползневое блокирование русла р. Майлуу-Суу высотой до 20 м протяженностью по руслу до 400 м с формированием подпруженного водоема, в зоне затопления которого могут оказаться хвостохранилища № 5, 7, расположенные на правом берегу. Моделирование различных сценариев затопления в верхнем бьефе



оползневой плотины и при прорыве дамбы осуществлялось на основе высокоточной цифровой модели рельефа (ЦМР), созданной с использованием стереопар аэрофотоснимков масштаба 1:33 000, сделанных в 2019 г. [Torgoev, 2010]. Автоматическое построение ЦМР осуществлялось с помощью программной платформы ERDAS Imagine v. 8.6, дальнейшая постобработка и уточнение выполнялись с использованием PCI Geomatica 8.0 Orthoengine. Финальная версия ЦМР имела размер пикселя 5×5 м. Зоны затопления в верхнем бьефе были построены с помощью расширения ArcGIS 9.2 Spatial Analyst. Основные результаты моделирования зоны затопления в случае разгрузки оползня Кой-Таш представлены в таблице 1, а на рис. 5 показаны контуры наиболее вероятной зоны затопления в верхнем бьефе оползневой дамбы, в которой могут оказаться урановые хвостохранилища № 5, 7.



Рис. 4. Результаты моделирования оползневой дамбы в случае разгрузки оползня Кой-Таш: высота оползневой дамбы в русле р. Майлуу-Суу в апреле 2017 г. не превышала 10 м; при повторной разгрузке оползня объемом около 4 млн м³ высота возможной дамбы может достигнуть 20 м

Таблица 1. Параметры зоны затопления при различных сценариях блокирования русла р. Майлуу-Суу оползневой дамбой на участке Кой-Таш

Высота оползневой дамбы, м	Объем воды в водоеме, м ³	Время наполнения водоема до перелива		
		Минимальное (расход реки – 19 м ³ /с)	Среднее (расход реки – 9,01 м ³ /с)	Максимальное (расход реки – 4,53 м ³ /с)
10	170373	2,5 ч	5,3 ч	10,4 ч
20	1147747	156,8 ч	1,5 сут	2,9 сут
30	3573860	2,2 сут	4,2 сут	9,1 сут

Таким образом, по нашим оценкам, весьма вероятно, повторное обрушение склона объемом около 4 млн м³, в результате которого долина р. Майлуу-Суу будет заблокирована оползневой дамбой протяженностью по руслу около 400 м и высотой до 20 м. Это может вызвать формирование в верхнем бьефе оползневой дамбы подпруженного водоема объемом около 1,15 млн м³ с подъемом уровня воды на 12 м выше основания дамбы хвостохранилища № 5 и на 8 м выше основания дамбы хвостохранилища № 7 (рис. 5).

Неизбежное обводнение намывных секций дамбы хвостохранилищ № 5,7 при их затоплении может, во-первых, обусловить их обильное водонасыщение, которое, в свою очередь, может привести к снижению и потере их устойчивости и разжижению «хвостов», особенно при землетрясении, которое может послужить триггерным механизмом обрушения дамбы, как это имело место при аварии в апреле 1958 г.

При прорыве оползневой дамбы, который скорее всего произойдет по сценарию перелива воды и постепенного размыва ее тела, высока вероятность вовлечения в волну



прорыва мелкодисперсных хвостов с ее трансформацией в радиоактивный селевой поток, который распространится вниз по течению реки.

При гидродинамическом моделировании прорыва был выбран наиболее вероятный сценарий разрушения оползневой дамбы за счет перелива с образованием прорана на участке с минимальной высотой плотины, наиболее часто наблюдавшийся в долине р. Майлуу-Суу (рис. 3б). Для выполнения гидравлических расчетов использовалась программа HEC-RAS с пакетом HEC-GeoRAS, которые позволили выполнить одномерные расчеты установившегося и нестационарного потока. При гидравлических расчетах использовался максимально вероятный расход р. Майлуу-Суу, соответствующий событиям с периодом повторяемости 100 лет (вероятность 1%), который составил $169 \text{ м}^3/\text{с}$. Максимальный зарегистрированный расход, обусловленный прорывом дамбы хвостохранилища № 7, был зафиксирован в апреле 1958 г. значением $Q = 108 \text{ м}^3/\text{с}$. Результаты моделирования, представленные в графическом виде на рис. 6, показали, что прорывной поток распространится вниз по течению реки в полосе до 15 м по обоим берегам.

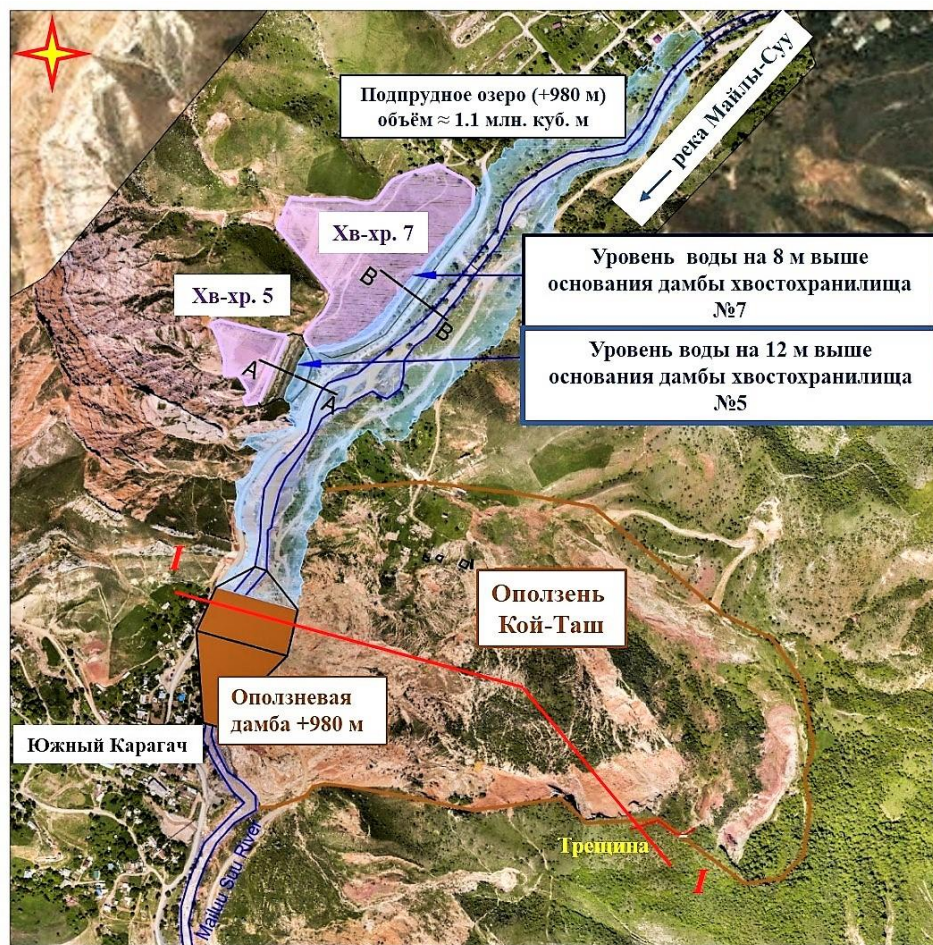


Рис. 5. Результаты моделирования зоны затопления (голубая заливка) на участке оползня Кой-Таш (коричневый контур) в случае формирования оползневой дамбы высотой 20 м; красная линия I-I – генеральный профиль склона для расчетов устойчивости (см. рис. 4)

При распространении прорывного потока по руслу р. Майлуу-Суу могут быть размывы хвостохранилища № 8, 18, расположенные непосредственно в пойме реки (рис. 6б), на расстоянии 2 км ниже хвостохранилища № 7. При таком сценарии в движение селевого потока, вызванного размывом оползневой дамбы, дополнительно будут вовлечены материалы этих хвостохранилищ объемом еще около 100 тыс. м^3 . Следовательно, общий объем сильно увлажненных мелкодисперсных радиоактивных



материалов, вовлеченных в разрушительное движение радиоактивного селя может достигнуть 1 млн м³ [Торгоев, 2023].

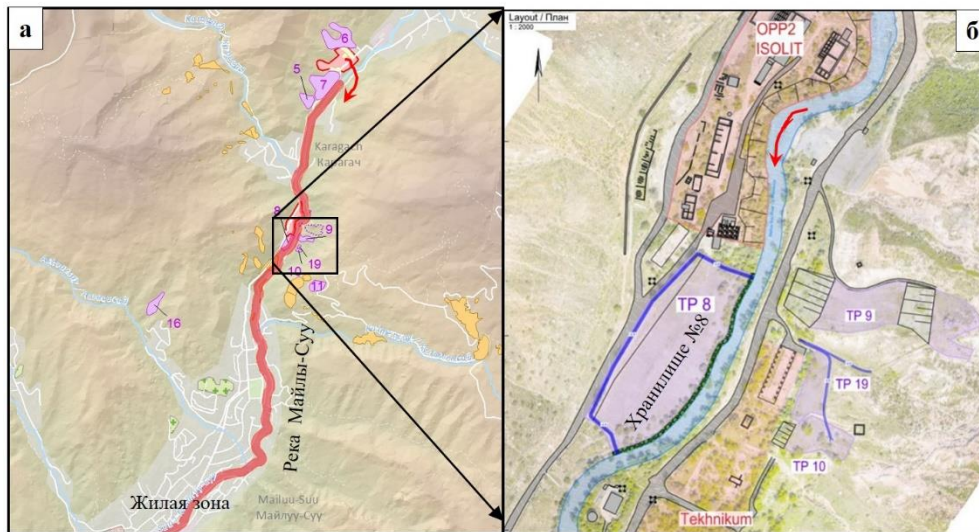


Рис. 6. Распространение радиоактивного селевого потока при размыве оползневой дамбы и обрушении хвостохранилищ № 5, 7, 8: а – зона распространения радиоактивного селя (красная линия) по долине р. Майлуу-Суу; б – воздействие селевого потока на вдольрусловое хвостохранилище № 8. Цифрами и индексами TP показаны урановые хвостохранилища, размещенные в долине реки

Выводы и рекомендации

Результаты моделирования и оценки рисков, связанных с возможной разгрузкой оползня «Кой-Таш» в русло и пойму р. Майлуу-Суу, показывают, что описываемый селевой поток, обогащенный мелкодисперсными материалами урановых хвостохранилищ объемом до 1 млн м³, может вызвать радиоактивное загрязнение донных отложений и поймы реки Майлуу-Суу в полосе до 15 м по обоим берегам. В конечном итоге высокий риск гидродинамической волны прорыва оползневой дамбы на рассматриваемом участке оползня Кой-Таш и разрушение хвостохранилищ № 5, 7, 8, 18 может трансформироваться в радиоактивное трансграничное загрязнение долины р. Майлуу-Суу на территории Кыргызстана и конуса выноса р. Майлуу-Суу на территории соседнего Узбекистана. По оценкам специалистов компании WISUTEC (Германия), долгосрочные дозы для населения из-за распространения радиоактивных хвостов из хранилищ № 5, 7, 8, 18 могут составить до 20 мЗв/год.

В этой связи для предотвращения риска обрушения этих хвостохранилищ при описанных выше оползневых и селевых сценариях развития событий и их вторичных проявлениях (блокирование русла реки, затопление хвостохранилищ, прорыв оползневого перекрытия, гидродинамическая волна прорыва и т.д.) нами было рекомендовано удалить указанные хвостохранилища из поймы р. Майлуу-Суу с переносом хвостовых материалов, содержащихся в этих хранилищах, на безопасный участок.

Ликвидация хвостохранилищ из поймы р. Майлуу-Суу необходима еще по следующим соображениям. Как отмечалось выше, в истоках этой реки имеется завальное озеро Кутман-Куль, которое образовалось в результате перекрытия долины р. Чон-Керей, древней каменной лавиной объемом около 75–77 млн м³, возможно спровоцированной сильным землетрясением, произошедшим несколько тысяч лет назад. Озеро имеет продолговатую форму (рис. 7), оно вытянуто с юго-запада на север-восток, длина озера составляет 1500 м, максимальная ширина – 425 м, площадь акватории 0,496 км², площадь водосборного бассейна – 36,5 км², максимальная глубина 20,4 м, средняя глубина 9,8 м, объем воды 4,8 млн м³.

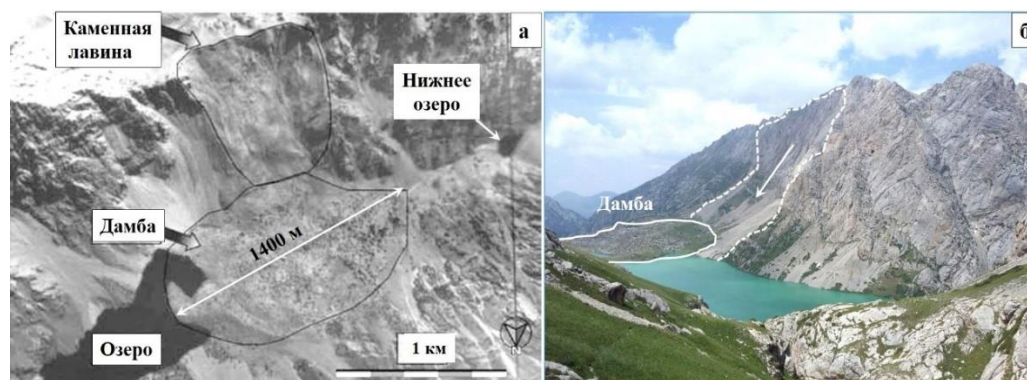


Рис. 7. Завальное озеро Кутман-Куль в истоках р. Майлуу-Суу: а – аэрофотоснимок обрушенной части склона – источника каменной лавины, оползневой плотины и самого озера по состоянию в 1998 г.; б – вид на склон и обвальную-оползневую плотину озера со стороны притока Чон-Керей

В 2010 г. было выполнено рекогносцировочное обследование оползневой плотины озера Кутман-Куль и оценка ее устойчивости [Ruse et al., 2020]. Главной целью этих работ являлась оценка потенциальной опасности для урановых хвостохранилищ, расположенных в окрестностях г. Майлуу-Суу, при возможном прорыве или обрушении оползневой плотины оз. Кутман-Куль. По результатам этих работ было сделано предположение о том, что возможен сценарий переполнения оз. Кутман-Куль за счет процессов, вызванных изменением климата (деградация оледенения, экстремальные осадки и т.п.). Потенциальное переполнение ванны озера может возникнуть из-за избытка поступающей в озеро воды и ограничения оттока путем блокирования подземных водоводов. Наряду с этим переполнение озера с возникновением волны перелива может произойти при обрушении в чашу озера обвалов или оползней с прилегающих склонов. Не исключено, что при указанных сценариях и/или их сочетании может сформироваться селевой поток, способный разрушить урановые хвостохранилища, размещенные в среднем течении р. Майлуу-Суу с катастрофическими экологическими последствиями, описанными выше.

В общем вероятность разрушения того или иного хвостохранилища в тот или иной момент времени зависит от влияния неконтролируемой эрозии, воздействий затопления, оползней, селей, землетрясений и нарушения структурной устойчивости в течение срока службы объекта. Согласно международным рекомендациям МАГАТЭ, срок безопасной службы хранилищ радиоактивных отходов, размещенных на поверхности земли, должен составлять от 200 до 1000 лет после их рекультивации с учетом конкретных требований к объекту.

Таким образом, необходимость реализации неотложных мер по исправлению ситуации в первую очередь относится к большим хвостохранилищам № 5, 7, 8 расположенным в непосредственной близости от реки. По указанным соображениям принято решение и разрабатывается проект по переносу этих хвостохранилищ на безопасный по нормам МАГАТЭ участок хвостохранилища № 15, которое расположено на удалении 10 км от долины реки и города Майлуу-Суу.

Список литературы

- Алешин Ю.Г., Торгоев И.А., Лосев В.А. Радиационная экология Майлуу-Суу. Бишкек: ИЛИМ, 2000. – с. 83–88
- Торгоев И.А. Оползневые процессы и риски на территории Кыргызстана. Бишкек: ОсОО OretaGroup, 2023. – 548 стр.
- Торгоев И.А., Алешин Ю.Г., Червонцев П.Г. Урановые хвостохранилища Майлуу-Суу: решение геоэкологических проблем. // Сергеевские чтения. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы утилизации и захоронения отходов. Выпуск 7 / Материалы



- годовой сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии, и гидрогеологии (23 марта 2005г.). Москва: ГЕОС, 2005. – с. 67–72
- Aleshin U.G., Torgoev I.A. Shmidt G. Environmental Risk Management at Uranium Tailing Ponds in Mailuu-Suu, Kyrgyzstan // Uranium in the aquatic environment, Freiberg, Germany, Merkel, Planer, Friedrich and Wolkersdorfer (eds), Springer. 2002, pp. 881–888.
- Havenith H.-B., Abdrakhmatov K., Torgoev I. et al. Earthquakes, landslides, dams and reservoirs in the Tien Shan, Central Asia // In Margottini C., Canuti P. and K. Sassa (Eds.), Landslide science and Practice, vol. 6. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2013 – pp 27–31.
- Havenith H.B., Torgoev I., Meleshko A. et al. Landslides in the Mailuu-Suu valley, Kyrgyzstan – hazards and impacts // Journal Landslides. Vol 3 No.2. 2006 – pp 137–1477.
- Li, F.; Torgoev, I.; Zaredinov, D.; Li, M.; Talipov, B.; Belousova, A.; Kunze, C.; Schneider, P. Landslide-Induced Mass Transport of Radionuclides along Transboundary Mailuu-Suu River Networks in Central Asia. Remote Sensing. 2021, Vol. 13, Issue 4. 698. <https://doi.org/10.3390/rs13040698>.
- Ruse M.E., Hearn G.J., Erokhin S.A., Sibagatulin V.R. Assessment of the Kutman Kul landslide dam, Kyrgyz Republic // Geologically Active, Proceedings of the 11th IAEG Congress. Auckland, New Zealand, 2010. – pp 1391–1398
- Torgoev A.D., Havenith H.-B. GIS-Based modeling of upstream flooding areas for the case of landslide damming of river // Proceedings of the Fourth Central Asia GIS Conference – GISCA'10 “Water: Life, Risk, Energy and Landuse”, Bishkek, 27–28 May, 2010 – pp 60–64
- Torgoev I.A., Aleshin Yu.G. Ecological Risk in Territory Uranium Tailing of Kyrgyzstan // Environmental Protection against Radioactive Pollution: N. Brisen and K.K. Kadyrzanov (eds), Kluwer Academic Publ. 2003. – pp. 57–44.
- Torgoev I.A., Aleshin Y.G., Meleshko A.V., Havenith Y.-B. Hazard mitigation for landslide dams in Mailuu-Suu // Italian Journal of Engineering Geology an Environment (Special Issue on Security of Natural and Artificial Rockslide Dams NATO ARW, Bishkek (Kyrgyzstan), 2004. – pp 99–102.