

УДК 627.127:539.3

РИСК АКТИВИЗАЦИИ ОПОЛЗНЕЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КАМБАРАТИНСКОЙ ГЭС-1

И.А. Торгоев, Ю.Г. Алёшин

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР

Статья посвящена оценке оползневого риска, связанного с предстоящим строительством и эксплуатацией основных сооружений Камбаратинской ГЭС-1 (КГЭС-1). Крупные оползни могут вызвать разрушение высотной насыпной плотины с катастрофическими последствиями.

Ключевые слова: плотина, водохранилище, оползни, землетрясения.

КАМБАРАТА ГЭС-1 КУРУЛУШ АЙМАГЫНДАГЫ ЖЕР КӨЧКҮНҮН КОРКУНУЧУ

И.А. Торгоев, Ю.Г. Алёшин

КР УИА Геомеханика жана жер казынасын өздөштүрүү институту

Макала Камбар-Ата ГЭС-1 (КГЭС-1) алдыдагы курулушу жана эксплуатациясы менен байланышкан жер көчкү коркунучун баалоого арналган. Ири көчкүлөр дамбанын бузулушуна алып келиши мүмкүн.

Баштапкы сөздөр: дамба, суу сактагыч, жер көчкү, жер титирөө.

RISK OF LANDSLIDES ACTIVATION DURING THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF KAMBARATA HPP-1

Torgoev I., Aleshin Y.

Institute of Geomechanics and mining of NAS KR

The paper is devoted to the assessment of landslide risk associated with the upcoming construction and operation of the main structures of the Kambarata hydroelectric power station-1 (KHPP-1). Large landslides can cause dam failure with catastrophic consequences.

Key words: dam, reservoir, landslides, earthquakes.

Строительство гидроузла КГЭС-1 по проекту, разработанному в 2014 году канадско-российским консорциумом SNC-Lavalin International Ltd. и ОАО «ЭНЕКС» [1], намечено в Карабашском створе (ущелье) (рис.1). В состав гидроузла входят следующие основные сооружения (рис.1): плотина камне-набросного типа с гребнем на высоте 1200 м, здание ГЭС, водоприёмник и туннели энерговодосбросного тракта, четыре строительно-эксплуатационных водосброса для четырёх турбин, три транспортных туннеля, объекты инфраструктуры и водохранилище [1].

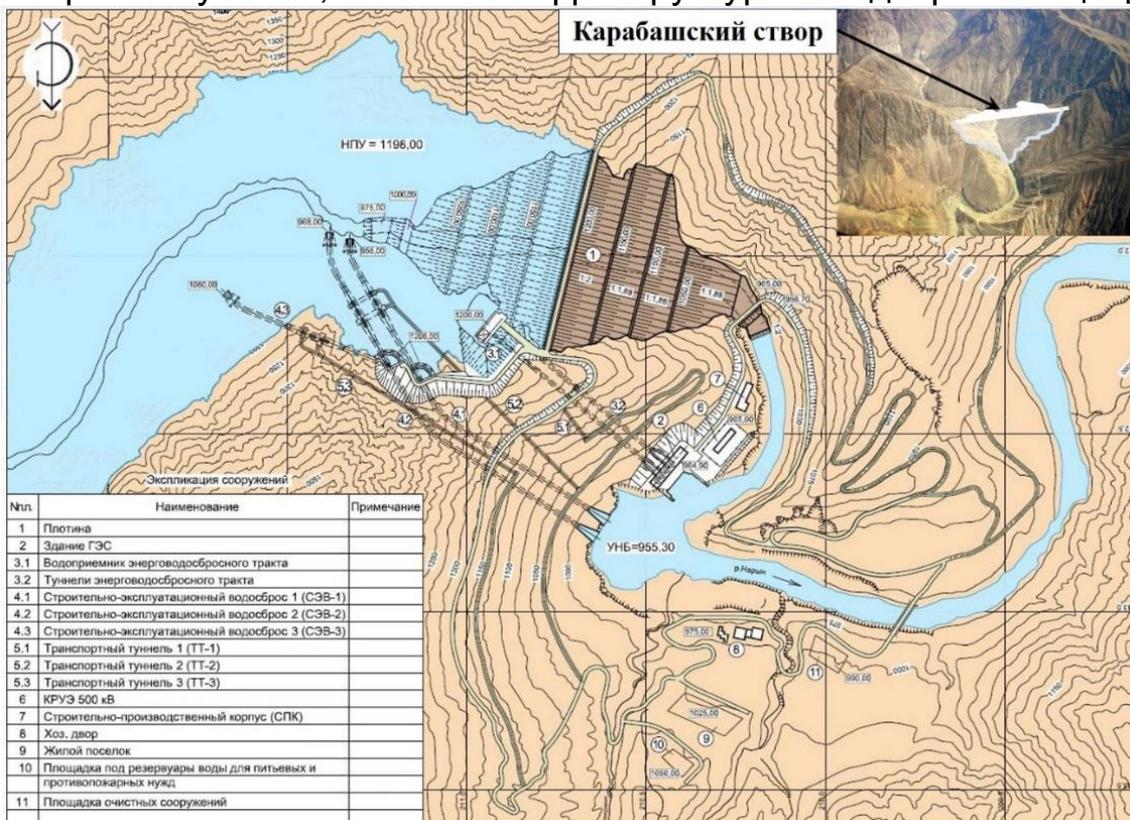


Рис.1. Генеральный план КГЭС-1: на врезке показан Карабашский створ плотины [1]

Водоохранилище объемом 4,65 млрд. м³ (полезный объём 3,43 млрд. м³) и НПУ-1198 м будет осуществлять сезонное регулирование стока р. Нарын в интересах энергетики, компенсируя снижение зимней энергоотдачи ГЭС, работающих по ирригационному режиму. Площадь водохранилища при длине в 60 км составит 62,7 км².

В районе строительства плотины КГЭС-1 и акватории его будущего водохранилища проявляется ряд потенциально опасных эндогенных и экзогенных геологических процессов [2-4], которые могут отрицательно повлиять на устойчивость сооружений КГЭС-1 и безопасность эксплуатации Камбаратинского гидроузла и Нижне-Нарынского каскада ГЭС. К числу наиболее опасных факторов риска, перечисленных опасных процессов относятся:

-высокая вероятность повторения землетрясений с магнитудой $M \geq 7,5$ (по шкале Рихтера) сейсмической интенсивностью 9-10 баллов;

-повышенная активность оползней, обвалов, каменных лавин [3,4] объёмами в десятки и более млн. м³ (рис.2);

-высокая скорость современных горизонтальных движений земной коры, составляющая в рассматриваемом районе около 10-12 мм/год.

К этому следует добавить и то, что створы КГЭС-1 и КГЭС-2 располагаются непосредственно в активной Нарыно-Сонкульской зоне разломов, в которой могут происходить сильные землетрясения, сопровождающиеся значительными – в метры подвижками по основным и оперяющим разломам, оползнями и обвалами. Наибольшую опасность для сооружения КГЭС-1 представляют землетрясения с эпицентром вблизи плотины.

С момента утверждения проекта Камбаратинских ГЭС в 1988 г. прошло более 30 лет. За этот период времени поблизости от плотины КГЭС-1 в августе 1992 г. произошло Сусамырское землетрясение с магнитудой $M_s = 7.5$, с интенсивностью в эпицентре 9,5-10 баллов по шкале MSK-64. Это сейсмическое событие по размерам очага и выделенной энергии стало одним из сильнейших, наряду с Чаткальским землетрясением 1946 г. за весь период инструментальных наблюдений в Кыргызстане. В результате этого разрушительного землетрясения, эпицентр которого располагался в 35 км север-северо-восточнее створного участка плотины КГЭС-1 возникли различные типы нарушений земной поверхности: многочисленные трещины отрыва и отседания склонов, оползни, камнепады, каменные лавины и обвалы горных масс, флексуорообразные сейсмоуступы, просадки и провалы грунта, грязевые выбросы и т.п.

Высотная насыпная плотина КГЭС-1 будет возводиться в Карабашском ущелье (рис.1), прорезанном рекой Нарын в воздымающемся тектоническом блоке, сложенном комплексом докембрийских и нижнепалеозойских отложений, прорванных силурийскими гранитами. С севера этот блок ограничен так называемым "Южным" разломом, входящим в Нарыно-Сонкульскую зону разломов (НСЗР), а с запада – ответвляющимся от Южного разлома Ак-Терекским надвигом юго-западного простирания, по которому силурийские граниты взброшены на конгломераты неогена с амплитудой вертикального смещения ~1 км. Еще один разлом (так называемый "Серповидный"), разделяющий докембрийские и каменноугольные отложения, причленяется к "Южному" северо-восточнее участка створа.

Следует отметить, что активная НСЗР, является местом сочленения 2-х противоположно направленных тектонических нарушений: Таласо-Ферганского глубинного разлома и так называемой «линии Николаева». Крупнейший на Тянь-Шане Таласо-Ферганский разлом протяжённостью 500 км проходит в 30 км к юго-западу от участка створа плотины КГЭС-1. Это тектоническое нарушение, представляющее собой долгоживущий правосторонний сдвиг глубиной до 70 км, рассматривается

сейсмологами, как одна из потенциально наиболее опасных сейсмогенерирующих структур всего Тянь-Шаня.

По указанным причинам рассматриваемая Нарыно-Сонкульская зона разломов характеризуется напряженной геодинамической обстановкой - сложным напряженно-деформированным состоянием массива горных пород и как следствие, здесь наблюдается массовое развитие гигантских и крупных оползней и обвалов, показанных на рис.2. К их числу относятся два уникальных провала – Джузумду и Кызылкель [2,3]. На рис.2 показаны контуры кальдеры обрушения Кызылкель, представляющей собой тектонический провал с крутыми бортами глубиной от 250 до 700 м и относительно плоским дном, который, скорее всего, образовался в результате карстового провала, вызванного землетрясением с магнитудой $M \geq 8$ по шкале Рихтера.

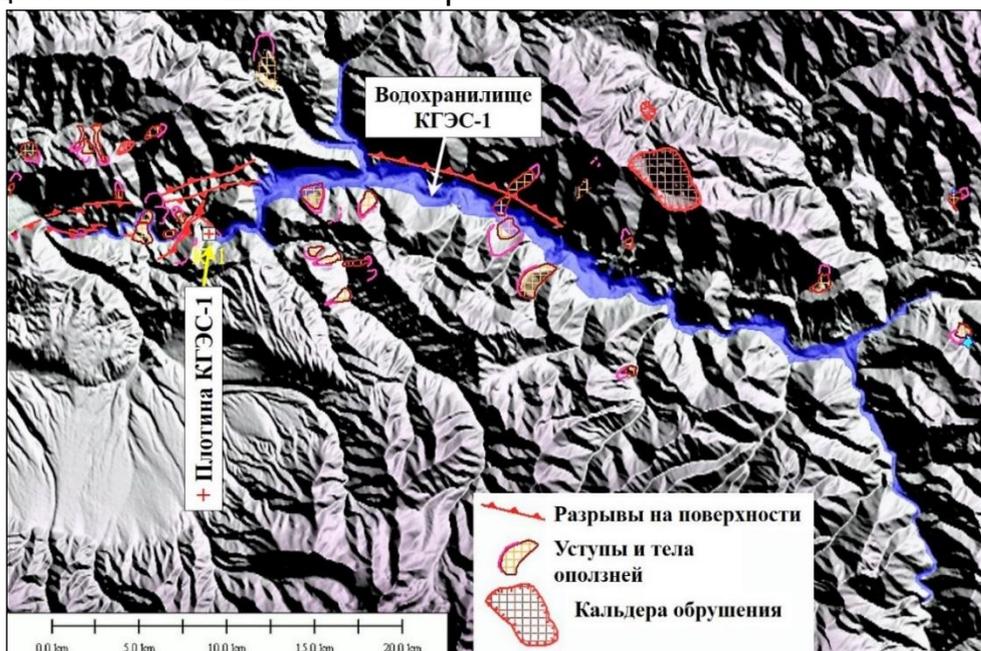


Рис.2. Карта оползней на бортах будущего водохранилища Камбаратинской ГЭС-1[2]

Несмотря на то, что строительство КГЭС-1 становится всё более актуальным для обеспечения энергетической независимости Кыргызстана, следует обратить особое внимание на необходимость всеобъемлющей оценки риска оползней и обвалов, которые могут быть спровоцированы сильными землетрясениями, как это произошло при Сусамырском землетрясении 1992 г.

К числу наиболее оползнеопасных участков в районе КГЭС-1 относятся: крупные скальные оползни на берегах будущего водохранилища КГЭС-1 и гигантские оползни в акватории водохранилища КГЭС-2, то есть в нижнем бьефе плотины КГЭС-1.

Крупные скальные оползни на берегах будущего водохранилища КГЭС-1. Крупномасштабные оползни в коренных породах, которые не разрушились полностью и, следовательно, имеют

потенциал катастрофического обрушения в будущем, были выявлены на нескольких участках, в том числе на берегах предполагаемого водохранилища КГЭС-1 [2,3]. Один из таких оползней объёмом около 50 млн. м³ находится на левом борту долины р. Нарын непосредственно выше выхода в Карабашское ущелье, где запланирован створ КГЭС-1 (рис.3).

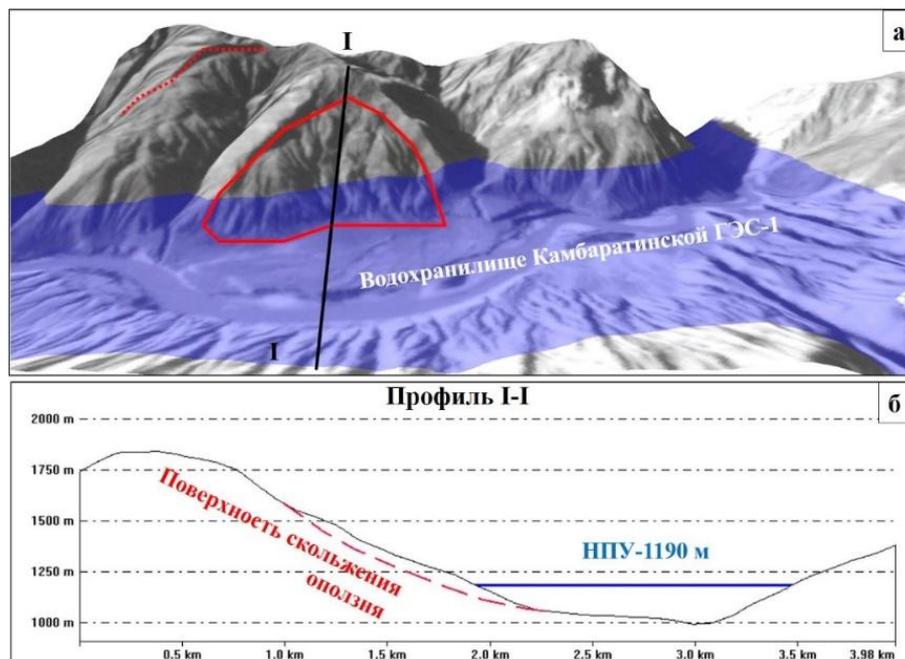


Рис.3. Оползень на левом берегу водохранилища КГЭС-1, в нескольких километрах вверх по течению от плотины [2]: а) трёхмерная модель оползневого склона, который на этом участке подрезан зоной разлома, проходящего как раз вдоль его основания. Голубой заливкой показана акватория будущего водохранилища; б) поперечный разрез I-I через тело оползня и водохранилище.

На рис.3а выделена акватория водохранилища глубиной 250 м при его НПУ- 1190 м. Нижняя часть склона при заполнении водохранилища будет затоплена на 200 м, что отрицательно скажется на его устойчивости при наполнении и/или быстрой сработке водохранилища. Этот участок левобережного склона следует детально изучить, особенно во взаимодействии с водоемом, чтобы смоделировать и оценить возможные негативные последствия. Что касается самого оползня, показанного на рис.3, то его быстрое обрушение в чашу водохранилища может представлять серьезную угрозу для плотины КГЭС-1, расположенную ниже по течению.

Гигантские оползни в акватории водохранилища КГЭС-2. Наиболее крупными из всех оползневых очагов в акватории водохранилища Камбаратинской ГЭС-2, являются древние оползни, расположенные на расстоянии 7 км (3.2 км по прямой) от створа плотины КГЭС-1, у устья ручья Джузумду-Булак [5].

Крупномасштабные обрушения склона общим объёмом свыше 12 млн. м³ произошли здесь дважды, сначала в позднем Плейстоцене и затем в Голоцене [3]. Оползневые накопления более древней генерации сформировали террасу высотой 60-110 м. Оползневые отложения более молодой генерации сформировали компактную дамбу высотой 80-100 м, которая заполнила долину реки у самого подножия стенки отрыва (рис.4).

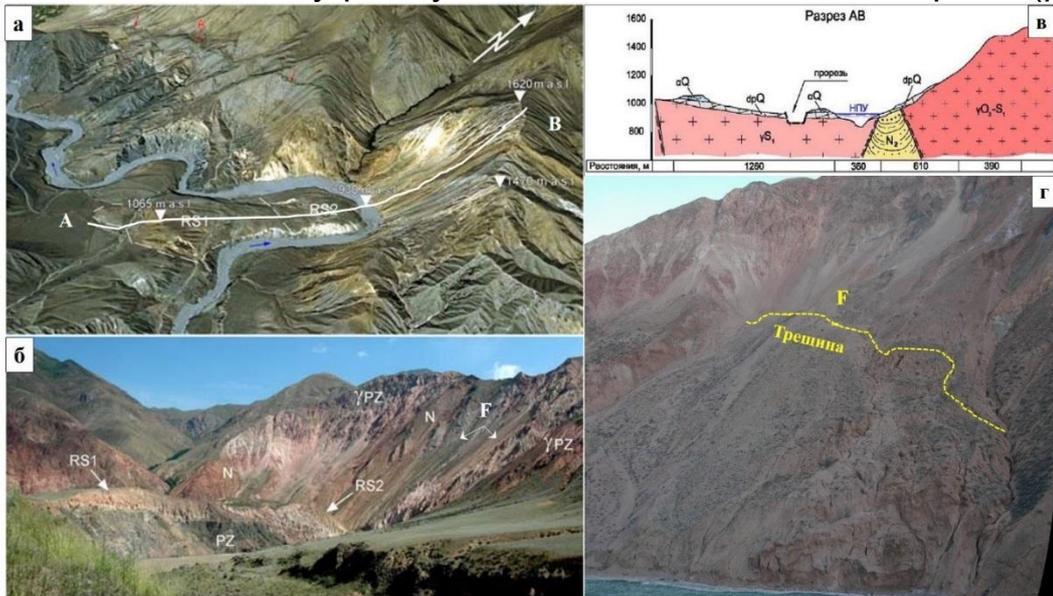


Рис.4. Оползни Джузумду-Булак в акватории водохранилища Камбаратинской ГЭС-2: а) 3D-изображение оползней Джузумду-Булак; б) вид на оползни и оползневые дамбы со стороны верхнего течения р. Нарын; в) геологический разрез по оси АВ; г) свежая трещина F в рыхлых отложениях правобережного склона. Условные обозначения: PZ, γ PZ - Палеозойские граниты; N - неогеновые осадочные породы; RS1 и RS2 - оползневые дамбы первого (старшего) и второго (младшего) оползней соответственно; красные стрелки указывают на активный разлом.

Современное русло реки прорезано в этой оползневой дамбе, и её внутренняя структура хорошо просматривается в проране. Тела оползневых дамб состоят из интенсивно раздробленного материала с отчетливыми полосами обломков разных цветов. Обрушения обеих генераций произошли с правобережного склона, где плитчатые песчаники и конгломераты Неогена зажаты между двумя блоками Палеозойского фундамента, а именно, между порфирированными гранитами γ S1 и гранодиоритами γ Q3-S1 [3]. Неоген отделен от Палеозойских блоков неотектоническими разломами «Северный» и «Южный» с широко распространенными зонами пород катакластической структуры. Имеются ясные свидетельства позднеголоценового разрыва вдоль этих разломов.

После Сусамырского землетрясения 1992 г. в рыхлых скоплениях верхней части правобережного склона сошёл небольшой оползень рыхлых грунтов, который перекрывал русло р. Нарын на короткое время.

Оползневое блокирование реки Нарын в результате реактивизации и разгрузки древних оползней Джузумду-Булак может отрицательно повлиять на сооружения КГЭС-1. Суть в том, что возможное перекрытие русла и долины реки приведет к существенному подъёму уровня воды с угрозой подтопления основных сооружений КГЭС-1. При таком сценарии неизбежна остановка ГЭС, а в худшем случае размыв основания плотины в нижнем бьефе.

Подобный сценарий неоднократно имел место в районе Байпазинской ГЭС (Таджикистан) в 1992 и 2002 годах, когда при реактивизации древнего левобережного оползня и разгрузки неустойчивых масс горных пород происходило перекрытие русла р. Вахш в нижнем бьефе [6]. В 1992 г. затопление сооружений ГЭС удалось предотвратить путем расчистки русла р. Вахш при помощи специально выполненных взрывов. По свидетельству очевидцев для разрушения оползневой дамбы, состоявшей из трудноразмываемых пластичных глин, применялось прицельное бомбометание с вертолётов.

Ситуация на рассматриваемом древнем оползне вновь обострилась после глубокофокусного Гиндукушского землетрясения с магнитудой $M=7.4$, произошедшего 3 марта 2002 г. В результате воздействия сейсмических колебаний значительной длительности (по данным сейсмостанции Душанбе продолжительность сейсмических колебаний составила 57 с), вызванных этим землетрясением, произошел отрыв и смещение пород в верхней части склона на участке древнего Байпазинского оползня [6]. Сместившиеся оползневые массы перекрыли русло Вахша и вновь возникла угроза подтопления сооружений ГЭС. Русло Вахша удалось расчистить с огромным трудом, но из-за того, что левобережный древнеоползневой склон неустойчив, существует угроза повторения подвижек и полного перекрытия реки.

Возвращаясь к ситуации на участке ниже плотины КГЭС-1, следует отметить, что трещины отседания вдоль гребня склона, обозначающие потенциальную зону разрушения, были найдены на некоторых участках ниже по течению от участка плотины КГЭС-1. О возможности образования здесь крупномасштабного скального оползня свидетельствует наличие отложений каменных лавин, которые обрушились рядом с этим склоном (рис.5а), остатки которого теперь можно найти на противоположном берегу реки (рис.5б). Скальная лавина перекрыла долину, правда, скорее всего, ненадолго. Тем не менее, даже временный завал высотой в несколько десятков метров может иметь весьма негативные последствия [5].

Оползневая активность в рассматриваемом районе с учётом происходящего изменения климата и крупномасштабного техногенного воздействия, вероятно, будет нарастать, что предопределяет необходимость выявления, детального изучения, оценки риска и мониторинга оползнеопасных склонов на всех этапах проектирования, строительства и эксплуатации основных сооружений КГЭС-1.

Кроме оползней, необходимо обратить внимание на то, что в результате строительства КГЭС-1 возможна активизация карстовых процессов, поскольку днище будущего водохранилища слагают растворимые гипсы и соли [4]. Ущелье р. Нарын к востоку от будущей плотины КГЭС-1 достигает глубины 800 – 1200 м, и рассекает палеозойскую структуру района, представленную каледонидами Северного Тянь-Шаня и надвинутым на них по линии Николаева аллохтонным комплексом Срединного Тянь-Шаня. В основании тектонического покрова получил развитие гипсовый меланж мощностью от 100 до 1200 м (рис.6). Среди гипсов присутствуют горизонты каменной соли мощностью до 20 м [4]. Палеозойская структура смята в синформную складку, центральная часть которой расположена на слиянии Кокомерена с Нарыном, т.е. растворимые гипсы и соли пересекаются речными артериями р. Нарын трижды (рис.6). Заполнение водохранилища с неизбежностью приведет к интенсивным карстовым, и как следствие, оползневым процессам, а возможно и подвижкам Карабулакского горного массива.

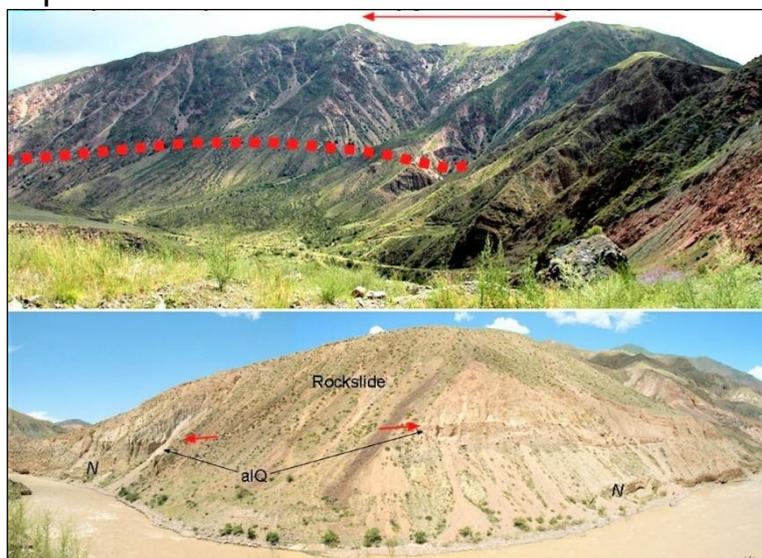


Рис.5. Оползень ниже плотины КГЭС-1 [4]: а) зона возможного обрушения (двухсторонняя стрелка) слева от древнего плато на левом берегу долины реки Нарын, в 2-3 км ниже по течению от участка плотины КГЭС-1. Склон ослаблен активной зоной тектонического разлома, проходящего по его основанию (отмечен красным пунктиром); б) остаток тела каменной лавины мощностью ~ 100 м (Rs), перекрывающий позднечетвертичный аллювий на правом берегу долины реки Нарын. Его очаговая зона располагалась на противоположном - левом берегу долины.

В аналогичных инженерно-геологических условиях строительства уникальной высотной (335 м) каменно-набросной плотины Рогунской ГЭС для предотвращения выщелачивания пород правого борта долины р. Вахш, содержащих гипс с растворимыми солями, пришлось реализовать

дорогостоящий комплекс мероприятий, включавших обустройство специальной противофильтрационной цементационной завесы в основании плотины и её правобережного примыкания [7].

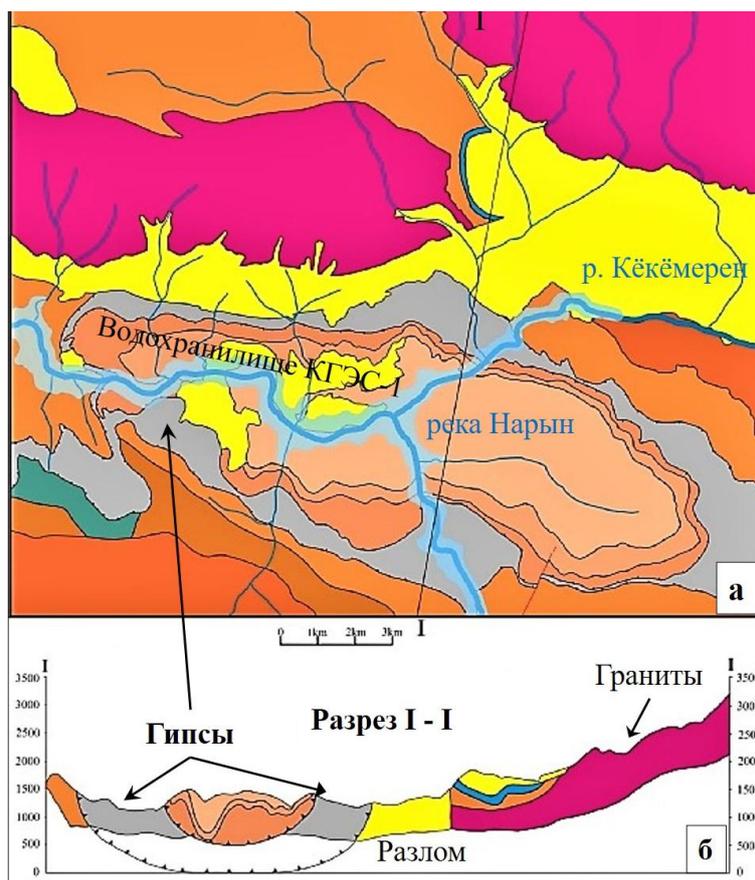


Рис.6. Геологическое строение в акватории водохранилища КГЭС-1 [4]: а) карта геологических формаций; б) геологический разрез по профилю I – I

Дополнительным фактором риска при строительстве и эксплуатации плотины КГЭС-1 является то, что подошва плотины располагается на тектоническом разломе и крупных пластах соли. Достаточно высокая сейсмичность района строительства станции усугубляет эти риски, сочетание которых может отрицательно сказаться на долговременной устойчивости самой плотины.

На основании вышеизложенного можно утверждать, что недостаточный учёт и понимание геологических и сеймотектонических условий района может привести к необоснованному риску строительства КГЭС-1 с возможным катастрофическим результатом. Об этом свидетельствует печальный опыт аварий на плотинах ГЭС в горных регионах мира, в частности последствия катастрофы, произошедшей 7 февраля 2021 г. в Индии, в штате Уттаракханда. Оползень, сошедший с огромной высоты 5800 м, вначале превратился в каменную лавину, трансформировавшуюся в катастрофический селевой поток Чамоли,

который спустившись вниз по горной реке, ударил по плотинам двух строящихся гидроэлектростанций и вызвал наводнение в высокогорных районах штата. В результате одна из плотин «Тапован Вишнугад ГЭС» (520 МВт) была снесена, разрушены две строящиеся здесь гидроэлектростанции и рабочий посёлок. По данным на 15 февраля 2021 г. под завалами пород, льда и снега погибло 86 человек и пропало без вести 179 человек строителей ГЭС. В связи с наводнением власти Уттаракханда эвакуировали жителей деревень, расположенных на берегах реки ниже гидроэлектростанции, а плотины в городах Шринагар, Ришикеш и Харидвар провели экстренный сброс воды для недопущения дальнейшего ущерба.

Выводы.

В сложных инженерно-геологических условиях района строительства КГЭС-1 с учётом особенностей геологического строения массива горных пород, факторов сейсмического и оползневого риска для предупреждения нежелательных последствий воздействия опасных склоновых и карстовых процессов на основные сооружения гидроузла как в процессе строительства, так и при дальнейшей безопасной эксплуатации всего каскада гидроэлектростанций и водохранилищ на р. Нарын необходимо выявить и детально изучить потенциально оползнеопасные склоны, чтобы избежать их неконтролируемые обрушения с катастрофическими последствиями

Для обеспечения безопасности строительства и эксплуатации всего каскада гидроэлектростанций и водохранилищ на р. Нарын необходимы организация и проведение геомониторинга и научного сопровождения строительства основных сооружений КГЭС-1.

Геомониторинг опасных и слабоустойчивых склонов должен предусматривать их детальное инженерно-геологическое и гидрогеологическое изучение, расчеты устойчивости с учетом сейсмичности и возможных локальных эффектов усиления сейсмических колебаний на различных участках склонов. Организация мониторинга – режимных наблюдений за состоянием склоновых массивов в процессе строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений - является не только важнейшим условием безопасности самих объектов, но и сохранности всего комплекса окружающего их природно-техногенного комплекса и жизни людей.

Под научно-техническим сопровождением строительства понимается комплекс работ научно-аналитического, методического, информационного, экспертно-консультационного и организационного характера, осуществляемых академическими и отраслевыми научными организациями в процессе изысканий, проектирования и возведения сложных и ответственных инженерных сооружений и объектов инфраструктуры (высотных плотин, туннелей, автодорог и железнодорожных магистралей) для обеспечения качества строительства, надежности (безопасности, функциональной пригодности

и долговечности) сооружений, с учетом особенностей геологической среды высокогорных районов Тянь-Шаня.

Научно-техническое сопровождение инвестиционных проектов строительства крупных гидроузлов с высотными плотинами и объектов инфраструктуры (например, железной дороги Китай-Кыргызстан-Узбекистан с туннелем пересекающим зону Таласо-Ферганского разлома) должно производиться в обязательном порядке с учетом: данных мониторинга геологической среды, сейсмичности и соответствия принимаемых инженерных решений требованиям современных международных нормативных документов; устойчивости к рискам возможных катастрофических последствий от природных и техногенных аварий, включая риски для сопредельных стран.

ЛИТЕРАТУРА

6. Разработка обоснования инвестиций (ТЭО) Камабаратинской ГЭС-1 на реке Нарын // Итоговый отчет SNC-Lavalin International Ltd. и ОАО «ЭНЕКС», 2014 г. – 657 с.
7. Strom A.L. Effects of rockslides and rock avalanches on hydropower schemes in the Naryn River valley // <https://www.researchgate.net/publication/288261185>
8. Strom A., Abdrakhmatov K. Rockslides and rock avalanches in Central Asia: Distribution, Morphology, and Internal Structure. Elsevier, 2018. – 449 pp.
9. Миколайчук А. Планируемые сюрпризы Нарынского каскада // Вестник Международного университета Кыргызстана, 2016, №1(29). – с.60-67
10. Торгоев И.А., Айтматов И.Т., Алёшин Ю.Г. Мониторинг и оценка риска оползней в районе Камбаратинской ГЭС-2 // Проблемы сейсмологии в Узбекистане, №7 / Материалы Международной конференции «Современные проблемы сейсмологии, гидрогеологии и инженерной геологии» - Ташкент, ИС АН РУ. 2010 – с. 118-121
11. Havenith H.-B., Abdrakhmatov K., Torgoev I., Ischuk A. et al. Earthquakes, landslides, dams and reservoirs in the Tien Shan, Central Asia // Proceedings of the Second World Landslides Forum – 3-7 October 2011, Rome – pp 27-32.
12. Torgoev I., Havenith H.-B., Torgoev A., Cerfontaine P. and Ischuk A. Geophysical investigation of the landslide-prone slope downstream from the Rogun Dam construction site (Tajikistan) // Mikos M., Casagli N., Yueping Yin and Sassa K. (Eds.) Advancing Culture of Living with Landslides - Vol. 4 Diversity of Landslide Forms. 2017 – pp 75-84.