

УДК 624

ГЕОРИСКИ В РАЙОНЕ ОСНОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ КАМБАРАТИНСКОЙ ГЭС-1

Торгоев И.А.

Научно-Инженерный Центр «Геоприбор» Института машиноведения,
автоматики и геомеханики НАНГ КР

К числу опасных экзогенных геологических процессов в районе основных сооружений, строящейся Камбаратинской ГЭС-1 (КГЭС-1) на реке Нарын, относятся гравитационные смещения масс на склонах в виде единовременного обрушения и сползания горных пород (обвалов, оползней, камнепадов, провалов, осыпей). При заполнении водохранилища активность проявления оползней и обвалов может усилиться. Подобные грандиозные оползни могут инициировать многоступенчатые (каскадные) геокатастрофы, которые способны вызвать нарушение режима работы гидротехнических сооружений Нарынского каскада ГЭС. В настоящей статье приведены уточнённые оценки геологических рисков в районе основных сооружений Камбаратинской ГЭС -1 с учётом недавно утверждённого технико-экономического обоснования (ТЭО).

Ключевые слова: плотина ГЭС, водохранилище, оползни и обвалы, карст

КАМБАРАТА ГЭС-1НИН НЕГИЗГИ КУРУЛУШТАРЫНЫН АЙМАГЫНДАГЫ ГЕОРИСКТЕР

Торгов И.А.

Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Машина куруу, автоматика жана геомеханика институтунун «Геоприбор» илимий-инженердик борбору

Нарын дарыясында курулуп жаткан Камбар-Ата ГЭС-1 (КГЭС-1) негизги курулуштарынын аймагындагы кооптуу экзогендик геологиялык процесстерге тоо тектердин бир жолку кулашы жана жылышы түрүндөгү эңкейиштердеги гравитациялык массалардын жылыштары (таш кулоолору, жер көчкүлөр, таш кулоолору, бузулуулар, шөгүүлөр) кирет. Суу сактагычты толтурууда жер көчкү жана таш кулоолордун активдүүлүгү күчөшү мүмкүн. Мындай эбегейсиз жер көчкү көп баскычтуу (каскаддык) геокатастрофаларды жаратышы мүмкүн, бул Нарын ГЭС каскадынын гидротехникалык курулуштарынын иштөө режиминин бузулушуна алып келиши мүмкүн. Бул макалада жакында бекитилген техникалык-экономикалык негиздемени (ТЭН) эске алуу менен Камбар-Ата ГЭС-1нин негизги структураларынын зонасында геологиялык тобокелдиктерге жаңыланган баа берилген.

Баштапкы сөздөр: ГЭС дамбасы, суу сактагыч, жер көчкү жана таш кулоо, карст

GEORISKS IN THE AREA OF THE MAIN STRUCTURES OF THE KAMBARATA HYDROELECTRIC POWER STATION-1

Torgoev I.A.

Scientific and Engineering Center "Geopribor" of the Institute of Mechanical Engineering, Automation and Geomechanics of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic

Dangerous exogenous geological processes in the area of the main structures of the Kambarata HPP-1 (KHPP-1) under construction on the Naryn River include gravitational mass displacements on slopes in the form of a one-time collapse and sliding of rocks (rock falls, landslides, rockfalls, failures, scree). When filling the reservoir, the activity of landslides and rockfalls may increase. Such grandiose landslides can initiate multi-stage (cascade) geocatastrophes, which can cause a violation of the operating mode of the hydraulic structures of the Naryn cascade of hydroelectric power plants. This article provides updated assessments of geological risks in the area of the main structures of the Kambaratinskaya HPP-1, taking into account the recently approved feasibility study (FS).

Keywords: HPP dam, reservoir, landslides and rockfalls, karst

Согласно ТЭО, разработанного в 2025 г. Швейцарской компанией AFRY, в состав основных сооружений КГЭС-1 включены (рис.1б): гравитационная бетонная плотина высотой 261 м, здание ГЭС, водоприёмник и туннели энерговодосбросного тракта, два строительно-эксплуатационных водосброса для четырёх турбин, три транспортных туннеля и объекты инфраструктуры (КРУЭ-500 кВ, жилой посёлок и т.п.).

Участок створа плотины КГЭС-1 располагается в Карабашском ущелье, прорезанном рекой Нарын в воздымающемся тектоническом блоке, сложенном комплексом докембрийских и нижнепалеозойских отложений, прорванных силурийскими гранитами. С севера этот блок ограничен тектоническими разломами №19-20, а с запада – Ак-Терекским надвигом юго-западного простирания (рис.1а), по которому силурийские граниты взброшены на конгломераты неогена с амплитудой вертикального смещения ~1 км.

При реализации этого важнейшего для Кыргызстана проекта следует принимать во внимание, что в районе строительства высотной плотины КГЭС-1 и акватории его будущего водохранилища объёмом 5.24 млрд. м³ проявляется ряд потенциально опасных эндогенных и экзогенных геологических процессов [1-5], которые могут отрицательно повлиять на долговременную устойчивость сооружений КГЭС-1 и безопасность эксплуатации Камбаратинского гидроузла. 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 [54] 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.



Рис.1. Проект Камбаратинской ГЭС-1: а) Карабашский створ плотины с разломами (красные линии) и контурами водохранилища (жёлтые линии); б) основные сооружения КГЭС-1: 1 – гравитационная плотина из укатанного бетона высотой 261 м; 2 - здание ГЭС; 3 - водохранилище

В современной тектонической структуре рассматриваемого региона выделяется активная Нарыно-Сонкульская зона разломов, которая является местом встречи 2-х противоположно направленных тектонических нарушений: глубинного Таласо-Ферганского разлома (ТФР) и так называемой «линии Николаева». Крупнейший на Тянь-Шане Таласо-Ферганский разлом протяжённостью 500 км проходит в 30 км к юго-западу от 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 Нарыно-Сонкульская зона разломов характеризуется активной геодинамикой - сложным напряженно-деформированным состоянием массива горных пород и как следствие, здесь наблюдается массовое развитие гигантских и крупных оползней и обвалов. Крупномасштабные древние оползни и провалы в скальных породах, которые не разрушились полностью и, следовательно, имеют потенциал катастрофического обрушения в будущем, были выявлены на нескольких участках, в том числе на бортах будущего водохранилища КГЭС-1 (рис.2).

К числу уникальных гравитационных феноменов обрушения в районе чаши водохранилища относятся два провала – Джзумду и Кызыл-Кель (рис.2,3), представляющие собой тектонические провалы с крутыми бортами и относительно плоским днищем, которые, скорее всего, образовались в результате землетрясения с магнитудой $M \geq 8$ по шкале Рихтера [1].

Эти провалы были выявлены на неотектонических антиклиналях к северу от простирающейся с востока на запад долины реки Нарын (рис.2). Наиболее впечатляющей является впадина Кызылкель на хребте Санташ.

Гладкое дно впадины или своеобразного «провала» Кызылкель, слегка наклоненное к югу (рис.3), не является эрозионным образованием, а представляет собой верхнюю часть опущенного блока. Его единственная эродированная часть расположена как раз там, где южная стенка впадины была пересечена V-образным ущельем ручья Кызыл-Кель (рис.3а), и только около 50 млн. м³ пород было удалено эрозией через эту долину. Таким образом, весь объем впадины — около 3 км³ — опустился и «исчез» во внутренней части хребта Санташ [1].

Хребет Санташ сложен магматическими и метаморфическими протерозойскими и палеозойскими породами, перекрытыми каменноугольными красноцветными отложениями. Наличие красного цвета обломков, вымытых со дна впадины, только на самых нижних нескольких десятках метров склонов ущелья ручья, свидетельствует о том, что изначально впадина была замкнутой, и что ее южная стенка была «разомкнута» потоком в результате обратной эрозии совсем недавно. Только после этого красноцветные обломки, вымытые со дна впадины, могли начать окрашивать стенки каньона красным цветом, чем и объясняется название Кызыл-Кель (красное озеро), которое возникло на дне впадины и существовало какое-то время до прорыва [1,7].

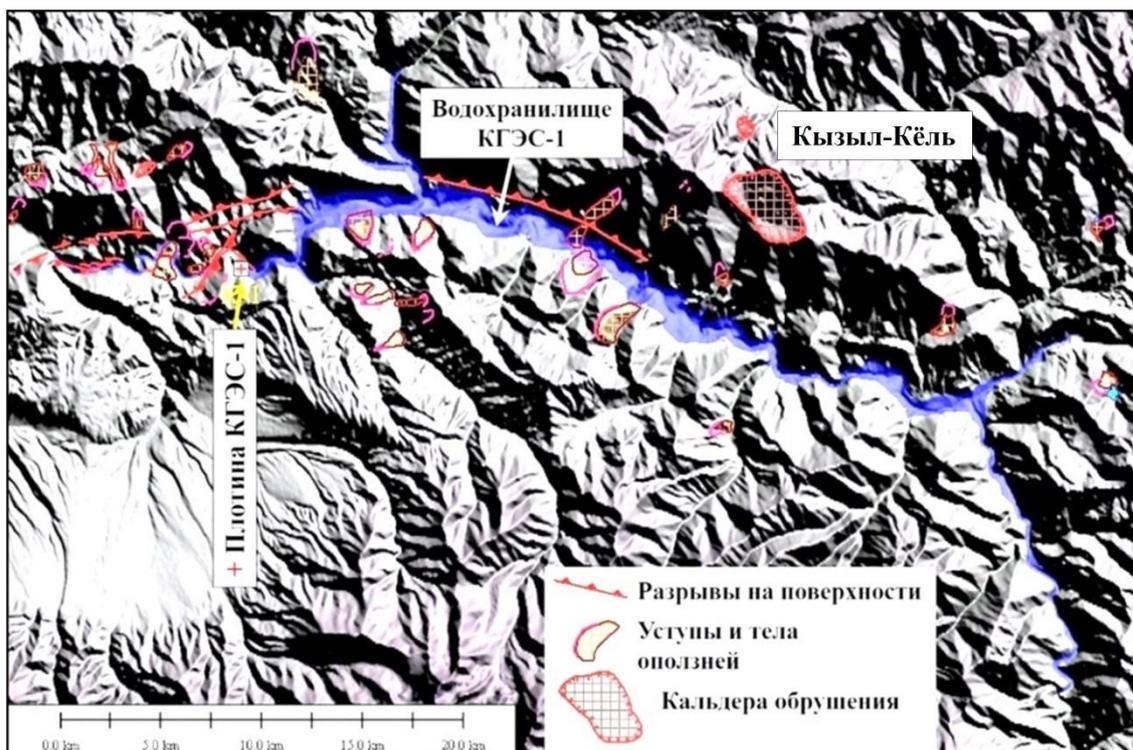


Рис.2. Карта оползнеопасных и слабоустойчивых участков в районе плотины и акватории будущего водохранилища КГЭС-1

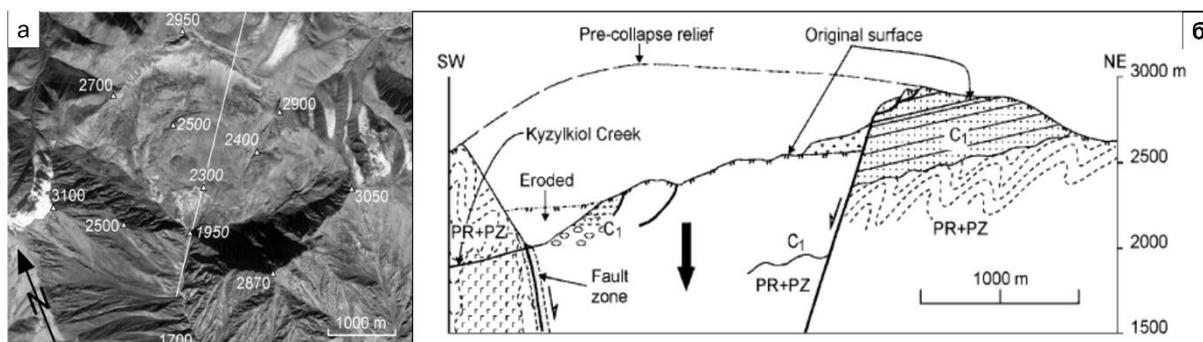


Рис.3. План и схематический геологический разрез впадины (провала) Кызыл-Кель: С1- Красноцветные отложения каменноугольного возраста (песчаник и конгломерат с прослоями гипса; PR1PZ - Протерозойские и палеозойские метаморфические и магматические породы [1]

Еще одна подобная особенность, хотя и гораздо меньшая по размеру и, вероятно, гораздо более древняя, была обнаружена примерно в 30 км западнее Кызыл-Кельской, в верховьях ручья Джузумдыбулак (рис.2.), также на вершине неотектонической антиклинали. В отличие от гораздо большей и гораздо более выразительной впадины Кызыл-Кель, Джузумдинская возникла на хребте, сложенном только палеозойским гранитом, и не на более или менее ровном водоразделе, а на склоне небольшой и довольно глубокой долины. Дальнейший разрез обозначил

границу между коренным гранитом и более трещиноватым и «нарушенным» гранитом блока, образующего дно впадины. Объем пород, которые «исчезли» в этом случае, составляет около 120 млн. м³[1].

Происхождение этих уникальных впадин Кызыл-Кель и Джузумды пока не ясно, так как не было обнаружено свидетельств ни вулканизма, ни образования структур сдвига, которые могли бы как-то объяснить образование гигантской подземной пещеры внутри неотектонических антиклиналей. Во всяком случае предполагаемый механизм формирования этих уникальных впадин (провалов) полностью отличен от механизма любого типа оползня.

Таким образом, различные гравитационные образования (оползни, обвалы, провалы) в Нарыно-Сонкульской зоне (рис.2,3), создают условия для широкого развития и распространения неустойчивых склонов.

В этой связи, а также учитывая начало инженерно-геологических изысканий и проектирования основных сооружений КГЭС-1, следует обратить внимание на необходимость всеобъемлющей оценки риска оползней и обвалов, которые могут быть спровоцированы сильными землетрясениями, как это произошло при Суусамырском землетрясении 1992 г. с магнитудой $M=7,2$.

Оползни в верхнем бьефе плотины. 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 [2], то есть в нижнем бьефе плотины КГЭС-1.

Один из таких оползней объемом около 50 млн. м³ находится на левом борту долины р. Нарын (рис.4) непосредственно выше выхода в Карабашское ущелье, где будет возводиться плотина КГЭС-1.

Оползни в нижнем бьефе плотины. Оползневое перекрытие реки может повлиять на гидроузел отрицательно, если это происходит не только в районе водохранилища, но и ниже по течению от участка плотины, недалеко от него. Это неизбежно приведет к затоплению хвостового бассейна, что, по крайней мере, прервет работу ГЭС в штатном режиме, а в худшем случае может привести к остановке ГЭС или разрушению плотин.

Подобный случай произошел в районе Байпазинской ГЭС на реке Вахш, в Таджикистане, сразу после глубокофокусного (глубина гипоцентра $H=256$ км) землетрясения с магнитудой $M=7.4$, произошедшего 3 марта 2002 г. на территории Афганистана в зоне Памиро-Гиндукуша, на расстоянии 250 км от Байпазинской ГЭС. В результате воздействия

сейсмических колебаний значительной длительности (по данным сейсмостанции Душанбе продолжительность сейсмических колебаний составила 57 с), вызванных этим землетрясением, произошел отрыв пород в верхней части склона на участке Байпазинского оползня [7,8]. Сейсмосинхронная реактивизация древнего оползня проявилась как смещение неустойчивых масс горных пород вниз в виде двух оползней-потоков, один из которых достиг русла р. Вахш и частично перекрыл его. Сместившиеся массы дополнительно пригрузили древнеоползневое тело в нижней части склона. В результате пропускная способность русла уменьшилась и возникла угроза подтопления сооружений ГЭС. Русло удалось с трудом расчистить, но из-за того, что левобережный оползневой склон неустойчив, существует угроза повторения подвижек и полного перекрытия реки. Для решения проблемы было принято решение осуществить разгрузку верхней части древнеоползневого склона, а также оползневых блоков в верхней и средней частях оползня общим объёмом свыше 1,5 млн. м³.

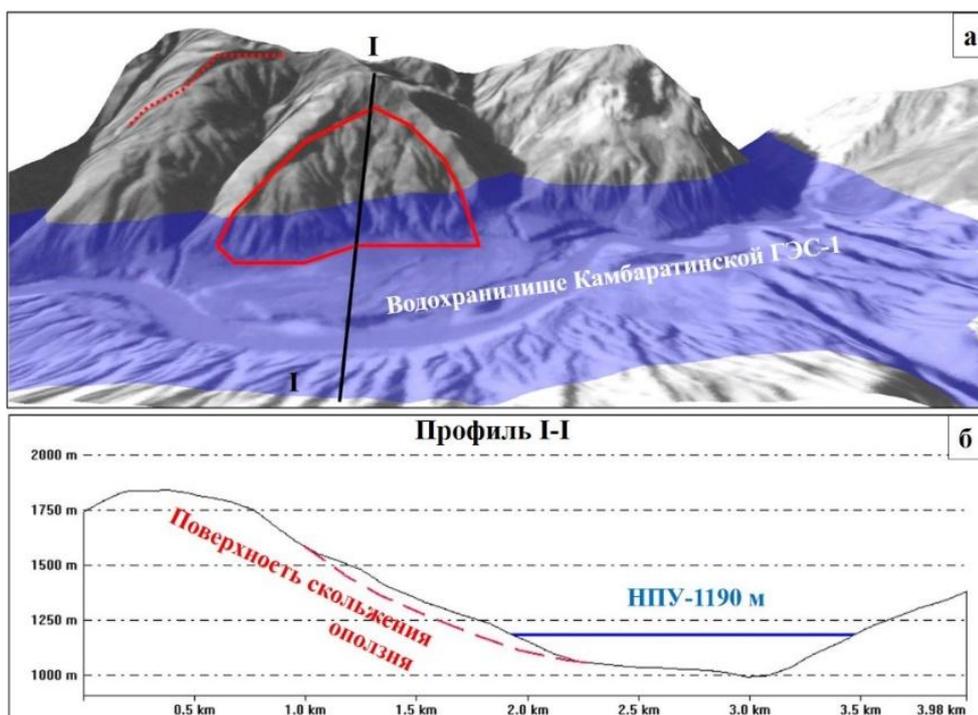


Рис.4. Оползень на левом берегу будущего водохранилища КГЭС-1, в нескольких километрах вверх по течению от створа плотины: а) трёхмерная модель оползневой склона, который на этом участке подрезан зоной разлома, проходящего как раз вдоль его основания. Голубой заливкой показана акватория будущего водохранилища; б) поперечный разрез I-I через тело оползня и водохранилище.

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 (рис.2). 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 [1,7].

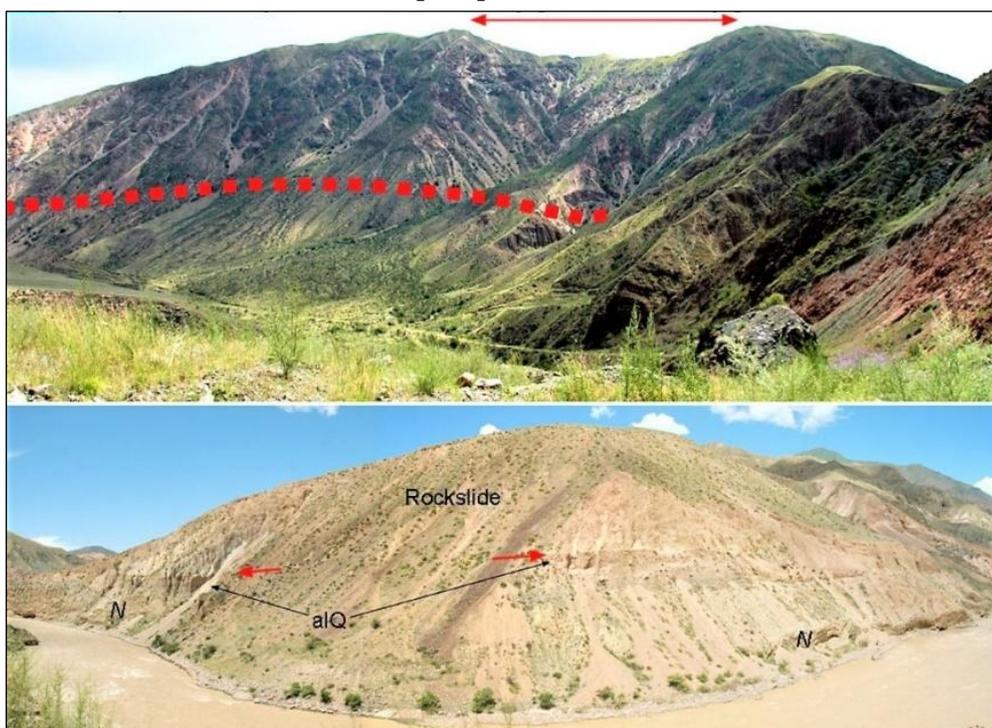


Рис.5. Оползень ниже плотины КГЭС-1[1]: а) зона возможного обрушения (двухсторонняя стрелка) слева от древнего плато на левом берегу долины реки Нарын, в 2-3 км ниже по течению от участка плотины КГЭС-1. Склон ослаблен активной зоной тектонического разлома, проходящего по его основанию (отмечен красным 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.

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 Неогеновой системы.

В частности, в зоне затопления 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 [5]. Палеозойская структура смята в синформную складку, центральная часть которой расположена на слиянии рек Кёкёмерен и Нарын, т.е. растворимые гипсы и соли пересекаются речными артериями трижды (рис.6). Заполнение водохранилища с неизбежностью приведет к интенсивным карстовым, и как следствие, оползневым процессам, а возможно и подвижкам Карабулакского горного массива.

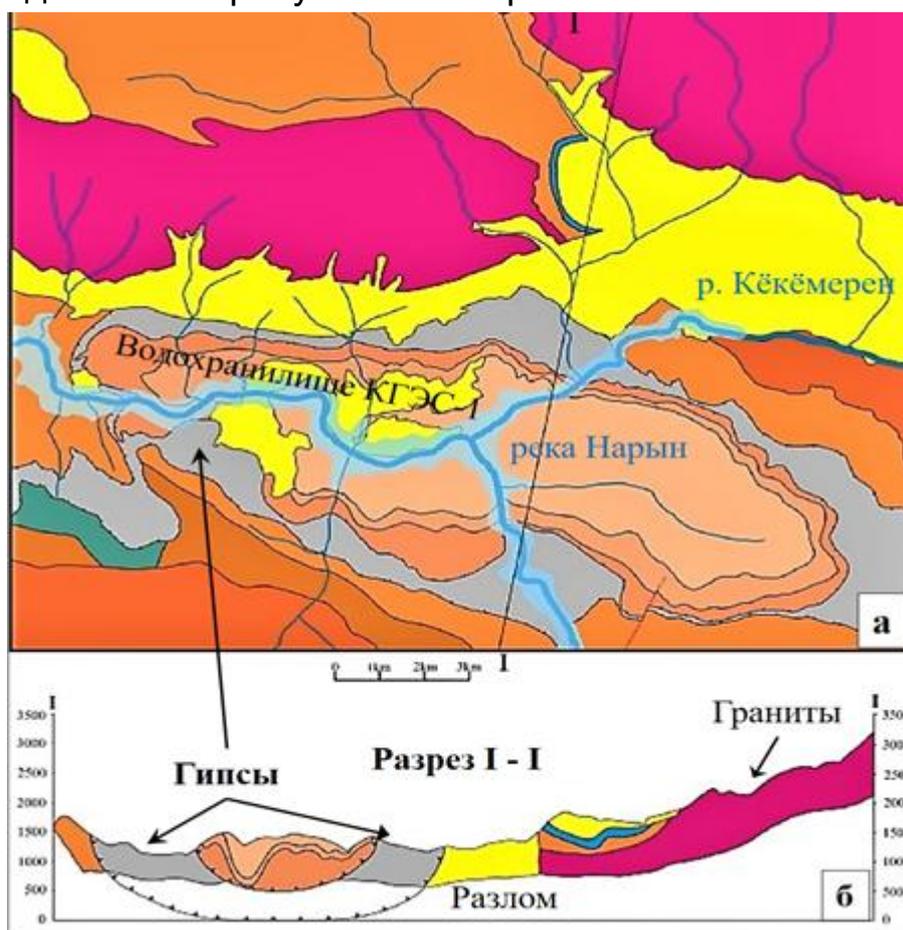


Рис.6. Геологическое строение в акватории водохранилища КГЭС-1 [5]: а) карта геологических формаций; б) геологический разрез по профилю I – I

Для того, чтобы основные сооружения КГЭС-1 (высотная плотина, туннели различного назначения) успешно и безопасно функционировали в течение многих лет, необходимы достоверные знания и сведения о перечисленных выше опасных геологических процессах, которые могут быть получены в ходе уточняющих инженерно-геологических изысканий, в

особенности на оползнеопасных участках и в зонах тектонических разломов с тем, чтобы получить возможность выполнить детальную оценку риска. В целом выбранная конструкция плотины – бетонная гравитационная плотина с нерегулируемым водосбросом с переливом – считается устойчивой к переливу воды через нее, в связи с чем риск критических повреждений от крупных волн, вызванных обрушением оползней, считается низким.

Наряду с необходимостью выполнения детальных инженерно-геологических изысканий и исследований по оценке риска возникновения крупных оползней в районе строительства Камбаратинской ГЭС-1, которые могут быть спровоцированы сильными землетрясениями, наполнением и сработкой водохранилища этого гидроузла, считаем необходимым выполнение научно-исследовательских работ по научному сопровождению процессов проектирования и строительства основных сооружений КГЭС-1. Под научным сопровождением подразумевается комплекс работ научно-аналитического, методического, информационного, экспертно-контрольного характера, осуществляемых для обеспечения требований надёжности, безопасности, функциональной пригодности и долговечности основных сооружений КГЭС-1, с учетом повышенной вероятности возникновения опасных природных процессов и явлений в условиях повышенной сейсмической активности и изменения климата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Strom A., Abdrakhmatov K. Rockslides and rock avalanches in Central Asia: Distribution, Morphology, and Internal Structure. Elsevier, 2018. – 449 pp.
2. Жигарев С.Д. «Строительство ГЭС в Киргизии и Таджикистане — преступное легкомыслие» // ИА «Regnum» 08 сентября 2009. <https://regnum.ru/news/polit/1203508.html>
3. Торгоев И.А. Оползневые процессы и риски на территории Кыргызстана. Бишкек: ОсОО OretaGroup, 2023. – 548 стр
4. Strom A.L. Effects of rockslides and rock avalanches on hydropower schemes in the Naryn River valley // <https://www.researchgate.net/publication/288261185>.
5. Миколайчук А. Планируемые сюрпризы Нарынского каскада // Вестник Международного университета Кыргызстана, 2016, №1(29). – с.60-67
6. Варга А.А. Анализ ошибок в оценке геологической среды при гидротехническом строительстве // Сборник научных трудов Гидропроекта 1982. Вып. 82.- с. 30-36

7. Torgoev I., Nijazov R., Havenith H.-B. Tien-Shan landslides triggered by earthquakes in Pamir-Hindukush zone // In Margottini C., Canuti P. and K. Sassa (Eds.), *Landslide science and Practice*, vol. 5. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2013– pp 191–197.
8. 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*