

МОБИЛЬНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛЬНО НЕУСТОЙЧИВЫХ СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ НА УЧАСТКЕ ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС

Манжиков Б.Ц., Тилегенов К.

ИГОН НАН КР

Мобильность (подвижность) и устойчивость горных склонов, определяется жесткостью связей между их структурными элементами. Внешними признаками мобильности и склонности к гравитационным склоновым процессам являются тектоническая нарушенность, блочная структура и трещиноватость породных массивов. Проявления высокой мобильности весьма характерны для грубо слоистых мраморизованных битуминозных известняков нижнего карбона на участке основных сооружений Токтогульского гидроузла на р. Нарын/1/.

Массив известняков в створе Токтогульской ГЭС имеет блочное строение с разрывными нарушениями различного порядка и ориентировки. Выраженная слоистость привнесенного терригенного материала в крупных субвертикальных трещинах, отчленяющих массивы, указывает на их поэтапное раскрытие вследствие неоднократных подвижек /2/. Толщина отдельных слоев, не превышающая 10 см, совпадает со средней величиной единовременных подвижек при постепенном сползании потенциально неустойчивых массивов в речную долину, равной 1-3 см. Ширина трещин 1-10 см в тыловой части массива, определяется общей величиной смещения отчлененных скальных массивов, достигающей, в отдельных случаях, десятков сантиметров. Сохранность заполнителя трещин свидетельствует о стабильном состоянии крупных трещин, отчленяющих потенциально неустойчивые

скальные блоки от основного массива. Но, несмотря на это, очевидно, что обрушение потенциально неустойчивых массивов, например, вследствие интенсивных сейсмических воздействий, со временем неизбежно/1/.

Согласно проектному заключению наиболее опасные из выявленных потенциально неустойчивых массивов подлежали укреплению. Однако расчеты, выполненные с учетом дополнительных изысканий и высокой региональной сейсмичности, показали, что укрепительные мероприятия оказываются чрезвычайно затратными и продолжительными по времени /3/. В связи с этим, в качестве альтернативной меры по обеспечению безопасной эксплуатации гидроузла, было принято решение об организации постоянных инструментальных наблюдений с целью своевременного выявления дестабилизации потенциально неустойчивых массивов. Данное решение было также в какой-то мере вынужденным, ввиду несовершенства существующих расчетных методов оценки устойчивости крутых береговых откосов и прогнозирования склоновых процессов.

Наибольшую опасность из выявленных потенциально неустойчивых структурных элементов горных склонов представляли массивы 46-R-7 и №59-1, расположенные на участках левобережного и правобережного примыканий плотины. Инструментальные наблюдения за смещением потенциально неустойчивых массивов в створе Токтогульской плотины с помощью кварцевых деформометров и гидростатических нивелиров, проводимые Институтом физики и механики горных пород Национальной Академии Наук Кыргызской Республики с 1969 года, свидетельствовали о стабилизации геомеханического состояния горных склонов по мере завершения строительства гидроузла/4-6/.

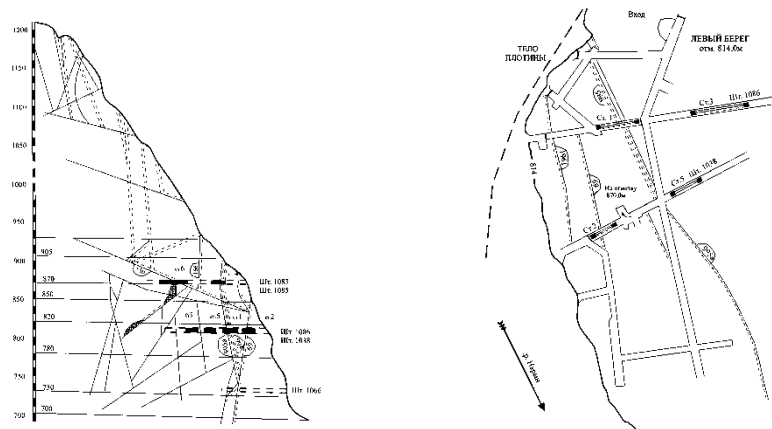


Рис 1. Вертикальный разрез и план расположения наблюдательных станций на отметке 814 м в потенциально неустойчивом массиве 46-R-7.

Массив 46-R-7 находится на участке левобережного примыкания Токтогульской плотины над зданием ГЭС, рис. 1. Высота блока 250 м, угол наклона 70° . Своевременное выявление признаков его дестабилизации чрезвычайно важно для безопасной и эффективной эксплуатации гидроузла. Породы массива представлены трещиноватыми известняками, местами напоминающими по внешнему виду плотно уложенный щебень. Широко развитые тектонические трещины, образованные в процессе разгрузки склона, в большинстве своем видоизменены и преобразованы в тектонические трещины с бортовым отпором. Зона разгрузки в бортах каньона Токтогульской ГЭС составляет 20-40 м.

Сведения о наиболее крупных трещинах, формирующих потенциально неустойчивые массивы по данным ВНИИГ им. Веденеева [7], представлены в таблице.

Таблица.

Трещина №	Ширина, см	Азимут, °	Угол падения, °	$tg\varphi$	Сцепление, $кг/см^2$
69	20-40	240-260	85	0,783	1,15

995a	10-40	260	60-80	0.6	0.55
995	3-40	260-270	70-80	0.6	0.55
166	0.5-40	260-270	80-85	0.6	0.55
7	-	170	20	0.6	0.55

Эрозионная нарушенность и трещиноватость крутых бортов каньона реки на участке Токтогульского гидроузла обусловили их повышенную мобильность и чувствительность к динамическим факторам естественного и техногенного характера. Основными из них являются: сезонные изменения климатических условий, колебания уровня водохранилища, сейсмичность, гравитационные приливные деформации, вибрации, возникающие во время принудительного водосброса и работе технологического оборудования.

Другой потенциально неустойчивый скальный массив, 59-1, согласно материалам Технического проекта основных сооружений Токтогульской ГЭС на р. Нарын /1/, расположен на участке правобережного примыкания плотины Токтогульской ГЭС на отметках 920-990 м вниз по течению реки. Передовая часть потенциально неустойчивого массива 59-1 представляет собой вполне сформировавшееся оползневое тело, отчлененное от основной скалы пологой наклонной отсекающей №714 и подсекающей №7 трещинами/1/. Сдвиговые характеристики последней приведены в таблице.

Общий объем отчлененной передовой части массива 59-1, склонной к обрушению, составляет 18380 м^3 , масса, при плотности пород $2.65 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, 48707 т. Коэффициент устойчивости массива по расчетам, выполненным в техническом проекте с учетом сейсмического воздействия, равен $K_y=1,21$.



Рис 2. Потенциально неустойчивый массив № 59-1 в правобережном примыкании Токтогульской плотины. Вид со стороны верхнего бьефа.

Результаты текущих наблюдений показывают, что передовая часть массива 59-1 продолжает постепенно терять свою устойчивость и, нуждается в срочном укреплении. Её наиболее опасный блок №3 имеет достаточно сложную конфигурацию, справа на рис. 2. Своей верхней частью он прислонен к основному массиву, в нижней трети, блок покоится наименьшем выступе, как бы сидя на нем, нижней тонкой частью опираясь на нижележащий блок. Нижняя опорная часть блока местами сильно раздроблена вследствие неоднократных подвижек в прошлом, что указывает на ее недостаточную прочность. Из приведенной фотографии видно, что основная нагрузка приходится на выступ в нижней трети блока.

Результирующее движение структурных элементов горных склонов определяется совместным действием сил гравитации и причин, перечисленных выше, а также прочих неучтенных факторов, строгий контроль которых практически невозможен. Вследствие того, что действие влияющих факторов обычно невелико и хаотично во времени и

пространстве, движение отдельных блоков в склоновом процессе представляет собой случайный процесс (СП) с нормальным распределением параметров. При усилении действия одного или нескольких факторов, как правило, происходит снижение устойчивости склона и повышение интенсивности склонового процесса, что проявляется в увеличении значений контролируемых параметров движения и их статистического разброса.

Наличие определенного соответствия между геомеханическим состоянием горного склона и регистрируемыми параметрами движения открывает возможность оценки мобильности(устойчивости) его структурных элементов, в частности, по величине их статистического разброса. В качестве показателей мобильности, целесообразно рассматривать количественные характеристики ответной реакции горных склонов, на какое-либо достаточно сильное тестовое воздействие, например, периодически изменяющееся гравитационное притяжение со стороны Луны и Солнца. В частности, это могут быть амплитуды приливных волн, вычисляемые по результатам гармонического анализа параметров движения ,регистрируемых с необходимым временным разрешением с помощью цифровых автоматизированных приборов.

Рассмотрим с этой целью параметры вертикальных движений структурных элементов потенциально неустойчивых скальных массивов на участках левобережного и правобережного примыканий Токтогульской плотины, контролируемых с помощью автоматизированных гидронивелиров RJ-50 фирмы NARI KHP. Данные приборы позволяют регистрировать вертикальную составляющую склонового процесса в автоматическом режиме с точностью 0.01 мм и частотой дискретизации данных час⁻¹.

Количество и методика обработки синхронных данных сохранялись едиными для трех контролируемых участков, что позволяло сопоставлять их мобильность по результатам гармонического анализа. В

начале обработки для корректного выполнения гармонического анализа исходные данные проверялись на наличие пропусков и, в случае их обнаружения, восполнялись с помощью интерполяции методом сплайн аппроксимации. Затем следовала нормировка данных на величину измерительной базы прибора, что было необходимо для сопоставления мобильности участков по данным, полученным приборами с различной измерительной базой. Далее из нормированных данных вычитался низкочастотный тренд равный выборочному среднему, вычисляемому в скользящем временном окне постоянной ширины с единичным сдвигом. Ширина скользящего временного окна принималась равной периоду 15.333 суточной компоненты приливных волн или 368 часам. После этих предварительных операций выполнялось, собственно, дискретное преобразование Фурье, по результатам которого вычислялся амплитудный спектр вертикальных движений.

Автоматизированный гидронивелир, установленный на наблюдательной станции №1 в зоне влияния трещин 995 и 995а имел измерительную базу 12.7 м. Временные зависимости вертикальной компоненты движений смежных скальных блоков в указанной зоне, зарегистрированные в 2012 году, в виде точек приведены на рис. 3а. Из представленного графика видно, что показания прибора имеют заметные отклонения от среднего уровня, обозначенного на рисунке цветным пунктиром. Как отмечалось выше, статистический разброс данных обусловлен, влиянием многочисленных факторов, как чисто случайного происхождения, так и вполне детерминированных, к которым относятся, прежде всего, приливные деформации Земной коры, вызванные гравитационным взаимодействием Земли, Луны и Солнца. Земные приливы представляют собой ответную деформационную реакцию земной коры на периодически изменяющееся тестовое воздействие, параметры которого поддаются строгому расчету для любой точки земной поверхности и любого момента времени.

В амплитудном спектре вертикальных движений породных блоков, рис. 3б, выявляются интенсивные составляющие приливных движений с периодом 12, 24 часа и порядка сотен часов. Очевидно, амплитудные значения приливных волн отражают локальную мобильность скального массива и, при соблюдении одинаковых условий регистрации и обработки данных, они могут использоваться для ее количественной оценки и сравнения мобильности различных его участков.

Второй автоматизированный гидронивелир с измерительной базой 7.7 м был установлен в зоне влияния трещины 69 на наблюдательной станции №2. Временные зависимости относительных величин вертикальных смещений смежных породных блоков по трещине 69, зарегистрированные в течение 2012 года, в виде точек показаны на рис. 3в. Пунктиром на графике обозначен средний уровень вертикальных движений. Полусуточная и суточная компоненты земных приливов в зоне влияния трещины 69, на рис. 3г, практически совпали по величине с аналогичными показателями для станции №1. Это свидетельствует об одинаковой мобильности скального массива 46-R-7 в зонах влияния трещин №995, 995а и 69, несмотря на различия их сдвиговых характеристик.

Третий прибор с измерительной базой 2.39 м предназначался для контроля вертикальной составляющей движений структурных элементов передовой части массива 59-1 правобережного примыкания плотины. Временной ряд относительных величин вертикальных движений блока №3 передовой части массива 59-1, зарегистрированных в 2012 году, изображен в виде точек на рис. 3д. Цветным пунктиром на рисунке показано среднее выборочное значение ряда, вычисленное в скользящем временном окне 368 часов. Показания данного прибора, на 2 порядка превышающие синхронные показания приборов, установленные в зонах влияния крупных трещин бокового отпора на станциях №1 и №2 в левобережном примыкании, имеют значи-

тельно большой статистический разброс (дисперсию) значений. Исходя из геометрии блока и результатов гармонического анализа, рис. 3е, разброс показаний прибора относительно среднего уровня объясняется малыми колебаниями, которые блок совершает вокруг горизонтальной оси вращения, совпадающей с выступом, на который он покоится в своей нижней трети.

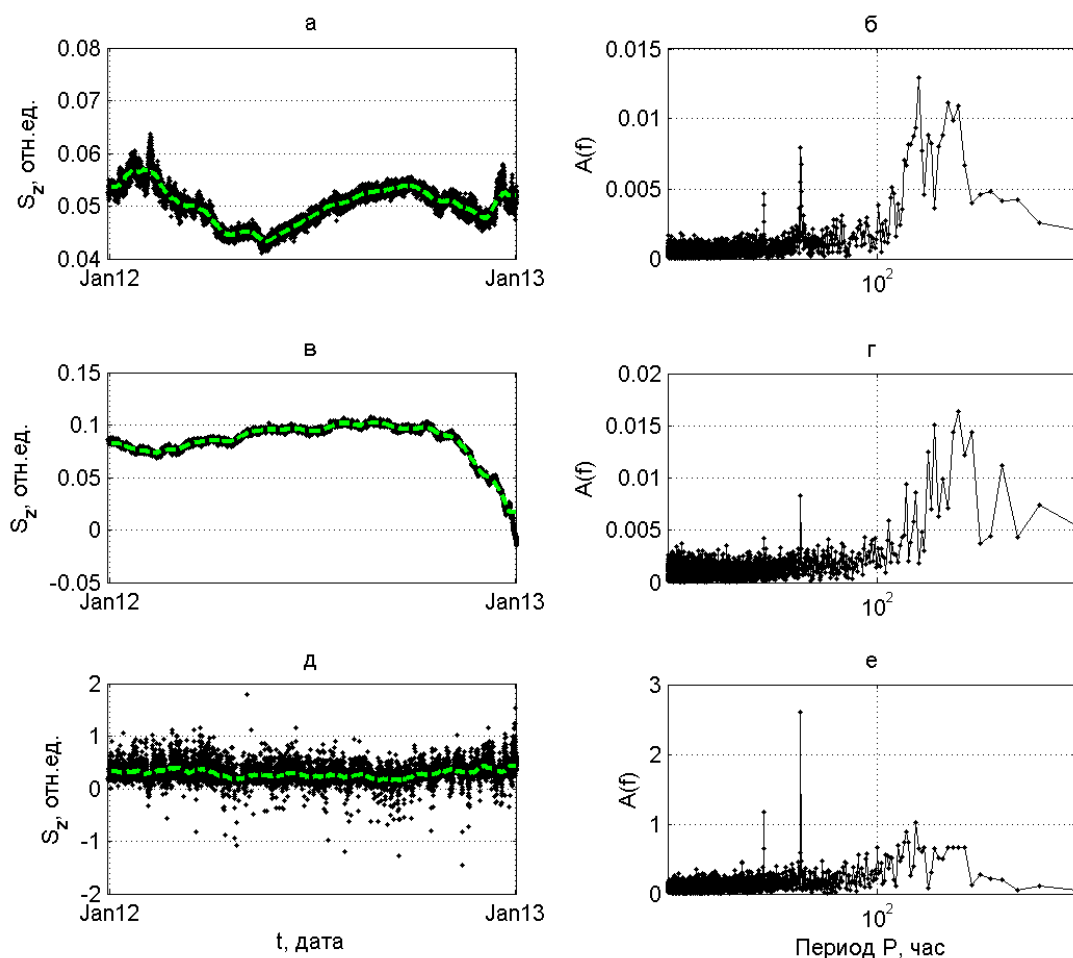


Рис3. а–вертикальные движения пород в зоне 995 и 995а, в –то же в зоне влияния трещины 69, д – то же передовой части массива 59-1,б, г, е – амплитудные спектры вертикальных движений.

В спектре колебаний блока, вычисленном по результатам преобразования Фурье, выделяются 8, 12 и 24 часовые компоненты приливных волн, амплитуды которых также более чем на 2 порядка превышают аналогичные показатели в зонах влияния трещин 995, 995а и 69 левобережного массива 46-R-7. Отсюда следует, что мобильность пе-

редовой части массива 59-1 во столько же раз выше, чем подвижность структурных элементов левобережного массива 46-R-7 в зонах влияния трещин 995, 995а и 69.

Очевидно, указанные отличия обусловлены, прежде всего, локальными геомеханическими особенностями конкретного участка. Если, передовая часть правобережного массива 59-1 фактически не имеет жесткой связи с основной скалой, то, движение смежных породных блоков левобережного массива 46-R-7 вдоль структурных нарушений происходит в стесненных условиях, так как ограничено за счет объемного эффекта работы бетонной плотины.

Выводы. Мобильность и устойчивость горных склонов отражается в периодических приливных деформациях, обусловленных гравитационным взаимодействием Земли с Луной и Солнцем.

В качестве количественных показателей мобильность горных склонов могут служить статистические характеристики параметров движений структурных элементов, в частности, амплитудные значения полусуточных и суточных приливных волн.

В связи с этим, при геомеханическом мониторинге потенциально неустойчивых структурных элементов горных склонов на участках ответственных инженерных сооружений, целесообразно применение аппаратных средств, обеспечивающих возможность регистрации приливных деформаций земной коры с достаточным временным разрешением.

По результатам наблюдений выявлена высокая мобильность передовой части массива 59-1 в правобережном примыкании плотины, указывающая на ее склонность к обрушению. Для обеспечения ее необходимой устойчивости требуется выполнение срочных укрепительных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Токтогульская ГЭС на р. Нарын. Технический проект основных сооружений. Т. 1. Природные условия, инженерно-геологическое обоснование. Ташкент, САО Гидропроект, 1969. 301 с.
2. Токтогульская ГЭС на реке Нарын. Материалы к рабочим чертежам. Ориентировочная сценка устойчивости обвальнo-оползневых массивов на склонах долины р. Нарын в районе Токтогульского гидроузла.-М.: Фонды Всесоюзного ордена Ленина проектно-изыскательского института им. С.Я.Жука. 1970. 63 с.
3. Токтогульская ГЭС на р. Нарын. Материалы к рабочим чертежам: «Крепление массивов левого берега №11 и №5». Записка №9026/34-т46а. Москва 1973. 25 с.
4. Исследование статической устойчивости элементов склонов каньона р. Нарын в районе строительства Токтогульской ГЭС. Промежуточный отчет.-Фрунзе: Фонды ИФимГП, 1970.
5. Степанов В.Я. Механика горных склонов – Бишкек: Илим, 1992. – 192 с.
6. Латынина Л. А., Кармалеева Р. М. Деформографические измерения. М.: Наука, 1978, с.154.
7. Технический отчет по теме: «Исследование скального основания плотины Токтогульской ГЭС на р.Нарын. ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева и Гидропроект им. С.Я.Жука. Л. 1969.