

УДК 622:620.1

**ПРИЛИВНЫЕ ДВИЖЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО НЕУСТОЙЧИВЫХ
СКАЛЬНЫХ МАССИВОВ НА УЧАСТКЕ ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС**

Манжиков Б.Ц.

ИГОН НАН КР

Безопасность гидротехнических сооружений, возведенных на горных реках, предполагает безусловную устойчивость крутых берегов речных каньонов на весь период их эксплуатации. К сожалению, очень часто прилегающие горные склоны имеют неблагоприятное геомеханическое состояние, которое зависит от множества влияющих факторов, не поддающихся строгому учету, что значительно осложняет контроль и прогнозирование склоновых процессов. Указанная проблема характерна для большинства гидротехнических сооружений, строящихся или функционирующих в сложных инженерно-геологических условиях. Весьма показательным в этом отношении является участок основных сооружений Токтогульской ГЭС на реке Нарын, на котором по данным инженерно-геологических изысканий, выявлено 29 потенциально-неустойчивых скальных массивов с общим объемом 9,2 млн. м³ [1–4]. Самопроизвольное обрушение этих массивов способно нанести ощутимый ущерб инженерным сооружениям и нарушить нормальную работу гидроузла.

На напряженно-деформированное состояние окружающих горных склонов и интенсивность склоновых процессов вблизи ГЭС, оказывают влияние: форма и пространственные характеристики склона, физико-механические свойства и степень нарушенности

слагающих пород, региональная сейсмичность, лунно-солнечные земные приливы, сезонные климатические изменения температуры и атмосферного давления, колебания уровня водохранилища, вибрации технологического оборудования и т.п. Невозможность строгого учета влияния перечисленных факторов на геомеханическое состояние горных склонов делает невозможными или малоэффективными оценку и прогноз состояния их устойчивости аналитическими методами. В подобных условиях особую актуальность приобретают организация и проведение режимных инструментальных наблюдений за потенциально опасными структурными элементами окружающих горных склонов, как единственной экономически оправданной меры по обеспечению безопасной и эффективной эксплуатации гидроузла. Инструментальные данные геомеханического мониторинга, регистрируемые на протяжении достаточно длительного времени, позволяют объективно оценивать поведение и устойчивость такой сложной системы как горный склон, составляя информационную основу прогнозирования склоновых процессов.

Со временем постепенная деградация крутых горных склонов вследствие нарушения связей между структурными элементами, способствует повышению их мобильности (подвижности), потере устойчивости и развитию опасных склоновых процессов. На участке Токтогульского гидроузла эти негативные явления достаточно распространены вследствие блочной структуры, тектонической нарушенности и высокой трещиноватости грубо слоистых мраморизованных битуминозных известняков нижнего карбона, слагающих береговые устои и основание сооружения [5, 6]. Благодаря регулярно повторяющимся приливным деформациям мобильность породного массива выявляется по результатам геомеханического мониторинга.

В настоящей работе особенности деформационной реакции дискретной геосреды на приливные воздействия со стороны Луны и Солнца рассмотрены с целью оценки мобильности потенциально неустойчивых массивов левобережного и правобережного примыканий Токтогульской плотины. Принципиальная возможность такой оценки обеспечивается высокой воспроизводимостью тестового приливного воздействия, поддающемуся точному расчету для любой точки земной поверхности в произвольный момент времени [7, 8]. С этой целью показатели приливной мобильности породного массива в зонах влияния крупных трещин бортового отпора 995 и 69 левобережного примыкания плотины сопоставляются с аналогичными величинами, рассчитанными для передовой части массива 59-1 правобережного примыкания, полностью отчлененной от основной скалы. Информационную базу исследований составили результаты многолетних наблюдений склонового процесса в указанных участках створа Токтогульской ГЭС с помощью автоматизированных гидростатических нивелиров RJ-50 фирмы NARI KHP [9]. Точность измерений вертикальных движений составляла 0.01 мм, частота дискретизации эквидистантных цифровых данных 1 час^{-1} .

Статистическая обработка исходных данных, представленных результатами измерений по каждому из участков, включала:

- формирование частичных реализаций длительностью не менее 3 лет, не содержащих больших пропусков данных, способных значительно исказить результаты оценки;
- «отбеливание» выделенных данных путем удаления квазистатической составляющей, вычисляемой в скользящем 36 – часовом временном окне, что с некоторым запасом превышает период наиболее интенсивной суточной приливной волны;

- вычисление спектральной плотности мощности вертикальных движений по результатам 1024 точечного преобразования Фурье отбеленных данных;
- выполнение Фурье преобразования для хронологически последовательных выборок отбеленных данных в скользящем 168 – часовом окне (7 суток) со сдвигом 24 часа;
- построение временных контурных диаграмм изолиний спектральной плотности вертикальных движений.

Выделенные реализации данных вертикальных движений, левый столбец, и их спектральная плотность, правый столбец, по каждому из участков показаны на рисунке 1. На графиках вертикальной составляющей точками обозначены показания автоматизированных гидронивелиров, серой линией средние выборочные значения, вычисленные в скользящем временном окне.

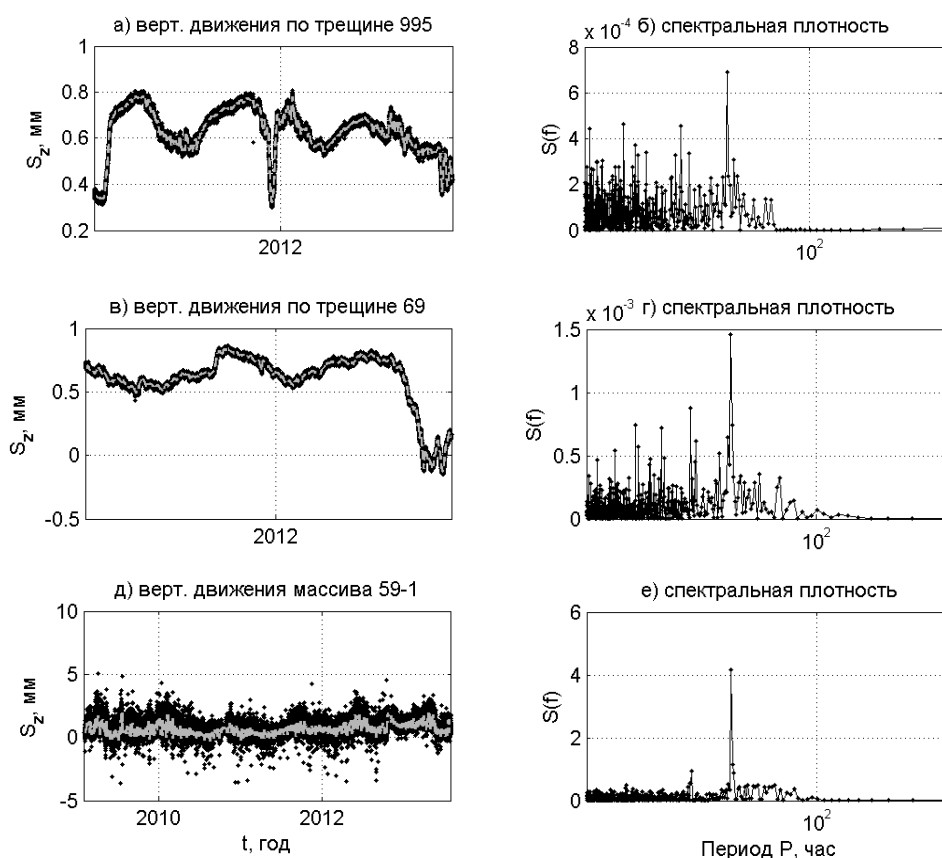


Рис. 1. Вертикальные движения структурных элементов потенциально неустойчивых массивов и их спектральная плотность: а), б) по трещине 995; в), г) по трещине 69; д), е) передовой блок №3 массива 59-1

Согласно представленным данным, в 2011–2013 году вариации вертикальных смещений породных блоков в зонах влияния крупных структурных нарушений левобережного примыкания плотины, обусловленные изменениями напряженно-деформированного состояния левобережного скального массива и термоупругими деформациями бетонной гравитационной плотины, между которыми они находятся, составили десятые доли миллиметра. В то же время сравнительно медленные движения, в пределах 10 мм, передовых блоков правобережного массива 59-1, свободно покоящихся на склоне, происходили, скорее всего, под влиянием климатических факторов и сезонных колебаний уровня водохранилища. Последние, как известно, вызывают изменения крутизны береговых устоев, на которых покоятся передовые блоки потенциально неустойчивого массива.

Исходные инструментальные данные, регистрируемые на каждом из контролируемых участков, имеют заметный статистический разброс и значительную разницу величин вертикальных смещений. Среднее квадратическое отклонение результатов измерений в зонах влияния трещин 995, 69 и передовых блоков массива 59-1 составляет, соответственно, 0,0102, 0,0104 и 0,3501. Поскольку представленные значения получены однотипными приборами, то их разброс, очевидно, характеризует не столько погрешность измерений, сколько степень подвижности контролируемых структурных элементов горных склонов, обусловленную всей совокупности влияющих факторов, перечисленных выше. Судя по величине разброса данных, мобильность передовых блоков массива 59-1, полностью отчлененных от основной скалы, и сохраняющих равновесие лишь благодаря трению и сцеплению в пределах контактных зон, значительно превышает таковую в зонах влияния структурных нарушений

левобережного примыкания, зажатых между береговым массивом и телом плотины.

Несмотря на кажущуюся хаотичность и значительный разброс, исходные данные содержат детерминированные составляющие, в частности, связанные с приливными воздействиями, имеющими период около 12 и 24 часов, которые выявляются по результатам Фурье анализа. На представленных графиках спектральной плотности мощности вертикальных движений, рисунки 1б, г, е, им соответствуют первый и второй спектральные максимумы. Благодаря сравнительно высокой подвижности передового блока №3 массива 59-1, на соответствующем графике спектральной плотности вертикальных движений полусуточная компонента прилива с периодом 12 часов, выражена гораздо сильнее по сравнению со структурными элементами левобережного массива 46-R-7. В среднем спектральная плотность вертикальных движений указанных участков отличается на 3 – 4 порядка.

Следует отметить, что спектральные зависимости на рисунке 1 относятся ко всей выделенной реализации в целом, и характеризуют ее безотносительно ко времени. Вместе с тем, вследствие случайной природы склоновых процессов и сезонного характера большинства влияющих факторов, можно ожидать сезонных особенностей и в проявлении земных приливов. Поэтому, учитывая взаимосвязь мобильности и устойчивости горных склонов, определенный интерес представляло исследование временных вариаций спектральной плотности движений контролируемых участков. С этой целью было рассмотрено изменение спектральной плотности вертикальных движений, вычисляемой в скользящем временном окне длительностью 168 часов (7суток) сдвигом в 1 сутки. Выбранная ширина временного окна обеспечивала необходимую статистическую представительность анализируемой выборки, а сдвиг в 24 часа,

временную детальность анализа исследуемых явлений. В результате обработки данных указанным методом формировались двумерные числовые массивы, в которых номеру столбца соответствовало время (текущая дата), а номеру строки, периода вертикальных движений контролируемого участка. Результаты проведенного анализа в виде изолиний спектральной плотности представлены на рисунке 2.

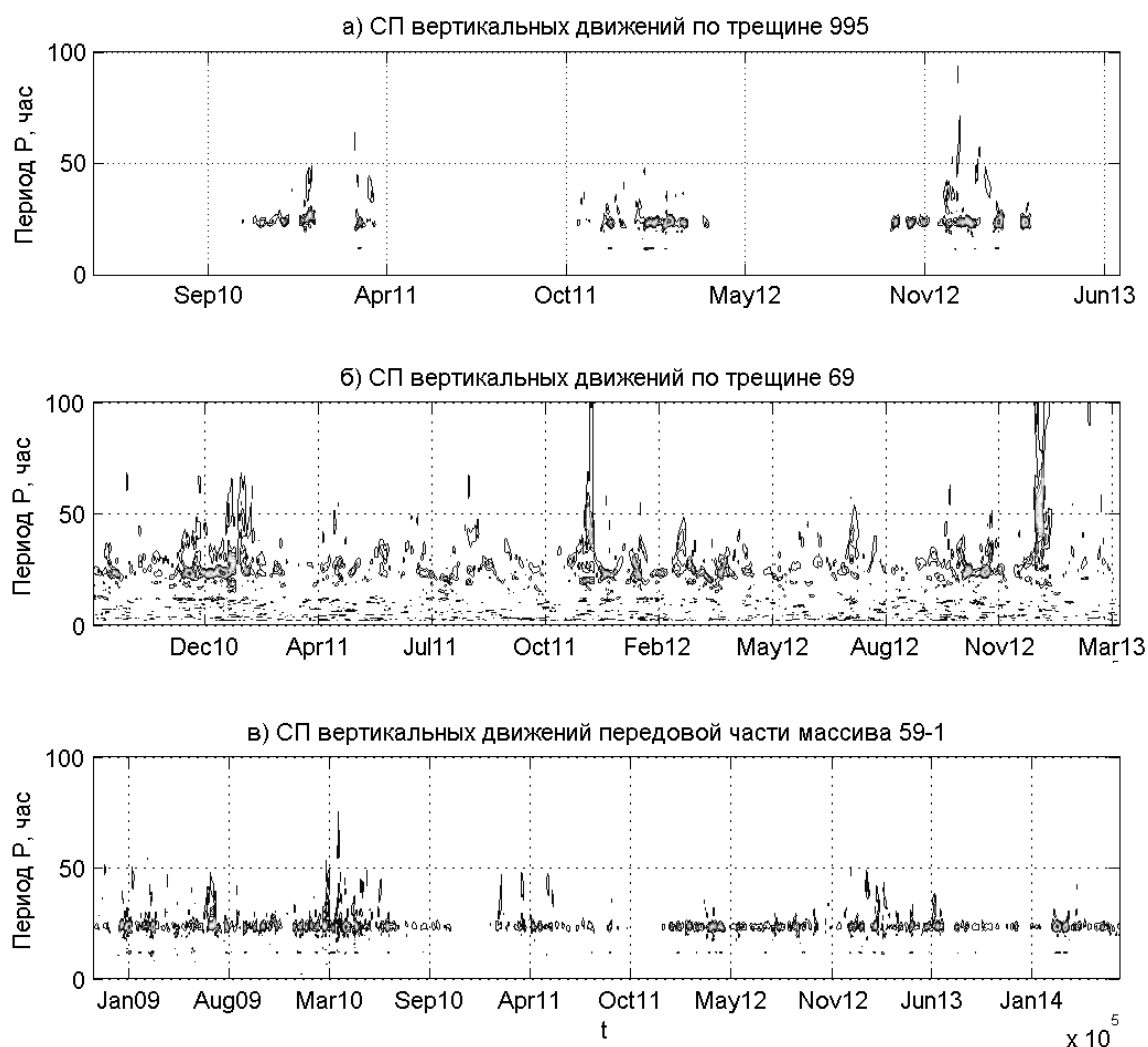


Рисунок 2. Временные распределения спектральной плотности мощности вертикальных движений: а) зона влияния трещины 995, б) зона влияния трещины 69, в) передовая часть массива 50-1

Как следует из приведенных распределений, наибольшая спектральная плотность мощности соответствует суточной приливной волне. Менее интенсивная полусуточная компонента прилива

проявилась на них не столь отчетливо. Представленные распределения оказались весьма неравномерными во времени. Для двух первых из них, относящихся левобережному примыканию, отмечается вполне ожидаемая сезонная зависимость интенсивности проявления суточных приливов, особенно это касается зоны влияния трещины 995 на наблюдательной станции №1, расположенной на отметке 814 метров, рисунок 2а. Менее очевидные сезонные особенности земных приливов в виде широкополосных вертикальных движений проявились в зимний период в зоне влияния трещины 69 на станции №2. Напротив, повышенная интенсивность приливных движений передовых блоков массива 59-1 преимущественно отмечалась в теплое время года весной и летом.

Представляется, что отмеченные особенности сезонного проявления земных приливов в створе Токтогульской ГЭС связаны со специфическим расположением контролируемых участков. Первые два из них в зонах влияния крупных трещин бортового отпора левобережного примыкания плотины, расположенные между основным массивом и телом бетонной плотины, вследствие термоупругих деформаций скального массива и плотины, испытывают в течение года закономерно меняющиеся с окружающей температурой, силы сжатия. Очевидно, вызванные ими деформации, и, соответственно, стесненность участков, ослабевают с понижением температуры воздуха, улучшая мобильность блочной среды и усиливая ее реакцию на приливные воздействия со стороны Луны и Солнца в осенне-зимний период.

В то же время термические деформации не оказывают непосредственного влияния на подвижность приповерхностного слоя пород, в частности, передовой части массива 59-1. В данном случае подвижность, и соответственно, устойчивость, покоящихся на поверхности потенциально неустойчивых блоков, в основном

определяется величиной трения, удерживающего их на крутом склоне. Она может уменьшаться во время сильных дождей, проявляясь в усилении камнепада, и увеличении крутизны скального каньона при повышении уровня воды в водохранилище. Действие указанных факторов усиливаются в теплое время года.

В целом, согласно представленным результатам, наиболее интенсивные приливные движения испытывают передовые блоки правобережного массива 59-1, гораздо слабее они проявляются в зонах влияния трещин 995 и 69 на участке левобережного примыкания плотины. Поскольку устойчивость структурных элементов горного склона находится в обратной зависимости от степени их мобильности, то, по данному показателю, структурные элементы левобережного примыкания представляются гораздо более устойчивыми по сравнению со свободно покоящимися на склоне передовыми блоками массива 59-1.

Рассмотренные особенности проявления земных приливов полезно учитывать при оценке и прогнозе устойчивости обвало оползне опасных структурных элементов горных склонов. Усиление приливных деформаций, означает повышение их мобильности и, соответственно, снижение устойчивости, и, напротив, уменьшение интенсивности приливов, следует рассматривать как признак повышения устойчивости контролируемых массивов.

В качестве косвенного количественного показателя неустойчивости, учитывая высокую воспроизводимость приливообразующего потенциала, может быть рекомендована величина спектральной плотности мощности движений (амплитуды) суточной приливной волны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Токтогульская ГЭС на реке Нарын. Материалы к рабочим чертежам. Ориентировочная сценка устойчивости обвально-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.
2. 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.
 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. Токтогульская ГЭС на р. Нарын. Технический проект основных сооружений. Т. 1. Природные условия, инженерно-геологическое обоснование. Ташкент, САО Гидропроект, 1969. 301 с.
 6. Степанов В.Я. Механика горных склонов–Бишкек: Илим, 1992,192 с.
 7. Мельхиор П. Земные приливы. М.: Мир, 1968.
 8. Латынина Л. А., Кармалеева Р. М. Деформографические измерения. М.: Наука, 1978, с. 154.
 9. Манжиков Б.Ц., Тилегенов К. Мобильность потенциально неустойчивых скальных массивов на участке Токтогульской ГЭС/Современные проблемы механики сплошных сред. Вып. 17, с. 125–135.