

ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПЛОТИНЫ КАМБАРАТИНСКОЙ ГЭС-2

И.А.Торгоев, Ж.У.Жанчаров,
Б.Айдаралиев, Б.Оморев, К.Черикчиев
[E.mail. ksucta@elcat.kg](mailto:ksucta@elcat.kg)

Камбар-Ата-2 ГЭСинин тосмосунун абалынын комплекстүү мониторингинин жыйынтыгы каралган. Мониторинг жүргүзгөн учурда геофизикалык методдор тосмонун денесинде бургуланган байкоо жүргүзүлүүчү скважиналардагы жана суу сактагычтагы суунун деңгээлин текшерүү менен айкалыштырылып колдонулду. Комплекстүү мониторингдин жыйынтыктары байкоо жүргүзүлүүчү скважиналардагы суунун деңгээли, ГЭСтин суу сактагычындагы суунун деңгээли менен синхрондуу түрдө өзгөрүлүп туруусун көргөзөт. Узак убакытты алганда, тосмонун кырындагы тьезометриялык скважиналарда суунун акырындап көтөрүлүү тенденциясы байкалат.

В докладе рассмотрены результаты комплексного мониторинга состояния плотины Камбаратинской ГЭС-2. При проведении мониторинга использовались геофизические методы в сочетании с контролем уровня воды в водохранилище и в наблюдательных скважинах, пробуренных в теле плотины. Результаты мониторинга свидетельствуют о том, что уровень воды в наблюдательных скважинах изменяется практически синхронно с уровнем воды в водохранилище КГЭС-2. В долгосрочном аспекте отмечается тенденция постепенного подъема воды в пьезометрических скважинах на гребне плотины.

In the report the results of monitoring of the dam Kambarata HPP-2. For monitoring geophysical methods used in combination with the control of the water level in the reservoir and in observation wells drilled in the dam body. Results of monitoring shows that water levels in observation wells varies almost synchronously with the water level in the reservoir KHPP-2. In the long-term aspect, there is a trend of gradual rise of water in piezometric wells on the crest of the dam.

Одним из ключевых этапов строительства Камбаратинской ГЭС-2 (КГЭС-2) считалось возведение плотины, которая должна была перекрыть русло р. Нарын и направить потоки воды через гидроагрегаты станции для выработки электроэнергии. Причем для возведения данной плотины специалистами Российского ООО «Гидроспецпроект» был применен не общепринятый, а взрывонабросный метод строительства: с помощью крупномасштабного массового взрыва (КМВ) 2860 тонн взрывчатого вещества (рис. 1) был произведен сброс горного массива правого борта в каньонообразное русло реки /1/.

Предполагалось, что в результате направленного массового взрыва сформируется искусственный оползень типа «каменной лавины» и в русле р. Нарын образуется скальный навал объемом около 3 млн м³ и высотой до 60 м. Однако из-за того, что при КМВ основная часть энергии взрыва прорвалась через зону дробления тектонического разлома «Южный», значительный объем взорванных пород был перемещен в сай с западной стороны этого разлома и взрываемого склона. По этой причине существенно уменьшился объем навала в створе плотины (рис. 2), что потребовало досыпки плотины до проектной отметки гребня 961 м обычным способом. Героическими усилиями строители успели до начала паводка 2010 г. отсыпать плотину, затратив на это значительные финансовые средства, помимо громадных средств, затраченных на подготовку и проведение самого взрыва.

Из-за того, что при КМВ не были достигнуты проектные размеры плотины (высота, проектный профиль вдоль и поперек русла р. Нарын), не было обеспечено и динамическое уплотнение горных пород и грунта в теле получившегося навала. В результате уже через 12 часов после перекрытия русла на низовом откосе плотины были зафиксированы первые

выходы фильтрационного потока из водохранилища. Расход р. Нарын в момент производства КМВ составлял $221 \text{ м}^3/\text{с}$. Спустя 18 часов после взрыва расход фильтрационного потока достиг $8-9 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 2) при установившемся перепаде уровней воды между верхним и нижним бьефами свыше 35 м. Оставшаяся часть расхода реки сбрасывалась по строительно-эксплуатационному водосбросу (СЭВ) в безнапорном режиме.

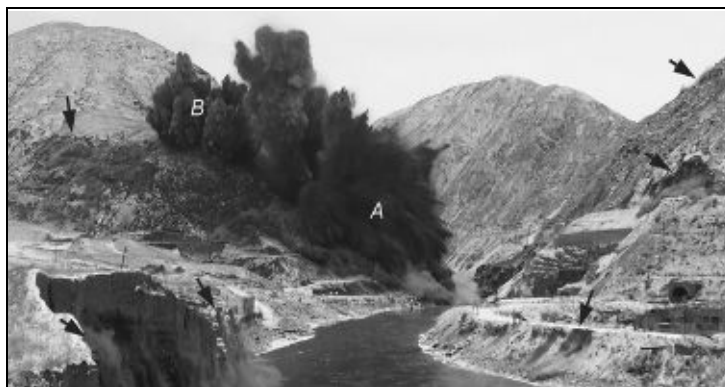


Рис. 1. Крупномасштабный взрыв 22 декабря 2009 г. для возведения плотины КГЭС-2: стрелками показаны места обрушений на склонах в ближней зоне КМВ



Рис. 2. Проектный (пунктирная линия) и фактический (сплошная линия) контур плотины КГЭС-2 после перекрытия р. Нарын с помощью КМВ

Следует отметить, что история применения направленного взрыва в гидротехническом строительстве началась в 1929 г., когда в США на одной из рек бассейна р. Колорадо в очень крутом ущелье была осуществлена попытка возведения плотины высотой 36 м. Взрывной навал также получился гораздо меньших размеров по сравнению с запроектированными размерами плотины. В процессе отсыпки плотина разрушилась из-за оползания низового откоса, вызванного интенсивной фильтрацией. В СССР направленный взрыв был применен впервые в 1935 г. при перекрытии р. Чирчик. Результат был также неудовлетворительным.

Неудачи этих первых попыток применения направленного взрыва для плотиностроения были связаны с размывом материала взрывонабросных навалов мощными фильтрационными потоками воды. В конечном итоге есть основания полагать, что плотина КГЭС-2 также не обладает достаточной фильтрационной прочностью в долгосрочной перспективе из-за возникновения фильтрационного потока непосредственно после неудачного перекрытия и в процессе последующей отсыпки плотины.

Для мониторинга состояния плотины, в частности, слежения за фильтрационными процессами в теле плотины КГЭС-2 в 2012 г. нами были начаты геофизические исследования самой плотины, а также массивов горных пород на участках примыкания к плотине. Эти исследования стали начальными этапами режимного мониторинга для оценки долговременной устойчивости основных сооружений КГЭС-2.

Необходимость подобного мониторинга обусловлена не только описанными выше неудовлетворительными результатами взрывонабросного способа возведения плотины, но и особенностями сейсмо-тектонических условий на участке ее створа, характеризующимися наличием в дне реки тектонического разлома «Южный», по которому фиксируются современные движения с амплитудой 3,5 м. Для разлома характерны современные тектонические движения надвигового типа: участок створа и территория выше по реке испытывают восходящие движения, ниже – нисходящие. Предполагается, что в случае вспарывания шва этого разлома остаточные деформации в зоне дробления могут достигнуть 0,5 м. Мощность зоны дробления по разлому составляет 20-50 м, мощность зоны влияния (повышенной трещиноватости) – до 100 м.

Следует также иметь в виду, что район основных сооружений КГЭС-2 характеризуется повышенной сейсмической активностью. Согласно действующей карте сейсмического районирования территории Кыргызской Республики, утвержденной в апреле 2012 г., район Камбаратинского гидроузла относится к 9-балльной зоне землетрясений с магнитудой $M=7,5$. Так, эпицентр Суусамырского землетрясения 1992 г. ($M=7,3$) располагался на расстоянии около 60 км к северо-северо-востоку от плотины КГЭС-2.

Для оценки и мониторинга состояния плотины КГЭС-2 использовались следующие геофизические методы: вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) в варианте электрического профилирования по методу сопротивлений (рис. 3) и исследования сейсмических характеристик грунтов плотины по методу Накамуры. Геодезическая съемка пунктов ВЭЗ и микросейсмических измерений осуществлялась с помощью дифференциальной системы DGPS ProMark-3. Для контроля фильтрационных процессов в теле плотины в 2010 г. были обустроены пьезометрические скважины (рис. 3). Очевидно, что наиболее полная и достоверная информация может быть получена при использовании комплекса методов. Образно сравнивая проходку наблюдательных пьезометрических скважин с «булавочными уколами», следует отметить, что при огромных затратах на бурение получаемые результаты скважинного пьезометрического контроля в отличие от геофизических методов не дают полной объемной картины состояния плотины.

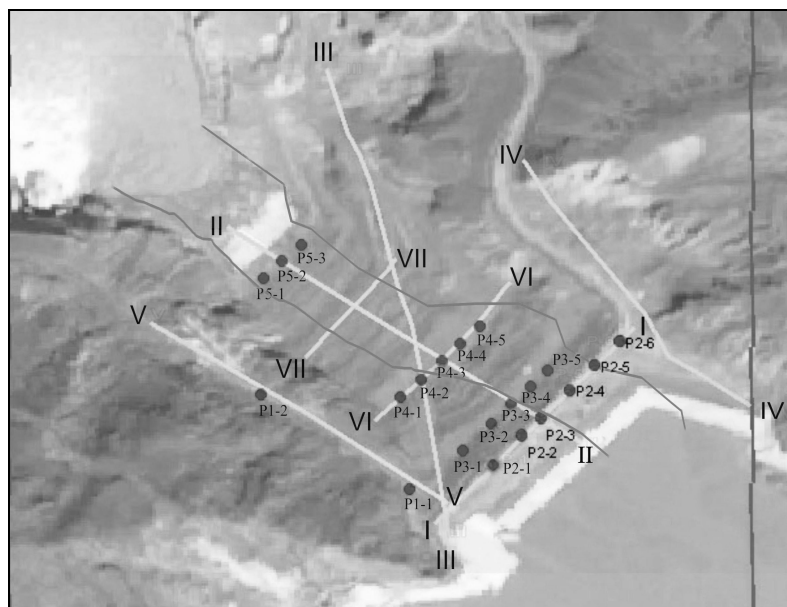


Рис. 3. Расположение профилей ВЭЗ (светлые линии) и пьезометрических скважин (темные кружки) на космоснимке плотины КГЭС-2. Синими линиями показаны контуры русла р. Нарын до взрыва

На рис. 3 представлена карта-схема расположения профилей ВЭЗ и пьезометрических скважин на исследуемом участке плотины и ее бортовых примыканий.

Результаты электрического профилирования по перекрестным профилям I-I и II-II, выполненного в июле (пик гидрографа) и в конце сентября (начало межлетнего периода) демонстрируются на рис. 4-5, а на рис. 6 приведены результаты пьезометрического мониторинга за период 2010-2012 гг. по створу скважин 21-2.6, который совпадает с геофизическим профилем I-I.

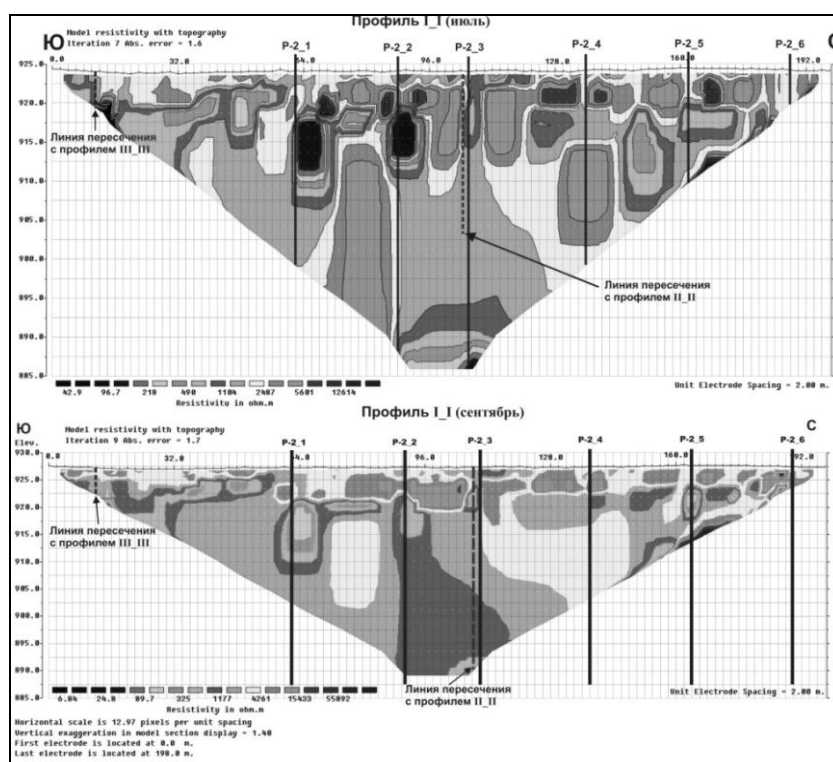


Рис. 4. Томограммы сопротивлений по профилю I-I в створе скважин 2.1-2.6 по состоянию в июле 2012 г. (верхняя диаграмма) и в конце сентября 2012 г. (нижняя диаграмма)

Как видно на рис. 4-5, томограммы электрических сопротивлений по обоим профилям характеризуются существенной неоднородностью, связанной с неоднородностью тела плотины по своим геотехническим и фильтрационным свойствам. Согласно прогнозу проектировщиков плотность тела насыпной плотины должна составлять $\rho=1,8-1,9 \text{ т/м}^3$ в верхней ее части и $2,1-2,2 \text{ т/м}^3$ – в нижней. Соответственно должно изменяться и значение коэффициента фильтрации: от $2,0 \text{ см/с}$ до $1,0 \text{ см/с}$ [2]. Таким образом, наибольшей водопроницаемостью должна характеризоваться верхняя, наименее уплотненная часть плотины, что подтверждается результатами электропрофилеирования.

На рис. 4 отчетливо видно, что в верхней части плотины имеются зоны повышенного увлажнения, приуроченные к скважинам 2.1-2.2. Наиболее четко эти зоны выделяются на верхней томограмме рис.4, полученной в период максимального наполнения хвостохранилища в июле 2012 г. На продольном профиле II-II (рис. 5) эта зона увлажнения отчетливо прослеживается между скважинами 2.3 и 4.3.

Сопоставление данных пьезометрического мониторинга в створе скважин 2.1-2.5, пробуренных на гребне плотины, с результатами контроля уровня вода в верхнем бьефе свидетельствует о том, что уровень воды в наблюдательных скважинах изменяется практически синхронно с уровнем воды в водохранилище КГЭС-2. Как видно на рис. 6, в долговременном аспекте отмечается тенденция постепенного подъема воды в пьезометрических скважинах на гребне плотины.

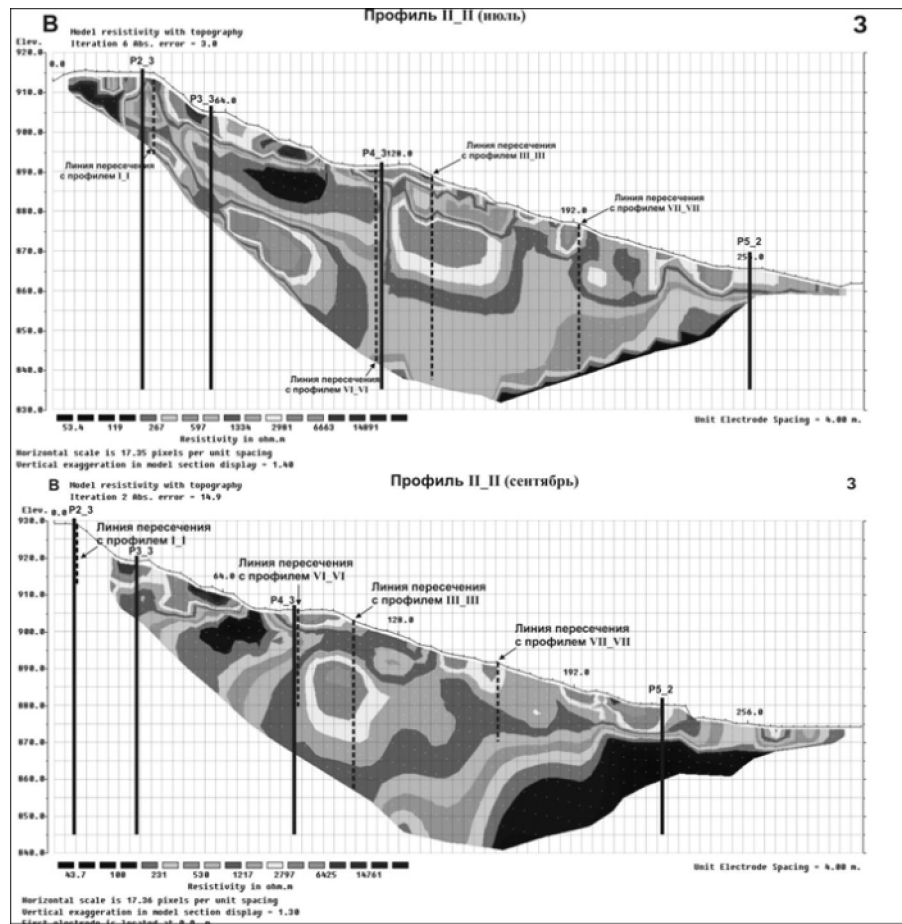


Рис. 5. Томограммы сопротивлений по продольному профилю II-II по состоянию в июле 2012 г. (верхняя диаграмма) и в сентябре 2012 г. (нижняя диаграмма)

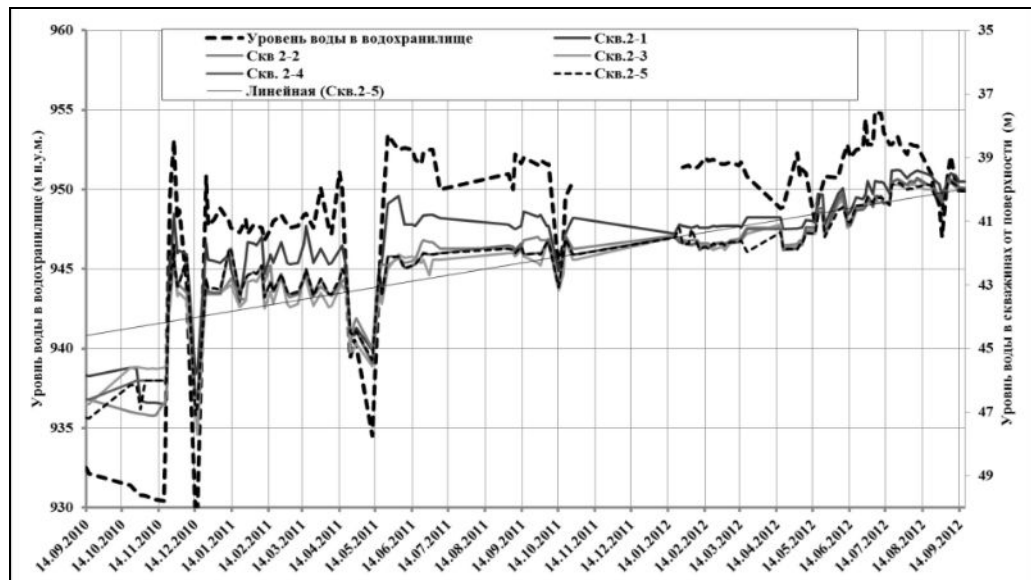


Рис. 6. Результаты пьезометрического мониторинга по скважинам 2-1-2-5 за 2010-2012 гг.

При изучении сейсмических характеристик грунтов, слагающих тело плотины, использовался метод регистрации и анализа микросейсм, предложенный японским сейсмологом Накамурай. Микросейсмы, или сейсмический шум Земли представляют собой непрерывные, весьма слабые колебания (микроколебания) земной поверхности в

широком интервале амплитуд и частот. Для целей сейсмического микрорайонирования наибольший интерес представляют микросейсмы с периодами колебаний в интервале 0,1-2,0 с (0,5-10 Гц). При реализации метода Накамуры на практике необходимо при регистрации микросейсм определить реакцию контролируемой точки на поверхностные колебания в виде квазипередаточной функции QST или отношения горизонтальной и вертикальной компонент колебаний на поверхности (H/V) в определенном диапазоне частот.

На рис. 7 представлены отношения горизонтальной H (север-юг) и вертикальной V компонент микросейсм. Усредненные значения отношения H/V показаны сплошной линией, а пунктирной линией показаны отношения H/V в пределах одного стандартного отклонения (G) от среднего H/V.

Результаты измерений микросейсмического шума по методу Накамуры показывают, что тело дамбы усиливает сейсмический сигнал в диапазоне 2-5 Гц, а фундаментальная частота f_0 насыпной дамбы составляет около 3 Гц (рис. 7, а). За пределами насыпной дамбы усиления сейсмических колебаний нет. На первой террасе, ниже гребня дамбы в створе скважин 3.1-3.4, наблюдается такая же резонансная частота ($f_0=2,7$ Гц). У основания дамбы, снизу, наблюдается усиление вблизи частоты 6 Гц (рис. 7, б), что по методике расчета Накамуры дает мощность насыпной дамбы в 20 м.

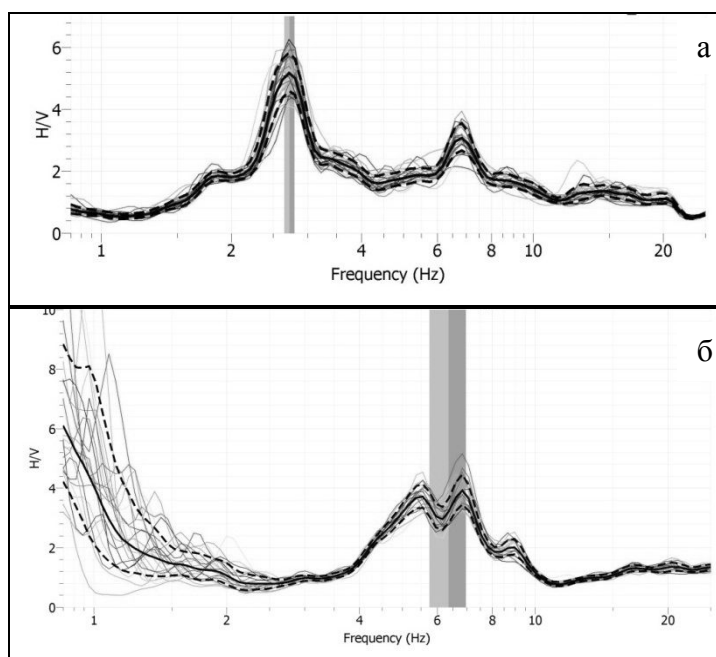


Рис. 6. H/V – спектры микросейсм на гребне плотины (а) и у ее основания (б)

Список литературы

1. Торгоев И.А., Хавенит Х.-Б., Стром А.Л. Влияние крупномасштабного взрыва на оползнеопасные склоны в районе Камбаратинской ГЭС-2 // Материалы V Международного симпозиума «Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов». Бишкек, 19-24 июня 2011 г., том 1. – С. 195-201.
2. Корчевский В.Ф., Обополь А.Ю. Камбаратинская ГЭС-2 на р. Нарын в Кыргызской Республике. Актуализация проекта. Сводная пояснительная записка. ООО СПИИ «Гидроспецпроект». – М., 2008. – 134 с.

