

УДК 550.34; 531/534; 627.8

МИКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ШУМЫ В ТЕЛЕ ПЛОТИНЫ ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС

В.И. Довгань

Представлены результаты анализа шумов плотины Токтогульской ГЭС. Показана возможность использования спектров шума для оценки причин остаточных явлений в теле плотины после землетрясений.

Ключевые слова: шумы плотины; спектральный анализ; землетрясения.

MICROSEISMIC NOISE IN THE TOKTOGUL DAM BODY

V.I. Dovgan

The results of analysis of Toktogul dam noises are given. It is shown The possibility of using of noise spectra to assess the causes of residual effects in the dam body after the earthquake.

Key words: dam noises; spectral analysis; earthquakes.

Бетонная гравитационная плотина Токтогульской ГЭС, расположенная в зоне высокой сейсмической активности, подвергается не только негативному воздействию землетрясений, но и постоянным вибрациям, связанным с работой оборудования. Основными техногенными источниками колебаний плотины являются работающие гидроагрегаты, водоводы, водосборы и т. п.

В данной статье рассматривается задача сопоставительного анализа шумов плотины Токтогульского гидроузла, вызванных техногенными и сейсмическими воздействиями. Шумы регистрируются точками наблюдений на плотине в промежутках между записями землетрясений, усредняются в течение часа и сохраняются в спектральной форме [1, 2].

На рисунке 1 показаны осреднённые почасовые спектры по записям шума во второй центральной точке плотины на трёх составляющих. Кроме осредненных почасовых спектров сохраняется информация о максимальных почасовых спектрах (рисунок 1, справа). Особенностью этих спектров является то, что они содержат максимальные амплитуды колебаний, которые возникали хотя бы один раз в течение часа.

В осреднённых почасовых спектрах шума особенно чётко выделяются частоты, связанные с работой гидроагрегатов: 2,8 Гц – частота вращения турбины и 44,6 Гц – частота вращения лопастей, а также их гармоники (рисунок 1, слева). Колебания амплитуд на этих частотах совпадают с колебаниями мощности, вырабатываемой ГЭС.

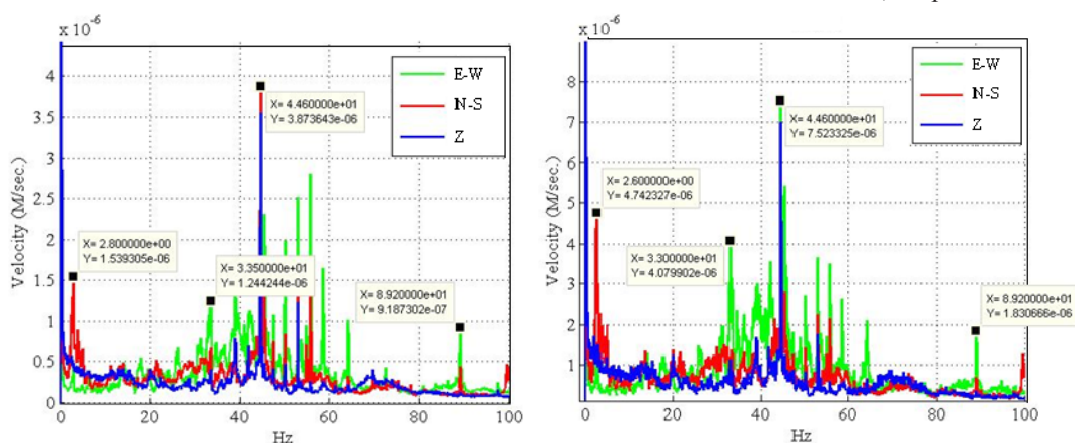


Рисунок 1 – Осреднённые (слева) и максимальные почасовые спектры (справа) по записи шума за период с 9 ч 02 мин 15 с до 10 ч 02 мин 15 с 1 января 2011 г.

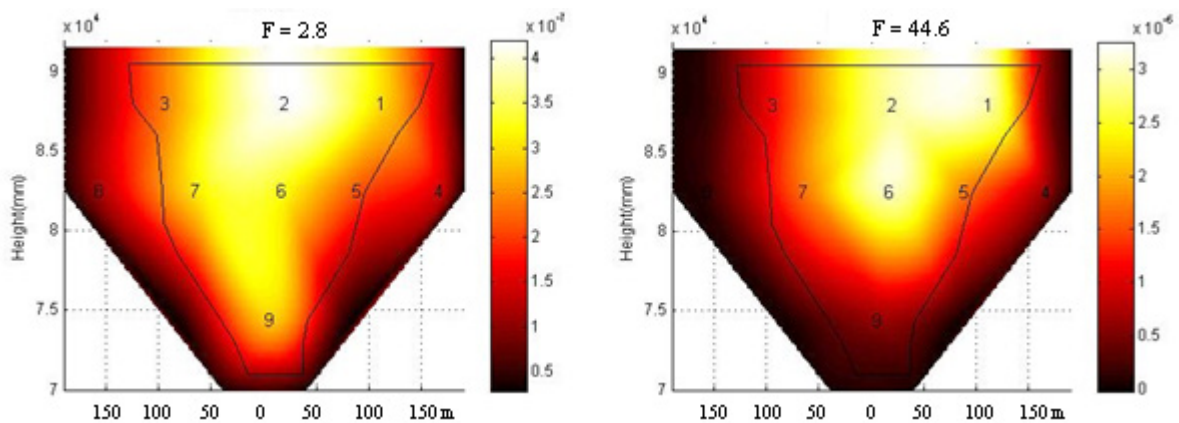


Рисунок 2 – Распределение интенсивности колебаний шума по телу плотины на частоте 2,8 Гц (слева) и на частоте 44,6 Гц (справа). Цифрами показаны места расположения точек наблюдений, линией – контур плотины

В диапазоне частот 1–30 Гц происходят колебания опорных конструкций. Максимальные почасовые спектры включают в себя кроме основных резонансных частот случайные. Например, на рисунке 1 справа виден максимум на частоте 2,6 Гц, не характерной для спектров шума. Ниже показано распределение амплитуд колебаний по телу плотины на частотах 2,8 и 44,6 Гц.

На рисунке 2 видно, как амплитуды шума возрастают с высотой: на частоте 2,8 Гц – с максимумом во второй точке, на частоте 44,6 – с максимумом в шестой и верхних – первой и второй точках. Такое поведение обусловлено конструкцией плотины: в центре расположены водоводы, по которым вибрации передаются на гребень, и усиливаются самой плотиной. Сами гидроагрегаты расположены вблизи девятой точки наблюдений.

Частота 2,8 Гц всегда присутствует в спектре землетрясений и опасна как для плотины, так и для гидроагрегатов. На рисунке 3 приведен пример поведения амплитуд колебаний шума на этой частоте во время записи Нуринаского землетрясения 2008 г. (энергетический класс $K = 16$, эпицентральное расстояние до плотины – 250 км). Амплитуды колебаний шума увеличиваются во всех точках наблюдений, при этом максимальное увеличение (в 4 раза) наблюдается во второй центральной точке плотины.

В летнее ночное время, когда расход гидроэнергии минимальный, гидроагрегаты иногда отключают. На рисунке 4 показаны спектры шума при отключенных гидроагрегатах.

На этих спектрах отсутствуют максимумы на частотах оборотной 2,8 Гц и лопастной составляющей 44,6 Гц и их гармониках. Большой амплитудой выделяется частота 0,1 Гц (более низкие частоты находятся за пределами диапазона регистрации). Это одна из собственных частот колебаний плотины. Распределение интенсивности

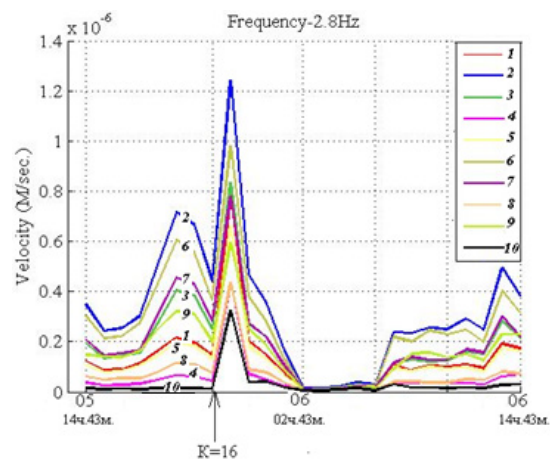


Рисунок 3 – Изменение во времени амплитуд колебаний шума на частоте 2,8 Гц с 14 ч 43 мин 5 октября по 14 ч 43 мин 6 октября. Стрелкой отмечен момент начала записи Нуринаского землетрясения на плотине

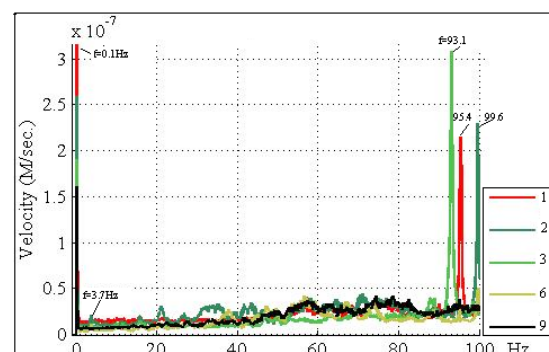


Рисунок 4 – Спектры шума при отключенных гидроагрегатах по записям в пяти точках наблюдений на компоненте С-Ю

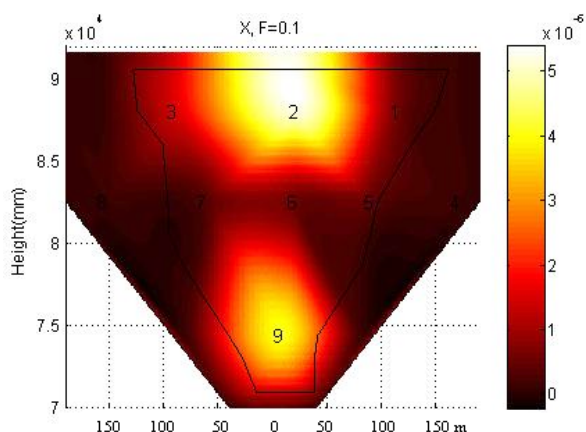


Рисунок 5 – Распределение интенсивности амплитуд колебаний на частоте 0,1 Гц

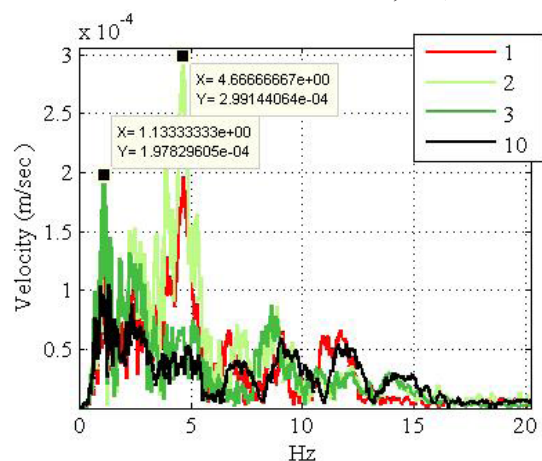


Рисунок 6 – Спектры по записям землетрясения 30 июля 2006 г. в четырёх точках наблюдений по составляющей С-Ю

амплитуд колебаний на этой частоте показано на рисунке 5.

Колебания с частотой 0,1 Гц воздействуют на сооружение в целом. На рисунке 5 видно, как колебания в основании плотины (точка 9) усиливаются в верхней второй центральной точке наблюдений.

Частота 3,7 Гц – одна из собственных частот блока, в котором расположена вторая точка. Большими амплитудами выделяются колебания на частотах 93,1, 95,4 и 99,6 Гц. Эти частоты обусловлены работой оборудования в машинном зале, не связанного с гидроагрегатами.

Спектры шума и землетрясения. Во время записи какого-либо события (пуска гидроагрегата, землетрясения и т. д.) шум не обрабатывается, поэтому почасовые спектры шума позволяют оценить остаточные явления в теле плотины после такого события. Рассмотрим изменение шума плотины за период с 30 по 31 июля 2006 г., когда

произошла серия местных толчков в очаговой зоне к юго-востоку от гидроузла. На рисунке 6 приведены спектры землетрясения 30 июля 2006 г. с энергетическим классом $K = 11.5$.

В спектрах наблюдаются два основных максимума на частотах 1,1 и 4,7 Гц. Изменение во времени уровня шума на этих частотах показано на рисунках 7 а, 7 б.

Стрелками показаны моменты начала записей на плотине зарегистрированных местных толчков и их энергетический класс. Во время первого самого сильного толчка с энергетическим классом $K=11.5$ наблюдалось четко выраженное увеличение уровня шума во всех точках наблюдений. На низкой частоте 1,1 Гц в момент максимума уровень шума в верхней второй точке по сравнению с десятой опорной увеличился в 4 раза, на частоте

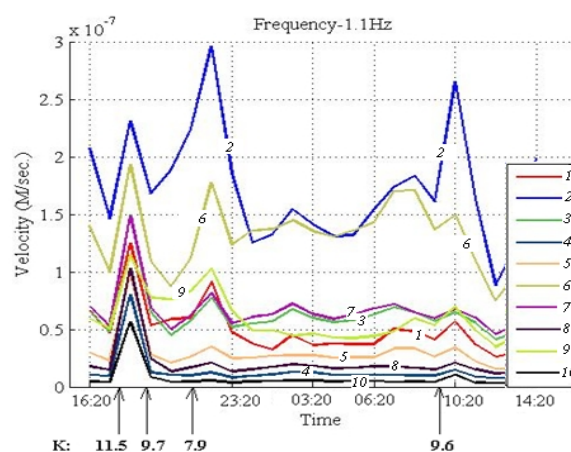


Рисунок 7а – Записи шума с 16 ч 20 мин 30 июля по 14 ч 20 мин 31 июля на фиксированной частоте 1,1 Гц в десяти точках наблюдений

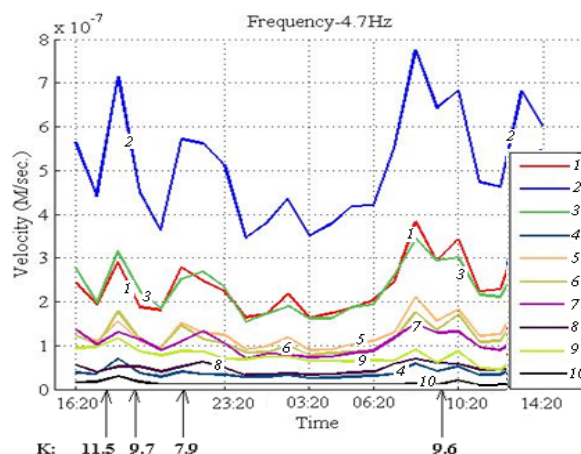


Рисунок 7б – Записи шума с 16 ч 20 мин 30 июля по 14 ч 20 мин 31 июля на фиксированной частоте 4,7 Гц в десяти точках наблюдений

4,7 Гц – в 20 раз. Длительность записи землетрясения составила всего 20 с. Возбуждение шума, связанное с землетрясением, продолжалось в течение часа. Далее последовали ещё два толчка с классами $K = 9.7$ и $K = 7.9$, суммарный эффект которых также отразился на уровне шума. Землетрясение с энергетическим классом $K = 9.6$ хорошо отразилось на частоте шума 1,1 Гц. На более высокой частоте 4,7 Гц эффект выражен не четко – высокочастотные колебания при землетрясениях затухают значительно быстрее. К тому же создается впечатление, что этому землетрясению предшествовал, по крайней мере, ещё один очень слабый толчок, ниже уровня шума, который система не зафиксировала.

На рисунке 8 представлены спектры шума за сутки с 13 по 14 августа 2006 г., когда в 12 ч 07 мин произошло ещё одно достаточно сильное местное землетрясение с энергетическим классом $K = 11.7$.

Сразу после землетрясения в течение часа также наблюдалось увеличение уровня шума – особенно чётко это видно на низких частотах от 0,1 до 0,9 Гц.

Подобный эффект воздействия на уровень шума наблюдается и при удаленных землетрясениях. Например, после землетрясения 7 сентября 2010 г. ($K = 15$, эпицентрального расстояние 285 км) увеличенный уровень шума в некоторых точках наблюдений сохранялся несколько дней. На рисунках 9–11 показаны осредненные объемные спектры за сентябрь по записям микросейсм во второй, шестой и девятой точках.

Землетрясение 7 сентября 2010 г. в спектрах четко не выражено, т. к. спектры усреднены за месяц, длительность землетрясения относительно мала и после землетрясения амплитуды колебаний шума не вернулись к первоначальному уровню. Эпицентр расположен на значительном расстоя-

нии, поэтому до плотины “дошли” низкочастотные колебания (высокочастотные затухают быстрее). Во второй и девятой точках на низких частотах видно увеличение уровня микросейсм после землетрясения вплоть до 16 сентября. При этом уровень шума во второй точке в три раза выше уровня в девятой точке (рисунки 9 и 11). Землетрясение никак не повлияло на шумы в центральной шестой точке (рисунок 10). И в остальных точках этот эффект был значительно слабее, либо отсутствовал совсем (точки 4-я и 8-я в бортах плотины).

Возникает вопрос – с чем же связано столь длительное сохранение высокого уровня микросейсм? 5 октября 2008 г. в том же районе произошло более сильное Нуринское землетрясение ($K = 16$). На рисунке 12 приведены осредненные спектры за октябрь по записям микросейсм в 9-ой точке. На спектрах четко виден момент землетрясения и его продолжительность. После землетрясения уровень шума соизмерим с предшествующим событию уровнем. Некоторые его колебания связаны с последовавшими многочисленными афтершоками. Правда, в конце месяца уровень микросейсм на низких частотах опять усилился.

Разницу в воздействии на уровень шума двух рассмотренных нами удаленных землетрясений можно объяснить различным уровнем воды в водохранилище. При Нуринском землетрясении 2008 г. этот уровень находился на самых минимальных отметках за весь период наших наблюдений – 859,6 м. Во время землетрясения 7 сентября 2010 г. уровень воды был относительно высоким – 900,2 м. Длиннопериодные колебания от землетрясения 7 сентября (к плотине они подошли с интенсивностью порядка 4-х баллов) привели в движение водный массив, который долгое время находился в возбужденном состоянии.

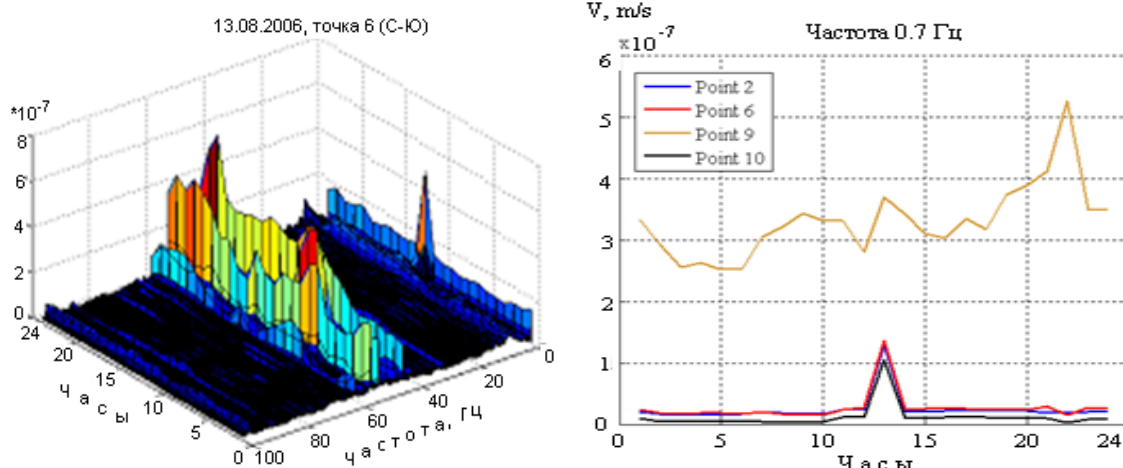


Рисунок 8 – Почасовые усредненные спектры за сутки 13-08-2006 г (слева) и изменение уровня шума на фиксированной частоте 0,7 Гц (справа)

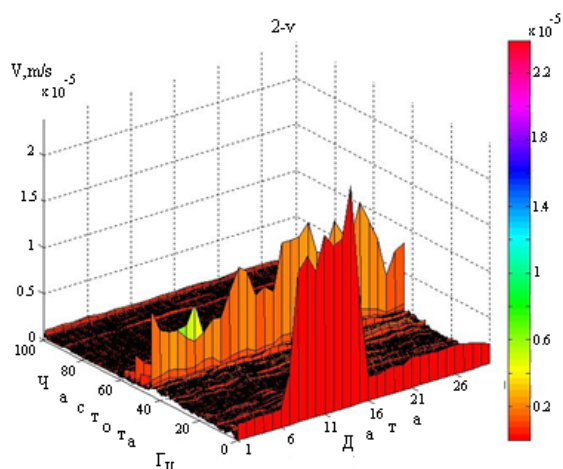


Рисунок 9 – Осредненный спектр шума за сентябрь 2010 г. во второй точке (полный вектор)

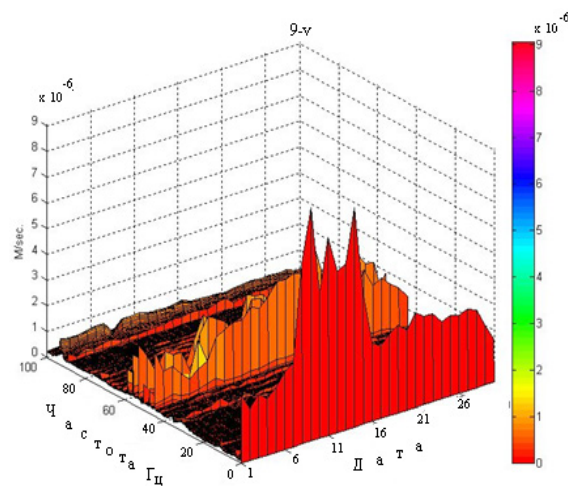


Рисунок 11 – Осредненный спектр шума за сентябрь 2010 г. в девятой точке (полный вектор)

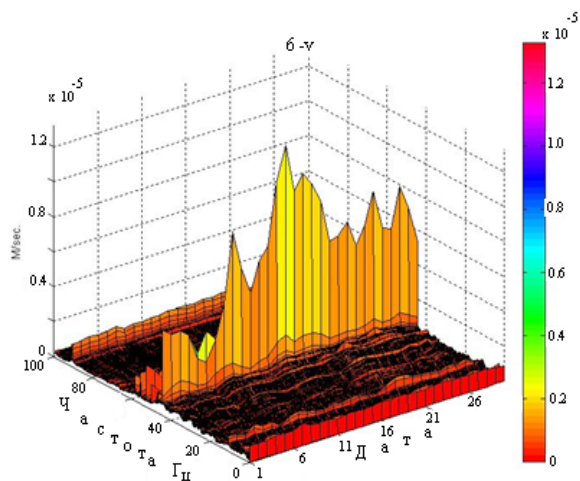


Рисунок 10 – Осредненный спектр шума за сентябрь 2010 г. в шестой точке (полный вектор)

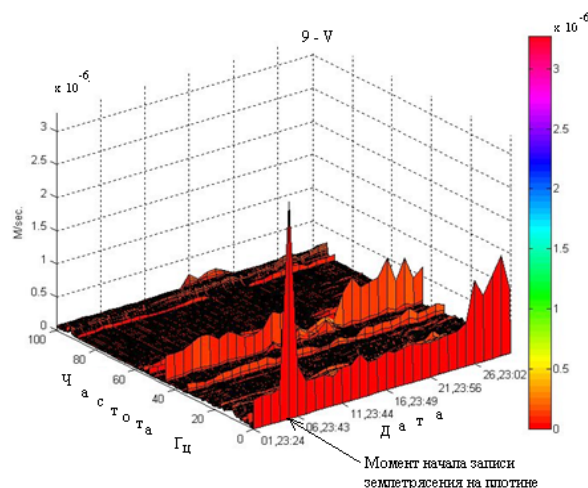


Рисунок 12 – Осредненный спектр за октябрь 2008 г. по записи шума в девятой точке (полный вектор)

Таким образом, шумы плотины, представленные в спектральной форме, дают информацию о частотах, характерных для работы оборудования плотины. При отключённых гидроагрегатах на спектрах видны собственные частоты колебаний плотины и отдельных её блоков.

Почасовые спектры позволяют оценить остаточные явления в теле плотины после землетрясений. В случае местных достаточно сильных толчков в течение часа наблюдается возмущение спектрального фона плотины. Увеличение уровня шума отмечается и при воздействии удаленных землетрясений. Полагаем, что такой эффект обусловлен движением водного массива водохранилища, возмущенного сейсмическими волнами. При максимальном уровне воды увеличенный фон шу-

ма после землетрясения может сохраняться в течение нескольких суток.

Литература

1. *Dovgan V.I.* Seismometric monitoring of Toktogul hydroelectric power station / V.I. Dovgan // Environmental Geosciences and Engineering Survey for Territory Protection and Population Safety. Moscow, 6–8.09.2011. P. 29–30.
2. *Довгань В.И.* Мониторинг сейсмической безопасности Токтогульской ГЭС / В.И. Довгань, А.Г. Фролова // Матер. VIII межд. конф. “Мониторинг ядерных испытаний и их последствий”. Курчатов, 4–8 авг. 2014 г. // Вестник НЯЦ РК. 2014. Вып. 2. С. 163–170.