

УДК 550.34; 531/534; 627.8

Довгань В.И., Фролова А.Г.
МНИЦ «Плотина»
г. Бишкек, Кыргызстан

ШУМЫ ПЛОТИНЫ ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС

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

Ключевые слова: плотина, гидроагрегаты, спектр шума, собственные частоты плотины и оборудования, осредненные и максимальные почасовые спектры.

ТОКТОГУЛ ГЭСИНИН ПЛОТИНАСЫНЫН ДҮРҮЛДӨӨЛӨРҮ

Кыскача мазмуну: Токтогул ГЭСинин плотиналарынын дүрүлдөөлөрүнө талдоо жүргүзүүнүн жыйынтыктары берилген. Жер титирөөлөрдөн кийин плотинанын ичинде калдык көрүнүштөрүнө баа берүү үчүн дүрүлдөөнүн спектрлерин пайдалануу мүмкүнчүлүгү көрсөтүлгөн.

Негизги сөздөр: плотина, гидроагрегаттар, ызы-чуу спектри, плотинанын жана жабдуунун өздүк жыштыктары, ортолоштурулган жана максималдуу саат спектрлери.

NOISES OF TOKTOGUL DAM

Abstract: The results of the analysis of Toktogul dam noises are presented. The possibility of using of noise spectra effects to assess the residual effects causes in the dam body after earthquakes is shown.

Keywords: dam, hydroelectric generators, noise spectrum, natural frequencies of dam and equipment, averaged and maximum hourly spectrums.

Основными техногенными источниками колебаний плотины являются работающие гидроагрегаты, водоводы, водосборы и т.д. На рисунке 1 приведён спектр мощности ускорений, рассчитанный по записям шума в штольне в опорной точке на расстоянии 800 м от плотины. На том же рисунке показаны спектры мощности сейсмического шума в «шумных» и «тихих» условиях для типовой станции на плотных породах [1]. В диапазоне частот от 0.1 до 1 Гц кривая спектральной плотности сейсмического шума вблизи плотины находится внутри области, ограниченной кривыми, приведёнными в работе [1], т.е. подчиняется мировым закономерностям. На частотах более 1 Гц спектр мощности отражает влияние техногенных процессов Токтогульской ГЭС.

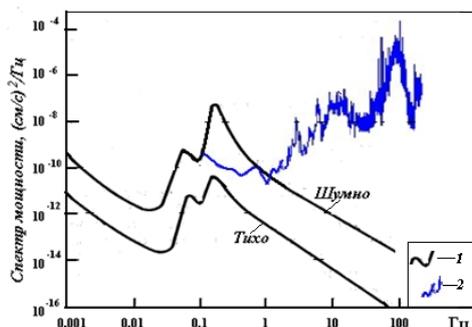


Рисунок 1. Спектры мощности шума: 1— в тихих и шумных условиях для типовой станции на плотных породах[1], 2— в штольне за пределами Токтогульской плотины (десятая опорная точка наблюдений).

На рисунке 2 показаны осреднённые почасовые спектры по записям шума во второй центральной точке плотины на трёх составляющих. Кроме осреднённых почасовых спектров сохраняется информация о максимальных почасовых спектрах (рисунок 2, справа). Особенностью этих спектров является то, что они содержат максимальные амплитуды колебаний, которые возникали хотя бы один раз в течение часа.

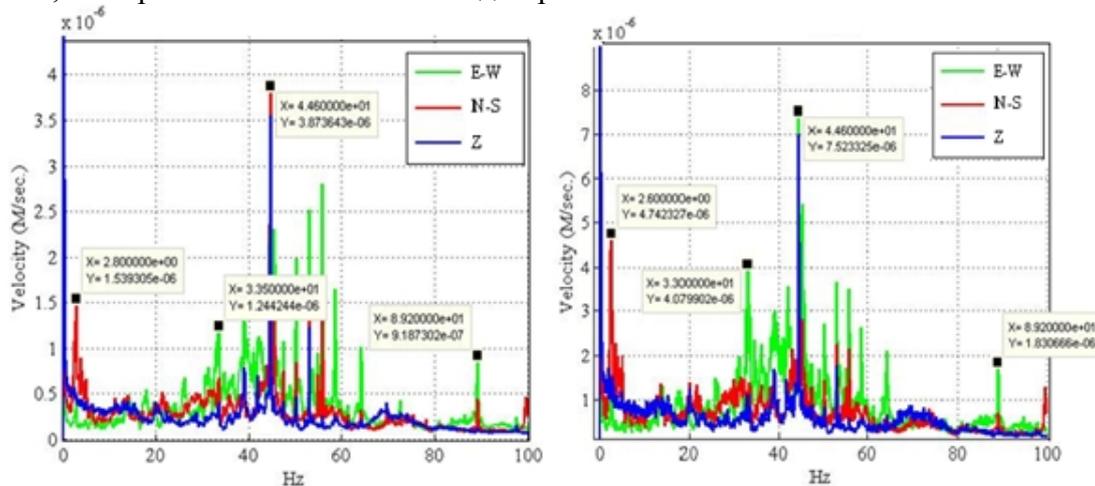


Рисунок 2. Осреднённые (слева) и максимальные почасовые спектры (справа) по записям шума за период времени с 9 час. 02 мин.15сек. до 10 час.02 мин.15 сек. 1 января 2011 г.

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 2, слева). Колебания амплитуд на этих частотах совпадают с колебаниями мощности, вырабатываемой ГЭС. В диапазоне частот 1-30 Гц происходят колебания опорных конструкций.

Максимальные почасовые спектры включают в себя кроме основных резонансных частот случайные. Например, на рисунке 2, 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 Гц и 44.6 Гц.

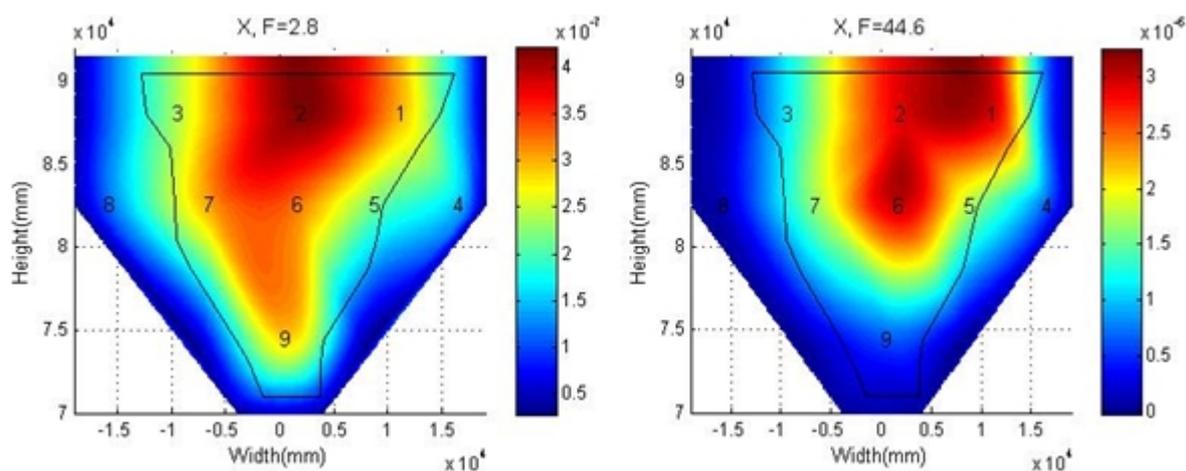


Рисунок 3. Распределение интенсивности колебаний шума по телу плотины на частоте 2.8 Гц (слева) и на частоте 44.6 Гц (справа). Цифрами показаны места расположения точек наблюдений, линией – контур плотины.

На рисунке 3 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 плотинной. 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 4 дан пример поведения амплитуд колебаний шума на этой частоте во время записи Нура-Алайского землетрясения 2008 года (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.

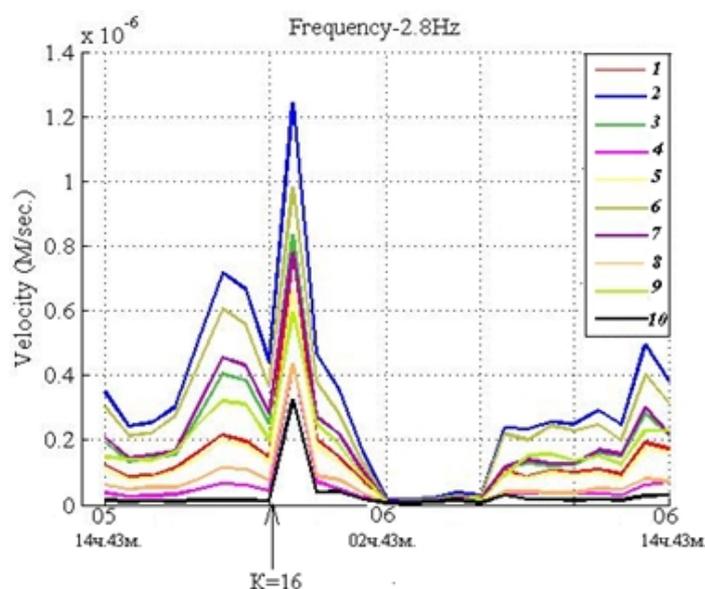


Рисунок 4. Распределение колебаний на частоте 2.8 герца во времени с 14 час.43 мин. 5 октября по 14 час. 43 мин. 6 октября 2008 г. Стрелкой отмечен момент начала записи Нура-Алайского землетрясения на плотине.

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

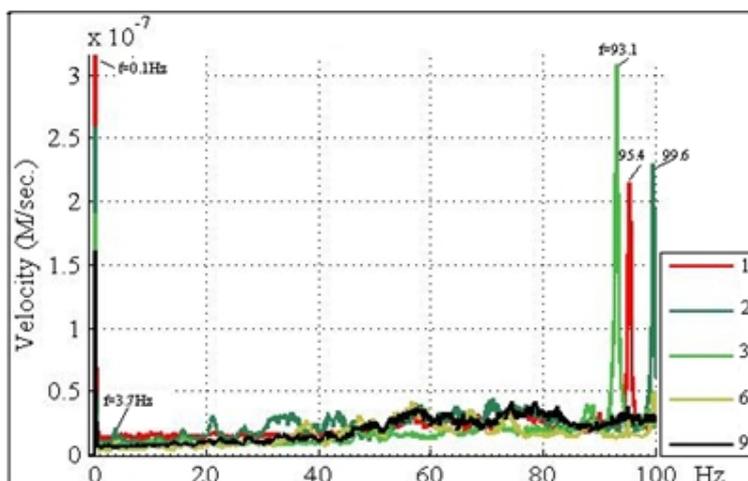


Рисунок 5. Спектры шума при отключённых гидроагрегатах по записям в пяти точках наблюдений на компоненте С-Ю.

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 амплитуд колебаний на этой частоте показано на рисунке 6.

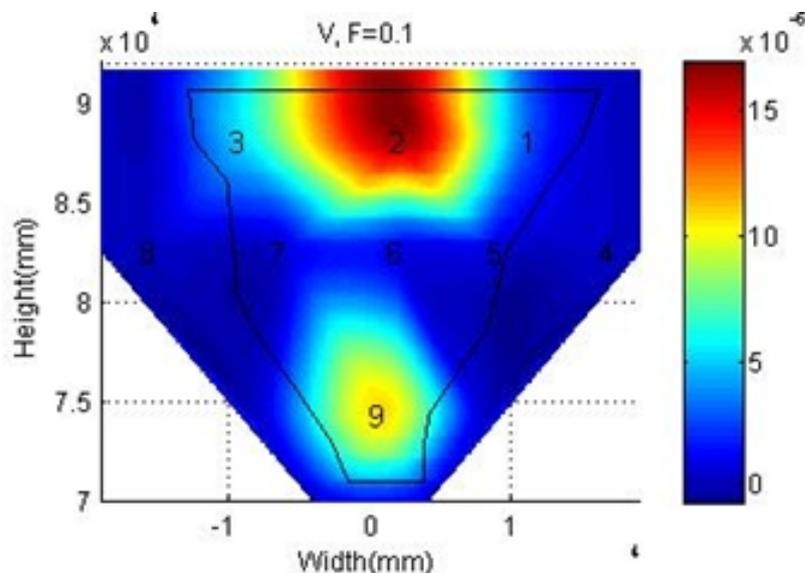


Рисунок 6. Распределение интенсивности амплитуд колебаний на частоте 0.1 Гц.

Колебания с частотой 0.1 Гц воздействуют на сооружение в целом. На рисунке 4 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 Гц, 95.4 Гц и 99.6 Гц. На рисунке 7 показано распределение амплитуд колебаний по телу плотины на частотах 93.1 Гц и 99.6 Гц.

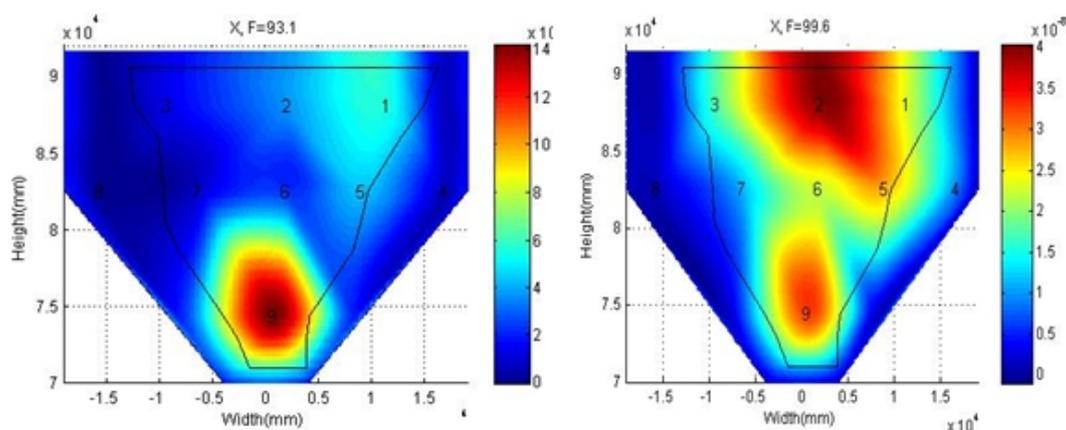


Рисунок 7. Распределение интенсивности колебаний шума по телу плотины на фиксированных частотах 93.1 Гц и 99.6 Гц.

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.) шумы не обрабатываются, 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 плотины. На рисунке 8 приведены спектры землетрясения 30 июля 2006 г. с энергетическим классом $K=11.5$.

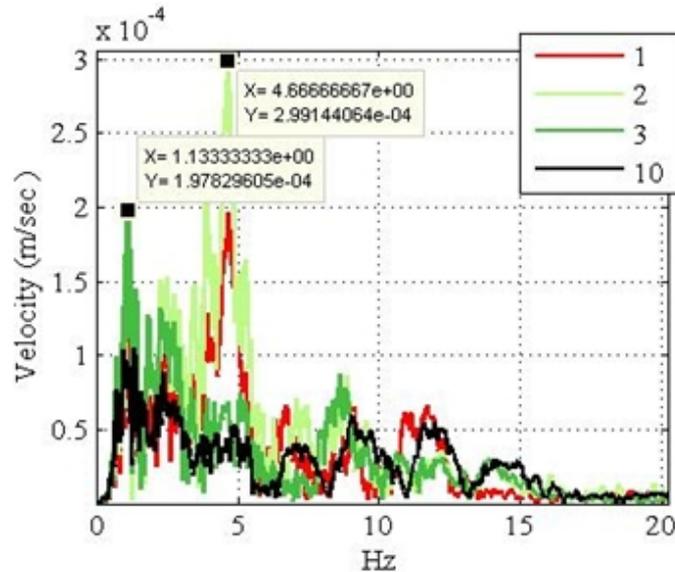


Рисунок 8. Спектры по записям землетрясения 30 июля 2006 г. в четырёх точках наблюдений по составляющей С-Ю.

В спектрах наблюдаются два основных максимума на частотах 1.1 Гц и 4.7 Гц. Изменение во времени уровня шума на этих частотах показано на рисунках 9 а, 9 б.

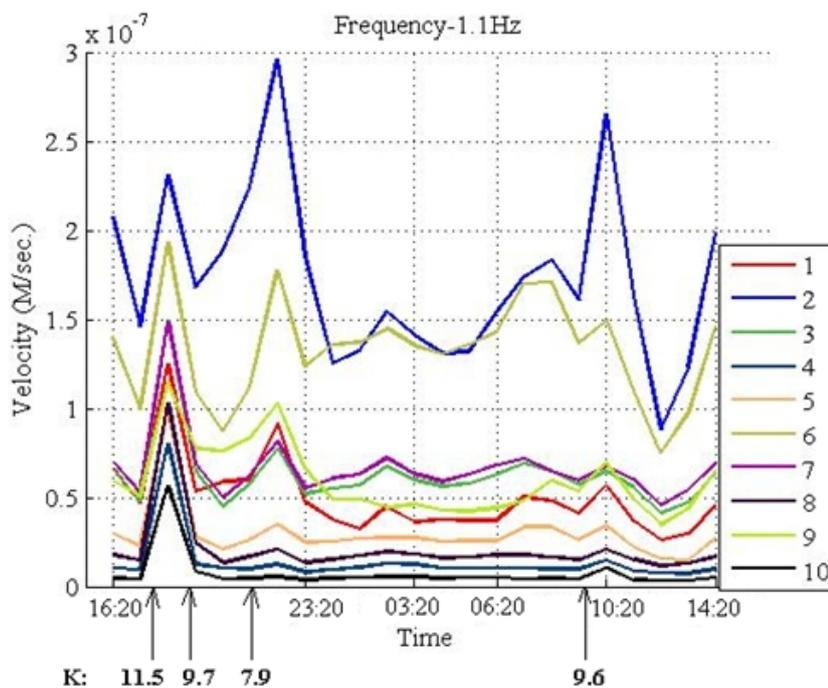


Рисунок 9 а. Записи шума с 16 час. 20 мин 30 июля по 14 час.20 мин 31 июля 2006 г. на фиксированной частоте 1.1 Гц в десяти точках наблюдений.

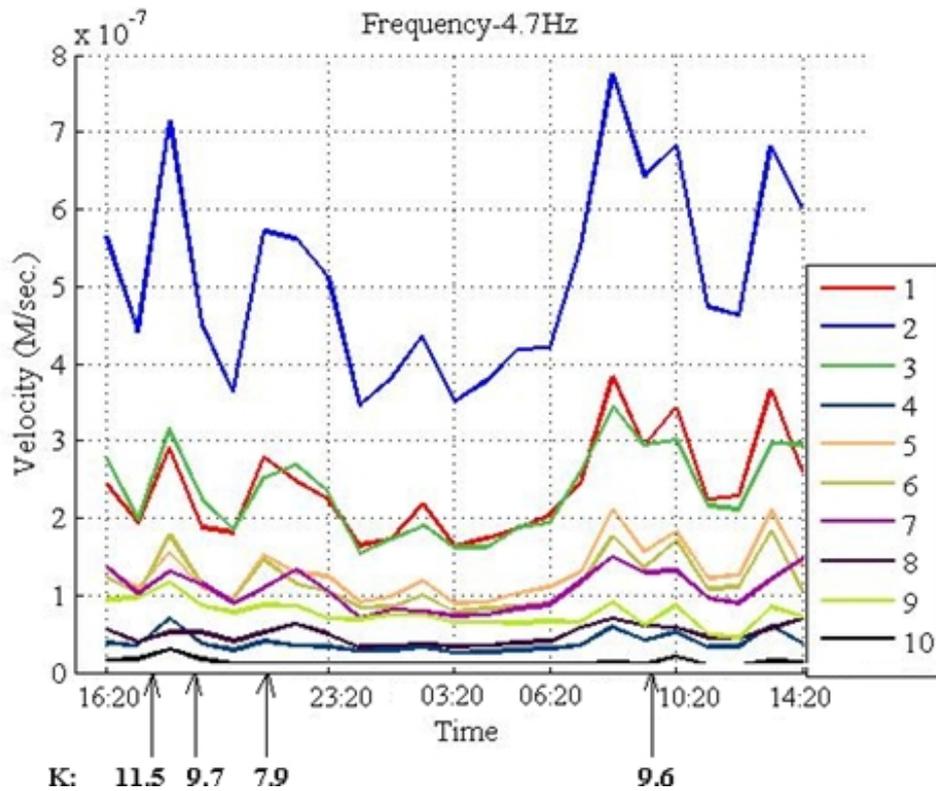


Рисунок 9 б. Записи шума с 16 час. 20 мин 30 июля по 14 час.20 мин 31 июля 2006 г. на фиксированной частоте 4.7 Гц в десяти точках наблюдений.

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 чётко 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 4.7 Гц – в 20 раз. Длительность записи землетрясения составила всего 20 сек. 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 не четко выражен - высокочастотные колебания при землетрясениях затухают значительно быстрее. К тому же, создается впечатление, что этому землетрясению предшествовал, по крайней мере, ещё один толчок очень слабый, ниже уровня шума, который система не зафиксировала.

На рисунке 10 представлены спектры шума за сутки с 13-го по 14 августа 2006 года, когда в 12 час. 07 мин. произошло ещё одно достаточно сильное местное землетрясение с энергетическим классом $K=11.7$.

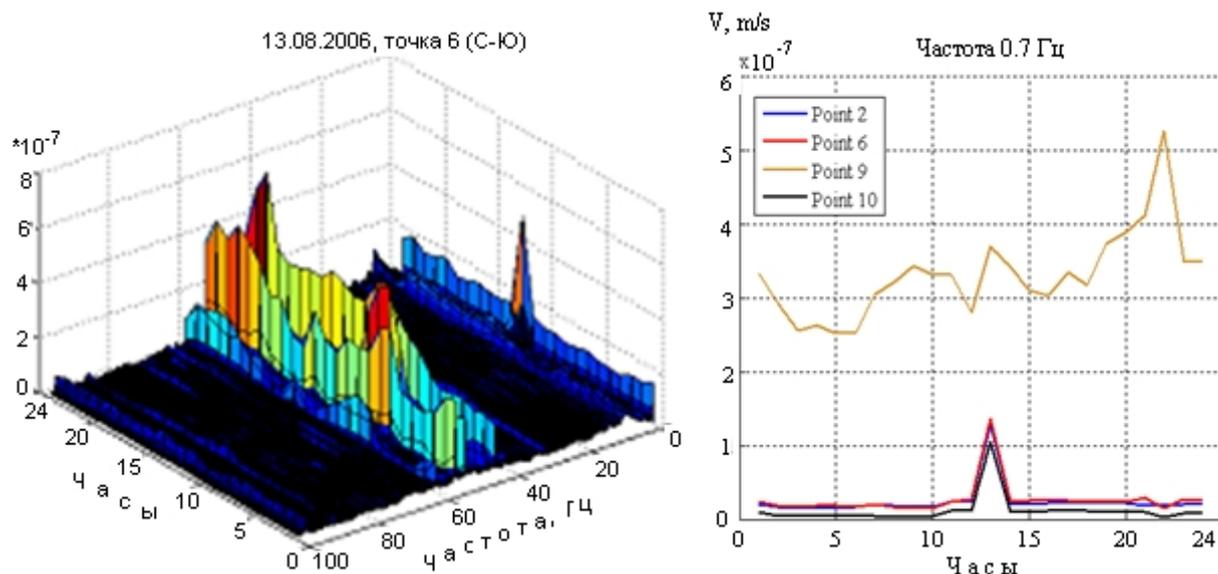


Рисунок 10. Почасовые усреднённые спектры за сутки 13.08.2006 г. (слева) и изменение уровня шума на фиксированной частоте 0.7 Гц (справа).

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 удалённых землетрясениях. Например, после землетрясения 7 сентября 2010 г. ($K=15$, эпицентральное расстояние 285 км) увеличенный уровень шума в некоторых точках наблюдений сохранялся несколько дней. На следующих рисунках показаны осреднённые объёмные спектры за сентябрь по записям микросейсм во второй, шестой и девятой точках.

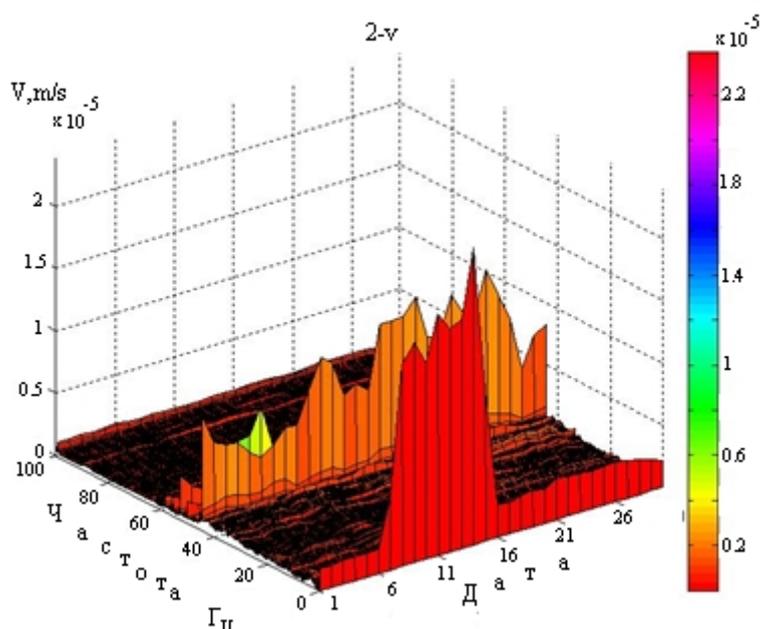


Рисунок 11. Осреднённый спектр шума за сентябрь 2010 г. во второй точке (полный вектор).

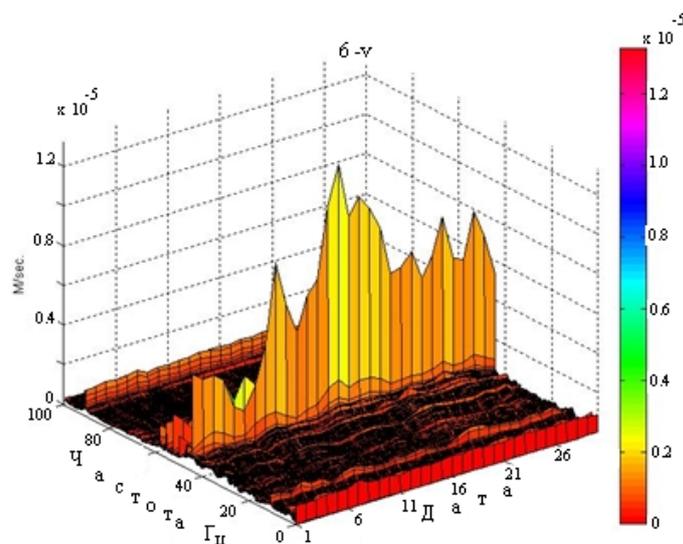


Рисунок 12. Осреднённый спектр шума за сентябрь 2010 г. в шестой точке (полный вектор).

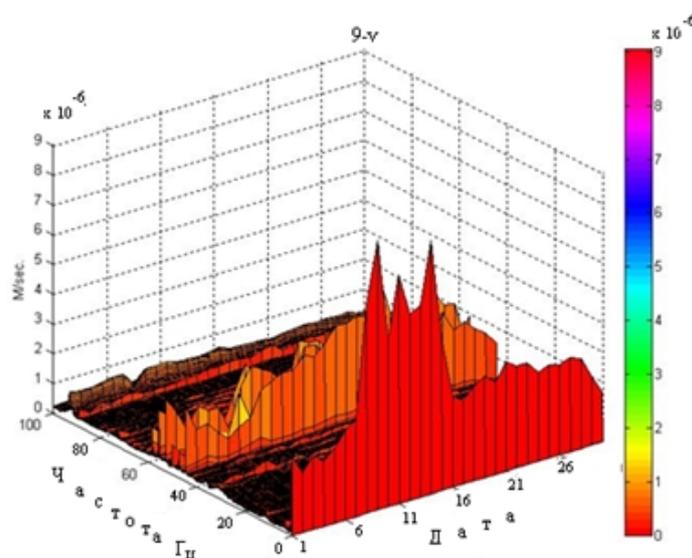


Рисунок 13. Осреднённый спектр шума за сентябрь 2010 г. в девятой точке (полный вектор).

Землетрясение 7 сентября 2010 г. в спектрах чётко 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 расстоянии, 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 11 и 13). Землетрясение никак не повлияло на шумы в центральной шестой точке (рисунок 12) 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 Нура-Алайское землетрясение ($K=16$). На рисунке 14 приведены осреднённые спектры за октябрь по записям микросейсм в 9-ой точке. На спектрах чётко 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.

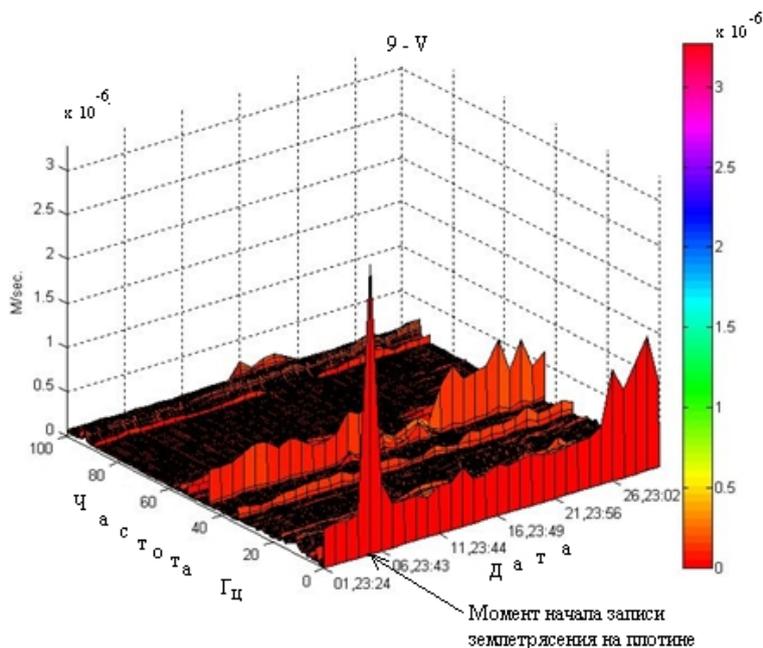


Рисунок 14. Осреднённый спектр за октябрь 2008 г. по записи шума в девятой точке (полный вектор).

Разницу в воздействии на уровень шума двух рассмотренных нами удалённых землетрясений можно объяснить различием уровней воды в водохранилище. При Нура-Алайском землетрясении 2008 года этот уровень находился на самых минимальных отметках за весь период наших наблюдений – 859.6 м. Во время землетрясения 7 сентября 2010 года 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.

ВЫВОДЫ

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 наблюдается и при воздействии удалённых землетрясений. Полагаем, что такой эффект обусловлен движением водного массива водохранилища, возмущённого сейсмическими волнами. При максимальном уровне воды увеличенный фон шума после землетрясения может сохраняться в течение нескольких суток.

Литература

1. Аки К, Ричардс П. Количественная сейсмология, т.1, М: Мир, 1983, с. 519.

Рецензент: д. ф.м. н. В.Н. Погребной.