

Довгань В.И., Фролова А.Г.

О ВОЗДЕЙСТВИИ НУРИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ И ЕГО АФТЕРШОКОВ НА ТОКТОГУЛЬСКУЮ ПЛОТИНУ

УДК: 550.34

В статье приведены результаты анализа записей Нуринаского землетрясения 5 октября 2008 г и его афтершоков, полученных Токтогульской цифровой сейсмометрической системой наблюдений, и показано воздействие этих землетрясений на гидросооружение.

In this article the results of records analysis of the Nura earthquakes and it aftershocks received by Toktogul digital seismometric system of observations are resulted and influence of these earthquakes to hydrosystem is showed.

Основной толчок. Нуринаское землетрясение произошло 5 октября 2008 года в 21 час 52 минуты по местному времени. Интенсивность колебаний в эпицентре составила 8 баллов, разность вступлений продольных и поперечных волн по записям в опорной точке Токтогульской системы наблюдений - 28, 7 секунды, расстояние от плотины до эпицентра - 250 км. На рис.1 даны записи скорости амплитуд колебаний в продольных Р и поперечных S волнах в опорной точке, расположенной на расстоянии 600 метров от гидроузла.

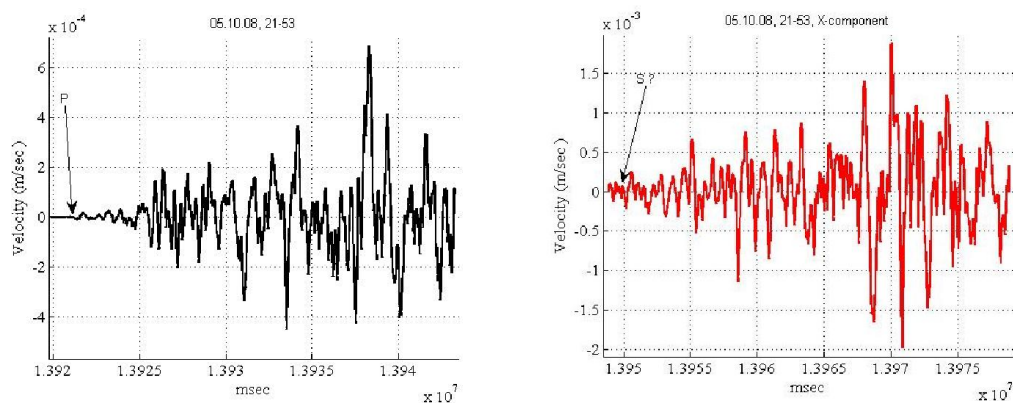


Рис. 1. Записи вступлений продольных (слева) и поперечных волн (справа) от землетрясения 5 октября 2008 г. Стрелками показаны моменты вступлений этих волн.

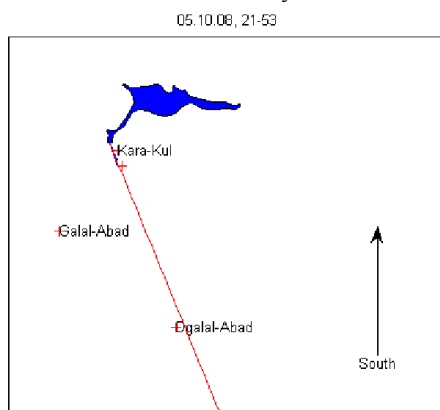


Рис.2 . Направление на эпицентр от плотины

Имея азимут на эпицентр (рис.2) и эпицентральное расстояние, определили координаты землетрясения: $\varphi=39,6$ $\lambda=73,76$.

По нашим данным энергетический класс этого землетрясения (логарифм энергии, в джоулях), равен 16, магнитуда $M=6.7$.

Распределение полной энергии по телу плотины по записям продольных и поперечных волн дано на следующем рисунке.

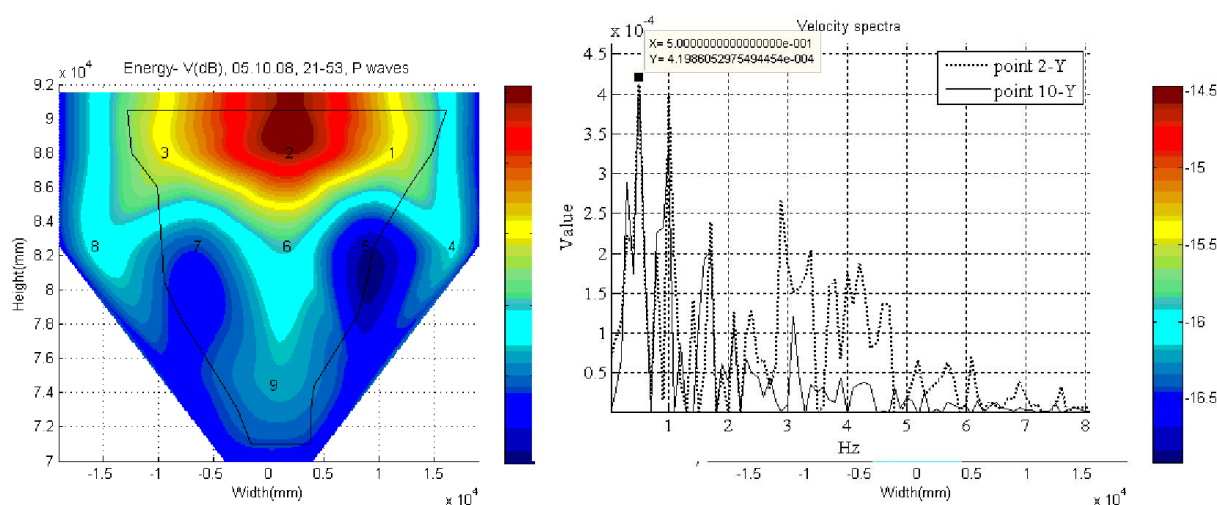


Рис.3. Распределение полной энергии по телу плотины по записям продольных и поперечных волн от землетрясения 5 октября.

На рис.3 на шкале слева отмечены высоты (в метрах), на шкале справа – диапазон энергии – в децибелах. Цифрами от 1 до 9 отмечено положение девяти точек наблюдений на гидроузле. Контуром показано само тело плотины. Точки четвертая и восьмая находятся в правом и левом бортах плотины.

При прохождении продольных волн максимальная энергия выделилась в центре плотины – во второй точке. Картина распределения энергии симметрична относительно центрального блока. При прохождении поперечных волн максимум энергии находился в верхних точках плотины; заметно влияние на уровень энергии направления подхода волнового фронта от землетрясения со стороны восьмой точки (с юго-востока). Разность в воздействии поперечных и продольных волн на тело плотины составляет 15.5 децибелл. Максимальные ускорения колебаний при этом землетрясении (поперечные волны) составили 1.2 см/сек² во входном сигнале (десятая точка) и усилились до 5.4 см/сек² во второй точке. Эти значения ускорений более чем в 100 раз ниже допустимых ускорений, запланированных при строительстве сооружения.

Распределение интенсивности колебаний по телу плотины показано на рис.4.

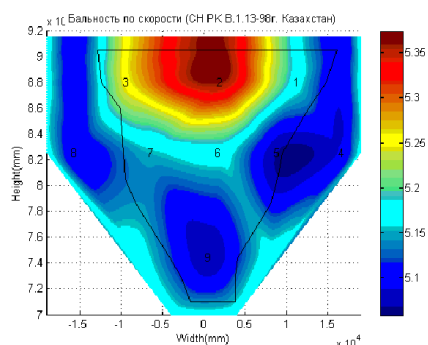


Рис.4. Распределение интенсивности колебаний (в баллах) по телу плотины по записям поперечных волн от Нуринского землетрясения

В основании и бортах плотины интенсивность колебаний при этом землетрясении составляла 5 баллов. Усиление интенсивности колебаний с высотой было небольшим – с максимумом в 0.3 балла для второй точки по сравнению с бортами.

Для этого землетрясения характерны максимумы в спектрах на более низких частотах по сравнению, например, с сильными местными толчками в июле, августе 2006 г. (рис.5)

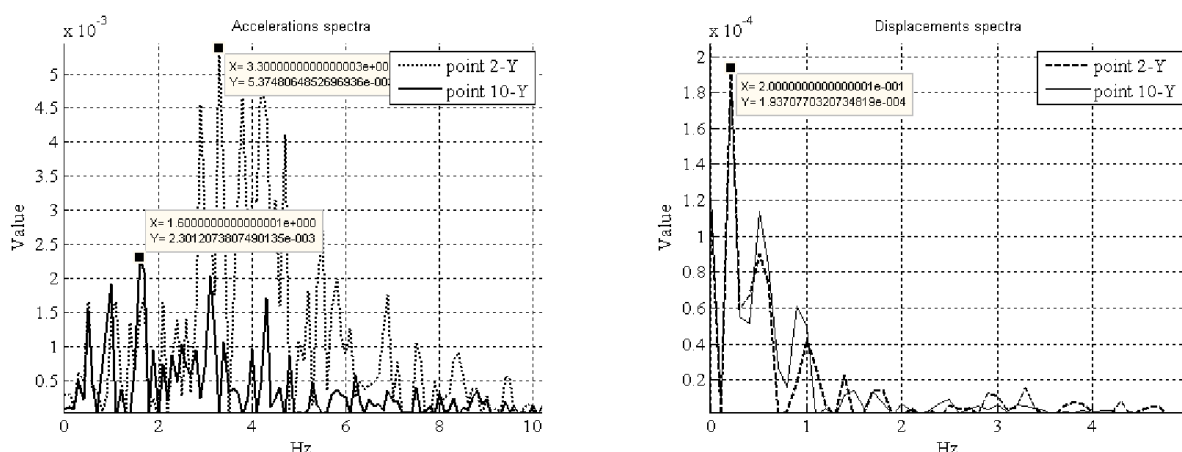


Рис. 5. Спектры ускорений, скоростей и смещений по записям поперечных волн от землетрясения Октября 2008 г. во второй и десятой точках плотины (компонента Y).

Максимум спектра ускорений во второй точке смещен в область высоких частот по сравнению с 10-й опорной точкой, т.е. от 1.6 Гц к 3.3 Гц. Максимумы спектров скоростей и смещений для этих точек совпадают и находятся на низких частотах 0.5 Гц и 0.2 Гц. Увеличения спектральных амплитуд с высотой точки наблюдения на низких частотах практически не происходит.

Афтершоки. Нуринское землетрясение сопровождалось многочисленными афтершока-ми. Токтогульской системой наблюдений были записаны афтершоки с энергетическими класса-ми $K \geq 10.5$. Распределение величины этих землетрясений во времени показано на рис. 6.

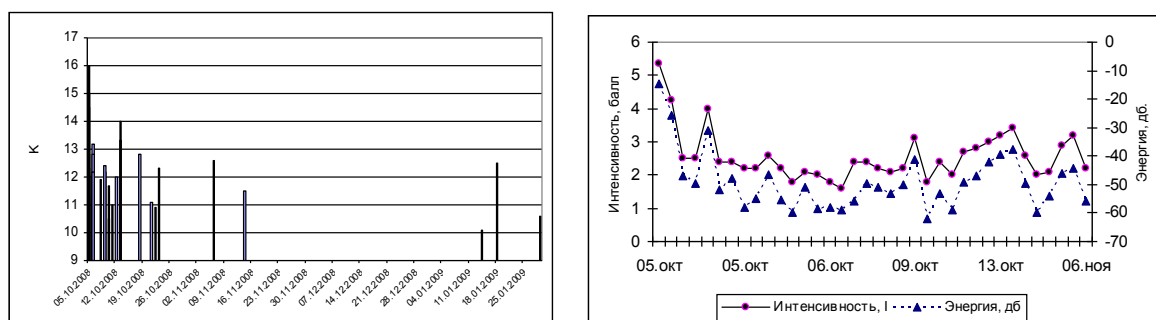


Рис. 6. Распределение афтершоков во времени: на рисунке слева по шкале ординат показаны значения энергетических классов K землетрясений; на рисунке справа - интенсивности (в баллах) и энергии (в децибелах). Верхние точки на графиках соответствуют основному толчку ($K=16$, $E=14,5$ дБ, $I=5.4$ балла).

В течение первых суток системой наблюдений было зарегистрировано 18 афтершоков. Самый сильный из них произошел через 4 минуты после основного толчка, т.е. в 21 час 56 мин. по местному времени. Запись его во второй и десятой точках плотины приведена на рис.7.

Максимальные колебания на рис.7 соответ-вуют группе поперечных волн, момент вступления продольных волн не был зафиксирован приборами. Интенсивность колебаний по горизонтальным составляющим примерно одинакова. Уровень колебаний по вертикальной компоненте немного выше, чем по горизонтальным. Амплитуды колебаний во второй точке увеличились в 1.3 раза по сравнению с опорной. Энергетический класс этого толчка равен 15.

Распределение энергии по телу плотины в децибелах и спектральный состав колебаний во второй и десятой точках плотины показаны на рис.8.

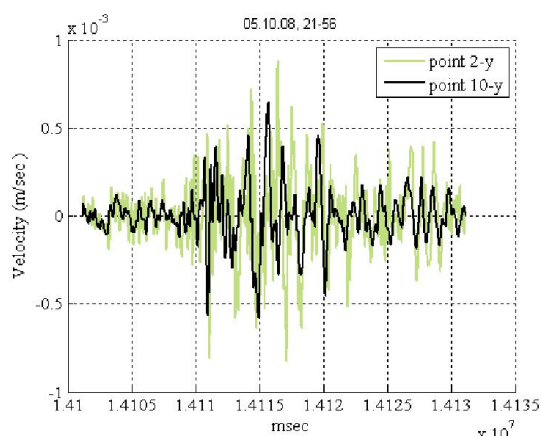


Рис.7. Запись землетрясения во второй и десятой точках плотины (компонента Y).

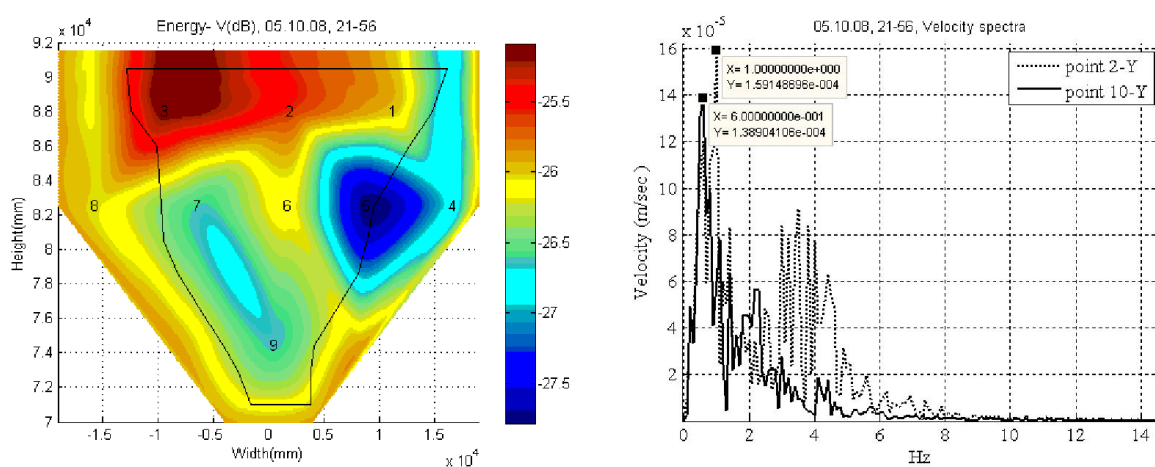


Рис. 8. Слева - распределение энергии по телу плотины (полный вектор), справа - спектры скорости колебаний во второй и десятой точках плотины (компонента Y).

На картине распределения энергии заметно направление подхода волнового фронта с юго-востока – со стороны левого борта плотины (точка 8). Максимальные колебания наблюдались в третьей верхней точке плотины, минимальные – в правом борту и соседней (по-видимому, хорошо связанной с бортом) пятой точке. Максимальные ускорения колебаний при этом землетрясении (поперечные волны) составили 0.7 см/сек^2 во входном сигнале (опорная 10-я точка) и усилились до 1.4 см/сек^2 во второй точке. Разница в энергетическом уровне между афтершоком и основным толчком составила порядка 10 дБ. Интенсивность колебаний изменилась всего на 0.3 балла – от минимальной в 4 балла (левый борт и сопряженная с ним пятая точка) до максимальных колебаний в третьей точке. Максимум спектра входного сигнала находился на частоте 0.6 Гц. При переходе ко второй точке произошла трансформация спектра с максимумом на частоте 1 Гц.

Следом за этим землетрясением с периодичностью в 5 мин. были записаны три афтершока с классами 12.8, 12.1 и 14.5. Рассмотрим последний из них (рис.9).

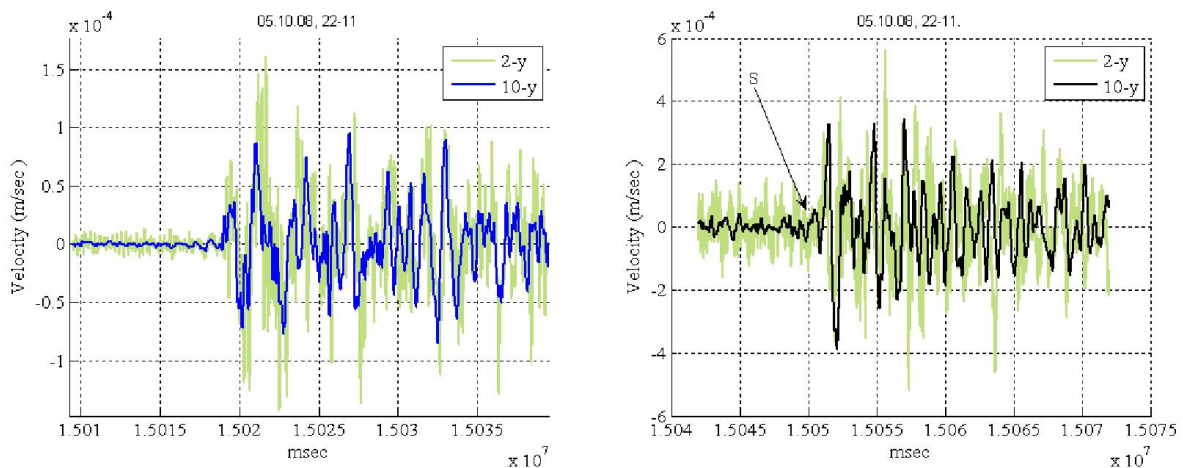


Рис.9. Записи скоростей продольных волн (слева) и поперечных волн (справа) от землетрясения 5 октября в 22 час. 11 мин. во второй и десятой точках плотины.

Наблюдается небольшое (в 1.2 раза) возрастание амплитуд во второй точке по сравнению с опорной. Разность вступлений поперечных и продольных волн составляет 31.5 сек, эпицентральное расстояние – порядка 250-280 км.

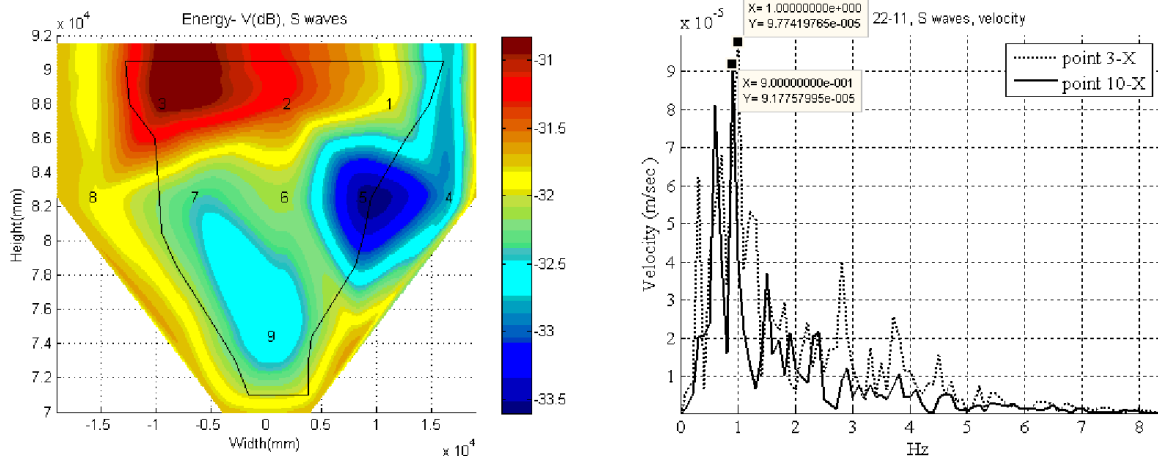


Рис.10. Слева- распределение энергии по телу плотины по записям поперечных волн, справа - спектры по записям поперечных волн в третьей и десятой точках плотины (компонента X).

Изменение энергии колебаний происходит в небольших пределах (рис.10). Интенсивность колебаний от минимальной 3.5 балла – в бортах достигает 4-х баллов вблизи третьей точки. Максимальные ускорения при этом землетрясении в опорной точке составляли 0.4 см/сек^2 и увеличились до 0.8 см/сек^2 в верхних второй и третьей точках. Амплитудные спектры, как и при основном толчке, достаточно низкочастотны.

Следующий сильный афтершок произошел 6 октября в 00 час 27 мин. Разность во времени вступлений продольных и поперечных волн равна 30.7 сек, эпицентральное расстояние 270 км. Сумма максимальных амплитуд смещений P и S – волн составляет 27,6 микрона, энерги-

ческий класс этого землетрясения $K=13.2$. На плотине этот толчок не превысил 2.6 балла.

Энергия последующих афтершоков пошла на убыль до 9 октября, когда произошли два землетрясения с энергетическими классами 12.2 и 12.4. Их воздействие на плотину не превысило 3-х баллов.

Новый всплеск сейсмической активности в очаговой зоне Нурина землетрясения произошел 13 октября: были зарегистрированы два толчка с классом 13.3 и интервалом между ними в 2 минуты, а через 7 часов еще один, более сильный афтершок с $K=14$. Коротко остановимся на этих событиях.

Первое землетрясение 13 октября 2008 г было зарегистрировано на плотине в 15 час 23 мин, второе – в 15 час 25 мин по местному времени. Записались продольные и поперечные волны. Разница во временах вступлений поперечных и продольных волн для обоих землетрясений составляет 32.4 сек., эпицентральное расстояние порядка 270 -280 км. Картины распределения энергии по телу плотины по записям поперечных волн для этих землетрясений, имея общие черты, отличаются в деталях. Заметно увеличение уровня энергии со стороны подхода волнового фронта (левый борт – 8-я точка). Для первого землетрясения максимум энергии выделился в третьей точке, для последующего толчка он сместился во вторую точку. Максимальная

интенсивность колебаний в этих точках составила порядка 3-х баллов.

И, наконец, рассмотрим последний записанный системой сильный афтершок, который произошел через 7 часов после предыдущего в 22 час. 05 мин. местного времени и имел 14-й энергетический класс. Разность вступлений поперечных и продольных волн составляет 31.0 сек., эпицентральное расстояние порядка 270 км. Разность в уровне энергии продольных и поперечных волн составляют 10.5 дБ. Максимальная энергия выделилась в верхних и 6-ой точках плотины. Заметно влияние направления подхода волнового фронта: левый берег более освещен (рис.11).

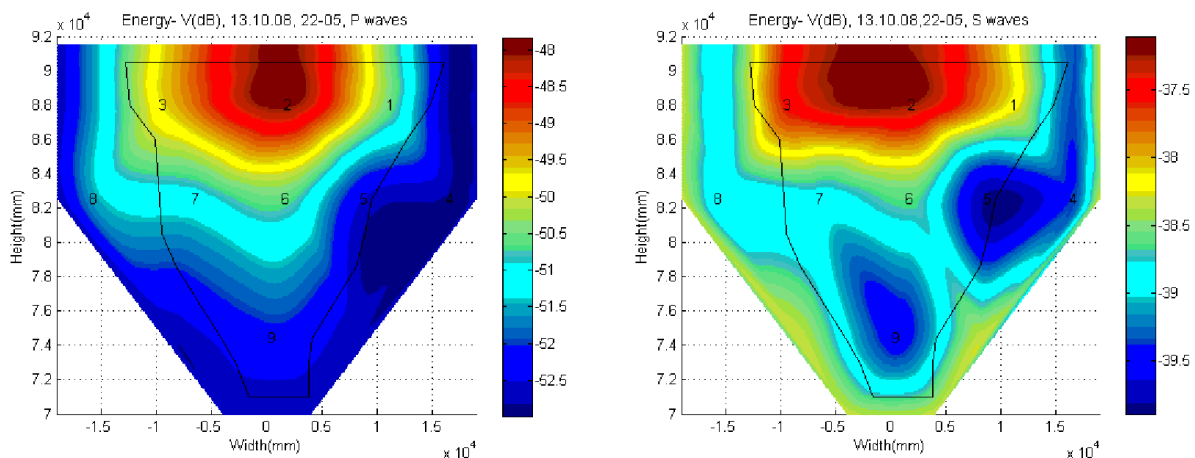


Рис. 11. Распределение энергии по телу плотины по записям продольных (слева) и поперечных волн (справа) при землетрясении 13 октября 2008 г. в 22 час.05 мин.

Максимальная интенсивность колебаний при этом землетрясении составила 3.5 балла в верхней центральной точке плотины.

Заключение

Восьмибалльное Нуринское землетрясение 5 октября 2008 года произошло в 250 км от юго-востоку от плотины и ощущалось в ее основании с интенсивностью 5 баллов, т.е. примерно так же, как и местные землетрясения 30 июля и 13 августа 2006 г с энергетическими классами $K=11$. Но в отличие от местных толчков землетрясение 5 октября было более «мягким», т.к. оно достаточно удалено от плотины и спектральный состав его колебаний более низкочастотный. Колебания с высокими частотами быстро поглощаются средой на пути распространения сейсмических волн. Это землетрясение воздействовало на все сооружение целиком с небольшим различием в величине этого воздействия на разные точки. Такое сейсмическое воздействие менее опасно для плотины по сравнению с высокочастотным, совпадающим с колебаниями на собственных частотах отдельных ее блоков и вызывающим резонансные явления. Макси-

мальные ускорения колебаний при этом землетрясении (поперечные волны) составили 1.2 см/сек² во входном сигнале (десятая точка) и усилились до 5.4 см/сек² во второй точке. Эти значения ускорений более чем в 100 раз ниже допустимых ускорений, запланированных при строительстве сооружения.

Нуринское землетрясение сопровождалось многочисленными афтершоками. Вступление продольных волн от большей части афтершоков не было замечено плотинной, т.е. воздействие их было ниже или на уровне шума. При прохождении продольных волн максимальная энергия выделилась в центре в верхней части плотины – во второй точке. Картина распределения энергии симметрична относительно центрального блока. В отличие от продольных волн максимум энергии скорости колебаний при распространении поперечных волн практически для всех этих толчков был сдвинут от второй точки к верхней 3-ей точке плотины со стороны подхода волнового фронта. Минимальная энергия колебаний наблюдалась в 5-ой точке. Интенсивность афтершоков не превышала 3 -3.5 балла в верхних точках плотины.

Рецензент: д.геол.-минер.н. Абдрахматов К.Э.