УДК 551.24:550.34

СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ МИКРОСЕЙСМ ДО И ПОСЛЕ СЛАБЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТАН ЛУ

¹Колотова Л.Г., ¹Харитонов М.Е., ²Пупатенко В.В., ²Рябинкин К.С.

¹*Бурейская ГЭС, геодинамический полигон, п. Талакан, Россия, e-mail:
kolotovalg@list.ru*

²*Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН. 680000
Хабаровск, ул. Ким Ю Чена, 65/*

Представлены результаты обработки слабых землетрясений в двух пунктах разломной зоны Тан Лу. Для южной зоны района Бурейской ГЭС выделен эффект увеличения мощности спектра на частотах от 1Гц до 5Гц при прохождении сейсмических волн землетрясений и резонансное возбуждение среды на высоких частотах. Для второго пункта наблюдений вблизи озера Удыль данный эффект не наблюдается. Показано, что увеличение мощности в интервале указанных частот может быть связано с резонансным возбуждением плотины и взаимодействием деформационных волн с пространственными неоднородностями земной коры.

Ключевые слова. Слабые землетрясения, техногенная сейсмичность, спектры микросейсм, резонансное возбуждение

THE SPECTRAL COMPOSITION OF MICROSEISMS BEFORE AND AFTER THE TAN-LU WEAK EARTHQUAKES

**¹Lyudmila G. Kolotova, Mikhail E. Haritonov, ²Victor V. Pupatenko and
²Konstantin S. Ryabinkin**

¹*Bureyskaya HPP, geodynamic polygon, Talakan Settlement, Russia*

²*Yu.A. Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics, Far Eastern Branch, Russian
Academy of Sciences, 65, Kim Yu Chen St., Khabarovsk, 680000, Russia*

The results of weak earthquake data processing are presented from two observation sites located in the Tan-Lu fault zone. In the southern zone of the Bureyskaya Hydro Power Plant (HPP) area, the effect of increasing power spectrum in the frequency range from 1 Hz to 5 Hz was observed during the passage of seismic waves from earthquakes and the resonant excitation of the medium at high frequencies. This effect was not observable at the second site located near Lake Udyl. It is shown that an increase in the power spectrum in the range of these frequencies may be due to the resonant excitation of the dam and the interaction of strain waves with spatially inhomogeneous crust.

Keywords. Weak earthquake, technogenic seismicity, MS spectra, resonant excitation.

Введение

Сейсмологические и сейсмометрические методы используют для регистрации упругих колебаний, вызываемых землетрясениями и техногенными воздействиями на геологическую среду, как один из основных косвенных способов контроля напряженно-деформированного состояния горных пород. В данной работе для решения данных задач использованы результаты регистрации слабых землетрясений в двух пунктах: вблизи озера Удиль, на северо-восточном замыкании системы разломов Тан Лу и на локальной сейсмологической сети Бурейской ГЭС.

На станциях локальной сейсмологической сети Бурейской ГЭС установлены цифровые регистраторы с непрерывной записью типа REF ТЕК-130, укомплектованные короткопериодными сейсмоприемниками GS-1. На озере Удиль наблюдения проводились аналогичным регистратором, но с широкополосным сейсмометром REF ТЕК 150-120. В течение 9 дней в данном пункте в радиусе 360 км было зарегистрировано 20 сейсмических событий в различных азимутах (Рис. 1).

Рис. 1. Схема расположения станций ГС РАН и пункта «Удиль»

Для сравнения микросейсмических шумов в двух пунктах регистрации был применен метод спектрального анализа с использованием возможностей программного комплекса MatLab.

В пакете расширения Signal Processing Toolbox программного комплекса MatLab существуют специальные функции, позволяющие проводить спектральный и спектрально-временной анализ сигналов. Основная используемая для этого функция «spectrogram» рассчитывает спектральную

плотность мощности коротких отрезков сигнала, следующих друг за другом с некоторым перекрытием. Таким образом получается определять не только спектральный состав сигнала, но и его изменение во времени. Разрешение во временной области не зависит от частоты и остается постоянным.

В настоящей работе была разработана процедура, позволяющая получать и изображать спектрограммы в более удобном виде, и частично автоматизирующая ручные операции. При построении спектрограмм для пункта «Бурей» использовались следующие параметры: оконная функция Ханна [<http://www.dsplib.ru/content/winadd/win.html>]; ширина сегментов – 500 отсчетов (5 сек при частоте дискретизации 100 Гц); перекрытие сегментов – 480 отсчетов (шаг между окнами составлял 20 отсчетов или 0,2 сек). Для пункта «Удыль» построения спектрограмм аналогичны, с удвоением масштаба, поскольку регистрация велась с частотой дискретизации 200 Гц. Диапазон частот сверху был ограничен частотой Найквиста, то есть до 50 Гц для станций сети Бурейской ГЭС и 100 Гц для пункта «Удыль». Интегральные спектральные кривые построены для двух интервалов длиной 3-5 минут, до и после зарегистрированных землетрясений.

Результаты частотно-временного анализа

Спектральные и частотно-временные характеристики микросейсм пунктов Бурейской ГЭС, позволяют сделать однозначный вывод о природе регистрируемых микросейсм в интервале частот 2-4 Гц с явно выраженным максимумом (рис 2. А), которые представляют собой автоколебания плотины на частоте 2.15-2.35 Гц, от гидроударных явлений в водоводе (2.6-3.2 Гц). Установлено, что компактность и длительность пакетов зависит от времени прохождения генератором «тихого» окна внутри неблагоприятной зоны. Диапазон указанных колебаний может определяться двумя основными факторами: присоединенной массой воды (основная мода) и выбранной группой генераторов (гидродинамическая «пружина»).

Для всех землетрясений вблизи Бурейской ГЭС характерно увеличение спектральной плотности мощности сигналов в данном интервале частот (Рис. 2 В). Причем увеличение происходит в момент прохождения Р-волны.

Второй факт, установленный для ближней зоны Бурейской ГЭС, заключается в возбуждении высокочастотных микросейсм (>10 Гц) после землетрясения.

Рис. 2. Спектральный состав микросейсм до и после землетрясения 03.02.2015 вблизи Бурейской ГЭС, Y-компонента, пункт CHGD

Обозначения. А - интегральные спектральные кривые микросейсм; Б - волновая форма Y-компоненты землетрясения; В - частотно-временная развертка (динамическая спектрограмма) землетрясения.

Рис. 3. Спектральный состав микросейсм до и после землетрясения 07.06.2015 вблизи Бурейской ГЭС, Y-компонента, пункт CHGD
Обозначения. Порядок рисунков и их расшифровка аналогичны Рис. 2.

Длительность возбужденного состояния практически равна длительности сейсмического сигнала от землетрясения. Причем на интегральных кривых (Рис. 2А, 3А) данный эффект практически не заметен. На динамических диаграммах (Рис. 2В, 3В), после момента времени состояние геологической среды заметно отличается от состояния до момента землетрясения.

Для пункта «Удиль» основной состав микросейсм определяется волновыми явлениями на поверхности озера. Землетрясения не меняют состояние геологической среды, хотя в отдельных случаях также наблюдается увеличение спектральной плотности мощности сигнала в диапазоне частот 1-2 Гц (Рис. 4, 5).

Рис. 4. Спектральный состав микросейсм до и после землетрясения 25.07.2014 г.
вблизи озера Удиль

Обозначения. Порядок рисунков и их расшифровка аналогичны Рис. 2.

Обсуждение результатов и выводы

Исследованием частотно-временных параметров слабых землетрясений установлены качественные и количественные соотношения спектральной плотности мощности сейсмических волн, отличающиеся по частотному составу на северо-восточном обрамлении системы разломов Тан Лу и центральной его части. Одной из причин выявленных различий может быть влияние геологического строения земной коры вблизи пунктов наблюдений.

С точки зрения современной сейсмотектоники плотина и водохранилище Бурейской ГЭС расположены в границах Чжангуанцайлин-Туранского плутогенного комплекса, который представляет собой уникальный в своем роде гранитоидный пояс, простирающийся в меридиональном направлении на 1000 км при ширине 200-250 км с западными ответвлениями на севере и юге [1]. Размеры блоков вблизи плотины составляют от первых сотен метров до километров. Резонансная частота возбуждения для данного масштаба неоднородностей составит порядка 10 Гц и менее. На спектрограммах (Рис. 2, 3) максимум спектральной мощности приходится на частоту 12.5 Гц. Для сдвиговых деформаций при скорости S -волн 3.5 км/с резонансное взаимодействие волны возможно на неоднородностях, протяженностью $3.5/12.5=0.35$ км. Для P волны «сжатие-расширения» этот параметр будет равен 0.7 км. Таким образом, размеры неоднородностей геологической среды, определенные по геологическим данным и длина волны возбуждения находятся в сопоставимых соотношениях. Следствием этого и может быть объяснен эффект возбуждения геологической среды на высоких частотах вблизи пунктов регистрации. Причем спад спектральной плотности мощности после прохождения S -волны происходит от низких частот к верхним. Данный эффект требует более детального изучения, в связи с возможным техногенным влиянием плотины на геологическую среду и обратного эффекта влияния резонансного возбуждения геологической среды на автоволновые процессы плотины.

Рис.5. Спектральный состав микросейсм до и после землетрясения 26.07.2014 г. вблизи озера Удыль
Обозначения. Порядок рисунков и их расшифровка аналогичны Рис. 2.

Пункт регистрации озера Удыль расположен в зоне относительного сейсмического затишья, на одной из ветвей Амурского разлома, в системе новейших впадин. Активная фаза разгрузки тектонических напряжений в данной области относится к периоду первых десятилетий XX века [2]. Блоковая делимость данного региона обусловлена более крупными неоднородностями земной коры, что и может определять смещение резонансных частот возбуждения в низкочастотную часть спектра.

При землетрясениях, а также, вследствие влияния приливных сил, на границе блоков земной коры возникают деформационные волновые процессы [5]. Эти процессы инициируют вторичную сейсмическую активность [3, 6]. Блоковая структура земной коры [4] определяет пространственную длину волны

данных процессов [6] и, следовательно, несколько резонансных частот возбуждения среды, зависимых от размеров блоков, скорости распространения P , S и поверхностных волн. Наблюдаемый «противоположный» пункту «Буря» эффект спада спектральной плотности мощности после прохождения S -волны (Рис. 4, 5) от верхних частот к низкому более закономерному явлению, так как коэффициент затухания как правило пропорционален частоте.

Авторы выражают искреннюю благодарность ведущему научному сотруднику института тектоники и геофизики ДВО РАН Трофименко С.В. за полезное обсуждение результатов данного исследования.

Работа выполнена в рамках программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» (проект 15-I-2-014).

Список литературы

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:1 000 000. (третье поколение). Дальневосточная серия. М.: ВСЕГЕИ. 2012.
2. Имаева Л.П., Имаев В.С., Козьмин Б.М. Сейсмогеодинамика Алдано-Станового блока // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31. № 1. С. 5-17.
3. Трофименко С.В. Суточные и годовые циклы сейсмической активности сейсмических поясов Северо-Востока Азии в модели блокового строения земной коры // Вестник СВФУ. 2011. Т. 8. № 1. С. 55-63.
4. Трофименко С.В. Тектоническая интерпретация статистической модели распределений азимутов аномалий гравимагнитных полей Алданского щита // Тихоокеанская геология. 2010. Т. 29. № 3. С. 64–77.
5. Trofimenko S.V., Bykov V.G. Model of crustal block movement in the South Yakutia geodynamic testing area based on GPS data // Russian Journal of Pacific Geology. 2014. Vol. 8. № 4. pp. 247-255. DOI: 10.1134/S1819714014040071.
6. Trofimenko S.V., Bykov V.G., Merkulova T.V. Seismicity migration in the zone of convergent interaction between the Amur plate and the Eurasian plate // Journal of Volcanology and Seismology, 2015, Vol. 9, No. 3, pp. 210-222. DOI: 10.1134/S0742046315030069.