НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМОМОНИТОРИНГА ПО ДАННЫМ СЕЛЕНГИНСКОЙ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

^{1,2}Цыдыпова Л.Р., ¹Тубанов Ц.А., ²Толочко В.В., ¹Базаров А.Д.

¹Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, e-mail: laraMGU@yandex.ru

²Бурятский филиал ГС СО РАН, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, e-mail: gs@gin.bscnet.ru

Дается характеристика Селенгинской сейсмической сети. Показаны ее возможности при регистрации разномасштабных сейсмических событий, при исследовании глубинного строения земной коры и мантии, при изучении сейсмического шума и его динамических характеристик.

Ключевые слова: мониторинг, глубинное строение земной коры и мантии, сейсмический шум, плотность спектра

SOME RESULTS OF SEISMIC MONITORING BASED ON THE SELENGINSKAYA LOCAL NETWORK

^{1,2}Larisa R. Tsydypova, ¹Tsyren A. Tubanov, ²Vitaliy V. Tolochko, ¹Artem D. Bazarov

¹Geological institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, 6a Sakhyanova Str., e-mail: laraMGU@yandex.ru

²Buryat department of Geophysical Survey, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, 6a Sakhyanova Str., e-mail: gs@gin.bscnet.ru

A characteristic of the Selenginskaya seismic network is given. Its potential capabilities for registration of different seismic events, for studying of the deep structure of the Earth's crust and mantle, for examining seismic noise and its dynamic characteristics are presented.

Key words: monitoring, deep structure of the Earth's crust and mantle, seismic noise, density spectrum

Введение

Район Центрального Байкала является наиболее сейсмоактивным в Байкальской рифтовой зоне. За последние 150 лет здесь произошло пять катастрофических землетрясений, в том числе Цаганское (12.01.1862, $M=7.5$) и Среднебайкальское (29.08.1959, $M=6.8$), которые сопровождались тектоническими движениями отрицательного знака. Оба события были локализованы в акватории оз. Байкал в районе дельты р. Селенги. В результате Цаганского землетрясения произошло опускание тектонического блока земной коры и образование залива Провал. Среднебайкальское землетрясение также сопровождалось тектоническими движениями отрицательного знака – опусканием дна оз. Байкал в эпицентральной зоне на 10–15 м [6]. Уровень сейсмичности и проблемы сейсмической безопасности территории Западного Забайкалья предопределили создание в 1996 году Селенгинской локальной сети, основной целью которой стал сейсмический мониторинг наиболее опасных сейсмогенных структур вблизи заселенных и развитых промышленных районов Республики Бурятия. Сеть была создана совместными усилиями двух академических учреждений Геологическим институтом СО РАН и Бурятским филиалом ГС СО РАН. Сейсмический полигон расположился в координатах 51.5°–54.0° с.ш., 105.0°–109.0° в.д. и охватил центральную часть БРЗ. На рисунке 1 представлена схема расположения сейсмических станций сети. Целью данного исследования является представление результатов сейсмомониторинга, проводимого Селенгинской локальной сетью.

Рис. 1. Расположение станций Селенгинской сейсмической сети (зеленые значки) и очагов землетрясений за 2001-2011 гг.

Синими кодами обозначены станции «Улан-Удэ» и «Хурамша» (**uud** и **hrm**)

Материал и методы исследования

Селенгинская сеть сейсмостанций структурно дополняет региональную сеть сейсмологических станций Прибайкалья. В настоящее время сейсмическая сеть состоит из 9 сейсмостанций, в том числе 4 пункта наблюдений дополнительно оснащены широкополосной аппаратурой. Сейсмостанции укомплектованы сейсморегистраторами «Байкал» и «Иркут», короткопериодными сейсмодатчиками типа СМЗКВ, СМЗ, широкополосными сенсорами СМГ40Т.

С самого начала, приоритет был отдан использованию в сети наблюдений цифровой и малообслуживаемой регистрирующей аппаратуры,

функционирующей в режиме круглогодичных наблюдений. Следует отметить, что первая (в регионе Байкальской рифтовой зоны) постоянная цифровая регистрация землетрясений была начата в феврале 1996 г. на сейсмостанции «Улан-Удэ» (UUD). В течение последующих трех лет в Восточном Прибайкалье было установлено еще 6 цифровых сейсмостанций с триггерной регистрацией данных. В 2002-2003 гг. был осуществлен переход на непрерывную регистрацию данных. Это позволило расширить энергетический диапазон (в сторону низких энергетических классов, вплоть до 4.5). До этого момента нижним пределом являлся 7 энергетический класс. Начиная с 2006 года, сейсмостанции сейсмической сети укомплектовываются широкополосными сенсорами CMG-40T (фирма Гуралп) с регистраторами «Иркут» собственной разработки. На данный момент в сети работают 5 широкополосных станций.

По результатам обработки и интерпретации данных сейсмологических наблюдений за период с 2001 по 2011 гг. выделено более двадцати четырех тысяч землетрясений. При локализации сейсмических событий в обработке используются данные пяти станций Байкальского Филиала Геофизической Службы («Большое Голоустное/BGT», «Ивановка/IVK», «Листвянка/LST», «Онгурены/ONG», «Тырган/TIG») [1].

Результаты исследования и их обсуждение

Большинству происходящих в Центральном Байкале землетрясений, присущ, как известно [4], «рифтовый» характер напряжений, при котором оси напряжений растяжения – близгоризонтальны и имеют северо-запад – юго-восточное направление, а оси напряжений сжатия – близвертикальны. Центральный Байкал входит в зону возможной интенсивности сотрясений 9 баллов и выше и характеризуется высокой сейсмической активностью. За более чем десятилетний период на рассматриваемой площади зарегистрировано порядка 15 000 землетрясений с $K_p \geq 4.3$ [1]. Гипоцентры большинства из них располагаются в средней части земной коры в пределах глубин 10 – 22 км [7].

В Центральном Байкале ежегодно происходит в среднем порядка тысячи землетрясений различного энергетического класса (Рис. 2), большинство из которых относятся к землетрясениям умеренной интенсивности ($Kp=6-7$). Вклад событий меньше 8 класса составляет порядка 85% от общего числа зарегистрированных событий, достигая в отдельные года и 90%. Это связано не только с геометрическим увеличением количества землетрясений с понижением энергетического класса, но и с увеличением диапазона представительности в сторону более низких классов. За десятилетний период с 2001 по 2011 год зоны регистрируемости землетрясений 5 и 6 класса увеличились вдвое, стала возможной регистрация землетрясений 4 класса. Из ряда выделяются 2008 и 2010 года с превышением порога в 2000 событий, именно в это время происходили самые сильные землетрясения 13–14 классов (например, Максимихинское землетрясение, 20.05.2008 с $M_w=5.3$), и соответствующие им афтершоковые последовательности землетрясений более низкого класса.

Рис. 2. Распределение количества землетрясений, построенное по данным наблюдений с 2001 по 2011 для Центрального Байкала

По расчету суммарных годовых значений выделившейся энергии можно проследить вариации во времени сейсмической энергии в рассматриваемой нами области. Среднее суммарное значение выделившейся энергии в годы с умеренной сейсмической активностью составляет порядка 1012 Дж. При

возникновении достаточно сильных землетрясений годовое значение энергии увеличивается в десятки, сотни раз. В 2006–2010 гг. увеличение энергии коррелируется с региональным усилением сейсмической активности.

Локализованный характер сейсмичности Центрального Байкала наглядно демонстрирует карта плотности эпицентров землетрясений, построенная за десятилетний период инструментальных наблюдений (2001–2011 гг.) (Рис. 3). Анализ карты показывает, что области высокой концентрации эпицентров землетрясений (больше 100 событий в ячейке 8 x 8 км), приурочены к сейсмически активным разломным структурам и располагаются вдоль акватории озера Байкал вблизи восточного берега. Краевые части области характеризуются достаточно умеренной сейсмичностью 5–25 землетрясений на ячейку, а периферийные части активных областей содержат 25–100 событий.

Рис. 3. Карта плотности эпицентров за период наблюдений с 2001 по 2011 гг.

График повторяемости землетрясений, характеризующий распределение количества землетрясений по энергии, показывает довольно стабильное значение коэффициента $\gamma=0.50$, но отличающееся от региональных показателей [2]. Это объясняется обобщенным характером оценки сейсмического потока, получаемого по данным региональной сети.

Метод приемных функций. Планомерная работа по расстановке широкополосных станций и накоплению непрерывных сейсмических записей позволили начать работы по исследованию глубинного строения юго-западного Забайкалья. Коллекция телесеизмических записей каждой такой станции представляет собой полноценный источник информации о скоростном строении земной коры и мантии вокруг точки наблюдения в радиусе до 200 км. Овладеть такой информацией возможно с помощью разработанных к настоящему времени структурных сейсмологических методов. В нашем исследовании мы применили хорошо зарекомендовавший себя метод приемных функций [10]. Исследование выполнялось по записям станций, установленных первыми в локальной сети и накопивших наибольшее количество данных – «Улан-Удэ» и «Хурамша» (UUD и HRM, Рис. 1). Из 3-компонентных широкополосных записей станций выделялись и анализировались волновые формы функции приемника, полученные по землетрясениям в диапазоне обратных азимутов (BAZ) от 030 до 300°. Из азимутального анализа следует, что некоторые из изначально сгруппированных нами 30-градусных диапазонов имеют подобные приемные функции, и выявляются примерные границы, где приемные функции меняются существенным образом, что предполагает изменение скоростной структуры при переходе через эти условные границы.

Исходя из этого, Р-приемные функции по станциям были разделены на несколько азимутальных диапазонов, для каждого из которых были рассчитаны 2 вида одномерных моделей $V_s(h)$: модели от поверхности до глубины 70 км (Рис. 4), рассчитанные инверсией приемных функций в интервале частот 0.05–0.9 Гц, и модели от поверхности до глубины 280 км – по более низкочастотному

интервалу 0.05–0.3 Гц. Из полученных моделей следует, что некоторые особенности скоростной структуры воспроизводятся в противоположных диапазонах азимутов. Наиболее контрастная «слоистость» выявляется в коре. В низах коры в противоположных азимутах выявляется понижение сейсмической скорости, что может указывать на условия сжатия в этих районах в условиях коллизии [3].

Скоростное распределение мантии в моделях для «Хурамши» и «Улан-Удэ», наиболее низкими скоростями свидетельствует о возможных расплавах в интервале глубин от 200 до 100 км. От земной коры этот низкоскоростной слой отделен нормальными и даже несколько повышенными скоростями. Подстиляется слой аномально низкой скорости нормальной мантией. Полученный результат подтверждает результаты сейсмической томографии на продольных волнах, выполненной по субмеридиональному профилю PASSCAL [5].

Рис. 4. V_s модели до 70 км по данным сейсмостанции UUD

Изучение динамических характеристик сейсмического шума по данным цифровых станций Селенгинской локальной сети. Впервые дана сравнительная оценка характеристик сейсмического шума для станций Селенгинской локальной сети. По каждой из трех компонент сейсмического шума рассчитаны спектральные кривые плотности, изучены временные вариации. Основной целью исследования являлось сравнительное изучение спектральных характеристик и временных вариаций различных частотных составляющих микросейсмического фона на 4 сейсмических станциях Селенгинской локальной сети – «Заречье» (ZRH), «Узур» (UZR), «Улан-Удэ» (UUD), «Хурамша» (HRM).

Сейсмические записи отбирались с учетом отсутствия на сейсмограмме импульсных сигналов и шумов от техногенных помех, и сейсмических волн землетрясений и взрывов. Для отбора таких записей был разработан следующий алгоритм: из записей выбирались участки без сейсмических событий длиной по 10 минут каждый с минимальным разбросом по амплитудам в сутках. Было отобрано примерно по 150 таких отрезков для каждой станции по каждому сезону. Для изучения параметров сейсмического шума использованы записи станций за 2012 год.

Спектральная плотность сейсмического шума рассчитывалась для каждой станции, для каждой из трех компонент сейсмических записей, отдельно для ночного (15:00–19:00 GMT, 00:00–04:00 по местному времени) и дневного времени (01:00–10:00 GMT, 10:00–19:00 по местному времени) по сезонам. После получения для станций набора спектров, оценивался медианный спектр, который принимался за наиболее вероятный спектр сейсмического шума для данной выборки.

На рисунке 5 изображены медианные спектры для дневного и ночного времени по Z компоненте по всем четырём сейсмостанциям за весенний период в диапазоне частот от 1 до 25 Гц. Следует отметить, что ночные спектры отличаются более низким уровнем шумов, чем дневные на графиках по сейсмостанциям «Улан-Удэ», «Хурамша» и «Заречье» и почти не различаются на сейсмостанции «Узур». Уровень шумов в рассматриваемой области частот

приближен к верхнему уровню модели Петерсона [9], и в среднем выдержан по вертикали.

На «Заречье» характер хода спектра мощности выделяется общим повышением уровня спектральной плотности шума на 1-2 порядка в сравнении с остальными сейсмостанциями.

Сравнение вариаций шумов между станциями по каждому из сезонов показало, что в зависимости от времени года характер спектральных кривых меняется произвольным образом. Однако можно выделить несколько особенностей: 1. осенний период в низкочастотной области до 2 Гц имеет максимальные значения спектра мощности, и в целом, продолжает эту тенденцию, оставаясь на уровне или выше по сравнению с другими сезонами. Однако этого нельзя сказать о сейсмостанции «Хурамша», где кривая спектра мощности (осень), начиная с 7 Гц имеет уже минимальные значения; 2. Сейсмостанции «Узур», «Заречье», «Улан-Удэ», начиная с 2, 4 и 5 Гц соответственно, в целом не различаются по сезонам, разброс значений минимален; 3. Самым спокойным сезоном относительно микросейсм являются зима на сейсмостанциях «Улан-Удэ» и «Заречье» и весна на «Узуре».

Рис. 5. Медианные спектры шума для дня и ночи за весенний период.
Модель Петерсона: 1 – верхняя граница, 2 – нижняя граница

Список литературы

1. Байкальский филиал Геофизической службы СО РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.seis-bykl.ru>.
2. Землетрясения Северной Евразии / Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 185–195.
3. Лобковский Л.И. Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит. М.: Наука, 1988.
4. Мельникова В.И., Тубанов Ц.А., Добрынина А.А., Радзиминович Н.А., Гилёва Н.А. Характер напряженно-деформированного состояния земной коры в районе дельты р. Селенги (Центральный Байкал) // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Второй международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 145–148.
5. Мордвинова В.В., Винник Л.П., Косарев Г.Л., Орешин С.И., Треусов А.В. Телесейсмическая томография литосферы Байкальского рифта // Докл. РАН. 2000. – Т. 372. – № 2. – С. 248–252.
6. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. – М.: Наука, 1977. – 535 с.
7. Суворов В.Д., Тубанов Ц.А. Распределение очагов близких землетрясений в земной коре под Центральным Байкалом // Геология и геофизика, 2008. – Т. 49. – №8. – С. 805–819.
8. Цыдыпова Л.Р., Тубанов Ц.А., Предеин П.А., Санжиева Д.П.-Д. Селенгинская сеть сейсмологических и вибросейсмических наблюдений // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Восьмой Международной сейсмологической школы. – Обнинск: ГС РАН. – 2013. – С. 342–345.
9. Peterson J. Observation and Modeling of Seismic Background Noise. – Albuquerque, New Mexico, 1993. – 42 p.
10. Vinnik L.P. Detection of P to SV in the mantle // Phys. Earth planet, 1977. – Int. 15. – P. 39-45.