

ГИДРОФОННЫЕ АВТОНОМНЫЕ СЕЙСМОСТАНЦИИ В ЗАДАЧЕ ДЕТАЛЬНЫХ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

А.С. Борисов, С.А. Борисов, В.В. Гурский

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, borisov_as@imgg.ru

Аннотация

В докладе рассказывается об опыте применения гидрофонных автономных сейсмостанций (ГАСС) в условиях мелководья. ГАСС были разработаны и изготовлены в ИМГиГ ДВО РАН для долговременного гидроакустического наблюдения за сейсмической активностью на Сахалине и Курильских островах. Представлены результаты сейсмологических наблюдений, анализ параметров зарегистрированных сигналов от слабых региональных землетрясений и микроземлетрясений. Показано, что обладая высокой чувствительностью и широким динамическим и частотным диапазоном, гидрофонные станции даже при использовании на мелководье, т.е. в акваториях с высоким уровнем шумов как природного, так и антропогенного происхождения, обнаруживают сигналы от землетрясений, не регистрируемых на некоторых локальных стационарных сейсмостанциях. Обсуждаются вопросы и перспективы применения гидрофонных автономных систем.

Основные особенности проведенных исследований

Гидроакустические наблюдения проводились в мелководных районах (прибрежные зоны и внутренние акватории). При этом было установлено, что гидрофонные системы, несмотря на условия измерений, высокоэффективны для регистрации сейсмических событий, а проблема влияния окружающих шумов может быть решена применением соответствующих методов обработки. Сигналы регистрировались в широком диапазоне частот - от 0,7 до 500 Гц, исследовались характеристики зарегистрированных сигналов акустической эмиссии (диапазон частот, времена прихода сейсмоакустической энергии). Наблюдения проводились с помощью малогабаритных гидрофонных систем – регистраторов сейсмоакустической эмиссии, разработанных и изготовленных в ИМГиГ ДВО РАН (г. Южно-Сахалинск), в том числе с помощью автономных систем, позволяющих вести практически непрерывный мониторинг сейсмической активности.

Характеристики малогабаритных гидрофонных систем

Начиная с 2006 года было разработано и использовано несколько моделей гидрофонных регистраторов, включая автономные и проводные системы, системы с одно- и четырехканальной регистрацией. На рис. 1. представлен вариант одноканальной ГАСС, имеющей следующие характеристики: чувствительность гидрофонов – 200 мкВ/Па (т.е. способность воспринимать смещения донной поверхности составляет от $5 \cdot 10^{-10}$ м (на 1 Гц) до $2.5 \cdot 10^{-13}$ (на 500 Гц)); динамический диапазон измерительного тракта – 96 дБ; диапазон частот от 0,7 до 500 Гц; время непрерывной записи – 4 мес.; масса – 5кг.



Рис. 1. Одноканальная автономная гидрофонная сейсмостанция

Регистрация и оценка параметров землетрясений

Ниже представлены некоторые гидрофонные записи сейсмоакустических сигналов, зарегистрированных в озере «Лагунное» на о. Кунашир в периоды с 10 по 15 августа и с 19 по 24 сентября 2007 г. Гидрофонная станция была установлена на глубине 2 м. Всего за время наблюдений было зарегистрировано 15 слабых ($M < 4$) региональных землетрясений, при этом 12 землетрясений были зарегистрированы и Южно-Курильской сейсмостанцией, а 3 землетрясения только гидрофонной станцией. На рис. 2 (a,b) представлены первичная волновая форма и спектрограмма сигнала от землетрясения №1516 (согласно бюллетеню Южно-Курильской сейсмостанции), зарегистрированного ГАСС 11.08.2007 г. Класс события $K_s=10,6$, расстояние до эпицентра $D=665$ км. На рис. 2 (c,d) показаны волновая форма и спектрограмма этого события после применения адаптивной частотной обработки. Здесь уверенно обнаруживаются моменты прихода прямых P и S волн как отклики P_r и S_r водной среды. Временной промежуток между вступлениями этих волн составляет 70 с, а общая длительность $\Delta T=110$ с. Зарегистрированные гидроакустические отклики на P и S волны занимают диапазон частот приблизительно до 75 Гц.

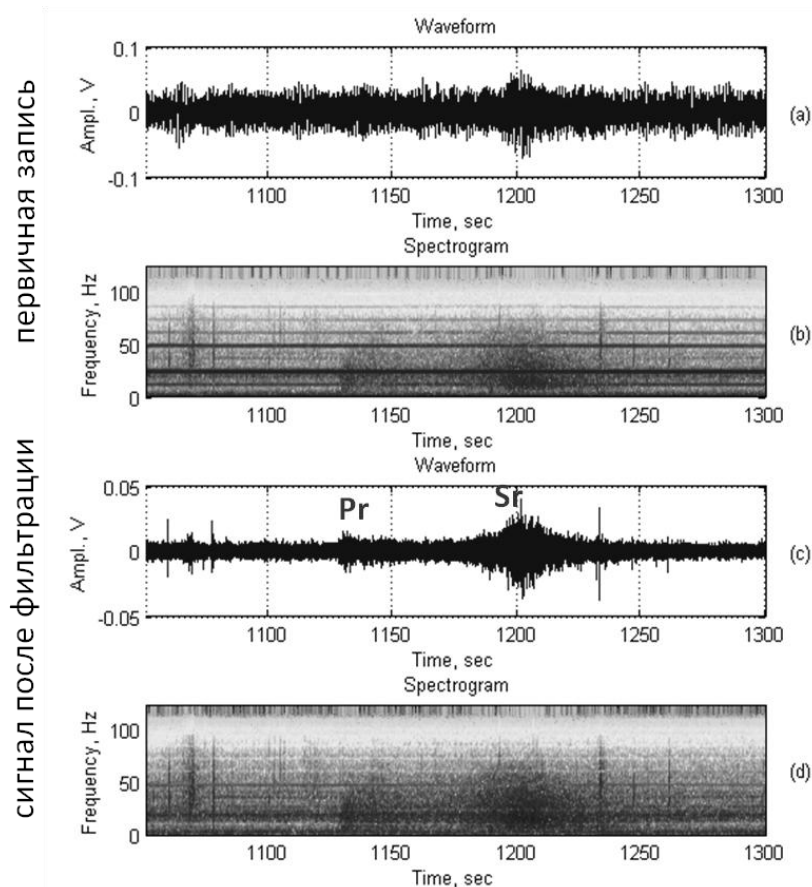


Рис. 2. Землетрясение № 1516 (11.08.2007; 09:10:16,1; $D=665$ км, $K_s=10,6$).

На рис. 3 для примера представлены волновая форма и спектрограмма одного из землетрясений, зарегистрированных ГАСС, но не отмеченных в бюллетене локальной сейсмостанции (первичная запись представлена на рис. 3 (a,b), а обработанная реализация – на рис. 3 (c,d)). Здесь время между P_r и S_r составляет 16 с, длительность события – 46 с, а в частотной области событие перекрывает диапазон до 100 Гц.

Регистрация и оценка параметров микроземлетрясений

Далее представлены гидрофонные записи сигналов от микроземлетрясений, зарегистрированных на о. Шикотан, с 23.06 по 30.08 2012 г. Для регистрации сейсмосигналов использовались одновременно две автономные гидрофонные станции – ГАСС №2 и ГАСС №3, установленные на расстоянии 8 км друг от друга, в водоемах на восточном и западном побережье острова (рис. 4). Глубина места установки гидрофонов составляла 1,5 м. За указанный период было

зарегистрировано 4 микроземлетрясения. Волновые формы одного из них, записанные ГАСС №2 и №3 2.07.2012 г. приведены на рис. 5.

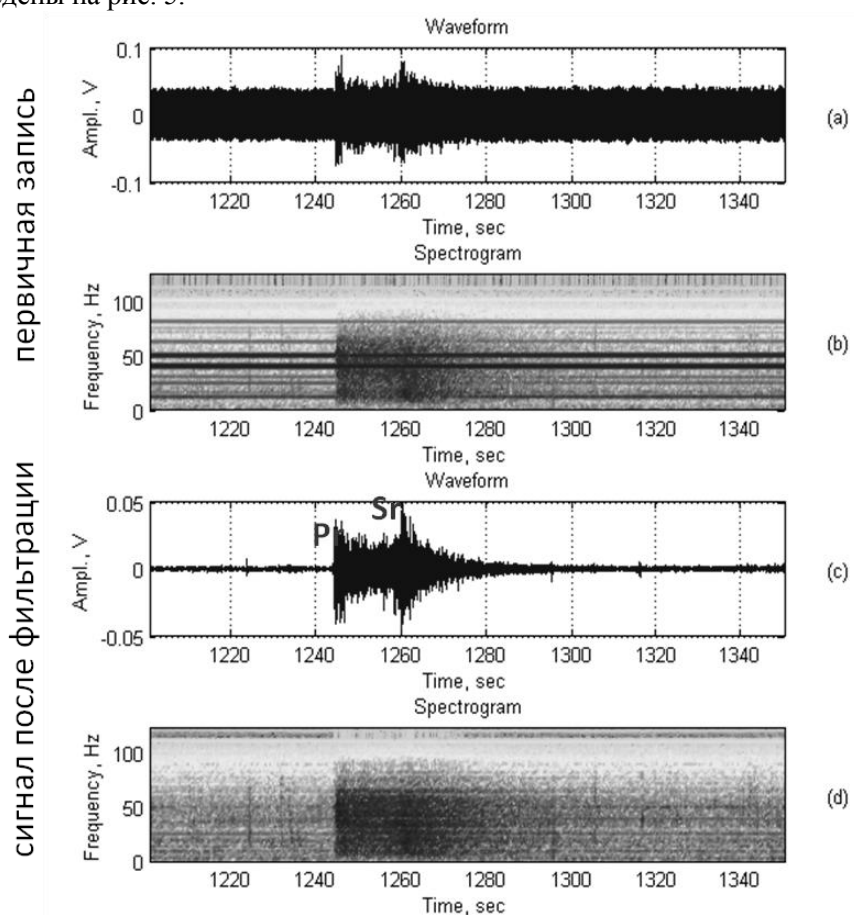


Рис. 3. Землетрясение, зарегистрированное ГАСС 12.08.2007 в 19:42:40,1.

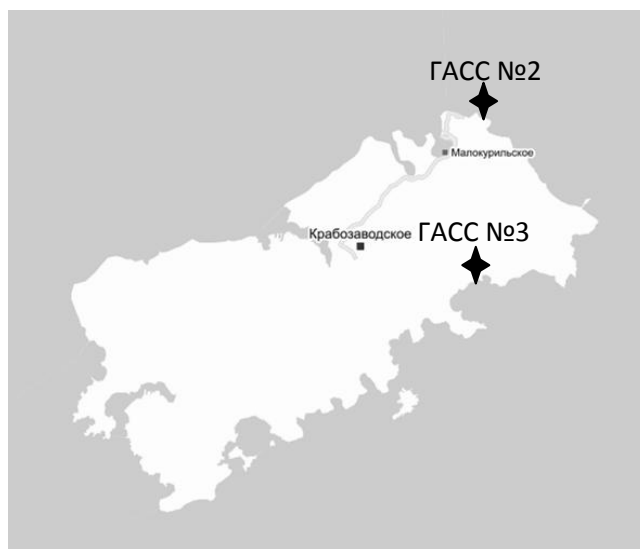


Рис. 4. Местоположения ГАСС на о. Шикотан.

Анализ гидроакустических записей с гидрофонной станции показал, что: процессы подготовки микроземлетрясений не вызвали заметной геоакустической эмиссии; частотный спектр акустических сигналов от микроземлетрясений, воспринимаемых гидрофонными станциями, установленными на Шикотан, носит непрерывный шумоподобный характер в широком диапазоне частот до 70-100Гц (также как и для наблюдавшихся слабых землетрясений); для микроземлетрясений на Шикотане характерна заметная (гидроакустической аппаратурой) генерация Рэлеевских волн (Rr на рис. 5); оценочные расстояния от гидрофонных станций (по разности времен прихода S-волн и P- волн) дают основание считать, что наблюдаемый рой локальных микроземлетрясений на Шикотане, занимает

компактную площадь и объем; тектонические разломы могут перекрывать трассы распространения сейсмоакустических сигналов от микроземлетрясений, поэтому при оценках магнитуд микроземлетрясений необходимы данные с двух или более разнесенных в пространстве (на несколько километров) сейсмостанций регистрирующих локальные микроземлетрясения.

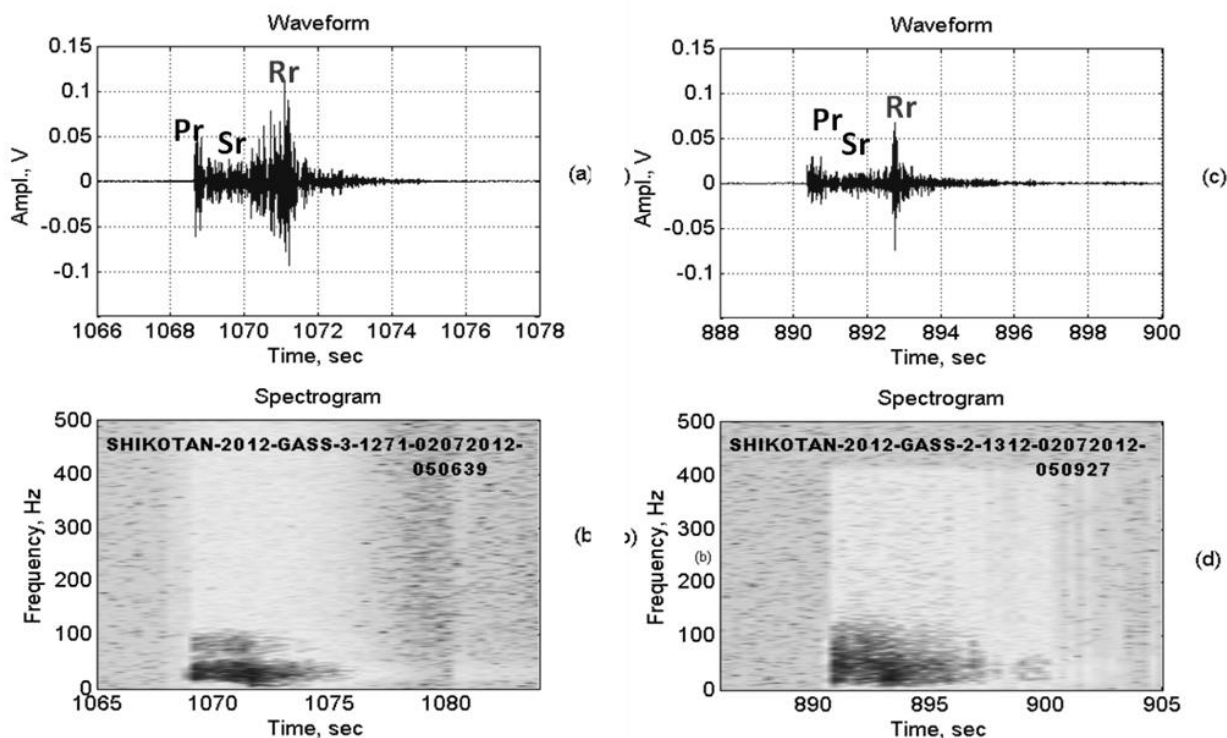


Рис. 5. Микроземлетрясение, зарегистрированное на о.Шикотан 2.07.2012: a,b – ГАСС №3, cd – ГАСС №2.

В ходе проведения наблюдений было также установлено, что некоторым микроземлетрясениям может предшествовать низкочастотный упреждающий сигнал, вероятно, представляющий собой сейсмоакустический отклик на подвижку геологического массива (глыбы) перед сейсмическим разрывом («тихое» землетрясение, крип). На рис. 6. представлена волновая форма и спектрограмма одного из зарегистрированных локальных микроземлетрясений. По уровню сигнала, наличию мощных высокочастотных составляющих и отсутствию временного расхождения между P и S волнами можно сделать вывод о том, что гидрофон оказался в районе эпицентра данного микроземлетрясения.

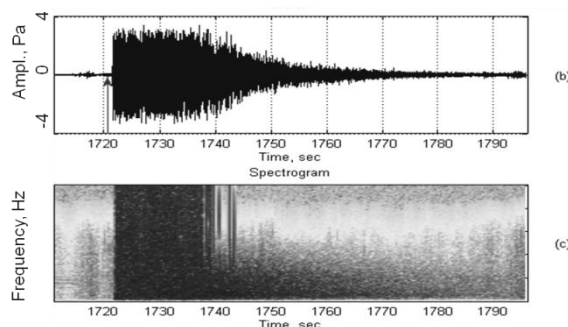


Рис. 6. Запись микроземлетрясения, записанного гидрофонной станцией 20.06.2009 г., о. Шикотан, бухта «Хромовая».

Наличие интенсивных высокочастотных составляющих в спектре сигнала, вызванного микроземлетрясением, указывает также на то, что и гипоцентр этого события находился сравнительно неглубоко, вероятнее всего в верхней кромке коренных пород. Из самого события (рис. 6, а) видно, что длительность активной фазы микроземлетрясения составляет приблизительно 20 с. Под активной фазой микроземлетрясения мы здесь понимаем время развития трещины (трещин). По времени продолжительности активной фазы это микроземлетрясение можно отнести к разряду

слабых землетрясений [1]. На рис. 7 показан фрагмент записи начальной стадии микроземлетрясения. Видно, что это микроземлетрясение предваряет низкочастотный упреждающий сигнал (НУС). Обычно сейсмостанции редко регистрируют НУСы от удаленных событий даже со значительными магнитудами [2]. В первую очередь это связано с тем, что низкочастотные упреждающие сигналы имеют очень малые уровни, как правило, гораздо меньшие, чем уровни естественных помех. Обнаружение слабого НУС перед микроземлетрясения также подтверждает то обстоятельство, что микроземлетрясение произошло на относительно малом расстоянии от места регистрации. Конечно, НУС у МЗ имеет значительно меньшую длительность (для рассматриваемого случая приблизительно 0,2 с, что составляет 0.28 % от общей длительности события), и более высокие частоты колебаний (20 Гц в нашем случае).

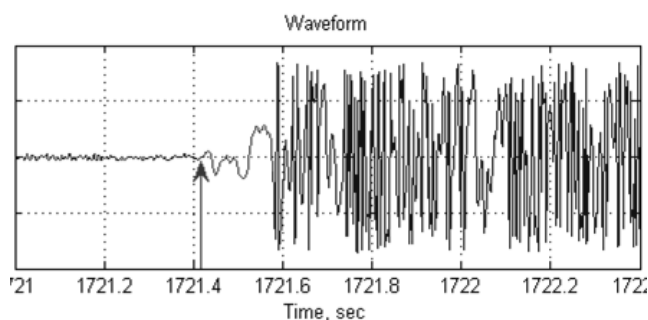


Рис. 7. Низкочастотный упреждающий сигнал.

Перспективы использования гидрофонных систем

Полученные результаты показывают, что применение малогабаритных гидрофонных систем в условиях мелководья позволяет: регистрировать региональные землетрясения, в том числе слабомагнитудные и глубокофокусные, регистрировать локальные микроземлетрясения, производить оценку параметров землетрясений, регистрировать сигналы геоакустической эмиссии, выявлять напряженно-деформированные состояния геологических пород.

Актуальной задачей в настоящее время является задача оценки магнитуд сейсмособытий. Авторам не известны работы, в которых производилось бы вычисление магнитуд микроземлетрясений случающихся на Курильских островах и, тем более, зарегистрированных гидрофонными станциями в условиях небольших внутриостровных водоемов. Первые оценки магнитуд микроземлетрясений на Курилах могут быть получены очень приближенно. Так, если воспользоваться известной формулой Брочера $M_b = 2,3 + \lg(\tau)$ [3] и формулой $M_1 = 1,38 \lg(\tau)$, предложенной в работе [1] с учетом [4], то, более близкую оценку энергии микрособытия дает оценка M_1 . Но, так как, существенный вклад в длительность события может вносить реверберация, которая в условиях мелководья сильнее зависит от региональных особенностей геологического строения и от направления прихода сейсмической энергии, то для надежных оценок магнитуд микроземлетрясений, зарегистрированных гидрофонными станциями в водоемах на островах, необходима достаточная статистика зарегистрированных микрособытий (причем, одновременно несколькими станциями), чтобы уточнить численные коэффициенты.

Сделанный анализ сейсмограмм микроземлетрясений на о. Шикотан показывает, что на оценку магнитуд могут оказывать влияние возможные разрывные нарушения однородности геологических структур. Таким образом, для определения магнитуд локальных микроземлетрясений необходимо учитывать еще место установки сейсмостанции.

Список литературы

1. Левин Б.В., Сасорова Е.В., Борисов С.А., Борисов А.С. Оценка параметров слабых землетрясений и их сигналов // Вулканология и сейсмология. 2010. № 3. С. 60–70.
2. Левин Б.В., Сасорова Е.В. Сейсмоволновой низкочастотный предвестник подготовки землетрясения // Вулканология и сейсмология. 1994. №4–5. С. 128–133.
3. Brocher Th.M. T-phases from the earthquake swarm on the Mid-Atlantic ridge at 31.6°N // Mar. Geophys. Res. 1983. V. 6. № 1. P. 39–49.
4. Соловьёв С.Л., Ковачёв С.А. Об определении локальной магнитуды местных землетрясений по наблюдениям донных сейсмографов // Физика Земли. 1996. № 5. С. 26–30.