

## Широкополосные гидроакустические наблюдения сигналов микросейсмической активности Южных Курильских островов в 2011-2012 г.г.

А.С. Борисов

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, 693022, Ю.-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, Россия. E-mail: [borisov\\_as@imgg.ru](mailto:borisov_as@imgg.ru)

*Представлены результаты натуральных гидроакустических наблюдений микроземлетрясений (МЗТ) на южных Курильских островах с помощью гидрофонных автономных сейсмостанций (ГАСС). ГАСС устанавливались на островах: Кунашир и Шикотан. Анализ гидроакустических записей показал, что в 2011 и 2012 г.г. на Кунашире и Шикотане, в отличие от 2007-2010 г.г., начала проявляться микросейсмическая активность. Характерной особенностью зарегистрированных локальных МЗТ является относительно высокая максимальная амплитуда Р-волн и близкие значения разности времен между вступлениями S-волн и Р-волн. Микрособытия сопровождались генерацией не только объемных продольных и сдвиговых волн, но и заметным возбуждением Рэлеевских волн. Произведена оценка магнитуды МЗТ по параметрам принятых гидроакустических откликов.*

*The results of the natural hydroacoustic observation of microearthquakes on the Southern Kuril Islands using autonomous hydrophone seismostations are presented. The autonomous hydrophone seismostations were installed on the Kunashir and Shikotan Islands. The analysis of the hydroacoustic records showed that microseismic activity become apparent in 2011 and 2012 as opposed to 2007-2010. The accents of the registered local microearthquakes are the relatively high peak amplitude of P-waves and close values of time difference between of P- and S-waves appearance. Microearthquakes were accompanied with appreciable generation of Raleigh waves. The magnitude estimates of the registered microearthquakes were performed on the base of parameters of the recorded hydroacoustic responses.*

В решениях задач оценки динамики сейсмической обстановки региона важными являются комплексные наблюдения за многими известными возможными признаками подготовки значительного сейсмического события. Важную составляющую комплексных наблюдений представляет анализ текущих локальных микроземлетрясений (МЗТ) в исследуемом регионе [1].

В докладе приводятся и обсуждаются некоторые результаты гидрофонных наблюдений, выполнявшихся на островах Кунашир и Шикотан в 2011 и 2012 годах. За время наблюдений были обнаружены сейсмоакустические сигналы, вызванные локальными микроземлетрясениями.

Для наблюдения МЗТ использовались гидрофонные автономные сейсмостанции (ГАСС), разработанные и изготовленные в институте морской геологии и геофизики ДВО РАН. На рис.1 приведена фотография одной из трех использовавшихся ГАСС. Для приема гидроакустических сигналов на всех гидрофонных сейсмостанциях применялись гидрофоны, такой же конструкции, как и описанные в работе [2]. Чувствительность гидрофонов – 200 мкВ/Па, коэффициент усиления электронного тракта – 100, динамический диапазон измерительного тракта составлял 90 дБ, верхняя граничная частота измерений – 500 Гц, нижняя частота была ограничена значением в 0.7 Гц.

Наблюдения на Кунашире проводились с 24 августа по 20 октября 2011 года. ГАСС №1 была установлена в озере «Лагунное», на глубине 2м. В этот период наблюдений было зарегистрировано два локальных МЗТ.

На острове Шикотан гидроакустические наблюдения проводились в два периода. В первый период, с 11 сентября по 19 ноября 2011 года, гидрофонная станция ГАСС №4 была установлена в штольне геофизической обсерватории ГФО «Шикотан», в лунке

емкостью около 40 литров с естественным наполнением грунтовой водой. За указанный период наблюдений было зарегистрировано одно локальное МЗТ.



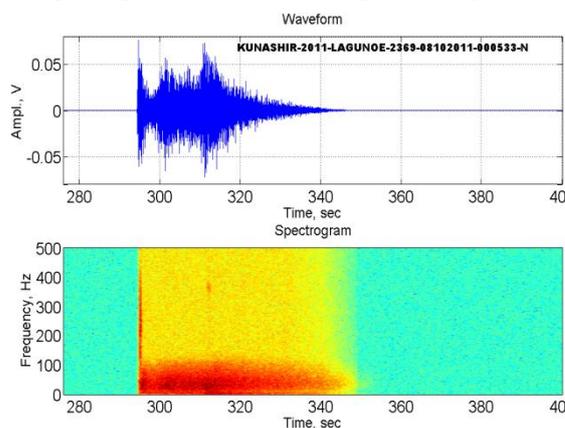
**Рис.1. Внешний вид гидрофонной автономной сейсмостанции (ГАСС).**



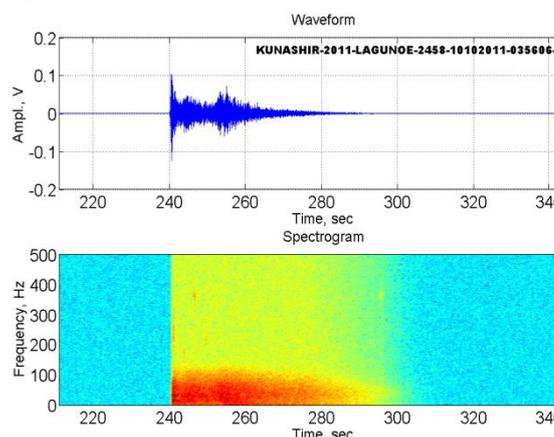
**Рис.2. Местоположения ГАСС на о. Шикотан.**

Во второй период наблюдений на о. Шикотан, с 23 июня по 30 августа 2012 года, для регистрации сейсмосигналов использовались одновременно две гидрофонные станции – ГАСС №2 и ГАСС №3, установленные на расстоянии 3км друг от друга, в водоемах на восточном и западном побережье острова, соответственно (рис. 2). Глубина места установки гидрофонов – 1,5 м. За этот период наблюдений на Шикотане произошло не менее 12 МЗТ. Причем, гидрофонной станцией ГАСС №2 были зарегистрированы 4 МЗТ, а ГАСС №3 – 8 МЗТ.

Ниже, на рис. 3 и 4 приведены волновые формы и спектрограммы гидрофонных записей гидроакустических сигналов, зарегистрированных в озере «Лагунное» на Кунашире. Время на осциллограммах указано в секундах относительно начала записи.



**Рис. 3. Волновая форма (а) и спектрограмма (б) МЗТ, зарегистрированного ГАСС №1 8.10.2011.**



**Рис. 4. Волновая форма (а) и спектрограмма (б) МЗТ, зарегистрированного ГАСС №1 10.10.2011.**

Гидроакустические сигналы возбуждались упругими волнами от локальных МЗТ. Анализ временных и частотных параметров сигналов показал, что:

- сигналы от локальных МЗТ, принимаемые широкополосной гидрофонной станцией расположенной в озере Лагунное, имеют такой же широкополосный спектр (до 100-110 Гц), что и сигналы от слабых региональных землетрясений, описанных в работе [2];

- гидроакустический отклик на Р- волны локальных МЗТ на Кунашире, в отличие от региональных землетрясений [2], имеют в структурах сигналов высокую относительную максимальную амплитуду;

- падающие под углом на границы раздела S-волны довольно эффективно трансформируются в продольные волны, заметно возбуждающие гидрофон;

- задержка времени между приходом максимальных амплитуд Р и S волн составляет приблизительно 4 с и 6 с, соответственно, для сигналов на рис. 3 и 4.

- упругие объемные волны, генерируемые МЗТ на Кунашире, возбуждают заметные поверхностные волны – волны Рэлея;

- волны Рэлея имеют более широкополосный спектр – появляются (дополнительно) низкочастотные составляющие – для обоих МЗТ в полосе приблизительно от 0.8 до 1,5 Гц;

- задержка времени между приходом максимальных амплитуд Р- волн и Рэлеевских волн составляет 14 с и 17 с, для сигналов на рис. 3 и 4, соответственно.

На рис. 5 представлены волновая форма и спектрограмма сигнала зарегистрированного гидрофонной станцией ГАСС №4 на ГФО «Шикотан». Максимум амплитуды Р-волны этого МЗТ также (как и на Кунашире) превышает все уровни остальной части сейсмического сигнала. Полоса частот сигнала от этого МЗТ более узкая, чем у сигналов от МЗТ на Кунашире и составляет приблизительно 80 Гц. Задержка времени между приходом максимальных амплитуд Р- и S- волн, Р- и Рэлеевской волны составляет 7 с и 11 с, соответственно.

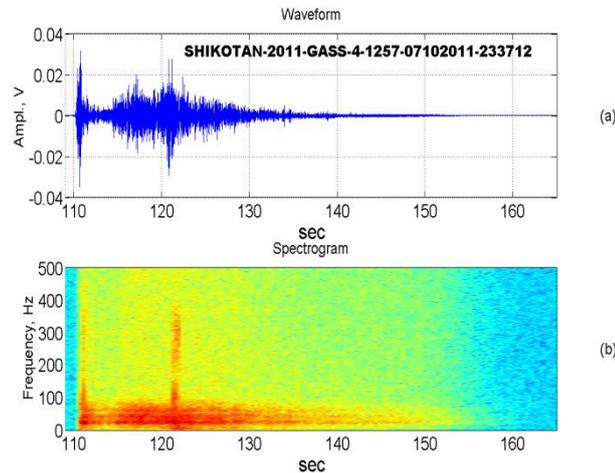
На рис.6 показаны первые, зарегистрированные 2.07.2012 года (второй период наблюдений на о. Шикотан) станциями ГАСС №2 и ГАСС №3 гидроакустические сигналы от одного МЗТ. Как видно из рисунков, формы импульсных сигналов подобны. Время прихода сейсмоакустического сигнала на гидрофонную станцию ГАСС №3 – 05:24:16:320, а на ГАСС №2 – 05:24:17:300, т.е. на ГАСС №3 сейсмоакустический сигнал поступил раньше на 0,98 с. При этом, на гидрофонной станции ГАСС №3 уровни сигнала превышают (незначительно) таковые на ГАСС №2. Для обеих записей характерно то, что Рэлеевские волны вызвали более существенный отклик гидрофонов, чем Р- и S-волны. Разность времен прихода Рэлеевских волн и Р- волн составляет 3 с и 2,7 с для ГАСС №3 и ГАСС №2, соответственно. Времена вступления Рэлеевских волн хорошо заметны и на соответствующих спектрограммах по низкочастотным составляющим сигналов.

16.07.2012 ГАСС №2 и №3 были зарегистрированы еще, близкие по временам прихода сейсмоакустические сигналы от двух МЗТ. Для этих МЗТ характерно то, что сигналы, поступившие на ГАСС №2, на порядок меньше по амплитуде от сигналов принятых гидрофонной станцией ГАСС №3, несмотря на небольшую разницу во временах прихода сейсмоакустических сигналов. При этом, сейсмоакустические сигналы, поступившие на ГАСС №2, занимают более широкую полосу частот.

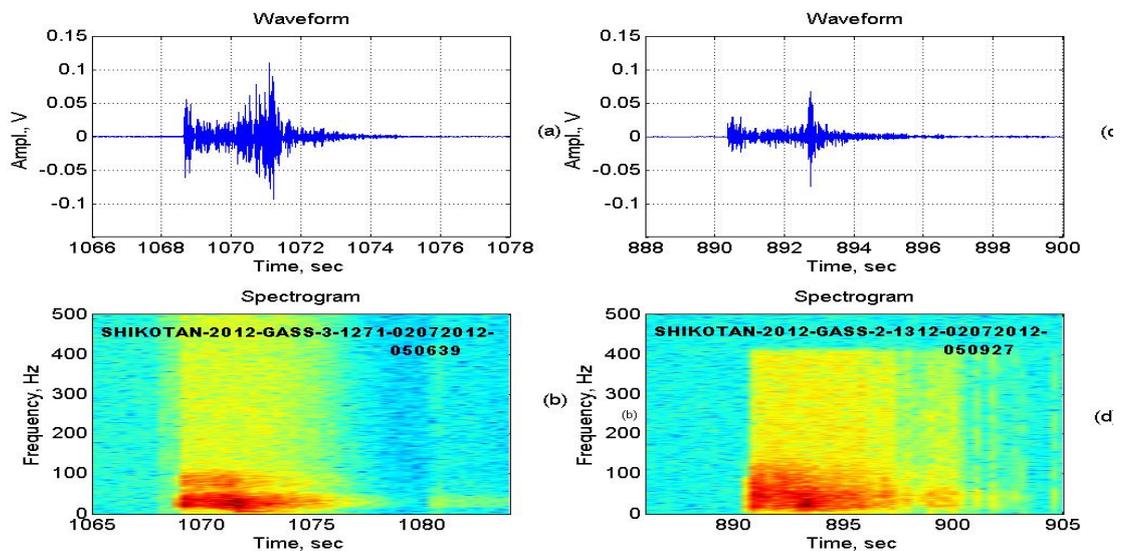
23. 08. 2012 этими же станциями было зарегистрировано МЗТ с 3с разницей во времени. На станцию ГАСС №3 сейсмоакустический сигнал пришел раньше. Амплитуды сигнала, зарегистрированного на менее удаленной от эпицентра гидрофонной станции (ГАСС №3), выше всего лишь в 2-4 раза, чем амплитуды сигнала от этого же микрособытия на ГАСС №2 (а не на порядок, как в предыдущем случае). Возможно, на такое, сравнительно небольшое, различие амплитуд сейсмоакустических сигналов повлияли лучшие условия распространения сигнала по сейсмотрассе на пути от очага МЗТ к месту установки гидрофонной станции ГАСС №2.

Гидрофонной сейсмостанцией ГАСС №3 были зарегистрированы еще четыре МЗТ, которые не были обнаружены ГАСС №2. Относительно малые уровни сигналов от некоторых МЗТ, видимо и стали причиной отсутствия их регистрации на более

удаленной гидрофонной станции ГАСС №2. Основной же причиной «аномально» низкого уровня сейсмоакустических сигналов от некоторых МЗТ на гидрофонной станции ГАСС №2 (по сравнению с сигналами от этих же МЗТ на ГАСС №3) является, по-видимому, возможное наличие тектонических нарушений (разломов) пересекающих трассу распространения сейсмоакустических сигналов на пути от микрособытий к месту установки гидрофонной станции ГАСС №2 и существенно ослабляющих (экранирующих) эти сигналы.



**Рис. 5. Волновая форма (а) и спектрограмма (б) МЗТ, зарегистрированного ГАСС №4 7.10.2011.**



**Рис. 6. МЗТ, зарегистрированное 2.07.2012 ГАСС №3 (а, б) и ГАСС №2 (с, д).**

Для сравнительной характеристики энергий, выделенных при землетрясениях используют понятие магнитуд. Автору 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. В работе[2] было отмечено, что вопрос оценок магнитуд слабых (и тем более, микро-) сейсмических событий требует дополнительной проработки и увеличения статистики наблюдений микроземлетрясений. Первые оценки магнитуд микроземлетрясений на Курилах могут быть получены очень приближенно. Так, если воспользоваться известной формулой Брочера  $Mb = 2.30 + \lg(\tau)$  [3], то,

например, для микроземлетрясения, зарегистрированного на Кунашире 10.10.2011 (рис. 4), получим магнитуду, равную  $M_b = 2.30 + \lg(\tau) = 2.30 + \lg(30) = 3,7$ . Если воспользоваться формулой  $M_1 = 1.38 \ln(\tau) - 3.63$  [4] (с учетом работы [5]), то получим  $M_1 = 1.38 \ln(30) - 3.63 = 1$ . Видимо, для магнитуд микроземлетрясений на Курильских островах эта формула дает более близкую оценку энергии микрособытия. 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.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** В статье представлены результаты гидрофонных наблюдений землетрясений на Курильских островах Кунашир и Шикотан. Наблюдения проводились гидрофонными автономными сейсмостанциями ГАСС в 2011 и 2012 г.г. При проведении наблюдений были зарегистрированы и записаны гидроакустические сигналы от локальных МЗТ.

Анализ гидроакустических записей с гидрофонной станции показал, что процессы подготовки МЗ не вызвали заметной геоакустической эмиссии.

В работе установлено также, что частотный спектр акустических сигналов от МЗТ, воспринимаемых гидрофонными станциями, установленными в озере «Лагунное» (о. Кунашир) и на о. Шикотан), носит непрерывный шумоподобный характер в широком диапазоне частот до 70-100 Гц. Для МЗТ на Кунашире и Шикотане характерна заметная (гидроакустической аппаратурой) генерация Рэлеевских волн.

Оценки магнитуд  $M_1$  зарегистрированных МЗТ лежат в диапазоне от 0 до 1.82. Оценочные расстояния от гидрофонных станций (по разности времен прихода S-волн и P-волн) дают основание считать, что наблюдаемый рой локальных МЗТ на Шикотане, занимает компактную площадь и объем. Тектонические разломы (от сильных событий) могут перекрывать трассы распространения сейсмоакустических сигналов от МЗТ, поэтому при оценках магнитуд МЗТ необходимы данные с двух или более разнесенных в пространстве (на несколько километров) сейсмостанций регистрирующих локальные МЗТ.

### **Литература**

1. Мого К. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988, 382 с.
2. Борисов А. С., Борисов С. А., Левин Б. В., Сасорова Е. В. Наблюдения слабых землетрясений гидрофонной станцией на мелководье Южных Курильских островов // Геодинамика и тектонофизика, 2012, том 3, вып. 2. С. 103–113.
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. Левин Б. В., Сасорова Е. В., Борисов С. А., Борисов А. С. Оценка параметров слабых землетрясений и сигналов // Вулканология и сейсмология, 2010, № 3. С. 60–70.
5. Соловьёв С.Л., Ковачёв С.А. Об определении локальной магнитуды местных землетрясений по наблюдениям донных сейсмографов // Физика Земли. 1996. № 5. С. 26–30.