

РЕГИСТРАЦИЯ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ КАНАЛОВЫХ Т-ВОЛН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОЛЕКУЛЯРНО- ЭЛЕКТРОННЫХ ГИДРОФОНОВ НА КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВАХ

Костылева Н.В.^{1,2}, Костылев Д.В.^{1,2}

¹*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск
n.kostyleva@imgg.ru*

²*Сахалинский филиал Федерального исследовательского центра «Единая
геофизическая служба РАН», г. Южно-Сахалинск
n.kostyleva@imgg.ru*

Для проведения эксперимента по тестированию молекулярно-электронных устройств, как серийно выпускаемых, так и экспериментальных, в рамках проекта РФФИ № 18-07-00966 «Исследование триггерных деформационных эффектов по данным о сейсмичности Сахалина с применением сейсмических датчиков нового типа», выполняемого сотрудниками ИМГиГ ДВО РАН, СФ ФИЦ ЕГС РАН совместно с МФТИ и ООО «Р-сенсорс», было предоставлено следующее оборудование: молекулярно-электронный широкополосный сейсмометр СМЕ-6111 с регистраторами NDAS-8226 и три прототипа молекулярно-электронных гидрофонов. Непрерывная регистрация сейсмоакустических сигналов специально сконструированным для исследований молекулярно-электронным гидрофоном проводится на геодинамическом полигоне Южно-Курильск (о. Кунашир) с 2019 г. Практически сразу в потоке сейсмоакустической эмиссии удалось выделить вариации, связанные с суточным, приливным, атмосферным и ионосферным факторами [1]. Не менее интересным представляется направление поиска геофизических сигналов, которые могли бы использоваться в качестве краткосрочных предвестников перед сейсмическими событиями на Дальнем Востоке. Гидроакустические волны сейсмического происхождения могут наблюдаться не только во время землетрясений, но и в предваряющий и последующий периоды времени и занимают довольно широкий диапазон частот. Применение широкополосных гидрофонных станций позволяет регистрировать

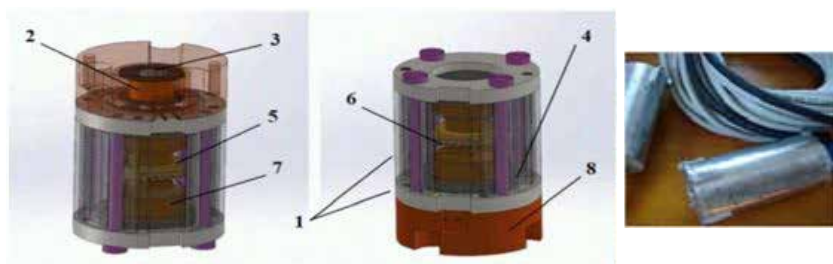
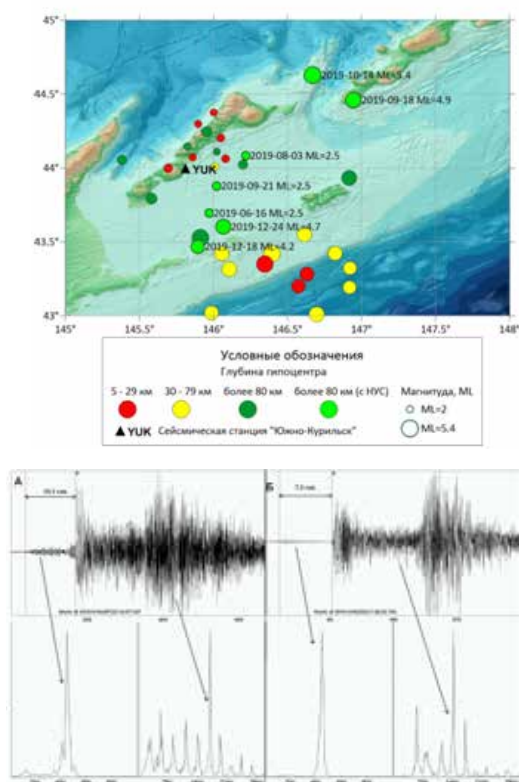


Рис. 1. Конструкция и внешний вид молекулярно-электронного гидрофона: 1 – внешний корпус гидрофона, 2 – катушка, 3 – магнит, 4 – мембраны, 5 – электропакет, 6 – электрические клеммы анодов и катодов, 7 – раствор электролита, 8 – верхняя крышка [2]

подводные акустические сигналы в разном диапазоне частот. Авторами были выполнены гидроакустические наблюдения в районе Южных Курильских островов, а предположение о существовании предшествующего землетрясениям низкочастотного сигнала – сейсмоакустического отклика на подвижку геологического массива перед сейсмическим разрывом, нашло подтверждение лишь в некоторых случаях.

Для проведения исследований этого эффекта была выбрана прямоугольная область с координатами от $43,0^\circ$ до $45,0^\circ\text{N}$ и от $145,0^\circ$ до $147,0^\circ\text{E}$ [1]. Выборка событий в этой области, согласно бюллетеню сейсмической станции «Южно-Курильск», составила 35 землетрясений с $M \geq 2,0$ за период с мая 2019 г. по февраль 2020 г. Глубины гипоцентров варьировали от 16 до 147 км. Из 35 зарегистрированных землетрясений в 7 случаях был выявлен предшествующий землетрясению низкочастотный сигнал. Все 7 событий имели глубину гипоцентра более 80 км и располагались преимущественно в Южно-Курильском проливе. На рисунке 2 показано расположение эпицентров землетрясений, пять из которых имеют четко выраженный акустический сигнал частотой 5 Гц и продолжительностью от 3 до 13 секунд. От двух землетрясений сигнал не столь выражен, но его частота совпадает с частотой идентифицированных авторами предшествующих землетрясениям низкочастотных сигналов [1]. Стоит отметить, что слабые землетрясения уверенно регистрируются гидрофоном, а применение соответствующей обработки сигналов дает возможность выделять моменты вступления сейсмических волн и измерения их параметров.

Рис. 2. Положение эпицентров сейсмических событий за исследуемый период. Закрашенными зелеными маркерами выделены события с идентифицированным предшествующим низкочастотным сигналом. Примеры записи сейсмических событий с предшествующим сигналом и спектральный анализ (с выделением по вертикальной оси степени корреляции) предшествующего сигнала и сейсмического события по записям, построенный как функция автокорреляции сигнала в программном комплексе DIMAS. А – 14.10.2019 г., Б – 18.12.2019 г.



На записях гидрофона также можно выделить примечательную группу короткопериодных волн, названную Т-волнами (undae tertiae (лат.) – третья волна). Интерес к изучению Т-волн возник в 1940-х годах, когда они были обнаружены на сейсмограммах. В настоящее время их изучение охватывает такие области, как мониторинг землетрясений, раннее обнаружение цунами и термометрия океана. Ранние исследования показали, что особенности Т-фазы соответствуют звуковой волне в море, которая достигнув берега, распространяется в глубине континента со скоростью обычных сейсмических волн [3]. Т-волны распространяются со скоростью звука в воде (приблизительно 1,5 км/с) и имеют скорость распространения ниже, чем сейсмические волны, распространяющиеся в земной коре. Кроме того, Т-волны, вызванные подводными землетрясениями, распространяются быстрее, чем цунами (скорость распространения цунами составляет приблизительно 0,2 км/с).

Зоны преобразования Т-волн обычно связаны с областями с большими батиметрическими градиентами, такими как склоны в желобах, острова, подводные горы, края континентальных шельфов или впадины на дне океана. Стоит также упомянуть, что Т-волны, распространяющиеся в океане (гидроакустические Т-волны), могут достигать континентальных склонов и преобразовываться обратно в сейсмические волны (сейсмические Т-волны), распространяющиеся по суше на сотни километров. Преобразование гидроакустических Т-волн в сейсмические зависит в основном от склона и свойств морского дна на берегу [4].

Авторам уже приходилось идентифицировать Т-фазу по записям серийных широкополосных электромеханических сейсмометров Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН, расположенных на островах Курильской гряды. Начиная с 2019 г. к обработке сейсмических записей были привлечены записи прототипа молекулярно-электронного гидрофона, на которых без предварительной фильтрации по короткопериодной составляющей наблюдался схожий сигнал (рис. 3).

Для о. Сахалин и Курильских островов это, фактически, первый продолжительный опыт использования подобного оборудования в различных условиях с подробным анализом результатов. Авторами были разработаны и апробированы различные инженерные

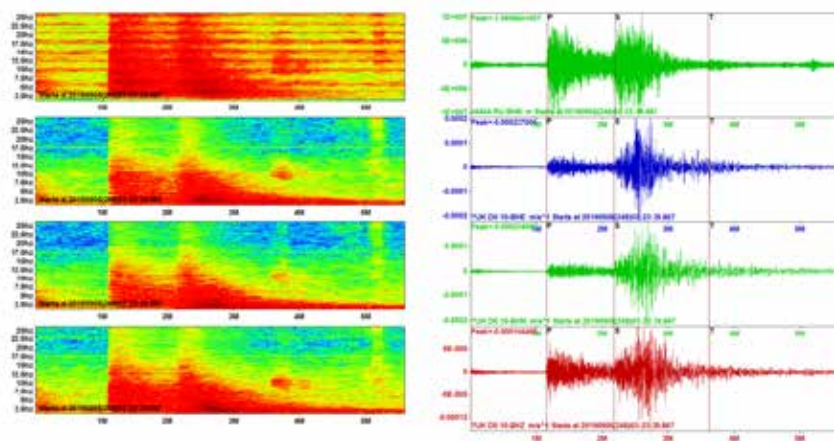


Рис. 3. Запись сейсмического события 05.09 2019 г. ($M=5.0$). Верхняя волно-вая форма- гидрофон

решения по установке оборудования, а также комбинированию данных от различных геофизических приборов.

Литература

1. Костылев Д.В., Богинская Н.В. Сейсмоакустические наблюдения с применением молекулярно-электронных гидрофонов на Сахалине и южных Курильских островах (о. Кунашир) // Геосистемы переходных зон. 2020. Т. 4. № 4. С. 486-499.
2. Zaitsev D.L., Avdyukhina S.Y., Ryzhkov M.A., Evseev I., Egorov E.V., Agafonov V.M. Frequency response and self-noise of the met hydrophone // J. of Sensors and Sensor Systems. 2018. Vol. 2. No. 7. P. 443-452.
3. Ch. F. Richter Elementary seismology // San Francisco: Freeman, 1958. - 768 pp.
4. Tiago C.A. Oliveira, Peter Nielsen, Ying-Tsong Lin, Noriyuki Kushida, Sergio M. Jesus Megameter propagation and correlation of T-waves from Kermadec Trench and Islands // Frontiers in Marine Science. 2022. V. 9. P. 1-16.