

УДК 550.34.038.8

ОБ ОПЫТЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-ЭЛЕКТРОННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ НА САХАЛИНЕ И ЮЖНЫХ КУРИЛАХ

Костылев Д.В.^{1,2}, Богинская Н.В.²

¹ Сахалинский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», г. Южно-Сахалинск, *predont@yandex.ru*

² Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

Введение

История направления, связанного с созданием датчиков движения, использующих электрохимическую (молекулярно-электронную) ячейку в качестве чувствительного элемента, насчитывает несколько десятилетий [4]. За это время была создана теоретическая база процессов переноса в трансформирующем элементе, разработаны технологии для создания таких ячеек, разработаны способы подключения к электронике и изготовлены образцы датчиков различных типов. Разработанные сейсмометры характеризуются отсутствием элементов точной механики и движущихся механических частей, что гарантирует их высокую надежность, простоту эксплуатации, устойчивость к нежелательным внешним воздействиям, а также относительно низкую стоимость. До недавнего времени опыт эксплуатации сейсмометров этого типа на острове Сахалин ограничивался временными сейсмическими наблюдениями Института морской геологии и геофизики (ИМГиГ) ДВО РАН и испытанием сейсмометров в Сахалинском филиале Федерального исследовательского центра Единой геофизической службы (СФ ФИЦ ЕГС РАН) в 2004 году. Новым этапом в приобретении опыта использования молекулярных электронных устройств на Сахалине стала работа над проектом Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) «Исследование триггерных деформационных эффектов по данным о сейсмичности Сахалина с применением сейсмических датчиков нового типа». Этот проект осуществляется ИМГиГ ДВО РАН совместно со специалистами СФ ФИЦ ЕГС РАН и Московского физико-технического института.

Создание и оборудование пунктов геофизических наблюдений

Для обеспечения непрерывных наблюдений в рамках проекта на юге Сахалина в селе Петропавловское (46.79N, 142.50E) была развернута площадка комплексных геофизических наблюдений. Выбор места расположения площадки определяется, прежде всего, тем, что большая часть населения Сахалинской области проживает на юге острова, и поэтому вопросы сейсмического мониторинга выходят на первое место. В то же время большинство землетрясений происходит в центральной части юга острова, в районе Центрально-Сахалинского разлома. Предварительно было проведено тестирование места возможной установки оборудования для определения уровня шумов, а также корректного определения станционных поправок. Тестирование показало, что уровень шумов, даже в «полевом» варианте установки, находится практически в пределах допустимых значений и что размещение сейсмических станций на выбранных площадках полигона приемлемо. Для изучения строения верхней части литологического разреза и детального уточнения состава и свойств почв полигона, совместно с Камчатским филиалом Федерального исследовательского центра Единой геофизической службы Российской академии наук (КФ ФИЦ ЕГС РАН) были проведены сейсморазведочные работы и эманационная съемка в местах размещения оборудования [5].

Началом работы пункта можно считать 10 июня 2018 года, когда была начата регистрация данных после установки молекулярного широкополосного сейсмометра СМЕ-6111 с регистратором NDAS-8226. СМЕ-6111 – высокоточный широкополосный (частотный диапазон 0.016 Гц (60 сек) - 50 Гц) сейсмометр, характеризующийся низким собственным шумом, высокой линейностью и широким динамическим диапазоном. Наличие силовой обратной связи гарантирует высокую температурную и временную стабильность параметров [2]. В качестве системы сбора данных используется регистратор сигналов NDAS-8226 – 24-разрядная сейсмическая система сбора данных, преимущественно оптимизированная для автономной регистрации сейсмических данных в полевых условиях. Отличительные признаки системы – простота в использовании и надежность, в сочетании с высокими техническими характеристиками. Для передачи данных и конфигурирования системы используются USB и Wi-Fi соединения, 32 Гб внутренней памяти позволяют вести длительную

регистрацию данных в автономном режиме. Система оснащена высокоточным кварцевым генератором с привязкой к абсолютному времени с помощью GPS/GLONASS.

24 октября 2018 года на пункте наблюдений был проведён монтаж специально изготовленного в рамках проекта гидрофона [1]. Для монтажа гидрофона на полигоне была построена специальная обводнённая скважина глубиной 3,5 метра. Скважина была обсажена перфорированной пластиковой трубой 110 мм. Установленный гидрофон представляет собой устройство для измерения изменений давления в акустической волне в жидких и газообразных средах. Гидрофон выполнен с использованием электрохимического преобразователя, трансформирующего движение рабочей жидкости в регистрируемый ток, обеспечивающий чувствительность к вариациям давления в полосе частот 0,02-200 Гц с высоким коэффициентом преобразования на уровне не менее 1,5 мВ/Па.

Для обеспечения удаленного доступа и управления работой регистрирующего оборудования используется 4G модем-маршрутизатор, который позволяет управлять работой системы через Интернет. Модем-маршрутизатор подключается к NDAS-8226 с помощью WiFi-соединения, что позволяет ему быть расположенным независимо от местоположения NDAS-8226. Питание системы обеспечивается 12-вольтовым источником питания с внешним аккумулятором, что гарантирует работу комплекса в случае отключения электроэнергии. Схема комплекса приведена на рисунке 1.



Рис. 1. Схема оборудования пунктов геофизических наблюдений на в селе Петропавловское и посёлке Южно-Курильск

27 апреля 2019 года, в рамках работ по развитию проекта, на в п. Южно-Курильск (остров Кунашир) был установлен аналогичный комплект оборудования, состоящий из регистратора сигналов NDAS-8226 и молекулярно-электронного гидрофона. Гидрофон был установлен на территории сейсмической станции «Южно-Курильск» в наблюдательной скважине ГД-мониторинга №2722 Обособленного структурного подразделения "СахГРЭ" АО "Дальневосточное ПГО" на глубине 25 метров. Организован удалённый доступ к регистрируемым данным, а также контроль и управление работой установленного оборудования.

Результаты наблюдений

Наблюдения на пунктах в селе Петропавловское и посёлке Южно-Курильск ведутся в непрерывном режиме. Результаты наблюдений сохраняются в виде архива волновых форм, который используется для дальнейшего анализа. Для оценки работы сейсмометра СМЕ-6111 и регистратора сигналов NDAS-8226, установленных в селе Петропавловское был взят каталог землетрясений с $M \geq 4$ с момента установки станции 10 июня 2018 года и по 30 сентября 2018 года в радиусе 500 км от места установки оборудования. Оценка регистрационных возможностей комплекта оборудования, установленного в посёлке Южно-Курильск, проводилась по каталогу сейсмических событий (с $M \geq 1.7$) с момента установки гидрофона (27 апреля 2019 года) по 30 июня 2019 года в радиусе 100 км от места установки оборудования. В качестве исходного материала были взяты оперативные каталоги СФ ФИЦ ЕГС РАН за указанные периоды. Обработка данных проводилась в программе DIMAS (Display, Interactive Manipulation and Analysis of Seismograms) [3], разработанной КФ ФИЦ ЕГС РАН. Для удобства обработки сейсмологических материалов использовались различные виды фильтров.

По результатам обработки установлено, что из 110 землетрясений в радиусе 500 км от пункта

наблюдений в селе Петропавловское четкая запись вступлений имеется у 56 событий, 21 событие можно определить как нечеткие вступления, а 33 землетрясения не были идентифицированы. Таким образом, 70 % сейсмических событий с $M \geq 4$ в радиусе 500 км от полигона уверенно регистрируются, что позволяет сделать вывод о достаточно хороших возможностях комплекта оборудования СМЕ-6111 – NDAS-8226. По результатам обработки записей гидрофона, установленного в посёлке Южно-Курильск, выявлено, что из 69 землетрясений в радиусе 100 км от пункта наблюдений четкая запись вступлений имеется у 50 событий, а 19 землетрясений не были идентифицированы. Результаты анализа регистрационных возможностей комплектов оборудования СМЕ-6111 – NDAS-8226 (Петропавловское) и Гидрофон – NDAS-8226 (Южно-Курильск) показаны на рисунке 2, иллюстрирующим пространственное распределение зарегистрированных комплексами событий в зависимости от расположения их эпицентров и магнитуд.

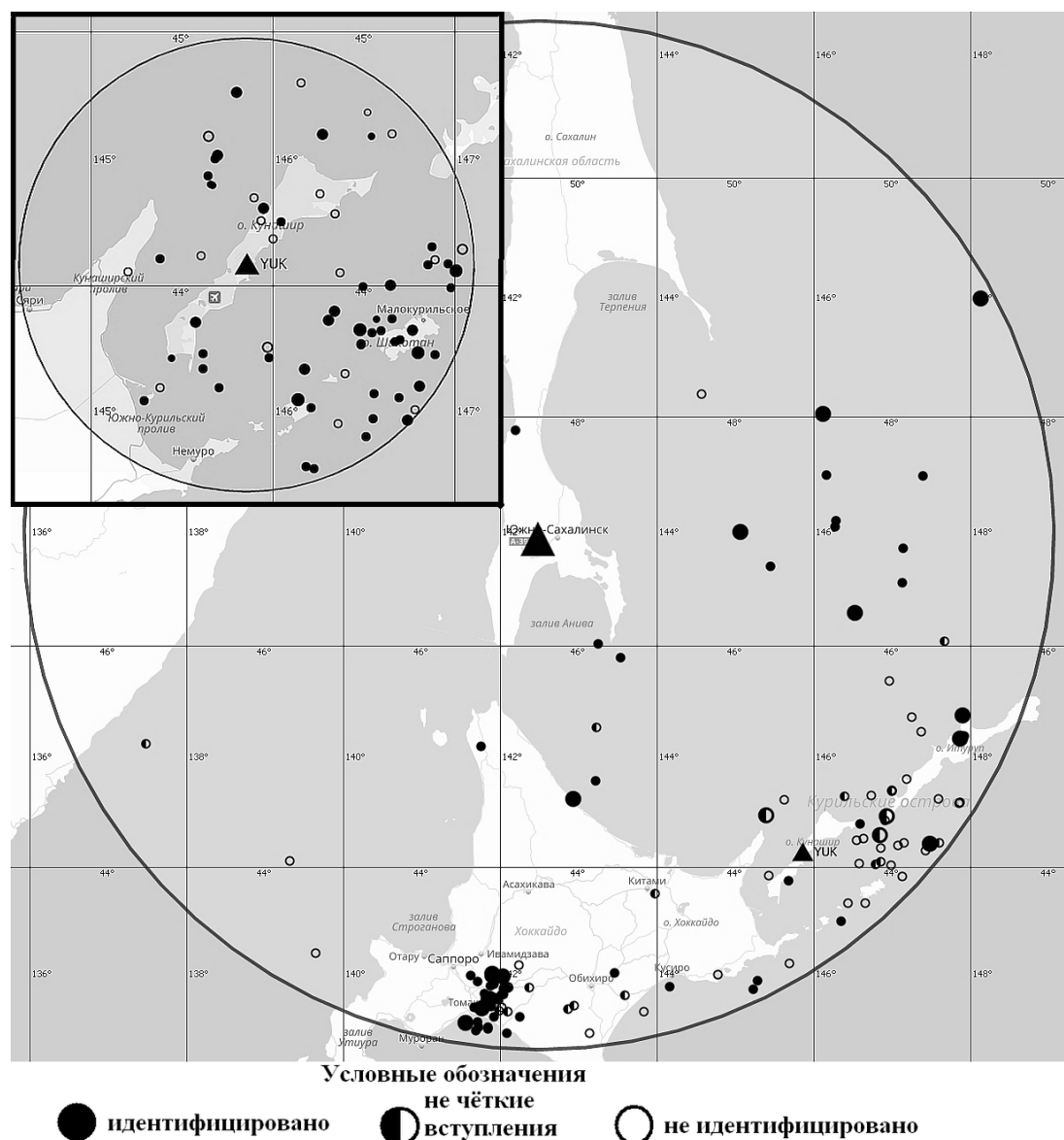


Рис 2. Регистрационные возможности пунктов наблюдений Петропавловское и Южно-Курильск (врезка)

По результатам гидрофонных наблюдений в Южно-Курильске начата работа над анализом сейсмоакустических данных, направленных на выделение в сейсмоакустической эмиссии вариаций, связанных с суточным, приливным, атмосферным и ионосферным фактором. На рисунке 3 представлена суточная запись сейсмоакустических данных гидрофона перед сейсмическим событием (и само событие), произошедшего 26.06.2019 года ($O=04-17-13,8UTC$; $LAT 43,99N$; $LON 147,01E$; $H=105км$; $M4,9$) на расстоянии 78 км от места установки гидрофона. Для данной записи в программе DIMAS предварительно была вычислена огибающая сигнала и проведена процедура разрежения сигнала по средней величине за заданное количество отсчётов.

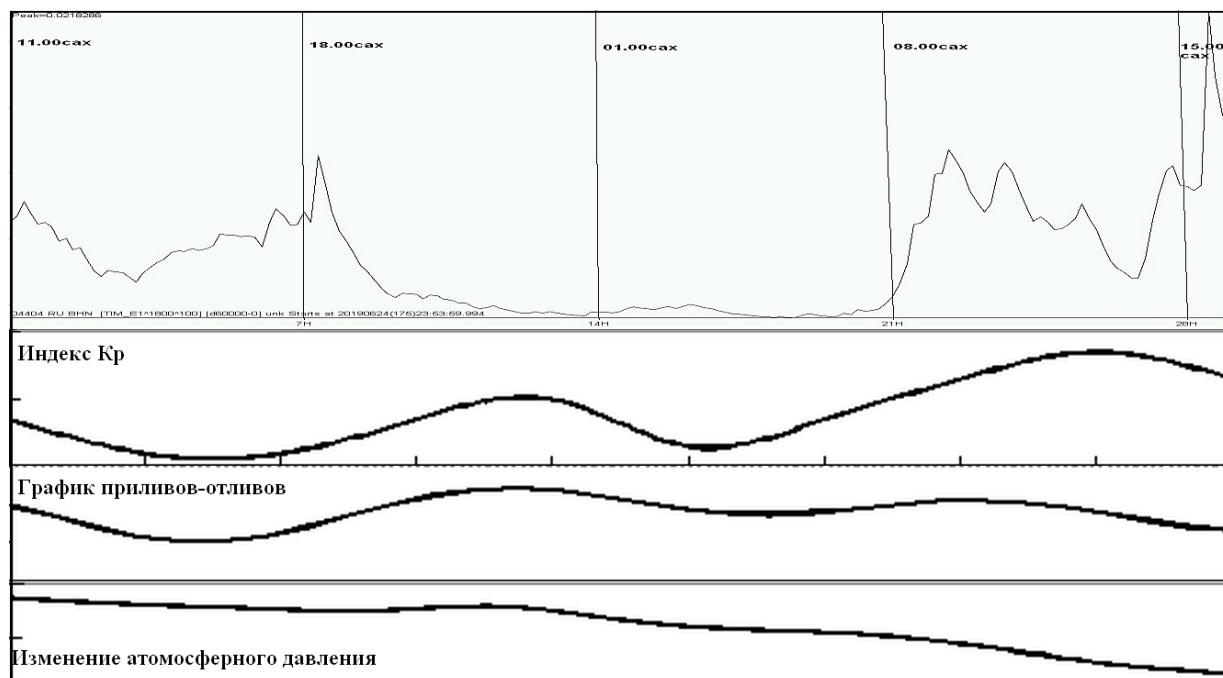


Рис. 3. Суточные вариации сейсмоакустических данных, приливных, атмосферных и ионосферных факторов перед сейсмическим событиям

На записи чётко выделяется суточная цикличность техногенных шумов. Также приведены изменения значений приливных уровней в бухте Южно-Курильская, индекса геомагнитной активности (Кр) и уровня атмосферного давления по данным метеостанции Южно-Курильск в течении заданного периода времени.

Выводы

Для сейсмического мониторинга Сахалина и Курильских островов в настоящее время, в основном, используются сейсмические приемники электромеханического типа. Однако использование молекулярных электронных датчиков имеет большие перспективы. Как показали проведенные испытания на острове Сахалин и острове Кунашир приборы этого типа по основным метрологическим показателям (частотный и динамический диапазоны, уровень собственных шумов) не уступают лучшим образцам электромеханических сейсмических приемников и могут использоваться при обработке текущей сейсмологической информации. Кроме того, совместный анализ сейсмологических, сейсмоакустических и других геофизических данных может быть направлен на разработку методики для выработки краткосрочных заключений и развитии сейсмического режима на острове Сахалин и в районе Курильских островов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта РФФИ № 18-07-00966.

Список литературы

1. Авдюхина С.Ю., Агафонов В.М., Егоров Е.В. и др. Устройство и принцип действия молекулярно-электронного гидрофона // Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики Труды XIV Всероссийской конференции. 2018. С. 621–624.
2. Агафонов В.М., Егоров И.В., Шабалина А.С. Принципы работы и технические характеристики малогабаритного молекулярно-электронного сейсмодатчика с отрицательной обратной связью // Сейсмические приборы. 2013. Т. 49. № 1. С. 5–18.
3. Дрозина Д.В., Дрозина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 3. С. 22–34.
4. Криштон В.Г., Агафонов В.М., Бугаев А.С. Технологические основы преобразователей параметров движения на принципах переноса массы и заряда в электрохимических микросистемах // Электрохимия. 2012. Т. 48. № 7. С. 820.
5. Макаров Е.О., Фирстов П.П., Костылев Д.В. и др. Первые результаты мониторинга подпочвенного радона сетью пунктов, работающей в тестовом режиме, на юге острова Сахалин // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2018. Т. 25. № 5. С. 99–114.