

# **Технические и программные средства геофизического мониторинга**

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ РЕГИСТРАЦИИ ДАННЫХ ГНСС С ВЫСОКОЙ ЧАСТОТОЙ ОПРОСА

*Алешин И.М., Холодков К.И., Передерин Ф.В., Погорелов В.В.*

*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, ita@ifz.ru, vvp@ifz.ru*

### **Введение**

Задача регистрации сигналов ГНСС с повышенной частотой дискретизации (10 Гц и более) возникает при необходимости уточнения траектории движения быстро перемещающихся объектов, таких как самолеты-лаборатории (СЛ), ориентированные на проведение геофизических и метеорологических исследований, или мобильные измерительно-диагностические лаборатории (МИДЛ) на базе автомобилей, которые используются для оценки условий навигации глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС).

При использовании стандартного приемного оборудования и стандартных схем наблюдений запись данных производится непосредственно во внутреннюю, относительно небольшую память приемника. Высокая частота регистрации наблюдений затрудняет передачу данных с ГНСС-приемника по каналам связи. Поэтому зачастую используют обслуживаемые автономно работающие приемники на подвижном носителе и стационарных пунктах наблюдений – базовых станциях.

### **Коррекция позиционирования самолета-лаборатории при аэрогравиметрических исследованиях**

В ИФЗ РАН активно развиваются технологии и методы аэрогравиметрических исследований [2–4]. Для обеспечения масштаба съемки 1: 200 000 – 1: 1 000 000 коррекция инерциальных гравиметрических комплексов по данным ГНСС и позиционирование гравиметрических измерений, выполняемых на борту СЛ с необходимой точностью, осуществляется при опросе ГНСС с частотой 10 Гц. Реализация дифференциального режима или режима RTK по наземным базовым станциям (БС) в режиме реального времени затруднительна, так как требует организации передачи и приема (учета) дифференциальной поправки с высокой частотой от БС к подвижному приемнику ГНСС, связанному с гравиметрическими комплексами. Это весьма затруднительно даже при использовании спутниковых каналов связи. Поэтому коррекция навигационной информации подвижных приемников производится по данным БС на этапе пост-обработки.

В практике выполнения аэрогравиметрических исследований для коррекции навигационных решений самолета-лаборатории обычно разворачиваются временные наземные базовые станции (БС), расположенные в непосредственной близости от района съемки и обеспечивающие регистрацию измерений с той же частотой опроса, что и на подвижном носителе [1, 2]. При эксплуатации этих станций, как правило, возникают следующие особенности:

- необходимость обеспечения постоянного энергоснабжения высокочастотных ГНСС-приемников, используемых при регистрации наземных данных;
- затруднительность контроля состояния регистрирующего оборудования;
- необходимость сохранения сравнительно больших объемов данных на внешние носители.

Для решения этих задач зачастую приходится прибегать к помощи оператора, что иногда вызывает затруднения при размещении БС в труднодоступных районах в условиях отдаленных стационаров с небольшим штатом.

### **Разработка технического решения для автономной базовой станции ГНСС**

Для повышения автономности в работе БС сотрудниками ИФЗ РАН было разработано техническое решение, позволяющее осуществлять автономный сбор и дистанционный контроль регистрации данных спутниковых навигационных систем с высокой частотой опроса (10 Гц). Оно выполнено на базе энергоэффективных компьютеров со специально разработанным программным обеспечением [11], которое оптимизировано для сохранения данных локально. Для устранения потерь спутниковых данных, обусловленных высокой частотой опроса, применена двойная буферизация и агрессивное вычитывание данных с порта ГНСС-приёмника.

Решение выполнено на основе метода, разработанного при участии сотрудников ИФЗ РАН для обеспечения работы службы оперативного мониторинга состояния ионосферы по данным сети Института прикладной геофизики им. Е.К. Федорова (РОСГИДРОМЕТ) [5]. Техническая реализация метода основана на внутреннем представлении ГНСС-данных и их проекции на структуру реляционной базы данных [6]. Регистрация и передача данных осуществляется с помощью специально разработанных утилит [8–10], обеспечивающих регистрацию, локальное сохранение и передачу данных в центр обработки, а также оперативный мониторинг функционирования системы сбора [11].

Изначально при работе в сезонах 2015–2016 гг. для платформы, на которой функционировала БС, был использован компактный энергоэффективный компьютер с архитектурой X86 и процессором Atom. Однако энергоэффективность используемого процессора составляет 20-25 Вт. Разработанное кросс-платформенное программное обеспечение было экспортировано на систему Linux (при выборе минималистичного дистрибутива ArchLinux), и, что важно, оно адаптировано для работы на процессорах с архитектурой ARM, энергопотребление которых на порядок ниже и составляет ~3 Вт. Это позволило также сделать устройство регистрации более компактным (габариты: 9 x 6 см, вес: 40 г), что расширяет возможности его использования. На рис. 1 приведена общая схема организации системы удаленного управления и сбора данных с использованием необслуживаемых временных базовых станций.

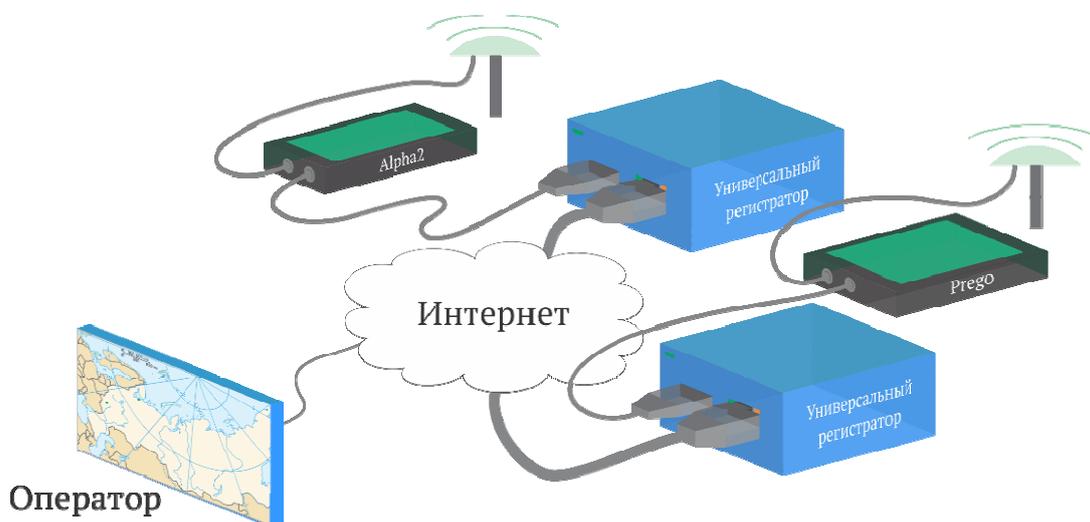


Рис. 1. Общая схема организации системы удаленного управления и сбора данных с использованием необслуживаемых временных базовых станций



Рис. 2. Размещение необслуживаемой базовой станции в Федеральном исследовательском центре комплексных исследований Арктики Российской академии наук (ФГБУН ФИЦКИА РАН) в г. Архангельск.

а) Схема расположения ФГБУН ФИЦКИА РАН, б) спутниковая антенна на крыше одного из зданий, в) размещение оборудования НКС в подсобном помещении

Эта разработка была успешно опробована в ходе проведения аэрогравиметрических исследований на трансконтинентальных перелетах по маршруту г. Петропавловск-Камчатский – г. Архангельск в 2016–2017 гг. В 2016 г. в дополнение к временным наземным станциям,

расположенным на Камчатке и используемым станциям сети дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), было развернуто 2 автономных базовых станции – в г. Архангельске (рис. 2) и в г. Москве. Управление процессом сбора данных велось через Интернет: станция сбора обеспечивала постоянное соединение с шлюзовым сервером ИФЗ РАН. ПО на шлюзовом сервере отслеживало доступность станции, а также уведомляло о фактах потери связи или прекращения регистрации данных. Малое энергопотребление позволило также усовершенствовать в 2017 г. систему резервирования электропитания. Для контроля работоспособности регистрирующего оборудования и удаленного управления регистрацией предусмотрена возможность использования каналов спутниковой и мобильной связи.

### **Подвижная система регистрации ГНСС на основе универсальной портативной системы регистрации геофизических данных**

В 2017 г. с использованием описанного оборудования и технологии регистрации данных был реализован автономный мобильный вариант, который устанавливался на автомобиле (рис. 3). На таком прототипе МИДЛ были проведены исследования по маршруту гг. Архангельск – Москва – Севастополь и выполнен эксперимент по сравнительной оценке использования удаленных БС, размещенных в условиях арктической зоны и в средних широтах. Созданная подвижная система регистрации показала свою работоспособность и возможность дистанционного контроля ее состояния по каналам мобильной связи.



Рис. 3. Созданная подвижная система регистрации ГНСС: а) мобильный автономный вариант, б) антенна ГНСС, установленная на автомобиле

Разработанное техническое решение также успешно опробовано для регистрации магнитометрических [7], наклономерных и сейсмометрических данных.

### **Благодарности**

Авторы благодарны дирекции и сотрудникам Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН за помощь в организации и проведении наблюдений на наземных корректирующих станциях на Камчатке, а также руководству и сотрудникам лаборатории сейсмологии Федерального исследовательского центра комплексных исследований Арктики за содействие в организации наземных наблюдений в г. Архангельск.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН 1.32П «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации», Проект «Аэрогравиметрическая съемка в высоких широтах Арктики».

### **Список литературы:**

1. Болотин Ю.В., Голован А.А., Парусников Н.А. Особенности камеральной обработки в задаче авиационной гравиметрии // Разведка и охрана недр. 2006. № 5. С. 35–38.
2. Дробышев Н.В., Конешов В.Н., Погорелов В.В., Рожков Ю.Е., Соловьев В.Н. Особенности методики аэрогравиметрической съемки, проводимой в высоких широтах // Физика Земли. 2009. № 8. С. 36–41.
3. Конешов В.Н., Абрамов Д.В., Дробышев Н.В., Кузнецова Н.В., Макушин А.В., Погорелов В.В., Соловьев В.Н. Изучение гравитационного поля Земли в ходе экспедиционных работ ИФЗ РАН на Камчатке в 2014 году // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 2. Вып. № 24. С. 204–210.
4. Конешов В.Н., Соловьев В.Н., Погорелов В.В., Непоклонов В.Б., Афанасьева Л.В., Дробышев М.Н. Об использовании аэрогравиметрических измерений для оценки региональных погрешностей аномалий силы тяжести, определенных по современным моделям гравитационного поля Земли // Геофизические исследования. 2016. Т. 17. № 3. С. 5–16. DOI: 10.21455/gr2016.3-1.

5. *Алешин И.М., Алпатов В.В., Васильев А.Е., Бургучев С.С., Холодков К.И., Будников П.А., Молодцов Д.А., Корягин В.Н., Передерин Ф.В.* Оперативная служба мониторинга ионосферы по данным станций глобальных навигационных спутниковых систем // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2014. № 4. Т. 54. С. 496–502.
6. *Алешин И.М., Алпатов В.В., Васильев А.Е., Бургучев С.С., Холодков К.И., Передерин Ф.В.* Опыт создания оперативной службы сбора данных сети наземных станций глобальных навигационных спутниковых систем // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2015. № 1. Вып. 25. С. 99–103.
7. *Передерин Ф.В., Алешин И.М., Холодков К.И., Бургучев С.С., Соловьёв А.А.* Программная реализация удаленного управления процессами регистрации и оперативной передачи геомагнитных измерений // *Сейсмические приборы*. 2016. Т. 52. № 4. С. 76–82.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616489 «Программа автоматического разбора и преобразования сообщений приемного оборудования JAVAD» Правообладатель: ИФЗ РАН. *Авторы: Алешин И.М., Бургучев С.С.*, 2014.
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014616491 «Программа оперативного наблюдения и контроля работы регистратора ГНСС», Правообладатель: ИФЗ РАН. *Авторы: Алешин И.М., Передерин Ф.В., Холодков К.И.*, 2014.
10. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620893 «База данных оперативных сообщений сигналов ГНСС приемного оборудования JAVAD», Правообладатель: ИФЗ РАН. *Авторы: Алешин И.М., Бургучев С.С.*, 2014.
11. *Aleshin I.M., Alpatov V.V., Vasiliev A.E., Kholodkov K.I., Burguchev S.S.* Data Handling in GNSS Receiver Network and Ionosphere Monitoring Service Solution / *Engineering and Telecommunication (EnT), International Conference*. 2014. P. 122–125. [Электронный ресурс]. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7121446/>

**ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ ОПАСНОСТИ АФТЕРШОКОВ****Баранов С.В.<sup>1,2</sup>, Шебалин П.Н.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Анапты, bars.vl@gmail.com<sup>2</sup>Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН, г. Москва**Введение**

Создана первая версия автоматической информационной системы оценивания опасности сильных афтершоков (AFCAST). Используются данные о землетрясениях по всему миру, предоставляемые Геологической службой США (USGS). Оценивание выполняется по данным за первые 12 часов после основного толчка в режиме времени близком к реальному. Основными толчками считаются землетрясения с магнитудой 6.5 или выше, сильными афтершоками – события с магнитудой 5.5 или выше. Зона покрытия – вся Земля. Взаимодействие пользователя с системой AFCAST осуществляется через WEB-интерфейс. Результаты работы системы доступны в сети Интернет на сайте проекта по адресу: [www.afcast.org](http://www.afcast.org).

В текущей версии системы основным результатом являются два типа областей, где ожидаются сильные афтершоки. Области ранжируются в зависимости от целей прогноза согласно стратегиям («жесткой», «мягкой» и «нейтральной»), построенным на основе анализа диаграмм ошибок Молчана [2, 7]. «Жесткая» стратегия применяется в случае, если сильный афтершок может привести к катастрофическим последствиям при отсутствии соответствующих превентивных мер – низкая вероятность пропуска цели. В случае, если необходимо минимизировать размер области тревоги с целью сокращения расходов на превентивные меры, то применяется «мягкая» стратегия. Если же последствия пропуска сильного афтершока и затраты на превентивные меры примерно равны или неизвестны, то применяется «нейтральная» стратегия.

Оценка максимальной ожидаемой магнитуды афтершока (M1) на настоящий момент осуществляется в тестовом режиме. До конца 2017 г. оценки M1 также будут доступны в сети интернет.

В базе данных систем помимо текущих прогнозов содержатся результаты прогнозирования для афтершоковых серий, начиная с 2004 г., полученные в предположении, что прошло только 12 часов после основного толчка.

Результаты работы системы могут быть использованы органами власти при планировании мер по снижению ущерба после сильного землетрясения.

**Программная организация системы AFCAST**

Система состоит из двух платформонезависимых частей – расчетной и интерфейсной. Расчетная часть – представляет собой MATLAB-программу AFS, которая выполняется на выделенном компьютере. Для работы с данными используются модули, написанные на языке MySQL. В качестве средства для хранения и обработки данных используется открытая система управления базами данных (СУБД) MySQL. Использование среды MATLAB и СУБД MySQL обеспечивает платформонезависимость расчетной части системы.

**Расчётная часть.** Загрузка данных о землетрясениях выполняется автоматически каждые 5 часов (изменяемый параметр) с сервера Геологической службы США (USGS) из каталога ANSS [5]. Загрузка тензоров сейсмического момента землетрясений осуществляется из глобального каталога CMT [6]. Примерно через 2 часа после землетрясения информация о нем появляется сервере USGS. В течение 12 часов появляется информация о тензоре скалярного семитического момента в каталоге Quick CMT (часть каталога CMT, содержащая “быстрые” оценки тензоров).

Выделение основных толчков и их афтершоков выполняется по следующей схеме. Как только в систему поступило землетрясение с магнитудой не ниже 6.5, оно считается потенциальным основным толчком, затем, для него рассчитывается вмещающий круг с центром в эпицентре и радиусом  $0.03 \times 10^{M/2}$  км [2]. По событиям из этого круга за 12 ч после основного толчка оценивается магнитуда представительности  $M_c$  методом Maximum Curvature [10]. Афтершоками данного основного толчка считаются все землетрясения, произошедшие во вмещающем круге в течение года. Потенциальная серия получает статус 0 – ожидание 12 часов после основного толчка.

Если у потенциальной афтершоковой серии произошло более 7 (изменяемый параметр)

афтершоков после основного толчка с магнитудой не ниже  $M_c$ , то данное множество объявляется серией афтершоков, получает статус 1 (ожидание 365 дней после основного толчка) и поступает в модуль построения областей, в которых ожидаются сильные афтершоки ( $M \geq 5.5$ ). В противном случае, – множество событий не является серией афтершоков, получает статус 3 и исключается из дальнейшего рассмотрения.

Модуль построения областей сильных афтершоков рассчитывает области в виде эллипса и стадиона, где ожидаются сильные афтершоки ( $M \geq 5.5$ ), для «нейтральной», «жесткой» и «мягкой» стратегий [2]. Серии афтершоков, у которых произошло более 365 суток после основного толчка, объявляются законченными и получают статус 2 – серия закончена.

В тестовом режиме оценивается ожидаемая магнитуда сильнейшего афтершока ( $M_1$ ) для различных моментов времени. Оценка выполняется двумя способами. Первый способ основан на использовании распределения максимальной ожидаемой магнитуды [8, 9], зависящего от магнитуды ОТ, ожидаемого числа афтершоков и наклона графика повторяемости. Тестирование выполняется с целью подбора оптимального варианта оценки этих параметров в зависимости от времени после основного толчка на основе адаптивного подхода [1]. Второй способ основан на формировании стека серий из обучающего множества с целью построения обобщенных кривых разности магнитуды основного толчка и сильнейшего афтершока в зависимости от времени.

После выполнения цикла загрузки данных и расчета областей сильных афтершоков информация сохраняется в локальной базе данных (БД) и выполняется передача данных и результатов расчетов на удаленный сервер по sftp протоколу. Затем на сервере выполняется импорт данных в удаленную БД.

Локальная и удаленная БД реализованы на СУБД MySQL и имеют одинаковую структуру. Далее мы их будем называть просто БД. БД состоит из 4-х таблиц, связанных между собой отношениями один к одному и один ко многим (рис. 3).

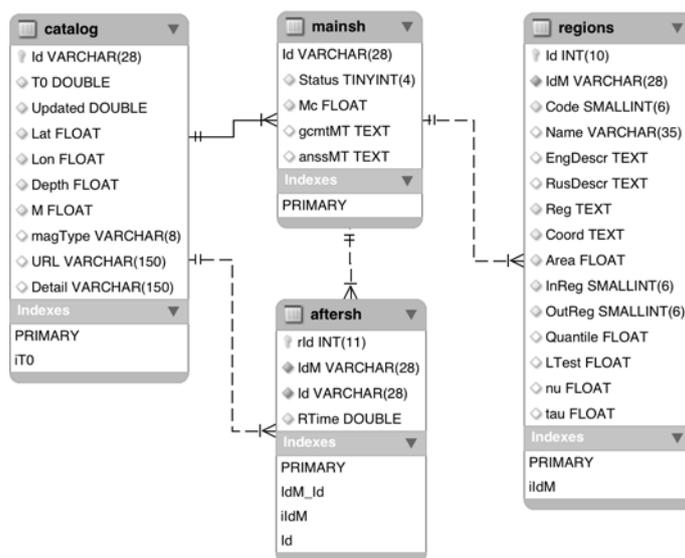


Рис. 1. Структура локальной и удаленной БД системы AFCAST. Таблицы: mainsh – информация об основных толчках и соответствующих сериях; aftersh – информация об афтершоках; regions – информация об оцененных областях, где ожидаются афтершоки с  $M \geq 5.5$

**Интерфейсная часть.** Интерфейсная часть системы (рис. 2) служит для предоставления пользователю информации об основных толчках, афтершоковых сериях и оценках областей, где ожидаются сильные афтершоки. Имеется возможность выбора топографической основы интерактивной карты из 8 вариантов, включая цифровые модели рельефа и карты проекта Open Street Map, подробно показывающие городскую застройку.

Детальная информация об афтершоковой серии и оценки областей сильных афтершоков ( $M \geq 5.5$ ) показываются в отдельной вкладке браузера. Блок детальной информации (рис. 3) содержит интерактивные графики (время – суммарное число афтершоков, время – магнитуда), отражающие временной ход афтершокового процесса.

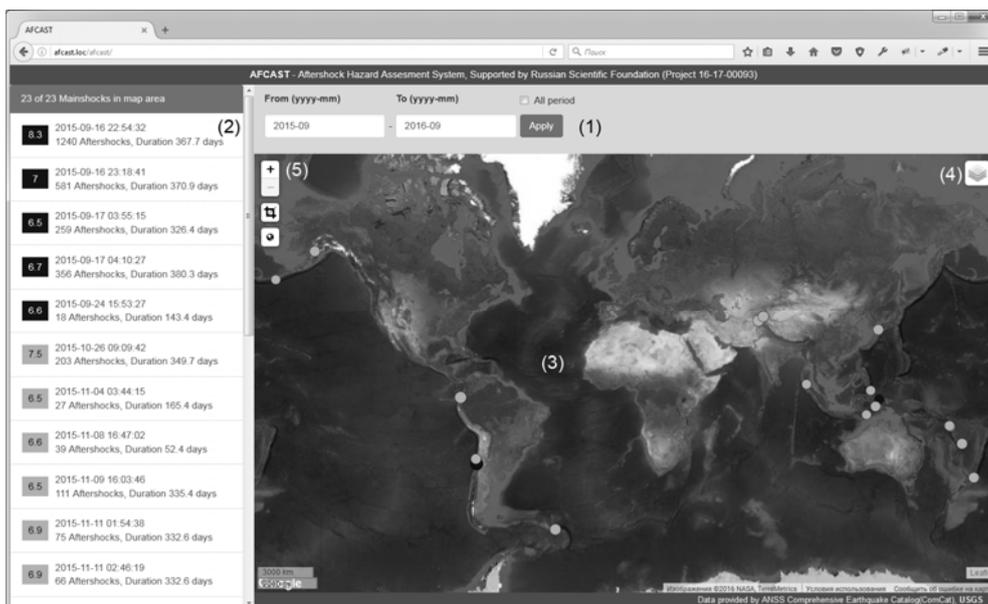


Рис. 2. Основное экран интерфейсной части системы AFACST.

(1) – инструмент для выбора интервала времени загрузки; (2) – список основных толчков с магнитудами, временами в очаге и характеристики афтершоковых серий (число афтершоков и длительность серии); (3) – карта с основными толчками, размер кружка пропорционален магнитуде основного толчка; (4) – выбор топографической основы

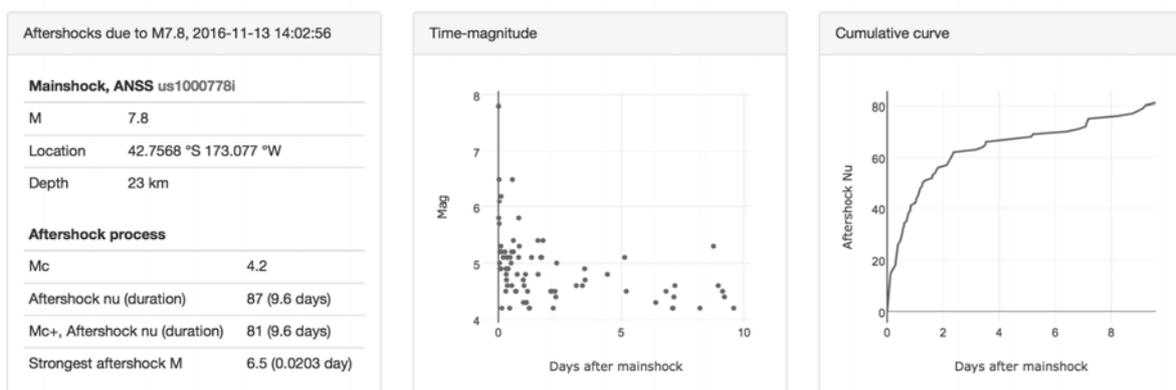


Рис. 3. Пример блока детальной информации об афтершоковой серии

Раздел пространственного прогноза (рис. 4) включает два блока: таблица, в которой приведены оценки областей, где ожидаются сильные афтершоки и интерактивная карта, на которой эти области показаны. В таблице области ранжированы, согласно стратегиям («мягкая», «нейтральная», «жесткая»), которые характеризуют степень важности прогноза [2]. Пользователь имеет возможность включать или выключать отображение той или иной области на карте. Так же на карте показаны основной толчка, события их вмещающего круга, по которым выполнялся расчет областей, целевые события – афтершоки с  $M \geq 5.5$ , а также фокальные механизмы основного толчка из каталогов ANSS и Global CMT.

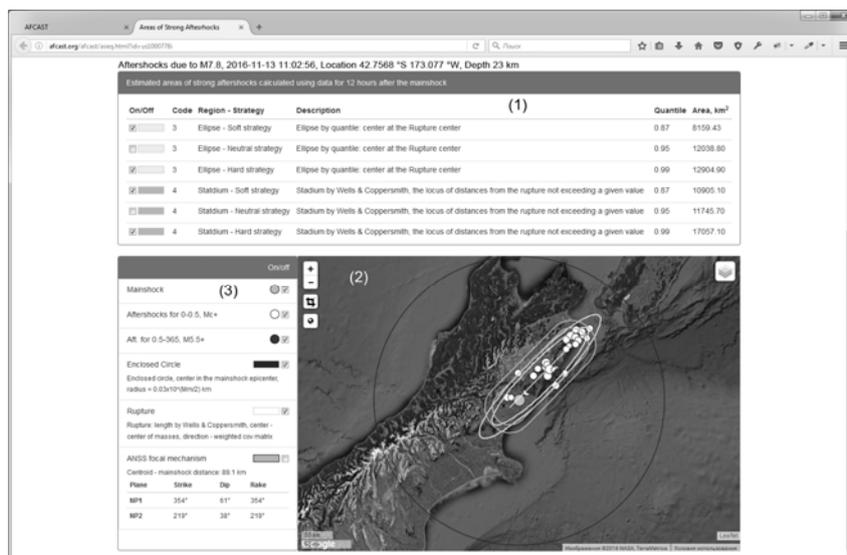


Рис. 4. Экран системы AFGAST, в котором приведены области, где ожидаются сильные афтершоки. (1) – интерактивная таблица областей и их описание; (2) – интерактивная карта, на которой показаны основной толчок, афтершоки и области, где ожидаются сильные афтершоки; (3) – интерактивная легенда карты (2)

### О необходимости привлечения региональных данных

В системе AFGAST используются данные о землетрясениях по всей Земле из каталога ANSS, который имеет недостаточную представительность для территории России. Это приводит к исключению некоторых афтершоковых серий из рассмотрения по причине недостаточности данных для оценивания – представительность каталога ANSS для всей Земли, за исключением территории США, 4.5 или выше. Например, афтершоковая серия землетрясения 2017.03.29 с  $M_w$  6.6 [5, 6] около восточного побережья полуострова Камчатка была исключена из рассмотрения из-за малого количества событий – 2 афтершока с  $M \geq 4.5$  за 12 ч. В то же самое время, по данным каталога Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН [4], для данной серии:  $M_s(ML) = 3.5$  [3], имеется 36 афтершоков за 12 ч после основного толчка и за период 0.5–127 суток произошло 2 афтершока с  $ML \geq 5.5$ . Такое количество событий достаточно для оценивания. Области для данной серии, построенные по результатам работы [3] с учетом важности прогноза, приведены на рис. 5.

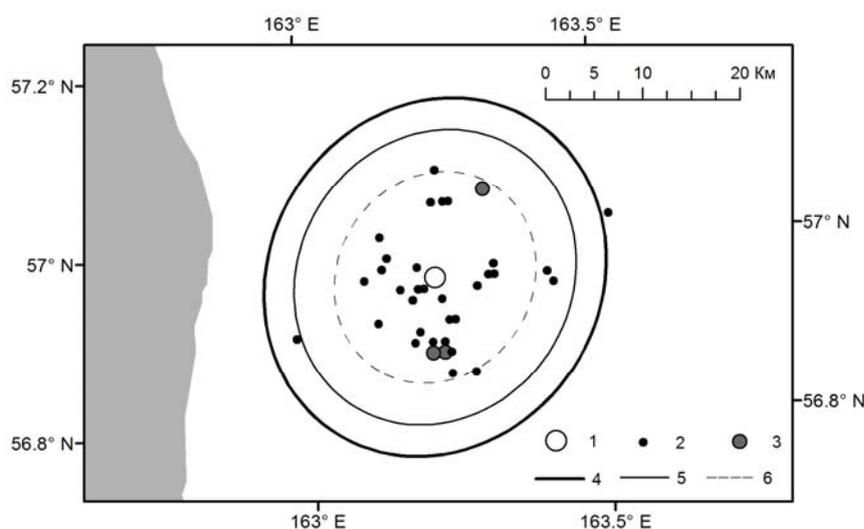


Рис. 5. Оценки областей-эллипсов [3], где в течение года ожидаются афтершоки с  $ML \geq 5.3$ , для землетрясения 2017.03.29 с  $M_w$  6.6. Обозначения: 1 – основной толчок; 2 – события из вмещающего круга с  $ML \geq 3.5$ ; 3 – афтершоки с  $ML \geq 5.3$ , произошедшие за период 0.5–128 суток после основного толчка; 4, 5, 6 – оптимальные эллипсы, соответствующие «жесткой», «нейтральной» и «мягкой» стратегиям

Данный пример, показывает, что для улучшения оценок опасности сильных афтершоков в сейсмоопасных регионах России необходимо использовать данные региональных каталогов.

### **Заключение**

Создана первая версия автоматической информационной системы оценки опасности сильных афтершоков (AFCAST), работающая в режиме времени близком к реальному. Оценка строится по данным за первые 12 часов после основного толчка. Основными толчками считаются землетрясения с магнитудой 6.5 или выше, сильными афтершоками – события с магнитудой 5.5 или выше. Результаты работы системы доступны в сети Интернет зарегистрированным пользователям по адресу: [www.afcast.org](http://www.afcast.org). Основной результат работы системы – два типа областей, в которых ожидаются сильные афтершоки. Области ранжируются по степени важности прогноза.

Дальнейшие задачи по развитию системы. До конца 2017 г. планируется завершить тестирование модуля для оценивания магнитуды сильнейшего афтершока M1 в зависимости от времени после основного толчка. До конца 2017 г. тестирование будет закончено и оценки M1 будут доступны в сети интернет.

Для улучшения оценок опасности сильных афтершоков в сейсмоопасных регионах России необходимо использование региональных каталогов филиалов ФИЦ ЕГС РАН.

Результаты работы системы могут быть использованы при планировании мер по снижению ущерба после сильного землетрясения. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-00093).

### **Список литературы**

1. Баранов С.В., Шебалин П.Н. О прогнозировании афтершоковой активности. 1. Адаптивные оценки на основе законов Омори и Гутенберга-Рихтера // Физика Земли. 2016. № 3. С. 82–101. DOI: 10.7868/S0002333716020034.
2. Баранов С.В., Шебалин П.Н. О прогнозировании афтершоковой активности. 2. Оценка области распространения сильных афтершоков // Физика Земли. 2017. № 3. С. 43–61. DOI: 10.7868/S0002333717020028.
3. Баранов С.В., Шебалин П.Н., Чеброва А.Ю. Оценка области сильных афтершоков землетрясений района Камчатки // Настоящий сборник.
4. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов: [Электронный ресурс] // Камчатский филиал Федерального исследовательского центра "Единая геофизическая служба Российской академии наук". Петропавловск-Камчатский, 2000–2017. URL: <http://www.emsd.ru/sdis/earthquake/catalogue/catalogue.php>
5. ANSS Comprehensive Earthquake Catalog (ComCat): [Электронный ресурс]. URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
6. Global CMT catalog: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.globalcmt.org>
7. Molchan G. Space-time earthquake prediction: the error diagrams. Pure Appl. Geophys. 2010. V. 167. № 8–9. P. 907–917. doi: 10.1007/s00024-010-0087-z.
8. Shcherbakov R. Bayesian confidence intervals for the magnitude of the largest aftershock // Geophys. Res. Lett. 2014. V. 41. P. 6380–6388.
9. Vere-Jones D., Murakami J. and Christophersen A. A further note on Bath's law // Conference Proceedings 4th International Workshop on Statistical Seismology. Japan, 2006.
10. Wiemer S., Wyss M. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: examples from Alaska, the western United States, and Japan // Bulletin of the Seismological Society of America. 2000. V. 90. № 4. P. 859–869.

## АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПОДПОЧВЕННЫХ ГАЗОВ НА ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

*Будилов Д.И.<sup>1</sup>, Фирстов П.П.<sup>1</sup>, Макаров Е.О.<sup>1</sup>, Исакевич Д.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, budilov@emsd.ru

<sup>2</sup>Владимирский государственный университет, г. Владимир

### Введение

Процессы дегазации Земли неравномерно протекают в пространстве и во времени. В значительной степени они контролируются распределением и величиной напряжений в разломах земной коры различной иерархии. Миграция газов в верхней толще земной коры определяется диффузионными и фильтрационными свойствами горных пород, которые зависят от их проницаемости, пористости и трещиноватости. На фильтрационные свойства геосреды также оказывают влияние вариации напряженно-деформированного состояния геосреды, что должно находить отражение в динамике концентрации подпочвенного газа вблизи дневной поверхности [7].

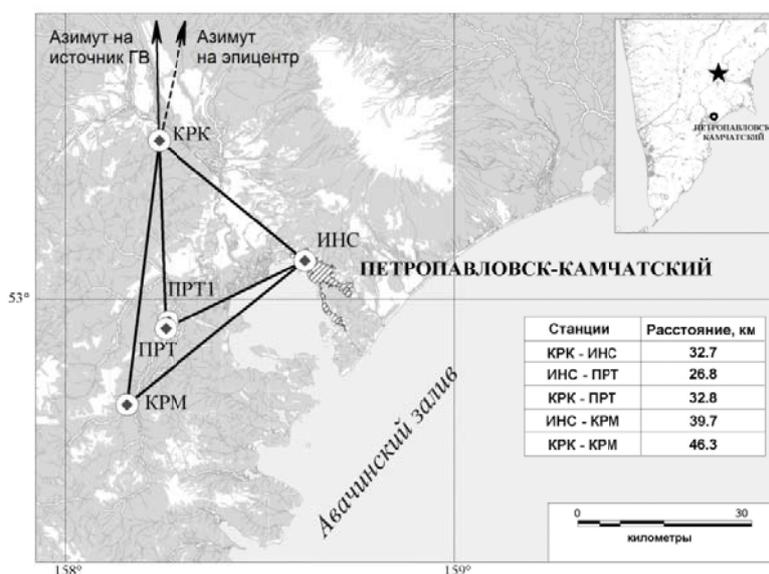


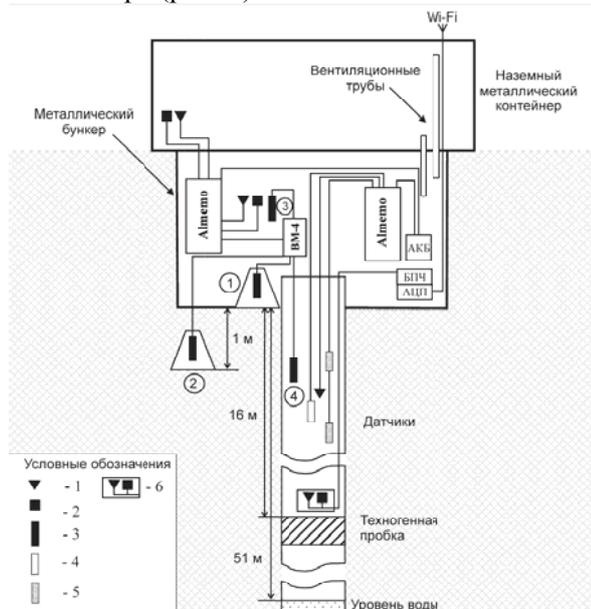
Рис. 1. Сеть пунктов регистрации подпочвенных газов на Петропавловск-Камчатском полигоне. ИНС – пункт на базе скважины ИНС1 вблизи здания ИВиС (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН), ПРТ – пункт в долине ручья Коркино (Паратунский грабен), ПРТ1 – геотермальный стационар ИВиС, КРК – пункт в поселке Коряки, КРМ – пункт на реке Карымшина. Звездочкой на врезке показан эпицентр Жупановского землетрясения

Одним из методов исследования связи динамики концентрации подпочвенных газов с изменениями напряженно-деформированного состояния среды в связи с подготовкой сильных землетрясений является мониторинг радона. Предваряющие сильные землетрясения аномалии ищутся в динамике подпочвенного радона, радона в атмосферном воздухе и радона растворенного в воде. Такие работы усиленно ведутся в течение последних нескольких десятков лет во всех сейсмоактивных регионах Земли. В 1997 г. на Камчатке началось создание сети пунктов мониторинга подпочвенных газов с целью поиска предвестников сильных землетрясений. В настоящее время сеть состоит из 5 пунктов, расположенных вблизи Авачинского залива (рис. 1) [8, 9].

### Описание пункта «Институт» (ИНС)

Один из наиболее оснащенных в аппаратном плане пункт ИНС расположен вблизи здания Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН в пределах Петропавловского горста. Он создан на основе скважины глубиной 350 м и состоит из бункера, заглубленного на 2.5 м над оголовком скважины, над которым установлен металлический контейнер [6]. В этом пункте осуществляется

регистрация Rn (4 канала), CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, а также температуры и давления как в бункере, так и в контейнере (рис. 2).

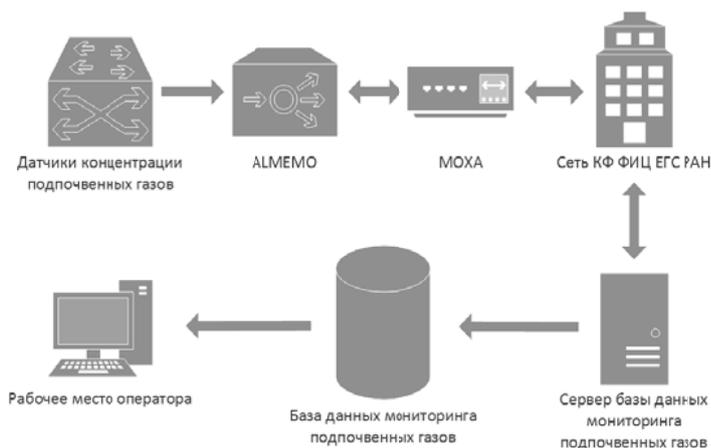


В качестве датчиков концентрации Rn используются газоразрядные счетчики (ГС), позволяющие вести регистрацию его концентрации по  $\beta$ -излучению его дочерних продуктов распада [7]. Как показал многолетний опыт, использование ГС обеспечивает большую надежность, что очень важно для непрерывных наблюдений. С целью повышения чувствительности ГС помещаются в накопительную камеру (оцинкованное ведро, 10 л), которое заглубляется в грунт на глубину от 0.1 до трех метров (рис. 2).

Рис. 2. Схема размещения датчиков в пункте ИНС: 1 – датчик температуры; 2 – датчик давления; 3 – газоразрядный счетчик  $\beta$ -излучения; 4 – датчик CO<sub>2</sub>; 5 – датчик H<sub>2</sub>; 6 – прецизионные датчики температуры и давления. ВМ-4 – четырехканальный формирователь импульсов для регистрации  $\beta$ -излучения прибором ALMEMO [3]

Дополнительно для прецизионных измерений температуры и давления в стволе скважины на глубине ~15 м в 2014 г. был установлен кварцевый датчик ПДТК-0.1МР, обладающий разрешающей способностью 0.01°C и 0.05 мм рт. ст. Регистрация через частотомер МЦ-1 производства ООО “КварцСенс” осуществляется с помощью регистратора JORES, разработанного в КФ ФИЦ ЕГС РАН.

Информация снимается с 11 датчиков концентрации подпочвенных газов и метеорологических величин с помощью современных регистрирующих приборов серии ALMEMO фирмы Ahlborn, которые оборудованы системой интеллектуальных коннекторов, обеспечивающих подключение датчиков различных параметров. Для мониторинга предвестниковых параметров сильных землетрясений южной Камчатки в 2016 г. начал создаваться автоматизированный аппаратурно-программный комплекс с целью получения информации в режиме, близком к реальному времени.



В пункте ИНС информация с датчиков поступает на коннекторы двух регистрирующих устройств (ALMEMO: 2590-4S, 2390-8). Оцифровка данных с аналоговых датчиков с частотой дискретизации 6 час<sup>-1</sup> происходит в коннекторах и регистрируется приборами ALMEMO.

Рис. 3. Блок-схема работы автоматизированного аппаратурно-программного комплекса с целью мониторинга концентрации подпочвенных газов в пункте ИНС

Импульсные разряды с газоразрядных счетчиков через формирователь импульсов и коннектор регистрируются на тех же приборах, что является неоспоримым преимуществом регистраторов ALMEMO. Через COM-порт ALMEMO данные поступают на преобразователь пользовательских интерфейсов (МОХА NPort-5210A) с широким диапазоном рабочей температуры (-40...+75 °C) и далее по сети ethernet КФ ФИЦ ЕГС РАН информация передается на сервер сбора данных лаборатории акустического и радонового мониторинга КФ ФИЦ ЕГС РАН. После предварительной обработки, происходит запись текущей информации в базу данных «Полигон» [5] мониторинга подпочвенных газов.

Текущая информация в базе данных обновляется с десятиминутным интервалом и визуализируется на созданном автоматизированном рабочем месте оператора (рис. 4), который может наблюдать за динамикой ОА Rn за десятидневный период. Одновременно со сбором данных выполняется синхронизация системного времени и управление регистрирующими приборами ALMEMO в составе комплексов регистрации концентрации подпочвенных газов [6].

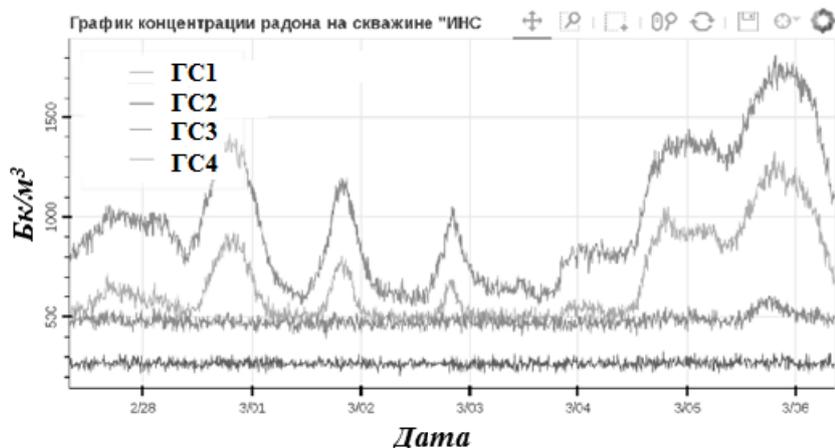


Рис. 4. Экранная форма полученных данных с ГС пункта ИНС за период 28.02.2017 г. – 08.03.2017 г.

**Методика айгеноскопии для анализа коллективного поведения временных рядов подпочвенного радона**

Получаемые при геофизическом мониторинге данные неоднородны и зашумлены различными помехами. К ним необходимо применение специальных

методов и приемов анализа. Поскольку плотность потока радона с поверхности также зависит от метеорологических величин: влажности, температуры почвенного слоя и, особенно, атмосферного давления, была сделана пробная попытка выделения реперных точек и обнаружения среди них предвестниковых аномалий в рядах ОА Rn с помощью методики «айгеноскопии» [4, 11].

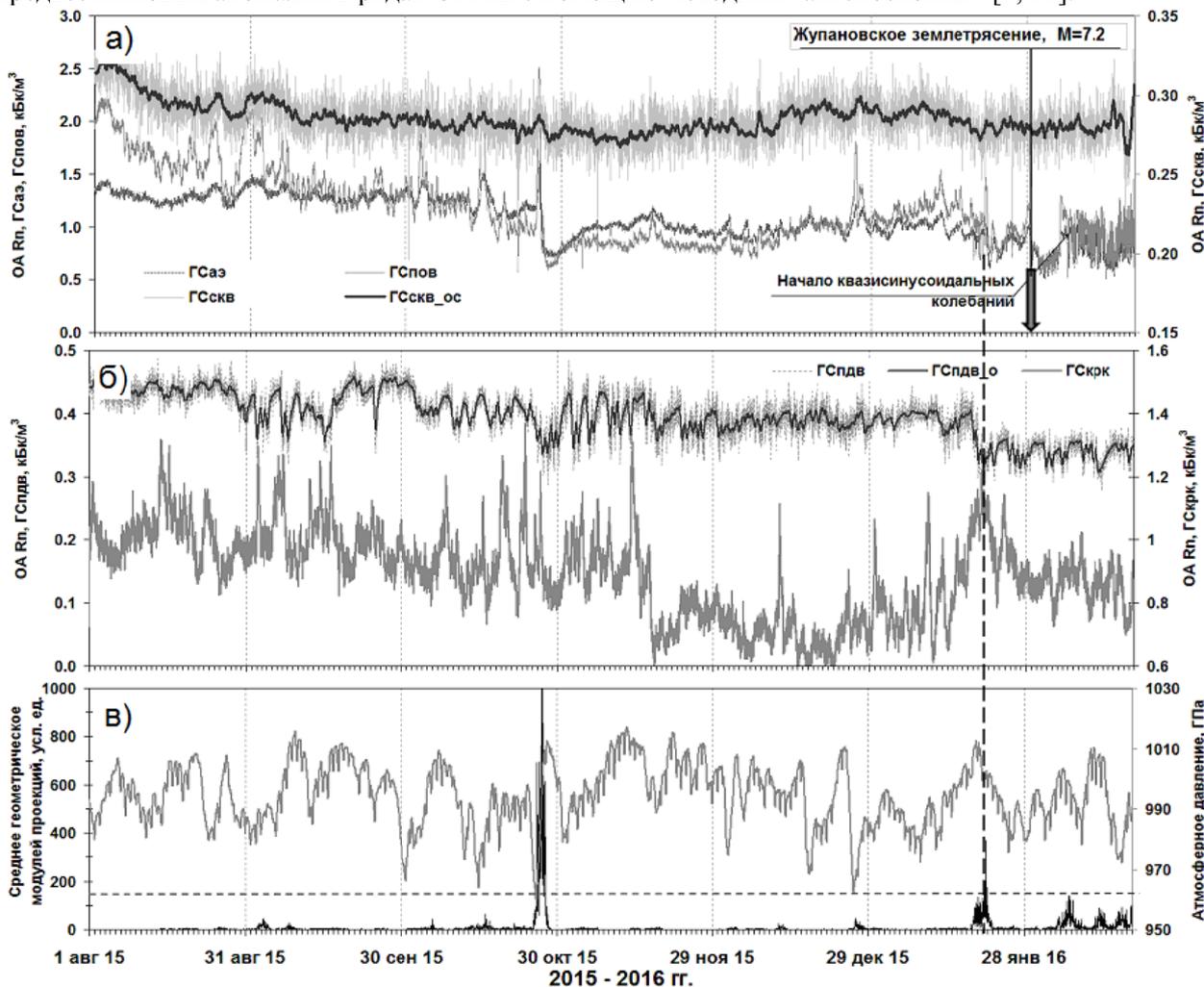


Рис. 5. Исходные временные ряды за период 01.09.2015 г. – 18.02.2017 г. для которых была применена методика «айгеноскопии». **а** - динамика ОА Rn для трех ГС в пункте ПРТ, **б** - в пункте КРК, атмосферное давление и **в** - значение среднего геометрического, построенного на абсолютных значениях проекций исходных временных рядов на 2–14 собственные векторы

Айгеноскопия – группа новых полезных моделей [1–3] для обработки временных рядов и сигналов, основанных на методе анализа собственных векторов ковариационных матриц («eigen vector analysis»). Данный метод также известен как анализ эмпирических ортогональных функций («empirical orthogonal functions analysis») – с целью обнаружения скрытых признаков и закономерностей. Его предназначение - визуализация и автоматический анализ исследуемых сигналов, и принятие решений с использованием базиса собственных векторов матриц смешанных моментов сигналов.

Для оценки возможностей «айгеноскопии» для пяти временных рядов ОА Rn полученных, в пунктах ИНС и КРК, на интервале 01.09.2015 г. – 18.02.2017 г. был реализован поиск предвестниковой аномалии перед Жупановским землетрясением (ЖЗ) с  $M = 7.2$  и глубиной очага 177 км [12]. В поле подпочвенного радона на трех пунктах сети была выделены аномалии, предшествующие ЖЗ. Кроме того, в пункте ИНС в этот же период выделяются аномалии в концентрации молекулярного водорода и диоксида углерода. По фазовым сдвигам радоновых аномалий был рассчитан азимут на источник возмущения (предполагаемая «деформационная волна»), которое могло вызвать аномалии. Азимут имеет расхождение с азимутом на эпицентр в  $14^\circ$  [10].

Кривая среднегеометрического, вычисленного для коэффициентов разложения исходного ряда в базисе собственных векторов ковариационной матрицы размерностью 96 дискретов (48 часов) приведена на рис. 5в, где по квантилю 0.99 выделяется две «реперные» точки. Первая «реперная точка» 26–27 октября 2015 г. обусловлена резким уменьшением атмосферного давления, которое вызвало мощный всплеск ОА Rn в накопительных камерах, расположенных в зоне аэрации пункта ИНС. Вторая реперная точка 20.01.2016 г. совпадает с началом появления предвестниковой аномалии ЖЗ, выделенной ранее [10].

На рис. 6 приведена обобщенная структурная схема реализованного на языке Python виртуального устройства, использующего методики обработки «айгеноскопии» [1–3], с помощью которого находились «реперные» точки. Данная схема реализуется для автоматического выделения «реперных» точек на временных рядах, получаемых в реальном времени с ГС пункта ИНС. В блоке 1 по всей имеющейся предыстории и заданной величине интервалов анализа вычисляется ковариационная матрица. Для полученной в блоке 2 ковариационной матрицы (KM) в блоке 3 вычислялись собственные векторы (CB), количество которых совпадает с размерностью матрицы.

Для дальнейшей обработки используются не все CB, а только CB со 2-го по 14-ый.

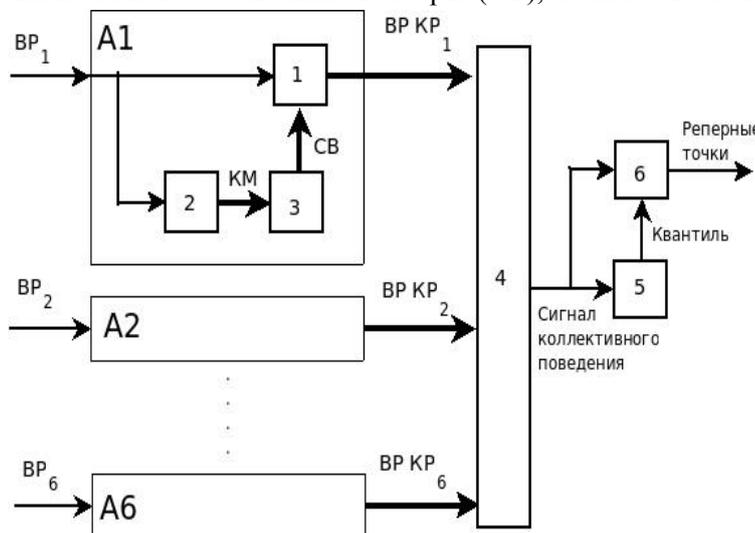


Рис. 6. Структурная схема методики обработки: A1–A6 – «айгеноскопы» для обработки временных рядов с датчиков, блок 1 – вычислитель скалярных произведений, блок 2 – вычислитель ковариационной матрицы, блок 3 – вычислитель собственных векторов, блок 4 – формирователь сигнала коллективного поведения, блок 5 – вычислитель квантилей, блок 6 – решающее устройство, VP<sub>1</sub> – VP<sub>6</sub> – временные ряды с датчиков, VP KP<sub>1</sub> – VP KP<sub>6</sub> – коэффициенты разложения временных рядов по собственным векторам, KM – ковариационная матрица, CB – собственные векторы

В блоке 1 вычисляются (для каждого интервала анализа) коэффициенты разложения отрезка временного ряда (VP) по собственным векторам. Численно эти коэффициенты совпадают со скалярными произведениями соответствующего отрезка VP и соответствующего CB.

Каждый из блоков A1–A6 представляет собой экземпляр «айгеноскопа» [1]. A1–A6 выдают на своих выходах (для каждого текущего момента времени) коэффициенты разложения VP KP<sub>1</sub> – VP KP<sub>6</sub> временных рядов VP<sub>1</sub> – VP<sub>6</sub> на текущем интервале анализа в изменяющихся, адаптивных базисах собственных векторов. Таким образом, на вход блока 4 вычисления сигнала коллективного поведения поступают так называемые главные компоненты временных рядов VP<sub>1</sub> – VP<sub>6</sub> с датчиков, вычисленные в адаптивных базисах собственных векторов за всю известную к текущему моменту времени предысторию. Затем вычисляется средне геометрическое (СГ) значения всех главных

компонент для каждого момента времени, в соответствии с решением, предложенным в полезной модели [2]. В качестве обоснованных значений порогов выбраны квантили уровня 0.5, 0.75, 0.90 и 0.99 (превышаемые временным рядом коллективного поведения в 50%, 25%, 10% и 1% отсчетов соответственно). Те моменты времени, в которые временной ряд коллективного поведения превышает квантиль заданного уровня, рассматривались в качестве реперных точек. Эта часть обработки осуществляется блоками 5 и 6.

Визуализация результатов анализа производится на сервере лаборатории акустического и радонового мониторинга КФ ФИЦ ЕГС РАН с применением библиотеки Vokeh.

### **Заключение**

С целью автоматизации сбора и оперативной обработки данных с сети пунктов регистрации подпочвенных газов на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне в КФ ФИЦ ЕГС РАН ведется разработка специализированного аппаратурно-программного комплекса. Разработаны и внедрены отдельные элементы автоматизированного сбора и первичной обработки данных в реальном времени с одного из наиболее аппаратурно оснащенных пунктов ИНС.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-05-00162.

### **Список литературы:**

1. *Исакевич В.В., Исакевич Д.В.* Сигнализатор значимых отличий. Патент № 133642RU. Дата выдачи патента 05.04.2013 г., срок действия патента до 05.04.2023 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://bankpatentov.ru/node/414199>.
2. *Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Грунская Л.В.* Анализатор собственных векторов и компонент сигналов. Патент на полезную модель RU 116242. Дата выдачи патента 30.09.2011 г., срок действия патента до 30.09.2021 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://bankpatentov.ru/node/207042>.
3. *Исакевич В.В., Исакевич Д.В., Грунская Л.В., Фирстов П.П.* Сигнализатор изменений главных компонент. Положительное решение о выдаче патента по заявке № 2013147112 от 22.10.2013 г.
4. *Исакевич В.В., Фирстов П.П., Исакевич Д.В., Грунская Л.В., Макаров Е.О.* Использование методики дискриминантных функционалов для выявления реперных точек во временных рядах концентрации почвенного радона на сети пунктов Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона / Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Четвертой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 29 сентября-5 октября 2013 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. Обнинск: ГС РАН, 2013. С.59–63.
5. *Копылова Г.Н., Латышов Е.Р., Пантюхин Е.А.* Информационная система "Полигон": комплекс программных средств для сбора, хранения и обработки данных геофизических наблюдений / Проблемы сейсмологии III-го тысячелетия. Матер. междунар. геофиз. конф. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. С. 393–399.
6. *Макаров Е.О., Фирстов П.П., Волошин В.Н.* Аппаратурный комплекс для регистрации концентрации подпочвенных газов с целью поиска предвестниковых аномалий сильных землетрясений Южной Камчатки // Сейсмические приборы. 2012. Т. 48. № 1. С. 2–10
7. *Рудаков В.П.* Динамика полей подпочвенного радона сейсмоактивных регионов СНГ: Автореф. дис... докт. физ.-мат. наук. М. 1992 г. 46 с.
8. *Фирстов П.П.* Мониторинг объемной активности подпочвенного радона ( $^{222}\text{Rn}$ ) на Паратунской геотермальной системе в 1997–1998 гг. с целью поиска предвестников сильных землетрясений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1999. № 6. С. 33–43.
9. *Фирстов П.П., Макаров Е.О., Акбашев Р.Р.* Мониторинг концентрации почвенных газов на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне в связи с прогнозом сильных землетрясений // Сейсмические приборы. 2015. Т. 51. № 1. С. 60–80.
10. *Фирстов П.П., Макаров О.Е., Глухова И.П.* Особенности динамики подпочвенных газов перед Жупановским землетрясением 30.01.2016 г. с  $M = 7.2$  (Камчатка) // ДАН. 2017. Т. 472. № 4. С. 462–465.
11. *Фирстов П.П., Исакевич В.В., Макаров Е.О., Исакевич Д.В., Грунская Л.В.* Применение методики айгеноскопии для поиска предвестников сильных землетрясений в поле почвенного радона ( $^{222}\text{Rn}$ ) на Камчатке (август 2012 – август 2013 гг.) // Сейсмические приборы. 2014. Т. 50. № 3, С. 63.
12. *Чебров В.Н., Кугаенко Ю.А., Абубакиров И.Р. и др.* Жупановское землетрясение 30.01.2016 г. с  $K_s=15.7$ ,  $M_w=7.2$ ,  $I=6$  (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. № 1. Вып. 29. С. 5–16.

## **О ПЕРСПЕКТИВАХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФИЦ ЕГС РАН И ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСКОСМОС» ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ЗАПУСКОВ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С КОСМОДРОМА «ВОСТОЧНЫЙ»**

**Виноградов Ю.А.**

*Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук»,  
г. Обнинск, yvin@gsras.ru*

28 апреля 2016 года состоялся первый запуск с нового космодрома «Восточный» в Амурской области. Ракета-носитель "Союз-2.1a" успешно вывела на орбиту три научных спутника – университетские спутники "Ломоносов" и "Аист-2Д", а также наноспутник SamSat-218.

Запуск любого космического аппарата, и этих в том числе, сопровождается падением на землю отделяющихся частей (ОЧ) ракет-носителей (РН) (отработавшие ступени, головные обтекатели, соединительные отсеки и т. п.), обеспечивающих их выведение на орбиты. Размеры и местоположение районов падения (РП) этих частей для каждой ракеты-носителя определяются требованиями к орбитам космических аппаратов (КА), их массой, энергетическими характеристиками РН. Места районов падения стараются располагать в местностях наименее заселенных и с отсутствием или минимальным ведением хозяйственной деятельности. Использование районов падения ОЧ РН осуществляется в соответствии с постановлениями Правительства Российской Федерации от 31 мая 1995 г. № 536 «О порядке и условиях эпизодического использования районов падения отделяющихся частей ракет» и от 24 марта 1998 г. № 350 «О внесении изменений и дополнений в постановление Правительства Российской Федерации от 31 мая 1995 г. № 536» и на условиях договоров, заключаемых Федеральным космическим агентством с органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, на территории которых находятся эти районы. Условиями договоров предусмотрено при каждом пуске РН проведение в районах падения мероприятий по обеспечению безопасности людей, экологическому мониторингу, охране окружающей природной среды и т.д.

С целью выполнения требований договоров аренды РП по максимальному снижению негативного воздействия запуска космических ракет на окружающую среду актуальной является задача максимально быстрого обнаружения ОЧ РН в штатных районах падения, а также фрагментов ракет в нештатных ситуациях. При аварии в первые десятки секунд после старта не отработавшие ступени вместе космическим аппаратом падают на земную поверхность вдоль трассы запуска. Такие аварии наносят значительный вред экологии, поэтому задача оперативного поиска и своевременного обеззараживания территории является очень актуальной. Кроме того, технологии и оборудование космических аппаратов представляют военную или коммерческую тайну, следовательно, необходимо в кратчайшие сроки обеспечить сохранность и секретность частей космических аппаратов, осуществить их сбор на местности и доставку Заказчику пуска. Также территория возможного падения растянута на несколько сотен километров вдоль трассы запуска и на несколько десятков километров поперек неё, обладает сложным рельефом, имеет возвышенности и впадины, леса, озера и болота, что создает значительные трудности при поиске мест падений с использованием традиционной авиавоздушной разведки, особенно в период неблагоприятных погодных условий. Проблема оперативного поиска упавших фрагментов космических аппаратов важна для всех наземных районов падения. Она более или менее удачно решается в Казахстане, где крупные фрагменты первых ступеней хорошо видны в степи. А вот остатки ступеней, падающие на Алтае, в Томской области и в республике Коми, находятся редко и с большим трудом. Они значительно меньше в размерах, падают в труднодоступной местности (тайга, горы, болота) и плохо заметны с воздуха. Аналогичная ситуация возникает и на Дальнем Востоке при запуске ракет с космодрома «Восточный».

Для уменьшения времени поиска упавших фрагментов можно и нужно применять геофизические методы регистрации, которые должны решать следующие задачи:

1. Обеспечить локацию мест падений ОЧ РН в штатных районах падения 1 и 2 ступеней с точностью  $\pm 2$  км, для оперативного поиска упавших фрагментов, их сохранности и своевременной утилизации, предотвращения возможных ЧП.
2. Обеспечить локацию мест падения фрагментов ракет-носителей и космических аппаратов в

случае аварий при запуске, с точностью  $\pm 15$  км, для оперативного поиска упавших фрагментов, и обеспечения их сохранности.

Следует особо подчеркнуть, что только средства объективного контроля позволяют установить причинно-следственные связи между различными факторами, влияющими на размеры зоны рассеивания фрагментов, а также провести верификацию методик, теоретических методов и математических моделей, применяемых баллистами для расчетов [2]. Кроме того, достоверное определение координат точек падения фрагментов отделяющихся частей ракет-носителей повышает оперативность их поиска, утилизации, локализации и ликвидации результатов негативного воздействия на окружающую среду, что в совокупности существенно снижает материальные затраты.

В настоящее время основной метод объективного контроля, применяемый в реальных условиях – метод визуального контроля, который весьма неточен и зачастую не может быть использован по причине плохой видимости из-за проведения запусков в ночное время или в неблагоприятных метеоусловиях. Более современным и очень точным является радиолокационный метод [6], который использовался для определения мест падения первой ступени РН «Союз» при первом пуске с космодрома «Восточный», однако его применение тоже имеет ряд ограничений: очень высокая стоимость, необходимость подготовки специальной площадки под установку, высокая энергозависимость, крайне низкая транспортабельность. Также, радиолокационные станции не могут быть применены в ряде случаев, когда есть опасность повреждения радиоизлучением электронной аппаратуры полезной нагрузки, выводимой ракетой-носителем. Для начального прицеливания радиолокационной станции требуется достаточно точная траекторная информация (в идеальном случае, получаемая в темпе полета РН, для чего необходим канал передачи внешнетраекторной информации «борт-радиолокационная станция»). В случае недостаточно точного прицеливания, задача слежения за снижающимися фрагментами может быть не только не решена, но и, наоборот, может быть причинен вред выводимой полезной нагрузке. Для работы радиолокационной станции требуется специальная обеспечивающая инфраструктура, позволяющая работать аппаратуре и персоналу в тяжелых климатических и погодных условиях. Очевидно, что при этом автономность работы радиолокационной станции не обеспечивается ни при каких условиях. Кроме того, стоимость радиолокационной станции с обеспечивающей инфраструктурой крайне высока (линейка цен радиолокационных станций фирмы Weibel Scientific A/S начинается от 4.5 млн. евро). В связи с этим разработка альтернативных, недорогих методов объективного контроля до сих пор является актуальной задачей.

Тот факт, что первые ступени ракет и особенно аварийные ракетносители, имеющие значительную массу и высокую скорость падения, при контакте с земной поверхностью генерируют достаточно сильные сейсмические волны, позволяет применять инструментальные методы сейсмической локации для оперативного определения координат места падения. Работы, проводившиеся специалистами Кольского филиала Федерального исследовательского центра «Единая Геофизическая служба РАН» (КоФ ФИЦ ЕГС РАН) в районах падения 1-й ступени РН «Протон» и анализ сейсмограмм существующей сейсмической сети Казахского национального центра данных (КНДЦ) показали принципиальную возможность такой локации и позволили выработать методические подходы для разработки и создания комплекса сейсмического контроля трасс пусков в Республике Казахстан, изложенные ниже. На рис. 1 приведен пример локации места падения РН «ДНЕПР» при аварийном пуске 26 июля 2006 года. Локация проводилась по 2 ближайшим к месту падения станциям КНДЦ «Акбулак» и «Каратау» расположенных в 550 км северо-западнее и 610 км юго-восточнее места падения соответственно. Хотя сигналы, зафиксированные на станциях, были достаточно слабые, в высокочастотном спектре уверенно выделяются фронты приходов Р-волны, а на горизонтальных каналах и S-волны, что позволило с достаточной точностью рассчитать эпицентр источника возбуждения сигнала в точке с координатами  $46.47^\circ$  с.ш. и  $64.87^\circ$  в.д. (координаты полуавтоматической локации показаны на вклейке в правом нижнем углу рисунка).

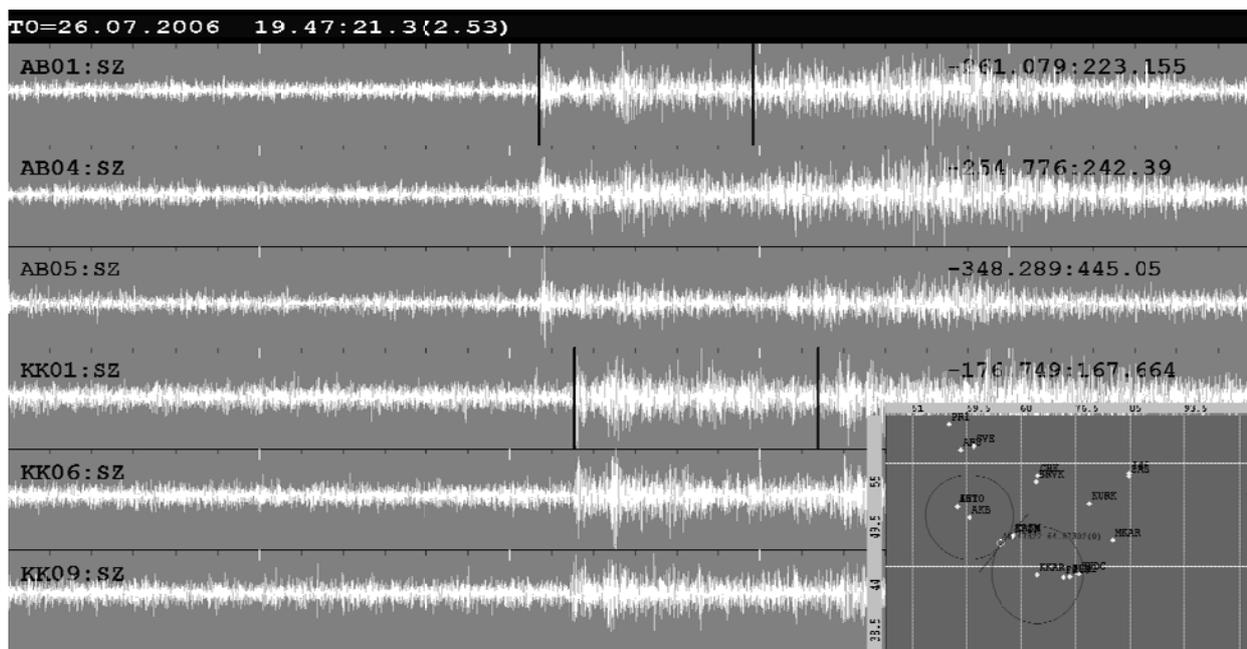


Рис. 1. Локация события по двум станциям сейсмической сети Казахского национального центра данных: станция «Акбулак» – расстояние 550 км, станция «Каратау» – расстояние 610 км. На вклейке в правом нижнем углу отображены станции сейсмической сети и результат полуавтоматической локации – точка с координатами 46.47°с.ш. и 64.87°в.д.

Также в КоФ ФИЦ ЕГС РАН с 2002 г. проводятся наблюдения за распространением инфразвуковых полей в атмосфере при помощи стационарного сейсмоинфразвукового комплекса «Апатиты» [3]. За этот период составлен обширный каталог инфразвуковых сигналов природного и техногенного происхождения, таких как промышленные взрывы, инфразвук от сверхзвуковых самолетов, метеоров, северных сияний, сходов лавин и других. Также специалисты филиала неоднократно выезжали в районы падений фрагментов РН, где с помощью мобильных инфразвуковых групп отработывали методику инфразвуковой локации мест падения [1].

Для решения задачи поиска первых ступеней и аварийных РН предлагается использовать имеющуюся сеть сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН. В настоящее время на Дальнем Востоке в районах предполагаемых трасс запуска РН эксплуатируется более 40 современных сейсмических станций, 25 из которых могут быть использованы для этих целей (рис.2) [5]. Станции, расположенные в зоне I на рис. 2, могут быть использованы без каких-либо доработок, т.к. они имеют непрерывное питание и надежную передачу данных. Сейсмостанции, расположенные в зоне II на рис. 2, следует дополнить инфразвуковыми каналами наблюдения и средствами телеметрической передачи данных, возможно установить 5–6 новых станций, для того чтобы обеспечить уверенную локацию аварийных РН с точностью  $\pm 10$  км. Непосредственно в районы падений фрагментов 2 ступеней РН целесообразно устанавливать передвижные комплексы инфразвуковой локации, показавших свою эффективность при первых пусках новейшей РН «Ангара» [4].

Для поддержания действующей сети ФИЦ ЕГС РАН в постоянной готовности, а также создания новых опорных станций планируется заключить договор с ФГУП «ЦЭНКИ», крупнейшим подразделением госкорпорации «Роскосмос», занимающимся обеспечением запусков ракет-носителей. В рамках этого договора ФИЦ ЕГС РАН будет вести детальный геофизический (сейсмический и инфразвуковой) мониторинг в даты проведения пусков РН, обрабатывать получаемую информацию в режиме близком к *on-line*, и передавать данные обработки поисковым отрядам ФГУП «ЦЭНКИ», расположенным на боевом дежурстве вблизи планируемых районов падений 1-й и 2-й ступеней ракет-носителей.

Схема расположения РП ОЧ 1-х ступеней и ГО РН «Ангара» при запуске с космодрома «Восточный»

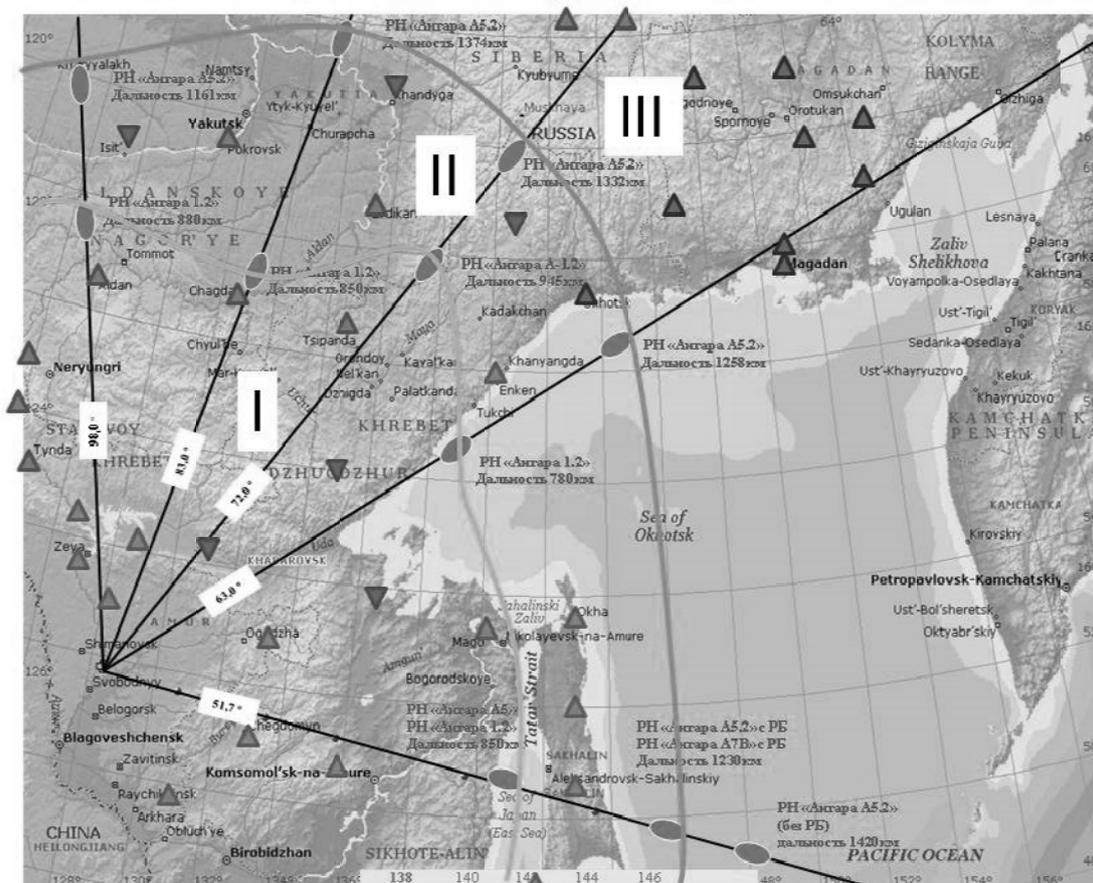


Рис. 2. Трассы запуска РН «Ангара» с космодрома «Восточный» и сеть имеющихся (треугольники, стоящие на основании) и планируемых к установке (треугольники, стоящие на вершине) сейсмических станций ФИЦ ЕГС РАН, которые будут использоваться для мониторинга запусков ракет носителей. Овалами отмечены согласованные районы падений отработавших 1-х и 2-х ступеней РН «Ангара»

### Список литературы

1. Асминг В.Э., Виноградов Ю.А., Воронин А.И., Федоров А.В., Чигерев Е.Н., Роскин О.К. Определение мест падений фрагментов ракет-носителей по данным инфразвуковых наблюдений // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2016. Т. 52, № 6. С. 707–715.
2. Асминг В.Э., Виноградов Ю.А., Воронин А.И., Федоров А.В., Чигерев Е.Н., Роскин О.К. Поиск фрагментов ракет-носителей инфразвуковым методом // Вестник НЯЦ РК. 2015. № 4. С. 42–49.
3. Асминг В.Э., Виноградов Ю.А., Евтюгина З.А., Кремневецкая Е.О., Прокудина А.В. О результатах наблюдений на Апатитском сейсмоинфразвуковом комплексе // Вестник МГТУ. 2008. Т. 11, № 3. С. 512–518.
4. Виноградов Ю.А., В.Э. Асминг, О.К. Роскин. Опыт участия Геофизической службы РАН в испытании новейшей ракеты-носителя "Ангара" в 2014 году // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Десятой Международной сейсмологической школы. Геофизическая служба РАН, Республиканский центр сейсмологической службы при Национальной академии наук Азербайджана / Отв. редактор А.А. Маловичко. Обнинск: ГС РАН, 2015. С. 75–79.
5. Лаверов Н.П., Маловичко А.А., Старовойт О.Е. Российская сеть сейсмологических наблюдений: состояние и перспективы развития // Материалы Международной конференции / Ответственный редактор: А.А. Маловичко. 2008. С. 5–14.
6. Писенко Е.Г., Ефременков А.А., Болоболкин Е.Б. Техническое обеспечение экологической безопасности в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей при пусках с космодрома Байконур // Приоритетные задачи экологической безопасности в районах падения Сибирского региона и пути их решения. М.: Изд-во "Спутник", 2016. С. 24–28.

## ПРОГРАММА ОЦЕНКИ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОСТИ КАТАЛОГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

*Волович О.Г., Салтыков В.А.*

*Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, salt@emsd.ru*

### Введение

Уровень представительности регистрируемых землетрясений является важным параметром, характеризующим возможности сейсмометрической сети по мониторингу сейсмической обстановки. Под представительностью обычно понимается нижний энергетический уровень землетрясений, которые могут быть зарегистрированы в заданной пространственной области без пропусков. Изменение сети, технических средств и методов регистрации землетрясений приводит к изменению представительности каталога. Для статистического анализа параметров сейсмичности необходимо знать оценки пространственно-временного распределения представительности каталога зарегистрированных землетрясений.

Созданная программа реализует алгоритм, позволяющий провести оценку вариаций представительного класса, включая построение его временного хода. Одной из возможностей программы является определение временных интервалов, для которых представительность каталога не опускается ниже заданного порога.

### Методика формализованной оценки представительности каталога

В данной программе реализован алгоритм, в основе которого лежат подходы, рассмотренные в работах [2, 3], где представительность определяется через пороговую оценку класса  $K_C$ , выше которой распределение числа землетрясений  $N$  по классу  $K$  можно считать экспоненциальным для заданного уровня статистической значимости  $\alpha$ .

В соответствии с методом максимального правдоподобия наклон графика повторяемости  $\gamma$  оценивается как  $\gamma = \lg \left( 1 + \frac{N_0}{\sum_{i=0} i \cdot n_{K_0+0.1i}} \right) / 0.1$  [1]. Активность  $A$  определяется как  $A = \frac{\sum_i N_i \cdot 10^{-\gamma K_i}}{\sum_i 10^{-2\gamma K_i}}$ .

Здесь  $N_i$  – число землетрясений энергетического класса не менее  $K_i$ ,  $n_i$  – число землетрясений энергетического класса  $K_i$ . Сравнение фактического числа землетрясений  $N_0$  с его оценкой  $N_0^* = A \cdot 10^{-\gamma K_0}$  позволяет оценить статистическую значимость экспоненциальности распределения рассматриваемой выборки из каталога и, соответственно, значимость принятия решения о представительности  $K_C$  на уровне  $K_0$ . Либо, задав необходимую значимость  $\alpha$ , принять или отклонить гипотезу об экспоненциальности и, соответственно, представительности на уровне  $K_0$ . Если гипотеза отклоняется, то пороговое значение  $K_0$  увеличивается на 0.1 (так как классы в каталоге приведены с точностью до десятых) и расчеты продолжают до удовлетворительного результата. Данная программа позволяет не только оценить представительность заданной выборки из каталога, но и проследить ее изменение во времени.

Методика построения временного хода включает два этапа: 1) расчет представительности  $K_C$  с заданной значимостью  $\alpha$  в скользящем окне, содержащем заданное число землетрясений  $N_0$  представительного класса  $K_C$ . Сдвиг окна задается либо по времени, либо по числу землетрясений представительного класса; 2) Временной ход представительности определяется как «нижняя» огибающая полученного семейства отрезков в координатах (Время,  $K_C$ ).

Алгоритм программы представлен на блок-схеме (рис. 1).

Комментарии к блок-схеме:

#### 1. $K_0$ – представительный класс?

Разница между фактическим числом представительных землетрясений  $N_0$  с его оценкой  $N_0^* = A \cdot 10^{-\gamma K_0}$  имеет нормальное распределение с мат. ожиданием  $\mu = -(0.46 - 0.011\gamma)$  и среднеквадратичным отклонением  $\sigma = (0.30 - 0.068\gamma) \cdot \sqrt{N_0}$ . При заданной значимости  $\alpha$  границы

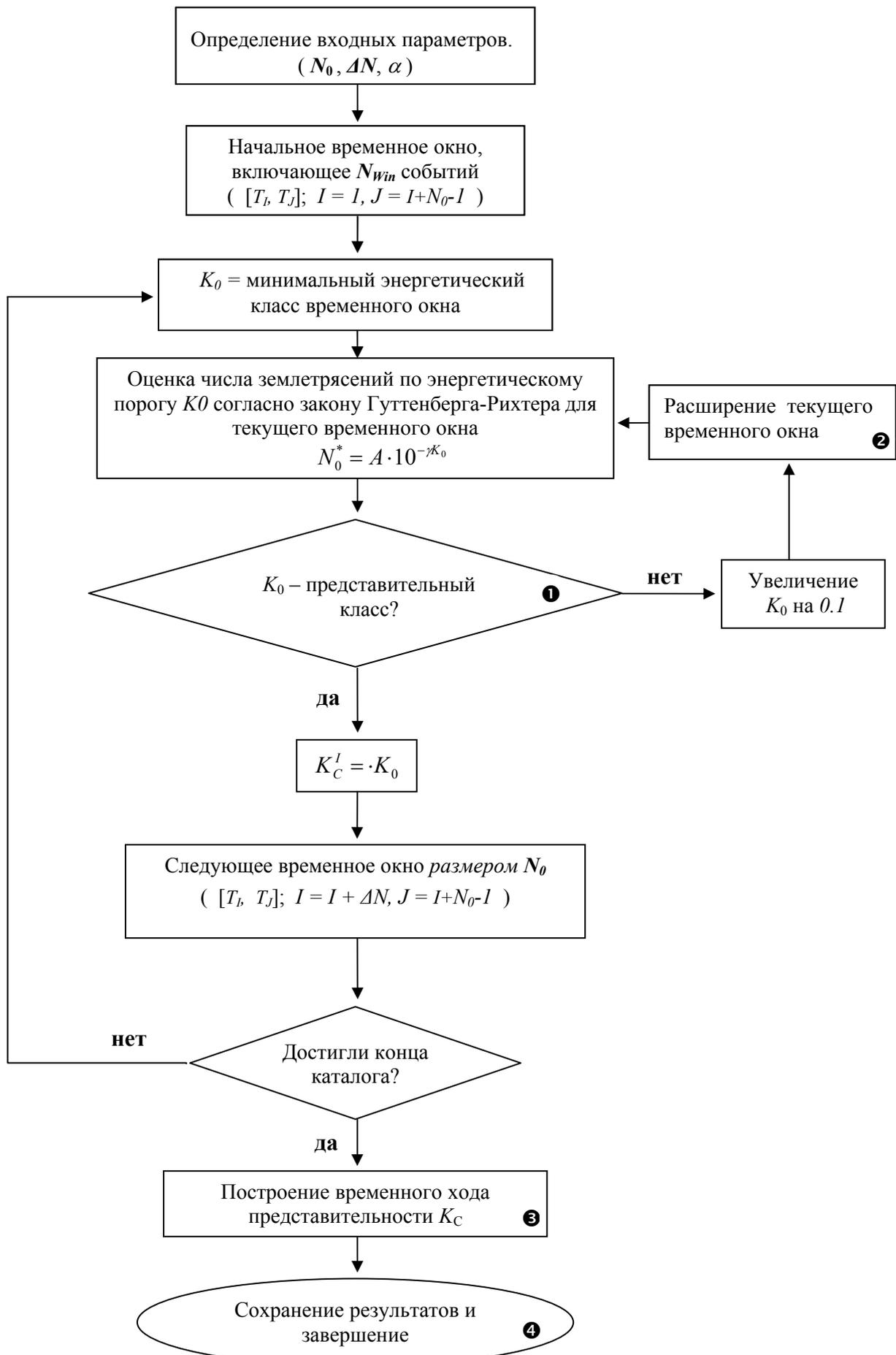


Рис. 1. Блок-схема программы. Пояснения в комментариях в тексте

допустимых значений этой разницы  $[dN_-, dN_+]$  определяются как  $dN_{+,-} = \mu \pm \sigma \cdot m$ , где  $m$  связано с  $\alpha$  соотношением  $1 - \alpha = \text{erf}\left(\frac{m}{\sqrt{2}}\right)$ .

## 2. Расширение текущего временного окна

Значение  $J$  (индекс правой границы окна) увеличивается, до тех пор, пока в текущем окне не будет  $N_0$  событий с энергетическим классом  $K \geq K_0$ .

## 3. Построение временного хода представительности $K_C$

Для каждого  $K_C^I$  фиксируются границы соответствующего временного окна – в отдельных массивах  $DateBeg$ ,  $DateEnd$  и в общем массиве  $Date$ .

3.1.  $Date$  сортируется по возрастанию.

3.2. Для каждого  $A\_Date = Date(i)$  определяется соответствующий ему класс  $K_0$ .

3.2.1. Используя массивы  $DateBeg$ ,  $DateEnd$ , определяются интервалы, включающие  $A\_Date$  и набор значений  $K_0\_A\_Date\_arr$  для данного  $A\_Date$ .

3.2.2.  $K_0\_A\_Date = \min(K_0\_A\_Date\_arr)$

3.2. Результаты сохраняются в файле `*_K0_Временной_ход.txt` в виде

$Beg\_Date_1$	$K_{01}$	1962-01-10 10:17:37	9.4
$End\_Date_1$	$K_{01}$	1962-09-30 19:36:05	9.4
$Beg\_Date_2$	$K_{02}$	1962-09-30 20:36:05	9.3
$End\_Date_2$	$K_{02}$	1964-01-14 00:11:15	9.3
$Beg\_Date_3$	$K_{03}$	1964-01-14 01:11:15	7.3
$End\_Date_3$	$K_{03}$	1964-04-23 05:04:06	7.3
		•	
		•	
		•	
$Beg\_Date_1$	$K_{0n}$	1991-06-19 21:12:24	7.9
$End\_Date_1$	$K_{0n}$	1992-03-02 15:53:32	7.9
$Beg\_Date_2$	$K_{0n+1}$	1992-03-02 16:53:32	8.0
$End\_Date_2$	$K_{0n+1}$	1992-03-08 07:29:18	8.0

при этом:

3.3. Примыкающие отрезки с одинаковыми  $K_0\_A\_Date$  объединяются в один.

3.4. Если предыдущий  $K_0\_A\_Date$  меньше,  $Beg\_A\_Date = Beg\_A\_Date + Imin$ .

3.5. Если предыдущий  $K_0\_A\_Date$  больше,  $End\_A\_Date_{-1} = End\_A\_Date_{-1} - Imin$ .

## 3. Сохранение результатов

Результаты расчетов сохраняются в текстовых файлах (расширение `txt`).

Имена файлов формируются следующим образом:

**Префикс имен файлов –  $[partFName\_N_{win}\_AN\_Alpha]$ , где**

$partFName$  содержит указание на имя каталога землетрясений (например, **Каталог\_53\_160\_R25**),  $N_{win}$ ,  $AN$ ,  $Alpha$  – числовые значения параметров, определенных в диалоговом окне перед запуском программы: число землетрясений в скользящем окне, шаг (сдвиг) окна, статистическую значимость  $\alpha$ .

Имена файлов с результатами расчетов имеют вид:

\* `_Res.txt` (Например, `Каталог_53_160_R25_200_20_05_Res.txt`)

\* `_Временной_ход.txt` (Например, `Каталог_53_160_R25_200_20_05_K0_Временной_ход.txt`).

\* `_Представительность.txt` (Например, `Каталог_53_160_R25_200_20_05_Представительность.txt`).

## Суффиксы имен выходных файлов

1) **Res** – сводный файл результатов по каждому окну в формате

**BEG Data time      END Data time      Gamma      A      K\_rep delta\_N**

**2) K0 Временной ход** – временной ход значений представительного класса  $K_C$  представлен как последовательность координат узлов ломаной линии в формате

1962-01-10 10:17:37 9.4  
1962-04-13 19:43:41 9.4  
1962-04-13 20:43:41 9.3  
1963-10-08 06:45:36 9.3  
1963-10-08 07:45:36 9.2  
1964-01-01 17:09:42 9.2

**3) Представительность** – содержит информацию о временных интервалах, когда представительность каталога не хуже определенной. Конец интервала фиксирован (Расчетное время). Начало интервала и представительный класс указаны в последующих строках

Начало каталога 1962-01-10 10:17:37  
Конец каталога 2017-01-08 19:56:39.240  
Расчетное время 2016-12-30 17:13:19  
2013-10-25 23:56:17 5.5  
2012-07-18 06:47:53 5.6  
2012-02-02 02:41:41 5.7  
2011-10-27 17:57:17 5.8  
2001-12-17 15:17:23 5.9  
2001-12-17 15:17:23 6.0

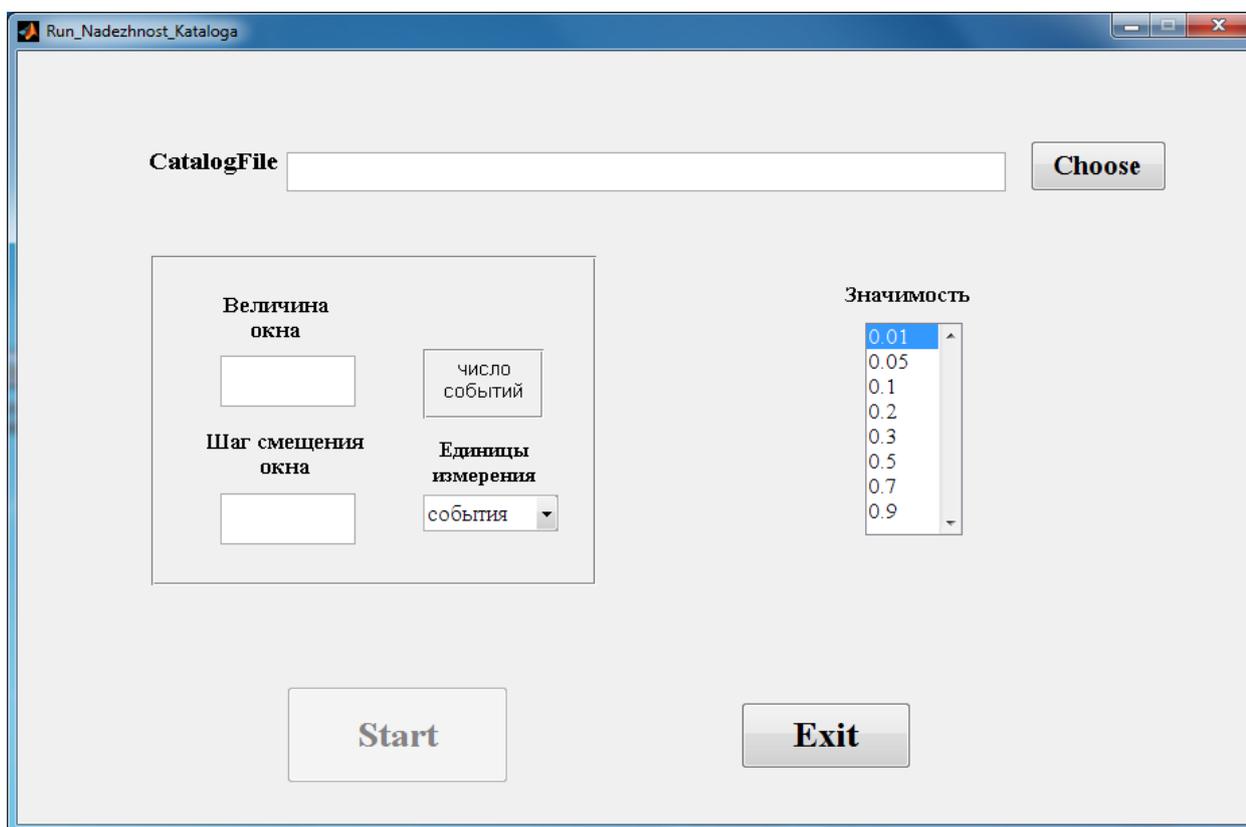


Рис. 2. Диалоговое окно программы

### Настройка входных данных (пользовательский интерфейс)

Входные параметры программы определяются в диалоговом окне (рис. 2).

**CatalogFile** – выбор файла-каталога для обработки

Файл с выборкой из каталога землетрясений имеет формат:

*[Первые семь строк, включая заголовок – информационные. Могут быть пустыми]*

```
Event;Date;Date error;Latitude;Longitude;Hypocenter error;Depth;Depth error;Ks;Ml;Mc;Agency;Software;Zone;Volcano;hypId;  
19620104_0743_AA;1962-01-04 07:43:46.5;0.0;52.06;159.41;10.0;25;0;9.1;3.8;;КАМ;Manual;2.1;;85023;  
19620123_0543_AA;1962-01-23 05:43:47.0;0.0;52.01;158.91;10.0;20;0;7.8;3.2;;КАМ;Manual;1.1;;85057;  
19620124_0141_AA;1962-01-24 01:41:44.0;0.0;52.0;158.88;10.0;20;0;7.8;3.2;;КАМ;Manual;1.1;;85058;
```

19620219\_0258\_AA;1962-02-19 02:58:51.8;0.0;52.01;158.7;5.0;40;5;11.6;5.1;;КАМ;Manual;1.1;;85126;  
19620326\_1240\_AA;1962-03-26 12:40:16.0;0.0;52.15;158.72;5.0;65;10;9.6;4.1;;КАМ;Manual;1.1;;85206;  
19620331\_0029\_AA;1962-03-31 00:29:19.0;0.0;51.97;158.84;5.0;50;15;9.2;3.9;;КАМ;Manual;1.1;;85215;

**Величина окна** – размер скользящего окна (число событий  $N_\theta$ ), **Шаг смещения окна** – шаг смещения окна ( $\Delta N$ ),

**Единицы измерения**  
события  
сутки  
события  
– единица измерения шага смещения окна,

**Значимость**  
0.01  
0.05  
0.1  
0.2  
0.3  
0.5  
0.7  
0.9

– уровень значимости ( $\alpha$ ).  
Выбрать можно как единичное значение, так и набор значений (используя клавишу **Ctrl**),

**Exit** – Выход из настроечного окна диалога без изменения служебного файла параметров *RunNadKat\_inp.inp* и без запуска счетной программы *Nadezhnost\_Kataloga\_Alpha\_dlg.m*,

**Start** – Значения всех параметров сохраняются в файле параметров *RunNadKat\_inp.inp*. Запускается на выполнение программа *Nadezhnost\_Kataloga\_Alpha\_dlg.m*

### Список литературы

1. Кулльдорф Г. Введение в теорию оценивания. М.: Физматлит, 1966. 176 с.
2. Писаренко В.Ф. О законе повторяемости землетрясений // Дискретные свойства геофизической среды. М.: Наука, 1989. С. 47–60.
3. Смирнов В.Б. Прогностические аномалии сейсмического режима. Методические основы подготовки исходных данных // Геофизические исследования. 2009. Т. 10. № 2. С. 7–22.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРЕЦИЗИОННОГО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПЛАТФОРМЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИДГ РАН «МИХНЕВО»)**

*Горбунова Э.М., Беседина А.Н., Виноградов Е.А., Кабыченко Н.В., Свищев И.С.*

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт динамики геосфер  
Российской академии наук, г. Москва, emgorbunova@bk.ru*

### **Введение**

Подземные воды относятся к одному из наиболее ценных полезных ископаемых, которые повсеместно используются для питьевого, хозяйственно-бытового и технологического водоснабжения. Одновременно с этим водоносные горизонты находятся в зоне влияния многоуровневой техногенной нагрузки, связанной с использованием и освоением подземного пространства. Изменение гидрогеологических условий предопределяет вид и степень интенсификации опасных природно-техногенных процессов, таких как карст, суффозия, просадки, влияющих на состояние несущих свойств грунтов. Поэтому в пределах градопромышленных агломераций, на участках разработки месторождений различного типа возрастает актуальность и необходимость организации и проведения высокоточного мониторинга режима подземных вод.

Прецизионные гидрогеологические наблюдения наиболее широко распространены в сейсмоактивных регионах мира [3, 8, 12, 18, 19, 21]. Совместный анализ сейсмических и гидрогеологических данных используется для оценки коллекторских свойств флюидонасыщенных массивов [16], изменений фильтрационных параметров, связанных с прохождением сейсмических волн [15] и техногенным воздействием [14], с целью разработки и апробации методики поиска предвестников землетрясений [7, 9].

В асейсмичных регионах высокоточный мониторинг режима подземных вод проводится на отдельных объектах в ограниченном объеме, преимущественно для решения научно-методических задач. На основе первых прецизионных синхронных измерений уровня и атмосферного давления с интервалом дискретизации 1 час в скважине «Обнинск» в 1986–1987 гг. были рассчитаны коэффициенты барометрической и приливной эффективности системы «пласт-скважина» и основные параметры приливных волн, выделенные в полученных гидрогеологических данных [2]. По результатам мониторинга уровня подземных вод с 1991 г. по 1994 г. в скважинах, расположенных в пос. Зеленый Ногинского района Московской области и на северо-западе Москвы, разработана методика выделения информативных интервалов вариаций уровня подземных вод, соответствующих теоретически рассчитанным приливным объемным деформациям грунта [11].

В 2005–2007 гг. автоматизированные системы измерений уровня и температуры использовались при эксплуатации месторождения подземных вод «Пионерное» в п. Новозаполярный, на инфильтрационном водозаборе Лазаревское в районе г. Сочи, на полигоне «Лужки» в Московской области и участке «Зеленые острова» в Саратовской области [6]. В настоящее время в рамках единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в России мониторинг подземных вод выполняется наряду с изучением опасных экзогенных и эндогенных геологических процессов [10].

На территории геофизической обсерватории ИДГ РАН «Михнево» (ГФО «Михнево») прецизионные наблюдения за режимом разновозрастных водоносных горизонтов входят в состав комплексного мониторинга геофизических полей [1]. Ряд стационарных факторов (таких как вариации атмосферного давления, земные приливы) и эпизодических (прохождение волн от телесеизмических землетрясений, техногенная помеха), которые оказывают существенное влияние на состояние системы "водоносный горизонт-скважина" в различном диапазоне частот, рассматриваются в качестве зондирующих сигналов для дистанционной оценки проницаемости флюидонасыщенного коллектора трещинно-порового типа.

### **Краткая характеристика гидрогеологических условий территории исследований**

Геофизическая обсерватория ИДГ РАН «Михнево» (ГФО «Михнево») расположена на расстоянии 80 км южнее г. Москвы на северо-восточной окраине Приокско-террасного природного биосферного заповедника вне зоны активного техногенного влияния. В гидрогеологическом

отношении рассматриваемая территория приурочена к юго-западной части Московской синеклизы Восточно-Европейской платформы и представляет собой многослойную терригенно-карбонатную систему разновозрастных водоносных горизонтов и комплексов, разделенных водоупорами.

Прецизионный мониторинг уровня подземных вод проводится в двух наблюдательных скважинах, вскрывающих безнапорный и напорный водоносные горизонты в интервалах 42.9–56.2 и 92–115 м соответственно. Скважины оборудованы прецизионными датчиками уровня LMN308i (производство Германия) с точностью измерения 1.7 мм и частотой опроса 1 Гц.

Водовмещающие породы представлены известняками неравномерно трещиноватыми с подчиненными прослоями доломитов, глин. Наличие регионального водоупора – верейских глин среднего карбона предопределяет разобщенность уровней верхнего горизонта, прослеженных в интервале 42.9–46.4 м и нижнего, устанавливающегося на глубине 66.7–69.8 м за период наблюдений 2014–2016 гг. (рис.1).



Рис. 1. Вариации уровня каширского водоносного горизонта среднего карбона и алексинско-протвинского водоносного комплекса нижнего карбона за период наблюдений 2014–2016 гг.

Режим верхнего безнапорного водоносного горизонта техногенно-нарушенный из-за повсеместной эксплуатации подземных вод скважинами, колодцами и характеризуется региональным трендом снижения уровня поверхности. Режим нижележащего напорного водоносного горизонта естественный. Амплитуды сезонных вариаций в паводковый период достигают 3 м.

Влияние атмосферного давления наиболее отчетливо выражено в вариациях уровня безнапорного водоносного горизонта по сравнению с напорным в диапазоне приливных волн (рис. 2). В амплитудном спектре нижнего горизонта прослежены суточные и полусуточные приливные волны, которые в верхнем горизонте сопоставимы с уровнем шума.

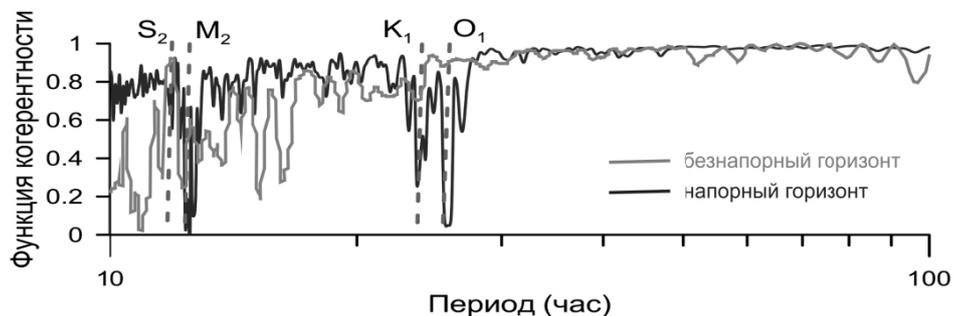


Рис. 2. Функция когерентности между уровнем безнапорного (серая линия) и напорного (черная линия) водоносных горизонтов. Пунктиром выделены периоды основных типов приливных волн

По результатам гидрогеологического опробования водопроницаемость верхнего горизонта составляет  $15 \text{ м}^2/\text{сут}$ , нижележащего - не превышает  $4 \text{ м}^2/\text{сут}$ . По данным бурения и геофизических исследований в скважинах выделены зоны повышенной кавернозности и трещиноватости пород в интервалах 43–46 м, 50–54 м и 92–94 м, 99–100 м соответственно.

### Основные результаты исследований

Рассматриваемые водоносные горизонты на территории ГФО «Михнево» различаются не только по фильтрационным свойствам и величине напора, но и по наличию или отсутствию гидрогеологических откликов на одни и те же стационарные и эпизодические факторы.

Уровень верхнего безнапорного водоносного горизонта осложнен техногенной помехой, связанной с периодическим формированием мини депрессионных воронок (рис. 3) из-за водоотбора каждые 5–7 суток из технической скважины, удаленной на расстояние 300 м.

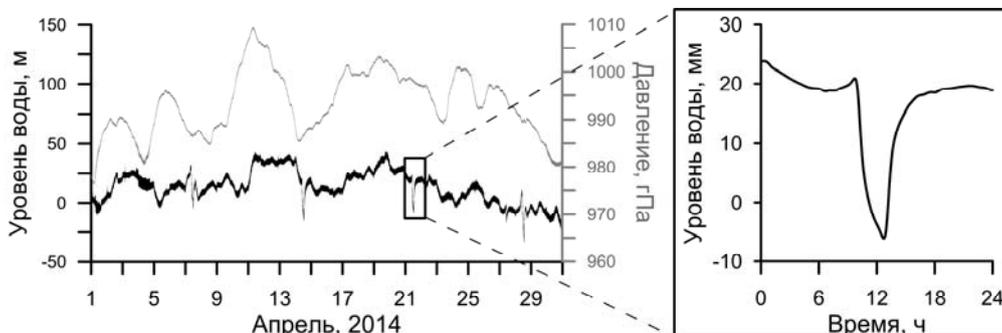


Рис. 3. Уровень безнапорного водоносного горизонта, очищенный от влияния атмосферного давления (черная линия), и давления (серая линия) (в квадратной врезке показана одна из мини-депрессионных воронок)

Гидрогеологический отклик на подобное эпизодическое нарушение в наблюдательной скважине использован для оценки водопроводимости по данным восстановления уровня по стандартной методике [4]. Особенности формирования мини депрессионных воронок был проанализированы при частичном уменьшении мощности безнапорного водоносного горизонта на 3.6 м. Подобных исследований по рассмотрению техногенной помехи, связанной с влиянием удаленных откачек на уровень подземных вод, в качестве зондирующего сигнала при оценке фильтрационных свойств коллектора в разрезе скважины ранее не проводилось.

Обработка полученных высокоточных данных периодического зондирования коллектора на фоне устойчивого тренда снижение уровня позволила определить вертикальную анизотропию пласта. Полученные средние значения изменения проницаемости трещинно-порового коллектора по глубине в интервале 42.7–46.4 м составили 2.6–3.3 мД и не противоречат результатам лабораторных определений, полученных на образцах керна, отобранных при бурении из скважины.

В нижезалегающем напорном водоносном горизонте в составе выделенных приливных волн наиболее представительной и значимой является полусуточная волна лунного типа  $M_2$ , которая может рассматриваться в качестве зондирующего сигнала для оценки фильтрационных свойств горизонта [5]. Значимые сезонные вариации уровня нижнего напорного водоносного горизонта осложняют анализ проницаемости коллектора по фазовому сдвигу между приливной волной  $M_2$ , выделенной в уровне и смещении грунта (рис. 4) [20].

Представительность данных была существенно улучшена при рассмотрении интервалов квазистационарной фильтрации и исключении участков среднесуточных вариаций уровня более 5 см/сут. В рамках поро-упругой модели среды фоновые вариации проницаемости карбонатного коллектора с двойной пористостью изменяются от 0.08 до 1.5 мД.

На территории ГФО «Михнево» в напорном и безнапорном водоносных горизонтах зарегистрированы вариации уровня, вызванные прохождением сейсмических волн от землетрясений, произошедших на расстояниях 2000–16 000 км (рис. 5а). Совместная обработка сейсмических записей, полученных малоапертурной группой «Михнево» (международный код MHVAR), и гидрогеологических данных позволяет оценить отклик водоносных горизонтов на землетрясения: типы волн и их параметры – период и амплитуду сигнала. Как для напорного, так и для безнапорного горизонтов отмечена высокая корреляция отклика со скоростью смещения грунта (рис. 5б–г).

Реакция подземных вод на одно и то же землетрясение может отличаться в пределах точности измерений. В частности, при землетрясении в Чили 16.09.2015 г. в верхнем безнапорном водоносном горизонте, прослежены вариации уровня, вызванные цугом поперечной и поверхностных волн, тогда как в нижнем напорном горизонте динамические изменения уровня обусловлены только поверхностными волнами (рис. 5а) [13].

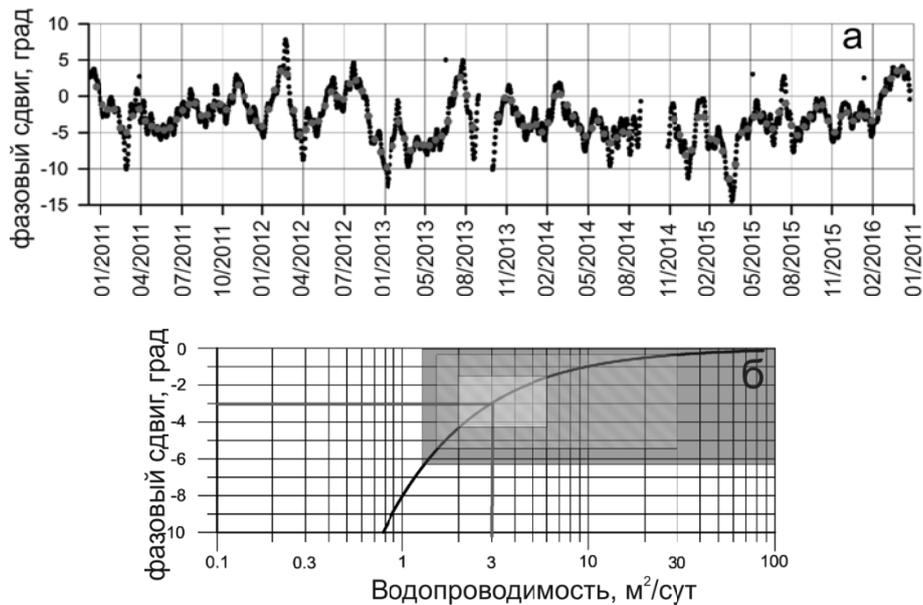


Рис. 4. Фазовый сдвиг между смещением грунта и уровнем напорного водоносного горизонта (а) и зависимость между водопроницаемостью и фазовым сдвигом (б) (черные кружки – исходные значения, рассчитанные по эллипсам [5], серые кружки – значения, рассчитанные в окне 28 дней) (черная линия – теоретическая кривая [17], большая область – все значения, средняя – после исключения областей с повышенной скоростью подземного потока, малая – после откачки)

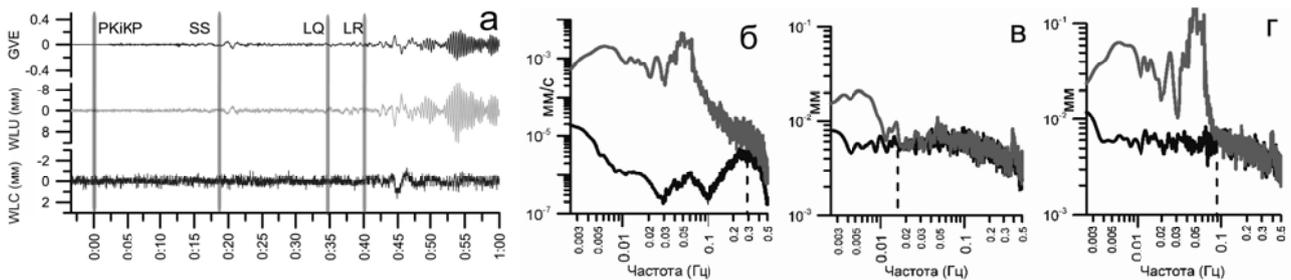


Рис. 5. Сейсмограмма Чилийского землетрясения 16.09.2015  $M_s = 8.3$  и диаграммы изменения уровня воды (а), спектры скорости смещения грунта (б), уровня напорного (в) и безнапорного (г) водоносных горизонтов (а – сверху вниз: скорость смещения грунта, мм/с по горизонтальной компоненте (восточной) – GVE. Уровень безнапорного (WLC) и напорного (WLU) водоносных горизонтов. За начало отсчета по оси абсцисс принят момент прихода сейсмической волны на станцию МНVAR) (черная линия – шум, зарегистрированный в течение 3 часов до момента прихода РKiKP волны, серая линия – данные, зарегистрированные в течение 3 часов с момента прихода РKiKP волны)

На основе сравнительного анализа гидрогеологических откликов определен диапазон значений скорости смещения грунта, при которых зарегистрированы вариации уровня напорного и безнапорного водоносных горизонтов на прохождении сейсмических волн от катастрофических землетрясений в платформенных условиях. Установлено, что гидрогеологический отклик на поверхностные волны от землетрясений имеет пороговый характер, зависит от частоты и различается для напорного и безнапорного водоносных горизонтов (рис. 5в, г).

### Заключение

За период наблюдений с 2008 г. по 2017 г. накоплен определенный объем материала по исследованию вариаций уровня подземных вод, обусловленных изменением состояния массива под влиянием естественных факторов – земными приливами, прохождением сейсмических волн от удаленных землетрясений и связанных с техногенной помехой. В верхнем безнапорном водоносном горизонте наиболее отчетливо выражен гидрогеологический отклик на землетрясения и удаленные откачки. Вариации уровня нижележащего водоносного горизонта обусловлены земными приливами и катастрофическими землетрясениями.

Полученные результаты диагностики состояния карбонатного трещинно-порового коллектора подтверждают высокую эффективность прецизионного мониторинга и являются информативными

при проектировании и эксплуатации пластов в режиме реального времени. Амплитудно-частотные параметры гидрогеологических откликов безнапорного и напорного водоносных горизонтов на удаленные землетрясения превышают фоновые вариации уровней подземных вод и рекомендуется учитывать при строительстве объектов повышенного уровня ответственности в сложных инженерно-геологических условиях из-за возможной активизации природно-техногенных процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российской академии наук (проект № 0146 - 2015-0012).

### Список литературы

1. Адушкин В.В., Овчинников В.М., Санина И.А., Резниченко О.Ю. "Михнево": от сейсмостанции № 1 до современной геофизической обсерватории // Физика Земли. 2016. №1. С. 108–119.
2. Багмет А.Л., Багмет М.И., Барабанов В.Л., Гриневский А.О., Киссин И.Г., Малугин В.А., Рукавишников Т.А., Савин И.В. Исследование земноприливных колебаний уровня подземных вод на скважине "Обнинск" // Физика Земли. 1989. № 11. С. 84–95.
3. Волейшо В.О., Куликов Г.В., Круподерова О.Е. Геодинамический режим Камчатско-Курильского и Сахалинского сейсмоактивного региона по данным ГГД-мониторинга // Разведка и охрана недр. 2007. № 5. С. 20–24.
4. Горбунова Э.М., Беседина А.Н., Виноградов Е.А., Свинцов И.С. Оценка проницаемости трещинно-порового коллектора при эпизодическом техногенном воздействии // Динамические процессы в геосферах. Вып.8. Сб. научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2016. С. 42–51.
5. Кабыченко Н.В. Оценка фазового сдвига между приливной деформацией и вариациями уровня воды в скважине // Локальные и глобальные проявления воздействий на геосферы. Сб. науч. трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2008. С. 62–712.
6. Каплан А.Ю., Пащин А.Ю. Анализ результатов использования автоматизированных средств измерений при ведении мониторинга подземных вод // Разведка и охрана недр. 2007. № 7. С. 35–38.
7. Копылова Г.Н., Болдина С.В., Смирнов А.А., Чубарова Е.Г. Опыт регистрации вариаций уровня и физико-химических параметров подземных вод в пьезометрических скважинах, вызванных сильными землетрясениями (на примере Камчатки) // Сейсмические приборы. 2016. Т. 52. № 4. С. 61–74.
8. Копылова Г.Н., Куликов Г.В., Тимофеев В.М. Оценка состояния и перспективы развития гидрогеодеформационного мониторинга сейсмоактивных регионов России // Разведка и охрана недр. 2007. № 11. С. 75–83.
9. Куликов Г.В., Рыжов А.А. Прогноз землетрясений по данным мониторинга гидрогеодеформационного поля // Геодинамика и тектонофизика. 2011. Т. 2. Вып. 2. С. 194–207.
10. Лыгин А.М., Стажило-Алексеев С.К., Кадурин И.Н., Сибгатулин В.Г., Кабанов А.А. Мониторинг напряженно-деформированного состояния геологической среды в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах в 2007–2014 гг. Красноярск, 2015. 114 с.
11. Любушин А.А. (мл.), Малугин В.А. Казанцева О.С. Мониторинг приливных вариаций уровня подземных вод в группе водоносных горизонтов // Физика Земли. 1997. № 4. С. 52–64.
12. Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке. К 50-летию детальных сейсмологических наблюдений / Ред. Е.И. Гордеев, В.Н. Чебров. Петропавловск-Камчатский: Холд. Комп. «Новая книга», 2012. 480 с.
13. Besedina A., Vinogradov E., Gorbunova E., Svintsov I. Chilen Earthquakes^ Aquifer Responses at the Russian Platform // Pure and Applied Geophysics. 2016. Vol. 173. № 2. PP. 321–730. ISSN 0033-4553.
14. Burbey T.J., Zhang M. Assessing hydrofracing success from Earth tide and barometric response // Ground water. 2010. V. 48. № 6. P. 825–835.
15. Doan M.L., Brodsky E.E., Priour R., Signer C. Tydal analysis of borehole pressure - A tutorial. Schlumberger Research report, 2006. 61 p.
16. Elkhoury J.E., Brodsky E.E., Agnew D.C. Seismic waves increase permeability // Letters. 2006. V. 441. P. 1135–1138. (Supplementary Material for Nature manuscript 2005-11-13339 Seismic Waves Increase Permeability). doi: 10.1038/nature04798
17. Hsieh P.A., Bredehoeft J.D., Farr J.M. Determination of aquifer transmissivity from Earth tide analysis // Water Resources Research. 1987. V. 23. № 10. P. 1824–1832.
18. Kitagawa Y., Itaba S., Matsumoto N., Koizumi N. Frequency characteristics of the response of water pressure in a closed well to volumetric strain in the high frequency domain // Journal of Geophysical research. 2011. V. 116. B08301. P. 1–12. doi: 10.1029/2010JB007794
19. Liu C., Huang M.-W., Tsai Y.-B. Water Level Fluctuations Induced by Ground Motions of Local and Teleseismic Earthquakes at Two Wells in Hualien, Eastern Taiwan // TAO. 2006. V. 17. № 2. P. 371–389.
20. Vinogradov E., Gorbunova E., Besedina A., Kabychenko N. Earth Tide Analysis Specifics in Case of Unstable Aquifer Regime // Pure and Applied Geophysics. 2017. Vol. 174. № 6. ISSN 0033-4553. DOI: 10.1007/s00024-017-1585-z
21. Wang C.-Y., Manga M. Earthquakes and Water. Berlin: Springer, 2010. 225 p.

## **ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОСТОЯННОДЕЙСТВУЮЩИХ СТАНЦИЙ ШСДКМ ПРИ АЭРОГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА ПРОТЯЖЕННЫХ ПРОФИЛЯХ ПО МАРШРУТУ ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ – АРХАНГЕЛЬСК**

*Конешов В.Н.<sup>1</sup>, Погорелов В.В.<sup>1</sup>, Спасивцев А.А.<sup>2</sup>, Ермошенко С.А.<sup>3</sup>, Родченко А.О.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, vvp@ifz.ru*

<sup>2</sup>*Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных, г. Москва*

<sup>3</sup>*ОАО «Российские космические системы», г. Москва*

### **Введение**

Коллективом ИФЗ РАН с 2013 г. проводятся аэрогравиметрические исследования на протяженных профилях [2]. Полученные результаты показали, что подобные исследования могут с успехом использоваться для решения целого ряда задач, среди которых:

- экспериментальная проверка современных глобальных моделей гравитационного поля Земли [3, 5];

- проверка работоспособности новых технологий спутникового позиционирования [1, 10];

- оценка возможного удаления от временных наземных базовых станций (БС) ГНСС, необходимых для коррекции положения самолета-лаборатории при проведении измерений [6, 8].

Исследования 2013–2014 гг. по последнему указанному направлению изложены в работе [4].

Развертывание временной сети обслуживаемых (как правило) БС требует наличия стационаров, обеспеченных электричеством и сотрудниками, обладающими квалификацией, необходимой для проведения необходимых наблюдений, в течение всего периода проведения работ (порядка нескольких месяцев), а также имеет ряд других особенностей [8, 9].

Анализ показаний временных БС с частотой опроса 10 Гц, размещенных в Петропавловске-Камчатском и на сейсмостанции «Карымшина» и расположенных на расстоянии ~70 км друг от друга, продемонстрировал, что различия в определении высот (вертикальных перемещений) с их использованием имеет амплитуды, сравнимые с аналогичными параметрами, вычисленными для каждой из этих станций и постояннодействующей станции широкозонной Российской системы дифференциальной коррекции и мониторинга (ШСДКМ), расположенной в г. Петропавловск-Камчатский и имеющей частоту опроса в 1 Гц. Таким образом, использование постоянных ГНСС-станций ШСДКМ [11, 13, 14] с указанной частотой опроса может быть продуктивно для решения некоторых навигационных задач, возникающих при аэрогравиметрических исследованиях. Очевидно, это открывает новые возможности для привлечения дополнительной информации, которая может быть задействована как при проведении контроля данных локальной сети временных базовых станций, так и для повышения надежности позиционирования измерений на протяженных маршрутах (в отсутствие временных базовых станций).

В 2015–2017 гг. нами был выполнен участок трансконтинентального профиля Архангельск – Мурманск (2016 г.), проведены повторные аэрогравиметрические наблюдения по маршруту Архангельск – Петропавловск-Камчатский – Архангельск и продолжена серия экспериментов по исследованию возможности обеспечения дифференциального режима аэрогравиметрических работ (на этапе пост-обработки измерений) с использованием удаленных временных и постояннодействующих базовых станций ГНСС, расположенных в арктической зоне и средних широтах.

### **Оценка возможности использования данных сети постояннодействующих наземных станций широкозонной Системы дифференциальной коррекции и мониторинга (ШСДКМ)**

Ввиду затруднительности обеспечения равноудаленного расположения временных БС на значительных площадях, где может эффективно использоваться аэрогравиметрическая съемка, для изучения возможности повышения точности позиционирования положения самолета-лаборатории с использованием «внешней» информации на протяженных профилях были проведены исследования применимости данных со стационарных постояннодействующих станций наблюдения, осуществляющих регистрацию с частотой 1 Гц.

Благодаря содействию Федерального космического агентства (РОСКОСМОС) в период выполнения трансконтинентальных перелетов 2015–2017 гг. были собраны данные с ряда станций широкозонной Российской системы дифференциальной коррекции и мониторинга (ШСДКМ), расположенных вблизи маршрутов трансконтинентального профиля, а также расположенных севернее него. Схема перелета и привлекавшиеся станции ШСДКМ показаны на схеме, рис. 1.



Рис. 1. Схематическое изображение трансконтинентального перелета, вдоль которого выполнен аэрогравиметрический профиль с указанием использовавшихся базовых станций.

Аэропорты: 1 – Мурманск, 2 – Архангельск, 3 – Сургут, 4 – Мирный, 5 – Петропавловск-Камчатский. Станции ШСДКМ: 5 – Петропавловск-Камчатский, 6 – Ноябрьск, 7 – Норильск, 8 – Билибино (2016 г.), 9 – Якутск, 10 – Магадан. Временные базовые станции размещались в Архангельске, Петропавловске-Камчатском (2015 и 2016 гг.) и Москве (2016 и 2017 гг., при перелетах на запад)

Это позволило проанализировать эффективность использования разнесенных БС на выполненном трансконтинентальном профиле, а также получить материал для оценки коррекции по среднеширотным станциям и станциям, расположенным в арктической зоне.

Для иллюстрации на рис. 2 приведены разности в определении высот самолета-лаборатории (частота опроса ГНСС 10 Гц), вычисленных с использованием временной базовой станции в г. Петропавловск-Камчатский (частота опроса ГНСС 10 Гц) и по данным постоянных станций

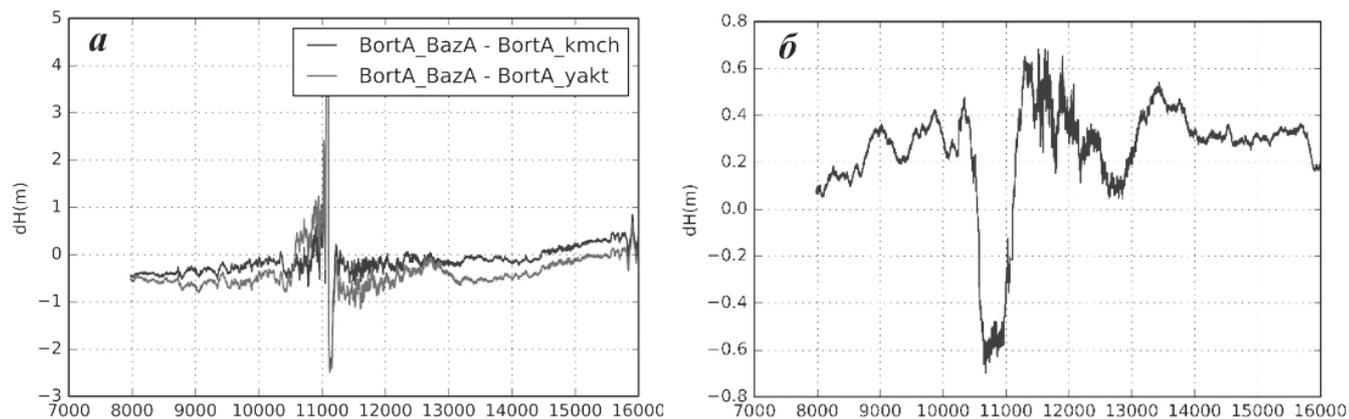


Рис. 2. Сравнение определения высоты самолета-лаборатории (BortA) на участке перелета Петропавловск-Камчатский – Мирный (Якутия) с использованием временной базовой станции на Камчатке (BazA) и постояннодействующих станций ШСДКМ в Петропавловске-Камчатском (kmch) и Якутске (yakt): *a* – разности определений высоты с использованием временной базовой станции и станций СДКМ; *б* – разница разностей рис. 2а. По горизонтальной оси – время регистрации, в секундах, по вертикальной оси – приращение вертикальных компонент, в метрах, определенных с использованием временной БС и постояннодействующей станции ШСДКМ

ШСДКМ в Петропавловске-Камчатском и Якутске (обе – частота опроса 1 Гц). Интересно, что шумовая составляющая присутствует на обоих графиках рис. 2а и имеет одинаковый характер, а на участках вне интервала 10 500...11 500 с расхождение в определении высоты составило не более 50 см.

### **Заключение**

В ходе проведения аэрогравиметрических исследований на протяженных профилях при трансконтинентальных перелетах по маршруту Архангельск – Петропавловск-Камчатский – Архангельск, выполненных коллективом ИФЗ РАН в 2016–2017 гг., показано, что данные постояннодействующих базовых станций широкозонной Системы дифференциальной коррекции и мониторинга (ШСДКМ) могут успешно привлекаться в качестве дополнительной информации для анализа корректности процедур коррекции навигационных решений, вырабатываемых ГНСС-приемниками самолета-лаборатории, при использовании временных базовых станций ГНСС, традиционно применяемых для обеспечения дифференциального режима и расположенных на удалении от районов съемки, а также для изучения возможности применения метода абсолютных координатных определений – Precise Point Positioning (PPP) [12] и уточнения его разрешающей способности, в том числе – с учетом особенностей применения этого метода при аэрогравиметрических работах.

### **Благодарности**

Авторы благодарны руководству Федерального космического агентства (РОСКОСМОС) и сотрудникам ОАО «Российские космические системы» за содействие в использовании информации со станций широкозонной Системы дифференциальной коррекции и мониторинга (ШСДКМ), а также дирекции и сотрудникам Камчатского филиала Единой геофизической службы РАН (КФ ФИЦ ЕГС РАН) за помощь в организации и проведении наблюдений на временных базовых станциях на Камчатке.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН 1.32П «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации», Проект «Аэрогравиметрическая съемка в высоких широтах Арктики».

### **Список литературы**

1. Дробышев М.Н., Спесивцев А.А., Конешов В.Н., Погорелов В.В. Современное развитие и перспективы повышения точности спутникового позиционирования при решении задач аэрогравиметрии / Тез. докл. Четырнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, 14–29 ноября 2016 г. М.: Изд-во ИКИ РАН, 2016. С. 20. ISBN 978-5-00015-007-8 [Электронный ресурс]. URL: [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5970](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5970)
2. Конешов В.Н., Абрамов Д.В., Дробышев Н.В., Кузнецова Н.В., Макушин А.В., Погорелов В.В., Соловьев В.Н. Изучение гравитационного поля Земли в ходе экспедиционных работ ИФЗ РАН на Камчатке в 2014 году // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 2 (24). С. 204–210.
3. Конешов В.Н., Непоклонов В.Б., Соловьев В.Н. Сравнение глобальных моделей аномалий гравитационного поля Земли с аэрогравиметрическими измерениями при трансконтинентальном перелете // Гироскопия и навигация. 2014. № 2(85). С. 86–94.
4. Конешов В.Н., Погорелов В.В., Соловьев В.Н. Организация наземного сопровождения аэрогравиметрических исследований ИФЗ РАН над акваторией Тихого океана вблизи восточного побережья Камчатки // Труды Пятой научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России» III школы-семинара «Гординские чтения». Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2015. С. 51–55.
5. Конешов В.Н., Соловьев В.Н., Погорелов В.В., Непоклонов В.Б., Афанасьева Л.В., Дробышев М.Н. Об использовании аэрогравиметрических измерений для оценки региональных погрешностей аномалий силы тяжести, определенных по современным моделям гравитационного поля Земли // Геофизические исследования. 2016. Т. 17. № 3. С. 5–16. DOI: 10.21455/gr2016.3-1
6. Конешов В.Н., Передерин Ф.В., Погорелов В.В., Спесивцев А.А., Соловьев В.Н., Холодков К.И. О возможности использования необслуживаемых и постояннодействующих наземных ГНСС-станций при выполнении аэрогравиметрических наблюдений на протяженных профилях / Тез. докл. Четырнадцатая всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, 14–29 ноября 2016 г. М.: Изд-во ИКИ РАН, 2016. С. 314 ISBN 978-5-00015-007-8 [Электронный ресурс]. URL: [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5969](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=133&thesis=5969)
7. Конешов В.Н., Клевцов В.В., Соловьев В.Н. Совершенствование аэрогравиметрического комплекса GT-2А для выполнения аэрогравиметрических съемок в Арктике // Физика Земли. 2016. № 3. С. 123–130. DOI: 10.7868/S0002333716030066

8. Погорелов В.В., Соловьев В.Н., Конешов В.Н. «Экспериментальное исследование допустимого удаления самолета-лаборатории от базовой станции при аэрогравиметрической съемке // Материалы Конференции. III школа-семинар «Гординские чтения». М.: ИФЗ РАН, 2015. С. 130–135.

9. Погорелов В.В., Конешов В.Н., Непоклонов В.Б., Соловьев В.Н., Спесивцев А.А. О возможности уточнения модели гравитационного поля Земли с использованием аэрогравиметрических измерений на протяженных профилях // Тез. докл. Тринадцатая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва, 16–20 ноября 2015 г. М.: ИКИ РАН, 2015. С. 57. [Электронный ресурс]. URL: [http://smiswww.iki.rssi.ru/d33\\_conf/thesisshow.aspx?page=109&thesis=5458](http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=109&thesis=5458)

10. Смоллер Ю.Л., Юрист С.Ш., Голован А.А., Якушик Л.Ю. Алгоритмические аспекты применения многоантенных GPS-приемников в аэрогравиметре GT-2A для съемок в полярных районах // Гироскопия и навигация. 2015. № 3 (90). С. 61–71.

11. Система дифференциальной коррекции и мониторинга. Интерфейсный контрольный документ «Радиосигналы и состав цифровой информации функционального дополнения системы ГЛОНАСС системы дифференциальной коррекции и мониторинга» (редакция 1). ОАО «Российские космические системы», 2012. 132 с. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.sdcm.ru/smglo/ICD\\_SDCM.pdf](http://www.sdcm.ru/smglo/ICD_SDCM.pdf)

12. Gao Y., Wojciechowski A., Chen K. Airborne Kinematic Positioning Using Precise Point Positioning Methodology // Geomatica. 2005. Vol. 59. № 1. С. 275–282.

13. Официальный сайт государственной корпорации по космической деятельности РОСКОСМОС. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.roscosmos.ru/22054/>

14. Российская система дифференциальной коррекции и мониторинга. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sdcm.ru/index.html>

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СФ ФИЦ ЕГС РАН

*Костылев Д.В.<sup>1,2</sup>, Левин Ю.Н.<sup>1</sup>, Семенова Е.П.<sup>1</sup>, Богинская Н.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск*

<sup>2</sup>*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск*

### Введение

Инструментальные сейсмологические наблюдения проводятся на Сахалине с начала XX века, когда после Русско-Японской войны 1904–1905 гг. южная половина острова стала частью Японии. С 1909 по 1934 гг. при метеорологических обсерваториях Японского метеорологического агентства в населенных пунктах Одомари (ныне г. Корсаков), Поронайск, Долинск, Углегорск были открыты сейсмические станции. Практически все они были разрушены во время военных действий 1945 года, тогда же были утрачены архивы сейсмограмм за 1909–1945 гг. Развитие отечественной сети сейсмических наблюдений началось с открытия 25 октября 1947 г. сейсмической станции в г. Южно-Сахалинск. [5]. В 50–60-х годах прошлого столетия были открыты сейсмические станции на островах Курильской гряды и на Сахалине. В 70–80-х годах появилась сеть станций в Приморье и Приамурье. Рост количества станций происходил до 90-х годов, после чего дальнейшее развитие сети началось уже после перехода на цифровые методы регистрации. При этом произошли значительные изменения в структуре сейсмических станций. Если при аналоговой регистрации единственным «типом» станции, была станция с обработкой данных на месте, то с переходом на цифровую регистрацию с передачей данных в реальном времени в Региональный Информационно-Обрабатывающий Центр (РИОЦ), все стационарные станции можно разделить на три типа: станции с обработкой данных на месте, станции с персоналом, контролирующим работу оборудования и выгрузку данных на архивные носители и полностью автоматические станции, работающие без обслуживающего персонала. Динамика изменения количества и типа станций СФ ФИЦ ЕГС РАН представлена на рис. 1.

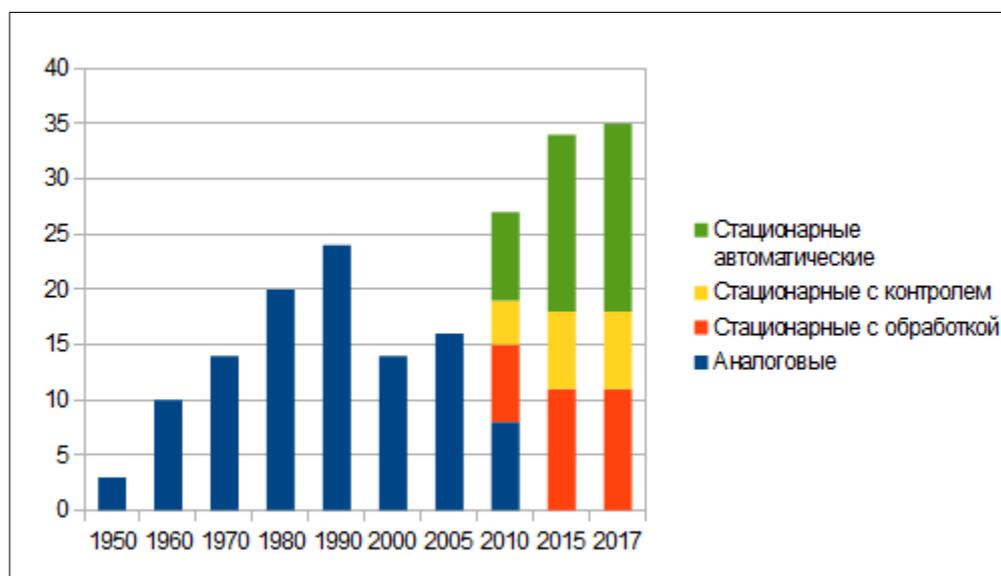


Рис. 1. Динамика изменения количества стационарных сейсмических станций в СФ ФИЦ ЕГС РАН

### Сеть станций сейсмологических наблюдений СФ ФИЦ ЕГС РАН

На 1 сентября 2017 г. сеть станций сейсмологических наблюдений в зоне ответственности СФ ФИЦ ЕГС РАН состоит из 45 пунктов инструментальных непрерывных наблюдений, из них 35 стационарных и 10 автономных полевых (локальная сеть на юге Сахалина).

На 11 опорных стационарных наблюдательных пунктах есть обслуживающий персонал, который на месте обрабатывает получаемые данные и выполняет текущие работы по обслуживанию эксплуатируемого оборудования. По результатам обработки регистрируемых землетрясений

персоналом станций составляются ежеквартальные классификационные таблицы зарегистрированных землетрясений, оформляется отчетная документация о производственной и хозяйственной деятельности сейсмической станции. Обработка сейсмологических записей на станциях проводится с использованием программы DIMAS (Display, Interactive Manipulation and Analysis of Seismograms), разработанной в КФ ФИЦ ЕГС РАН Д.В. Дрозниным [2].

Ещё 7 стационарных наблюдательных пунктов имеют обслуживающий персонал, выполняющий работы по контролю и поддержанию работоспособности оборудования, обслуживанию помещений наблюдательных пунктов, а также съем данных регистраторов и передачу их к месту обработки данных на носителях информации. Пункты наблюдений, работающие в таком режиме, располагаются в материковой части зоны ответственности.

17 стационарных пунктов наблюдения работают без обслуживающего персонала, в автоматическом режиме, с передачей регистрируемых данных в реальном времени на серверы сбора данных. Для обеспечения работоспособности пунктов данного типа, все они расположены в транспортной доступности на острове Сахалин или на Курильских островах вблизи опорных стационарных станций.

Расположение стационарных наблюдательных пунктов показано на рис. 2.

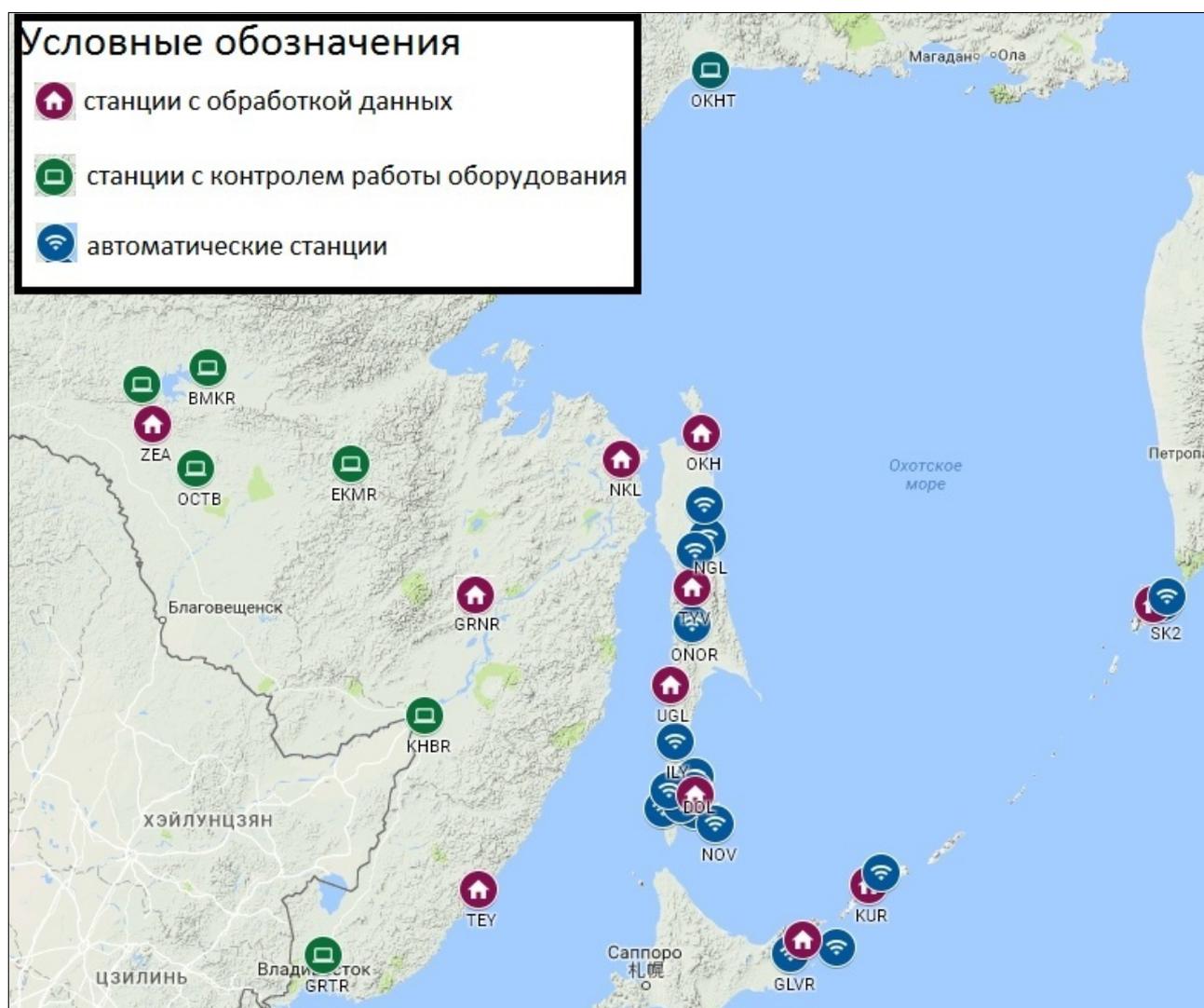


Рис. 2. Расположение стационарных наблюдательных пунктов СФ ФИЦ ЕГС РАН

Все пункты оборудованы цифровым оборудованием. Общее число сейсмометров установленных на стационарных наблюдательных пунктах на 1 сентября 2017 года – 61. Из них 25 – акселерометров, 23 – широкополосных и 13 короткопериодных велосиметра.

В настоящий момент сеть станций СФ ФИЦ ЕГС РАН включает в себя хорошо зарекомендовавшее себя оборудование (табл. 1) известных фирм: Guralp Systems Limited (UK),

G. STRECKEISEN, AG (Switzerland), GeoSIG Ltd (Switzerland), Hakusan Corporation (Japan), Corporate Headquarters Kinemetrics Inc. (USA).

Таблица 1. Краткие характеристики оборудования станций регистрации сети Сахалинского филиала ФИЦ ЕГС РАН

Тип сейсмометра	Тип регистратора	Частотный диапазон, (Гц)	Число приборов
Guralp CMG-5T(TDE)	Geosig GSR-24 / Guralp CMGDM	1–100	25
Sercel L4C-3D	Datamark LS-7000XT	1.0–20	9
Streckeisen STS-2	Datamark LS-7000XT	0.00833–50	9
Guralp CMG-3	Geosig GSR-24 / Guralp CMGDM	0.0083–50	5
Guralp CMG-6TD	Guralp CMGCD	0.033–100	8
Streckeisen STS-1	Quanterra Q330HR	0.0028–5	1
Geotech GS-13	Quanterra Q330HR	1.0–20	1
СМ-3КВ	UGRA	0.5–40	1
Lennartz LE-3Dlite	Дельта-03М	1.0–20	2

Кроме стационарной сейсмической сети в СФ ФИЦ ЕГС РАН продолжались непрерывные инструментальные наблюдения в южной части о. Сахалин локальной сетью полевых станций, состоящих из десяти автономных сейсмических станций типа DAT-4 (CloverTech, Токио, Япония) в комплекте с сейсмометрами LE-3Dlite (производитель Lennartz electronic, Германия). Полевые наблюдения на юге Сахалина проводятся с целью выявления слабой сейсмичности наиболее густонаселенной части острова [4].

#### **Сотрудничество по обмену сейсмологическими данными в зоне ответственности**

Кроме указанного выше оборудования, собственно СФ ФИЦ ЕГС РАН, при сводной обработке сейсмологических данных или при решении задач Службы срочных донесений на сейсмостанции «Южно-Сахалинск» активно привлекаются доступные в реальном времени данные станций ДВО РАН и ФИЦ ЕГС РАН, расположенные на Дальнем Востоке (16 широкополосных станций), и данные семи станций университета Хоккайдо (Япония), расположенных на о. Хоккайдо. Дополнительно для задач оперативной обработки и повышения надежности оценок параметров землетрясений организована буферизация потоков данных со станций сети GSN-IRIS.

Специалисты СФ ФИЦ ЕГС РАН принимают участие в совместных проектах с другими институтами региона по исследованию сейсмичности региона. В частности, в июне 2017 года состоялась очередная экспедиция на о. Матуа, в которой приняли участие сотрудники ИМГиГ ДВО РАН. В рамках экспедиции проводилось исследование сейсмического режима с целью выявления сейсмической активности, исследование спектрального анализа сейсмического шума в различные периоды времени, анализ регистрационных возможностей сети полевых станций на острове Матуа. Аппаратная часть сети была представлена четырьмя цифровыми сейсмическими станциями, каждая из которых укомплектована 3-х компонентным короткопериодным сейсмоприемником СПВ-3КВ и цифровым регистратором «Дельта 03» [1, 3].

Данные, полученные в процессе обработки по четырем станциям, установленным на острове Матуа, не позволили получить точные координаты сейсмических событий. Для уточнения эпицентров и глубин землетрясений к работе были дополнительно привлечены станции СФ ФИЦ ЕГС РАН, установленные на о. Парамушир и о. Итуруп, а также использовались волновые формы сети японских станций, расположенных на о. Хоккайдо. За период с 11 июня по 29 июня 2017 г. в зоне мониторинга идентифицировано 64 события с магнитудой  $M_w \geq 2.7$ . На рис. 3 приведена сводная карта эпицентров землетрясений, произошедших за отчетный период, построенная по уточненным данным. Как видно, данный период времени отличается для исследуемого региона весьма высокой сейсмической активностью, максимальная магнитуда составила  $M = 6.0$ . Из карт эпицентров видно много мелких землетрясений, параметры которых удалось определить благодаря установке сейсмических станций на острове Матуа.

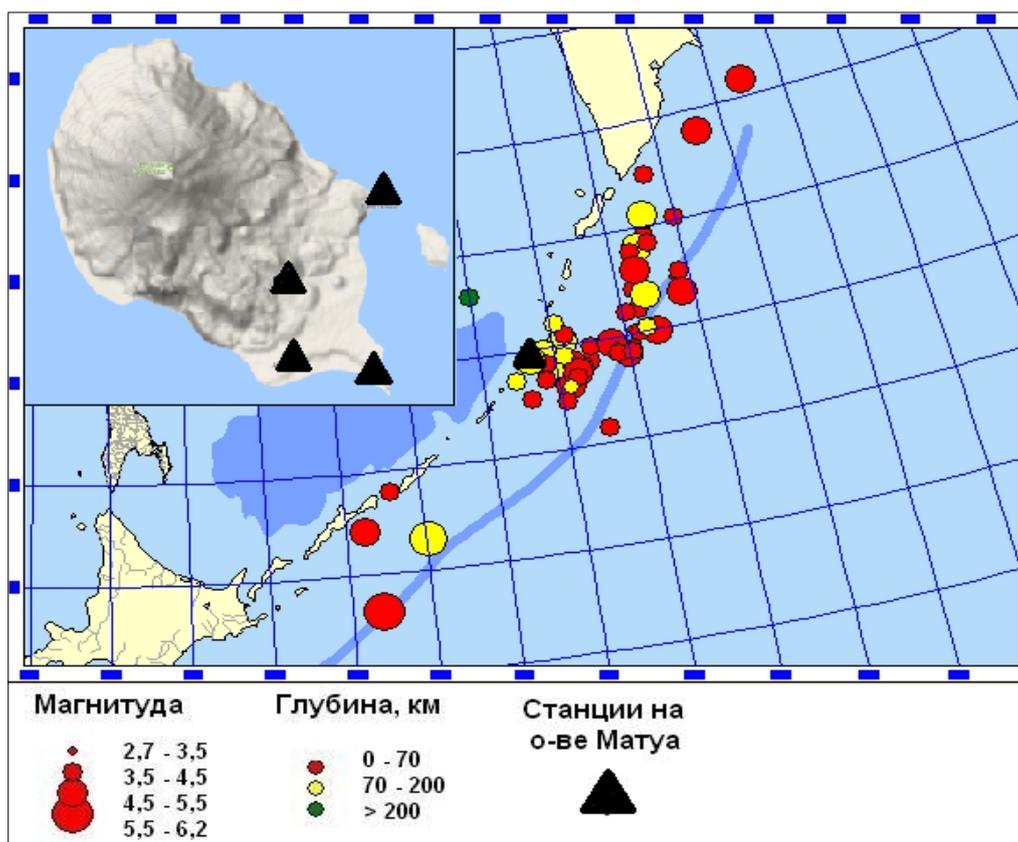


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений зарегистрированных сетью полевых станций о-ва Матуа

### Выводы

Опыт эксплуатации сети на современном этапе показывает, что сохранение существующих стационарных опорных станций с одновременным развертыванием автоматических Пунктов Инструментальных Наблюдений, а также привлечение данных сейсмических сетей прочих организаций региона позволяет уверенно регистрировать без пропуска события с магнитудой от 4 во всей зоне ответственности.

### Список литературы

1. Гаврилов А.В., Коновалов А.В., Никифоров С.П. Результаты полевых и стационарных испытаний регистратора сейсмических сигналов «Дельта 03» // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 4. С. 30–39.
2. Дроздин Д.В., Дроздина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 3. С. 22–34.
3. Марченков А.Ю., Мишин А.В., Пастухов В.В., Семейкин Н.П., Трушков В.Н. Малогабаритный сейсмоприемник СПВ-3К // Приборы и системы разведочной геофизики. 2013. Т. 43. № 1 (43). С. 35–38.
4. Михайлов В.И., Семенова Е.П. Система полевых наблюдений на юге острова Сахалин // В сборнике: Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Третьей научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 9–15 октября 2011 г. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 381–384.
5. Тараканов Р.З., Тихонов И.Н. Сахалинская сейсмология: развитие и некоторые результаты // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2011. № 6 (160). С. 34–42.

## РАЗВИТИЕ ИНТЕРФЕЙСА ДОСТУПА К СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ЕИССД

*Матвеевко Е.А., Чеброва А.Ю., Иванов В.Ю., Иванова Е.И., Митюшкина С.В., Раевская А.А., Ромашева Е.И., Токарев А.В., Чемарев А.С.*

*Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, van@emsd.ru*

### **Введение**

В 2013 году начала работу Единая информационная система сейсмологических данных КФ ФИЦ ЕГС РАН (ЕИССД), которая обеспечивает обработку, контроль, хранение и доступ к сейсмологической информации в едином информационном пространстве [4]. Для обеспечения широкого доступа к данным ЕИССД в 2013 году началось развитие Web-интерфейса – сайт ЕИССД. На старте работы сайта первым был реализован доступ к каталогу камчатских землетрясений, обработанных в Камчатском филиале, и макросейсмическому каталогу [5]. ЕИССД постоянно развивается [7], объем и разнообразие информации непрерывно растут, что требует постоянного расширения возможностей Web-интерфейса для обеспечения удобного доступа к этой информации. На текущий момент на сайте функционируют пять разделов: Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов (1962 г. – наст. вр.), Каталог сильных землетрясений, Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов, Макросейсмический каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов, Информация по сети сейсмических станций.

Цель работы ознакомить исследователей с развивающимся информационным ресурсом доступа к ЕИССД. Впервые о нем было рассказано в 2014 году [6]. Ниже будут представлены наиболее важные изменения за последние три года.

### **Программное и аппаратное обеспечение Web-интерфейса**

По состоянию на сентябрь 2017 года функционируют три сервера с Web-интерфейсом ЕИССД: "главный" сервер – к нему обеспечен доступ из глобальной сети ([www.emsd.ru/sdis](http://www.emsd.ru/sdis)), и два тестовых сервера с доступом только из локальной сети Камчатского филиала Геофизической службы. Главный и один из "тестовых" работают в операционной среде Microsoft Windows на базе HTTP-сервера Apache. В 2017 году в рамках работы над повышением стабильности функционирования сервера и безопасности данных настроен и запущен тестовый HTTP-сервер Apache в операционной среде Linux. После тестового периода "главный" Web-интерфейс будет перенесен на площадку с операционной средой Linux. Тестовые сервера используются разработчиками для проверки новых функций сайта.

В 2016 году на сайте реализована *автоматическая регистрация пользователей*, с встроенной защитой от спама. Вся предоставляемая через Web-интерфейс информация ограничивается уровнем доступа пользователя [8]. В настоящее время базовый доступ разрешает использование двух разделов: Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов и Каталог сильных землетрясений. Выборки землетрясений в разделах органичны минимальным энергетическим классом ( $K_S \geq 8.5$ ) или магнитудой ( $M_S \geq 5.5$ ). В будущем базовый объем доступных данных планируется пересмотреть.

### **Разделы Web-интерфейса ЕИССД**

#### *Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов*

Данный раздел, представленный ранее в работах [5, 7], продолжил свое развитие. На странице раздела появилась ссылка, позволяющая получить актуальный комментарий о состоянии обработки текущих землетрясений (рис. 1). При поиске землетрясений появилась возможность ограничить выборку событий только зоной ответственности Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН. В форму вывода каталога добавлен "расширенный" формат, в котором реализован постраничный вывод информации, позволяющий ускорить вывод каталога при большом количестве землетрясений (рис. 2). В "расширенном" формате появились столбцы, содержащие цифровые идентификаторы землетрясения и решения в ЕИССД; столбцы с гиперссылками, которые позволяют получить доступ к стационарным данным в формате PKS и волновым формам землетрясения, зарегистрированного камчатской сейсмической сетью; а также увеличено количество знаков после запятой в значениях координат, глубины, магнитуды  $M_L$ .

Доступ к волновым формам землетрясений организован двумя способами. Первый осуществляется через загрузку файла содержащего ссылки на волновые формы и станционные данные, находящиеся на серверах КФ ФИЦ ЕГС РАН (файл формата \$LSO\$, который можно загрузить в программе DIMAS [1]. Второй способ – это загрузка волновой формы размером 15 минут в формате miniSEED, начало волновой формы это время в гипоцентре минус одна минута (гиперссылка WF).

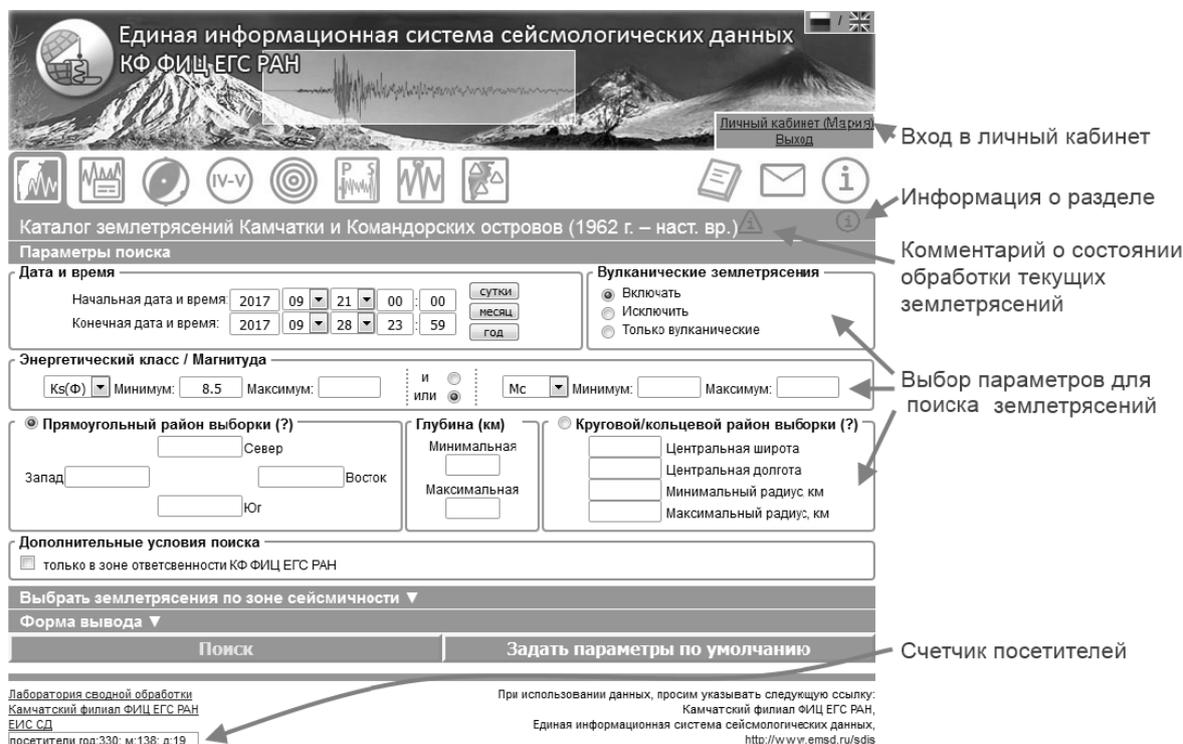


Рис. 1. Раздел сайта ЕИССД: Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов

Раздел был дополнен описанием его возможностей и особенностей (рис. 1, "Информация о разделе").

Следует отметить, что на тестовом HTTP-сервере Apache в операционной среде Linux в форме вывода "карта" появилась возможность увидеть гиперссылку, указывающую на наличие макросейсмической информации для выбранного землетрясения. По гиперссылке можно перейти на макросейсмическую карту "пункты-баллы" (рис. 5).

Event	Date	Time	Time error	Latitude	Longitude	Hyp error	Depth	Dep error	Ks	MI	Mc	Agency	Soft	Zone	Volcano	Hypid	Evid	PKS	WF	DIMAS
20170921_0705_AA	2017-09-21	07:05:33.996	1.5306	48.2103	157.3889	19.6118	30.944	26.793	9.5	4.00		KAM-W	Dimas	1.1		776734	652781	pkc	wave	DIMAS
20170921_1627_AA	2017-09-21	16:27:35.472	1.4077	55.1290	163.2092	16.4399	8.321	34.574	9.0	3.75		KAM-W	Dimas	2.1		776759	652802	pkc	wave	DIMAS
20170922_0201_AA	2017-09-22	02:01:51.572	1.3864	53.8557	169.3224	15.0684	61.385	44.051	9.7	4.10		KAM-W	Dimas	3.1		776808	652825	pkc	wave	DIMAS
20170922_0504_AA	2017-09-22	05:04:03.833	0.7977	54.5690	160.0956	12.7612	137.505	9.489	10.2	4.35	3.9	KAM-W	Dimas	2.2		776781	652809	pkc	wave	DIMAS
20170922_0741_AA	2017-09-22	07:41:23.516	1.2003	51.7977	159.0472	17.1372	39.989	16.775	9.2	3.85		KAM-W	Dimas	1.1		776801	652816	pkc	wave	DIMAS
20170922_1854_AA	2017-09-22	18:54:43.034	0.7754	54.8494	163.6075	9.3751	56.238	19.308	9.8	4.15		KAM-W	Dimas	2.1		776799	652817	pkc	wave	DIMAS
20170922_2323_AA	2017-09-22	23:23:57.774	1.4119	53.8495	168.7961	15.6538	41.357	39.655	10.2	4.35		KAM-W	Dimas	3.1		776860	652851	pkc	wave	DIMAS
20170923_0804_AA	2017-09-23	08:04:45.164	1.0482	52.7822	160.2186	13.3328	43.294	9.131	9.5	4.00		KAM-W	Dimas	2.1		776911	652868	pkc	wave	DIMAS
20170923_2335_AA	2017-09-23	23:35:43.304	1.1644	52.1844	170.5993	25.9040	59.605	66.231	9.3	3.90		KAM-W	Dimas	4.1		776956	652901	pkc	wave	DIMAS
20170924_0216_AA	2017-09-24	02:16:30.172	1.4038	50.8074	157.1005	40.1921	87.244	11.980	9.2	3.85		KAM-W	Dimas	1.2		776991	652902	pkc	wave	DIMAS

Рис. 2. Пример результата расширенной выборки в разделе Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов

### Каталог сильных землетрясений

Раздел позволяет получить информацию об основных параметрах всех землетрясений, обработанных Региональными информационно-обрабатывающими центрами (РИОЦ) «Петропавловск» и «Южно-Сахалинск». Пополнение каталогов ведется согласно регламентам работы вышеназванных РИОЦ. Выборка землетрясений осуществляется по основным параметрам: время в очаге, энергетический класс землетрясения, координаты эпицентра и глубина. Кроме основных параметров результат запроса содержит значения магнитуд, рассчитанных в РИОЦ (рис. 3). Для

пользователей вне сети КФ ГС выборка возможна только для землетрясений с магнитудой не менее 5.5.

Результаты поиска											
Найдено записей : 25											
Период с 2017-04-28 по 2017-09-28											
MS от 5.5											
Агентства: Камчатский РИОЦ											
Event	Agency	Date	Time	Time Error	Latitude	Longitude	Hypocenter Error	Depth	Depth Error	Ks	Magnitudes
20170428_2023_AA		2017-04-28	20:23:11.2	3.6	5.53	124.91	150.00	10	48		MS20 = 6.4, MS = 6.6 MPSP = 7.0, MPLP = 7.2
20170503_0447_AA		2017-05-03	04:47:15.4	4.1	39.46	71.82	88.30	47	17		MS20 = 5.9, MS = 6.1 MPSP = 6.1, MPLP = 5.5
20170505_0509_AA		2017-05-05	05:09:35.1	1.6	39.48	71.85	38.91	27	11		MS20 = 5.5, MS = 5.6 MPSP = 6.2, MPLP = 5.9
20170508_1531_AA		2017-05-08	15:31:32.7	0.5	51.60	-177.62	14.41	23	11		MS20 = 5.4, MS = 5.5 MPSP = 5.9, MPLP = 5.8
20170508_1547_AB		2017-05-08	15:47:24.2	10.2	51.07	-177.15	137.35		15		MS20 = 5.6, MS = 5.7 MPSP = 6.2
20170508_1700_AA		2017-05-08	17:00:47.9	7.0	51.65	-178.96	126.60	29	15		MS20 = 6.2, MS = 6.5 MPSP = 5.7, MPLP = 5.9
20170509_0154_AA		2017-05-09	01:54:18.4	8.3	24.59	126.50	127.07	44	32		MS20 = 5.7, MS = 5.7 MPSP = 6.2, MPLP = 5.9
20170509_1352_AA		2017-05-09	13:52:17.6	1.6	-14.71	167.40	149.53	234	63		MS20 = 5.7, MS = 6.1 MPSP = 7.0, MPLP = 6.2

Рис. 3. Пример результата выборки в разделе Каталог сильных землетрясений

### Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов

В 2017 году в ЕИССД был добавлен каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов (с 1970 по 2016 гг.) и заработал одноименный раздел на сайте ЕИССД. Механизмы очагов определены по знакам первых вступлений *P*-волн для землетрясений с  $K_S \geq 11.6$  по программе FA2011 (усовершенствованная программа FA2002 [2]). В разделе пользователи могут получить информацию о параметрах осей напряжения и нодальных плоскостей механизмов очагов. В настоящий момент представлены стереограммы механизмов лишь для ограниченного числа событий. Выборка осуществляется по основным параметрам землетрясения и по зонам сейсмичности [3], пример результата представлен на (рис. 4).

Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов												Отображать не более		35 записей		Применить							
Найдено 11 шт.																							
Период с 1971.01.01 00:00:00 по 1971.12.28 23:59:59																							
Ks ≥ 12																							
N	Date	Time	Latitude	Longitude	Depth	Ks	Mc	Agency	Evid	Strike	Dip	Slip	Strike	Dip	Slip	PL	AZ	PL	AZ	PL	AZ	Author	view
1	1971-01-29	21:57:51.2	50.1900	151.8610	710.000	15.2		KAM	39568	32.6	73.5	-114	270	28.9	-36.1	24.7	141	23	39.8	55.1	272.4	KAM	.
2	1971-03-14	12:15:16.4	53.7200	160.7400	31.000	12.9		KAM	39736	125.4	68.7	130.1	238.8	44.5	31.2	49.5	80	36.9	288.4	14.3	187.4	KAM	.
3	1971-03-18	03:13:14.5	49.0700	156.5600	32.000	12.5		KAM	39747	320	67.4	-155.5	220	67.4	-24.5	0	90	57.1	360	32.9	180	KAM	.
4	1971-04-20	13:41:02.8	52.7300	159.2200	78.000	12.0		KAM	39895	187.4	75.7	51.7	80	40.5	157.6	45.5	58.3	36.9	198.4	21.3	305.4	KAM	.
5	1971-08-01	02:06:09.9	50.2700	157.2200	20.000	13.1		KAM	30268	231.1	83.4	-46.8	328.1	43.6	-170.4	25.5	288.7	42.8	45	36.4	178.1	KAM	.
6	1971-10-27	10:42:32.1	53.3500	160.3200	43.000	12.1		KAM	30657	212	90	-83.7	302	6.3	-180	44.7	295.7	6.3	32	44.7	128.3	KAM	.
7	1971-11-24	19:35:29.4	52.7100	159.4700	110.000	15.9		KAM	30642	225	90	-106.3	135	16.3	0	42.8	330.6	16.3	225	42.8	119.4	KAM	
8	1971-12-15	08:29:55	55.9700	163.3500	20.000	15.4		KAM	30697	23.2	78.2	40	283.4	51	164.8	36.1	251.1	48.6	36.9	17.5	147.8	KAM	
9	1971-12-16	12:25:42.9	55.8500	163.8000	1.000	12.6		KAM	30774	72	87.2	162	162.9	72	2.9	14.6	26	71.8	243.4	10.6	118.8	KAM	.
10	1971-12-17	19:06:04.7	55.4500	163.8500	17.000	13.4		KAM	30848	341.5	84.8	169.7	72.5	79.8	5.3	10.9	296.7	78.5	135	3.5	27.3	KAM	.
11	1971-12-19	15:32:15.1	55.1700	163.2300	6.000	12.2		KAM	30915	246.8	75.7	29.9	148.8	61.1	163.7	31.1	111.1	57.1	270	9.7	15.3	KAM	.

Рис. 4. Пример результата выборки в разделе Каталог механизмов очагов землетрясений Камчатки и Командорских островов

### Макросейсмический каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов

В 2017 году на "тестовом" сервере в данном разделе в форме вывода "карта" реализована возможность просмотра карты "пункты-баллы" для выбранного землетрясения (рис. 5). Пользователям доступны события, имеющие максимальную интенсивность не менее 5 баллов. Выборка осуществляется по основным параметрам землетрясения и по зонам сейсмичности [3], пример результата представлен на (рис. 1).

### Информация по сети сейсмических станций

Подсистема ЕИССД для сбора, хранения и обработки информации о сейсмических станциях находится в самом начале своего развития. Автоматически в БД вносятся только код и координаты станций, которые были использованы при обработке землетрясений. Полуавтоматически – с помощью специальных приложений – в БД загружается информация о дате открытия/закрытия станции, названии, каналах и типах используемых приборов. Ведется работа по сбору истории развития сети станций КФ ФИЦ ЕГС РАН.

На сегодняшний день раздел "Информация по сети сейсмических станций" содержит три подраздела: "Станции", "Приборы" и "Спектры". По запросу в подразделе "Станции" предоставляется информация о названии, кодах, координатах и датах открытия/закрытия станций. В подразделе "Приборы" можно узнать тип прибора на станции, список каналов, тип аппаратуры и даты постановки/снятия прибора. Подраздел "Спектры" создан в рамках работы "Исследование вариаций

сейсмического шума на станциях" [6], на текущий момент содержит данные по работе станций с 2013 года по н.в. Выборки в подразделах осуществляются по времени, координатам, кодам – названиям станций, все результаты выводятся только на страницу браузера.

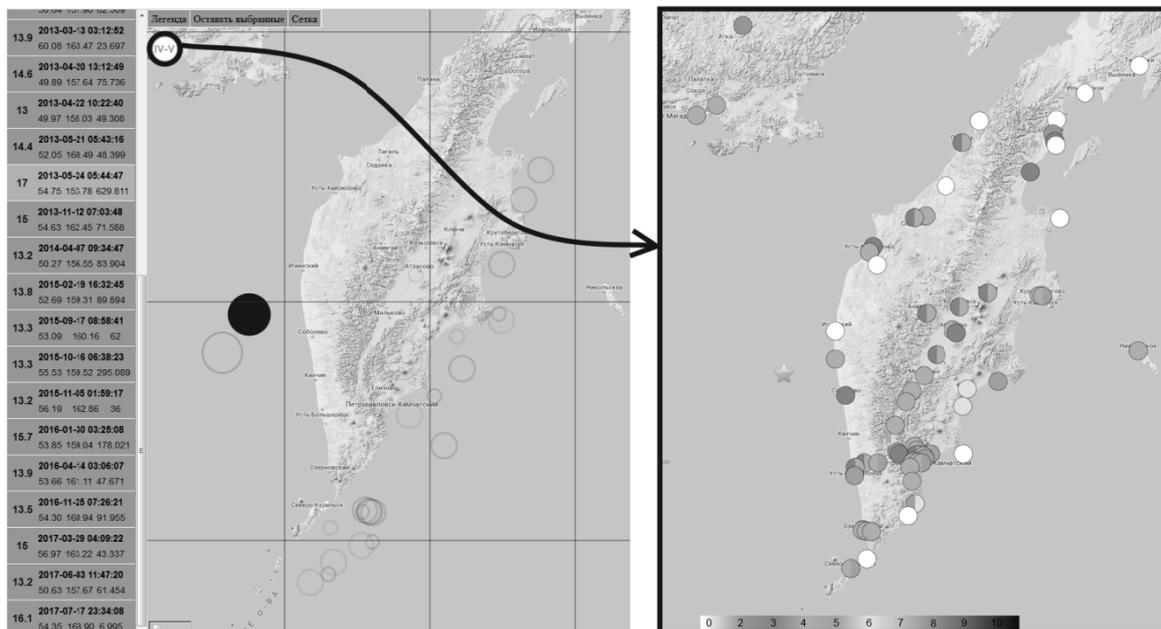


Рис. 5. Пример результата выборки в форме "карта" и переход к карте "пункты-баллы" в разделе Макросейсмический каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов.

### Статистика использования сайта ЕИССД исследователями

На сайте создан простой "IP счетчик" посетителей и параллельно с ним работает система сбора информации об использовании интернет ресурса Google-Analistic (analytics.google.com). Краткая статистика представлена в табл. 1.

Таблица 1. Статистика посещений сайта ЕИССД КФ ФИЦ ЕГС РАН

	число посетителей сайта ЕИССД (www.emsd.ru/sdis)		
	день (без учета субботы и воскресенья)	месяц (сентябрь 2017)	год (с 23 января 2017)*
"IP счетчик"	~10	144	218
Google-Analistic	~5	65	407

\*примечание: система сбора информации об использовании интернет ресурса Google-Analistic работает на сайте с 23 января 2017 года.

### Заключение

Сайт ЕИССД предлагается широкому кругу пользователей, как инструмент получения сейсмологической информации, накапливаемой в КФ ФИЦ ЕГС РАН. Расширен доступ к данным о камчатских землетрясениях, создан доступ к информации о сети сейсмических станций Камчатского филиала, внедрены новые способы отображения и выдачи сейсмологических данных. Для всестороннего развития сайта требуется не только повышение качества и увеличения количества информации в ЕИССД, очень важна и обратная связь с пользователями, которая поможет авторам развивать Web-интерфейс для усовершенствования способов получения и использования сейсмологической информации.

### Благодарности

Авторы благодарят В.А. Салтыкова, А.В. Ландера, Д.В. Чеброва, Е.О. Макарова, А.А. Скоркину, Ю.А. Кугаенко, П.В. Воропаева, К.А. Яблочкину, Е.Ю. Подлас, Н.А. Шевченко за ценные замечания и помощь по развитию Web-интерфейса ЕИССД.

### Список литературы

1. Дроздин Д.В., Дроздина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. М.: ИФЗ РАН, 2010. Т. 46. № 3. С. 22–34.

2. Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов (отчет за 01.01.2005–31.12.2005). Петропавловск-Камчатский: Фонды КФ ГС РАН, 2006. 478 с.
3. Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Чеброва А.Ю., Левина В.И., Ландер А.В., Чебров В.Н., Гусева Е.М. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии в 2006 году. Обнинск: ГС РАН, 2012. С. 215–225.
4. Токарев А.В., Бахтиярова Г.М., Чеброва А.Ю., Митюшкина С.В. Современный взгляд на устаревшую систему хранения сейсмологических данных КФ ГС РАН // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды III научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский, 9–15 октября 2011 г. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 401–405.
5. Токарев А.В., Чемарёв А.С., Матвеев Е.А., Чеброва А.Ю. Разработка информационной системы сейсмологических данных в Камчатском филиале Геофизической службы РАН // Современные информационные технологии для фундаментальных научных исследований в области наук о Земле. Материалы Международной конференции. Петропавловск-Камчатский, 8–13 сентября 2014 г. С. 129–142.
6. Чеброва А.Ю., Матвеев Е.А. Исследование вариаций сейсмического шума на станциях КФ ГС РАН в 2014 году // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды V научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский, 27 сентября – 3 октября 2015 г. Обнинск: ГС РАН, 2015. С. 111–116.
7. Чеброва А.Ю., Чебров В.Н., Матвеев Е.А., Токарев А.В., Чемарёв А.С. Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале Геофизической службы РАН по состоянию на середину 2015 года. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных / Материалы Десятой Международной сейсмологической школы Азербайджан, 14–18 сентября 2015, Обнинск. С. 356–360.
8. Чемарёв А.С., Иванов В.Ю., Матвеев Е.А., Токарев А.В., Чеброва А.Ю. Web-интерфейс доступа к данным Единой информационной системы сейсмологических данных КФ ГС РАН // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды V научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский, 27 сентября – 3 октября 2015 г. Обнинск: ГС РАН, 2015. С. 274–277.
9. Standard for the Exchange of Earthquake Data reference Manual SEED Format // International Federation of Digital Seismograph Networks Incorporated Research Institutions for Seismology United States Geological Survey. SEED Format Version 2.4, 2010.

## СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ VIIRS NIGHTFIRE

*Пойда А.А.<sup>1</sup>, Жижин М.Н.<sup>2,3,4</sup>, Трифонов Г.М.<sup>5</sup>, Мельников Д.В.<sup>6</sup>*

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Россия,  
Poyda\_AA@nrcki.ru*

<sup>2</sup>*Университет Колорадо, г. Болдер, США*

<sup>3</sup>*Национальный информационный центр по окружающей среде НОАА, г. Болдер, США*

<sup>4</sup>*Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия*

<sup>5</sup>*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия*

<sup>6</sup>*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия*

### **Введение**

Наблюдения за вулканической активностью со спутников ведутся с 1965 года. Преимущества спутникового мониторинга очевидны: широкий охват территории, включая труднодоступные районы и регулярность наблюдений.

Первой общедоступной глобальной системой ориентированной на постоянный мониторинг вулканической активности является MODVOLC [5]. Эта система опирается на данные спутников Terra и Aqua оснащённых мультиспектральным сенсором MODIS. Спутники были запущены в рамках программы NASA EOS в 1999 и 2002 годах соответственно. Система MODVOLC непрерывно работает более 15 лет [8] и считается классической базой сравнения подобных систем, хотя она и не лишена недостатков. Более новым примером подобных систем является система Mirova [2] также основанная на данных MODIS, однако расширяющая функциональность MODVOLC.

Инструмент MODIS является переходным звеном между долгосрочными научными программами DMSP и JPSS. С появлением спутников, оснащенных сенсорами нового поколения, появляются возможность существенно улучшить качество мониторинга. Так, например, сенсор VIIRS спутника Suomi NPP (первый спутник в программе JPSS) собирает данные в большем числе спектральных каналов и с большей чувствительностью, чем сенсор MODIS. Это дает возможность более точного построения дискретной спектрограммы наблюдаемого источника, что в свою очередь позволяет оценить его дополнительные характеристики, например температуру. Но чтобы использовать возможности, предоставляемые сенсорами нового поколения, потребовались новые алгоритмы.

Первым алгоритмом, успешно использующим преимущество сенсоров нового поколения, является алгоритм Nightfire. Алгоритм Nightfire осуществляет обнаружение и выявление свойств источников инфракрасного излучения субпиксельной величины посредством данных сенсора VIIRS [4], получаемых с ночной стороны земли. Первоначальной целью разработки алгоритма, являлся мониторинг объемов сжигания попутного природного газа в местах добычи и переработки углеводородов. Выгодным отличием Nightfire от предшествовавших решений является одновременное использование множества диапазонов инфракрасного спектра (от близкого до дальнего) совместно с данными видимого спектра, в то время как большинство алгоритмов используют один или два диапазона из средней и дальней частей инфракрасного спектра.

В рамках представленной работы авторы адаптировали алгоритм Nightfire для мониторинга вулканической активности. Исследования, проводимые на вулканах Камчатского региона в течение последних полутора лет, показали, что результаты детектирования имеют высокую чувствительность.

### **Способ детектирования температурных аномалий методом VIIRS Nightfire**

Для распознавания и описания “горячих точек” на ночной поверхности Земли алгоритм Nightfire использует весь инфракрасный диапазон электромагнитного излучения в пределах от 1 до 12 мкм. Для работы алгоритма используются данные, собираемые инфракрасным мультиспектральным радиометром VIIRS, обеспечивающим разрешение от 750 метров на пиксел в надире до 1500 метров на пиксел – по краям сканов. Было замечено [4], что в ночное время “горячие точки” видны в коротком ИК (SWIR) диапазоне с максимальным отношением сигнал-шум. Разница в соотношении сигнал-шум между SWIR (каналы M7, M8 и M10) и MWIR (каналы M12 и M13) от газовых факелов в Ираке хорошо видна на рис. 1. На дневных изображениях в этом диапазоне сигнал

с “горячих точек” перекрывается солнечным светом, и поэтому на SWIR изображениях со средним разрешением  $\sim 1$  км/пиксель они не распознаются. Этим объясняется то, что на протяжении 25 лет с момента публикации “классического” метода Dozier в 1981 [3], используемого с небольшими изменениями во всех алгоритмах ДЗЗ [7] за исключением Nightfire, источники горения на поверхности Земли и днем и ночью ищутся в среднем ИК (MWIR) диапазоне. Однако в среднем ИК “горячие точки” всегда наблюдаются на тепловом фоне с поверхности земли и облаков, что существенно влияет на чувствительность как по размеру, так и по температуре детектируемых источников горения.

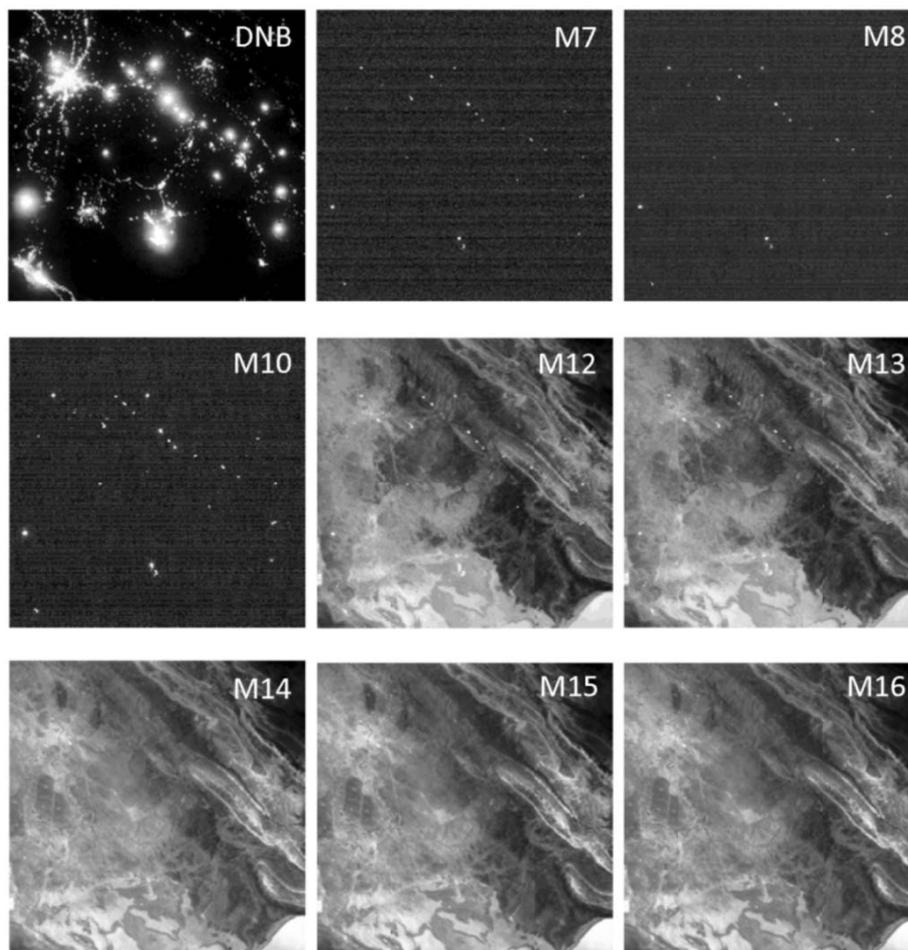


Рис. 1. Изображения в видимом и ИК каналах для ночных огней городов и газовых факелов в Ираке

Как видно на рис. 1, SWIR каналы M7, M8 и M10 ночью содержат лишь тепловой шум сенсора и точечные сигналы от горячих источников на поверхности Земли. Поэтому в SWIR диапазоне можно использовать пороговый детектор полезного сигнала с условием, что порог детектирования плавно повышается от левого к правому краю изображения, следуя за нарастанием уровня теплового шума [4]. Специальный алгоритм для детектирования сигнала в среднем ИК диапазоне должен выделять горячие точки на фоне температурных помех от более холодных рельефа, воды, облаков. Метод использует корреляцию значений в близких по длине волны каналах M12 и M13.

Используя нелинейную регрессию и приближая наблюдаемые значения в ИК спектре к спектру излучения абсолютно черного тела, можно определить не только положение, но и температуру, и размер субпиксельного источника теплового излучения.

Высокая чувствительность алгоритма Nightfire при детектировании ИК источников горения на ночной поверхности Земли обуславливает большой объем точечных данных по результатам детекций. За одну ночь (земные сутки) алгоритм детектирует порядка 20 тыс. событий, которые можно условно разделить на “горячие” ( $T > 1300K$ , электрические огни и газовые факелы) и “теплые” ( $400K < T < 1300K$ , пожары, вулканы и высокотемпературные производства, напр. плавильные или цементные печи).

Агрегация наблюдений из базы данных ИК источников по пространству и по времени позволяет уточнить координаты источника с точностью до 50 м. Агрегация позволяет делать выборку около вулканов для оценки статистики или регрессии. На рис. 2 представлены результаты детектирования вулканической активности в районе вулканов: Шивелуч, Толбачик, Ключевская сопка.

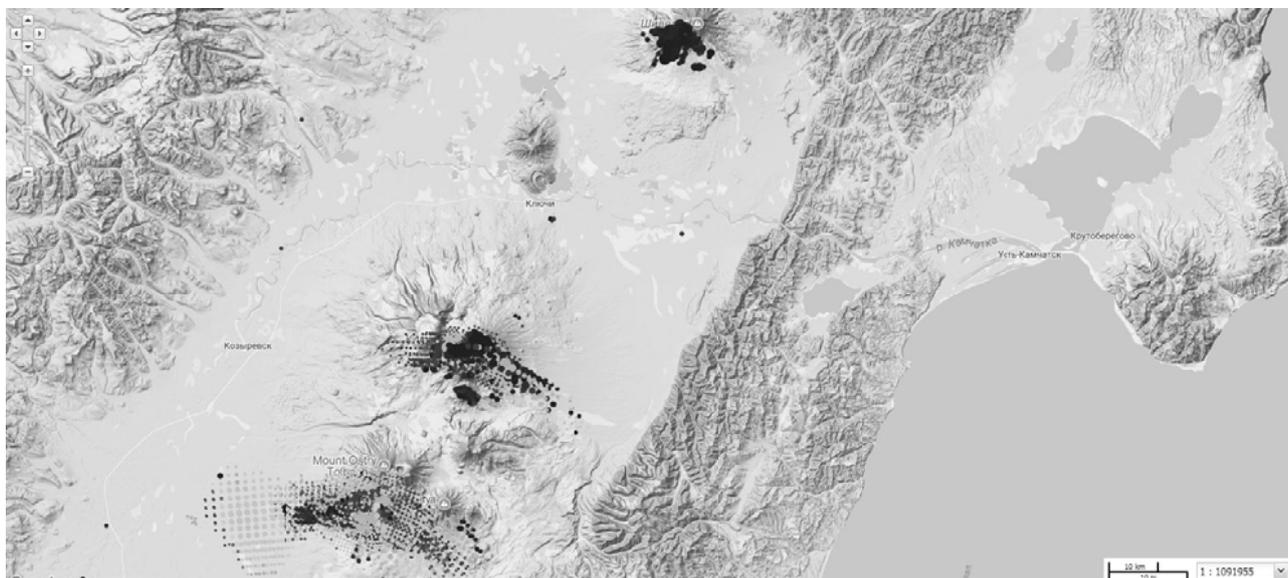


Рис. 2. Детекции вулканической активности в районе вулканов: Шивелуч, Толбачик, Ключевская сопка

### **Использование алгоритмов VIIRS Nightfire для мониторинга извержений**

Для мониторинга вулканических извержений используется программный конвейер, состоящий из следующих основных блоков:

1. Получение исходных данных.
2. Детектирование температурных аномалий при помощи VIIRS Nightfire алгоритмов.
3. Выделение кластеров горячих пикселей.
4. Идентификация событий.
5. Выделение событий вулканической активности.

Для работы с вулканами камчатского региона мы использовали данные, получаемые со станции прямого доступа, установленной в институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский).

Детектирование температурных аномалий производится при помощи VIIRS Nightfire алгоритмов, описанных в предыдущем разделе. Поскольку Nightfire является алгоритмом субпиксельной пирометрии, то большие (более размеров одного пиксела сенсора) температурные аномалии выглядят как несколько соседствующих "горячих" пикселей. Размер пиксела в инфракрасных (М) диапазонах у сенсора достаточно мал, чтобы многие температурные аномалии вызванные излияниями лавовых потоков попадали более чем в один пиксел. Для выделения подобных больших аномалий производится пространственная кластеризация горячих пикселей за каждый день. Для кластеризации пикселей применяется алгоритм DBSCAN, с параметрами  $\epsilon$  (максимальная дистанция соседства) = 2000 метров и  $\text{minPts}$  (минимальное число соседей) = 1. Порог в 2000 метров выбран из соображений максимального размера пиксела, хотя расчёт реального размера каждого отдельно взятого пиксела возможен, но формула, используемая для этого, достаточно сложна, т.к. помимо увеличения поперечного размера пиксела необходимо также учитывать уровни агрегации пикселей сенсора VIIRS.

В рассматриваемом регионе (Камчатка), за 2016 год DBSCAN находит от 0 до 187 кластеров в сутки, в среднем обнаруживается 32.2 кластера в сутки, с общим числом в 11 756 кластеров за весь год.

На этапе идентификации событий производится объединение кластеров найденных на предыдущем этапе в цепочки временных серий с целью выявления продолжительных событий. В рассматриваемом регионе (Камчатка), за 2016 год было выявлено 9074 события. Из них большинство – это вырожденные события, состоящие из одной (7694) или двух (1146) горячих пикселей. Среди

оставшихся 234 событий присутствуют события, наблюдавшиеся в течение всего года, а максимальное число горячих пикселей в событии равно 5871. Суммарное число пикселей по всем событиям равно 24 630. Наиболее долгоживущие события с большим числом пикселей, как правило, соответствуют стабильным температурным аномалиям.

На этапе выделения событий вулканической активности система производит сопоставление найденных событий вулканическим вершинам. Существующие открытые системы подобного класса, представленные во введении, используют фиксированные регионы, центрированные по вулканическим вершинам. Однако данный подход имеет существенный недостаток. При применении региона достаточно большого размера, происходит наложение регионов для ряда расположенных в непосредственной близости друг от друга вулканических вершин (например, вершины сопки Ключевской и вулкана Безымянный на Камчатке), что приводит к отнесению одних и тех же пикселей сразу к двум и более вулканам. В то же время, регионы малого размера могут быть недостаточны для охвата всех лавовых полей.

В данной работе предлагается метод поздней привязки температурных аномалий к вулканическим вершинам. Каждая температурная аномалия представлена в виде события (временного ряда наблюдений – пространственных кластеров горячих пикселей с различным экстендом). Сопоставление событий и вулканических вершин производится путём проверки попадания вулканической вершины в экстенд каждого кластера события с последующим отнесением к той вершине, число попаданий которой оказалось наибольшим. Подобный подход позволяет точнее сопоставить горячие пиксели вулканической вершине и в ряде случаев избежать двойных сопоставлений.

В результате сопоставления за 2016 год в камчатском регионе были выделены события соотнесённые вулканам: Алаид, Бархатная сопка, Беленькая, Безымянный, Карымский, Кекурный, Ключевская сопка, Козыревский, Кроноцкая сопка, Мутновский, Пиратковский, Фусса и Шивелуч. Среди перечисленных вулканов существенную активность за 2016 год проявили: Алаид (рис. 3), Безымянный, Ключевская сопка (рис. 4) и Шивелуч (рис. 5), что хорошо согласуется с отчётом камчатской группы реагирования на вулканические извержения [1] и контролировавшимися вручную выборками [6].

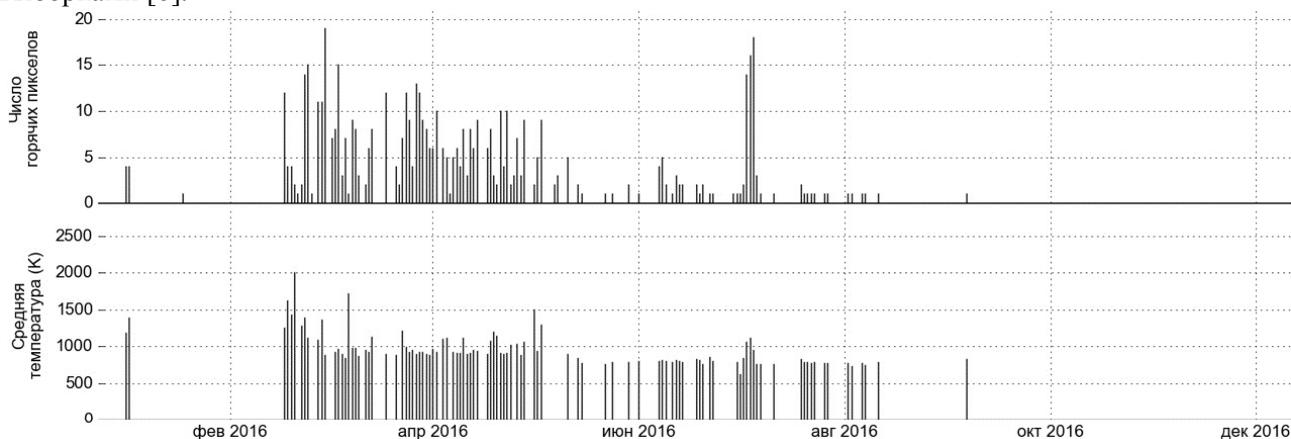


Рис. 3. Статистика по событию на вулкане Алаид

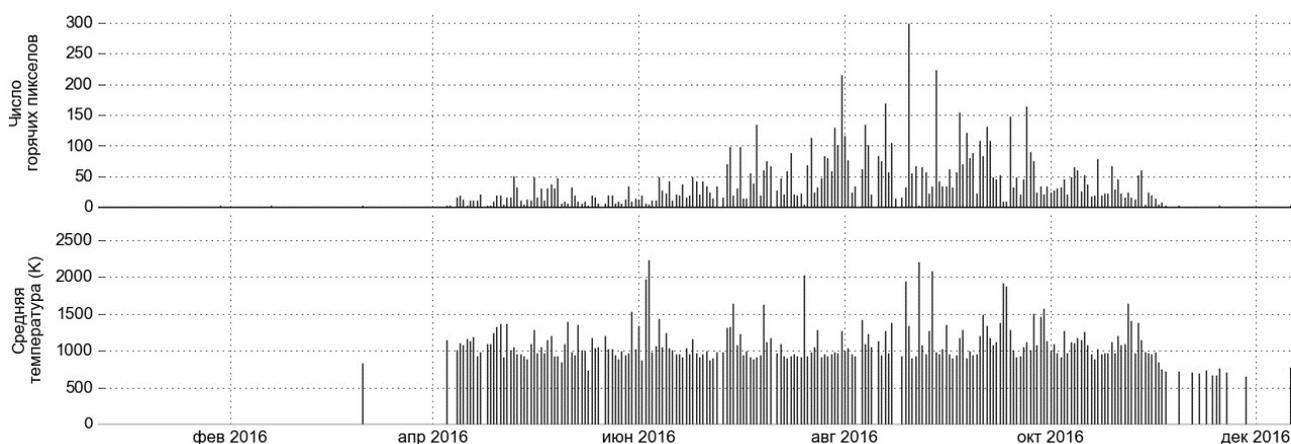


Рис. 4. Статистика по событию на вулкане Ключевская сопка

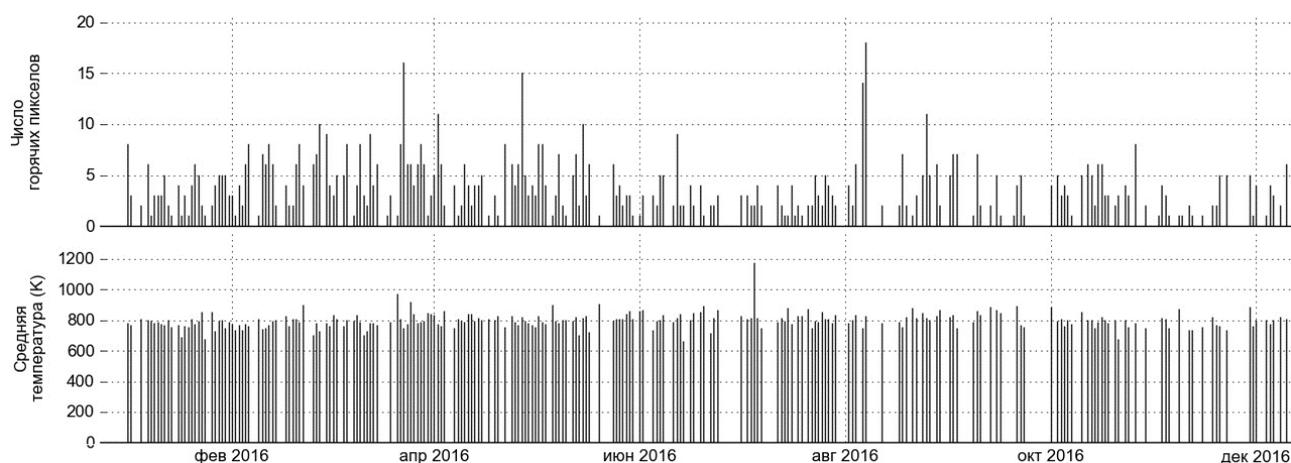


Рис. 5. Статистика по событию на вулкане Шивелуч

### Заключение

За год эксплуатации алгоритма в режиме мониторинга вулканов Камчатского региона было выделено 9074 событий, ряд из которых в свою очередь были отнесены к вулканической активности вулканов, как Алаид, Бархатная сопка, Беленькая, Безымянный, Карымский, Кекурный, Ключевская сопка, Козыревский, Кроноцкая сопка, Мутновский, Пиратковский, Фусса и Шивелуч.

Основные трудности были вызваны тем, что в середине лета ночь на Камчатке недостаточно темная. Чтобы решить эту проблему, требуется провести модификацию алгоритма для работы в зоне терминатора.

В данной работе мы провели исследования только с вулканами камчатского региона. В дальнейшем мы планируем расширить область эксперимента и на другие регионы.

Использование предложенного алгоритма позволяет детектировать яркие источники излучения, такие как извержения и разливы лавы. Но мы не детектируем дымовые шлейфы – это не задача данного исследования.

В ближайшее время на сенсоре VIIRS должен быть включен канал M11 (2.1 мкм) для ночных наблюдений. Полоса чувствительности этого канала наиболее близка к спектральному диапазону, в котором извержения проявляются наиболее сильно. Это позволит повысить качество мониторинга. Также в ближайшее время планируется запуск второго спутника, несущего сенсор VIIRS, что позволит получить более частое по времени покрытие.

Работа выполнялась при поддержке Минобрнауки России (Государственный контракт 14.607.21.0165, уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI60716X0165).

### Список литературы

1. *Гурина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В., Нуржаев А.А., Демянчук Ю.В.* Активность вулканов Камчатки и Северных Курил в 2016 г. по данным KVERT. 2017. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc\\_day/2017/art1.pdf](http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2017/art1.pdf).
2. *Coppola D. и др.* Enhanced volcanic hot-spot detection using MODIS IR data: results from the MIROVA system // Geological Society of London. 2015.
3. *Dozier J.A.* Method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution // Remote Sensing of Environment. 1981. V. 11. P. 221–229.
4. *Elvidge C.D., Zhizhin M.N., Hsu F.C., Baugh K.E.* VIIRS Nightfire: Satellite Pyrometry at Night // Remote Sensing of Environment. 2013. V. 5. P. 4423–4449. doi:10.3390/rs5094423.
5. *Harris Andrew.* Thermal Remote Sensing of Active Volcanoes. A User's Manual // Cambridge university press, 2013. ISBN: 978-0-521-85945-5.
6. *Trifonov Grigory, Zhizhin Mikhail, Melnikov Dmitry, Poyda Alexey.* One year of Kamchatka volcanoes live observation with VIIRS Nightfire. 2017. [Электронный ресурс]. URL: [http://presentations.copernicus.org/EGU2017-11553\\_presentation.pdf](http://presentations.copernicus.org/EGU2017-11553_presentation.pdf).
7. *Wooster M.J., Roberts G., Perry G.L.W., Kaufman Y.J.* Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: FRP derivation and calibration relationships between biomass consumption and fire radiative energy release // Journal of Geophysical Research. 2005. V. 10. doi: 10.1029/2005JD006018.
8. *Wright Robert* MODVOLC: 14 years of autonomous observations of effusive volcanism from space // B: Geological Society London Special Publications. 2015.

## ПРЕИМУЩЕСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ПРЯМОЙ УСТАНОВКИ В ГРУНТ

*Разинков О.Г.<sup>1</sup>, Сидоров-Бирюков Д.Д.<sup>1</sup>, Townsend B.<sup>2</sup>, Parker T.<sup>2</sup>, Bainbridg G.<sup>2</sup>, Greis R.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ООО НПК «Вулкан», г. Москва, [orazinkov@vulcan-inc.ru](mailto:orazinkov@vulcan-inc.ru)

<sup>2</sup>Nanometrics Inc., г. Оттава, Канада, [contact-us@nanometrics.ca](mailto:contact-us@nanometrics.ca)

### Введение

По типу установки сейсмометры принято разделять на классические, сконструированные для размещения на постаментах в оборудованных шахтах, и скважинные – для инсталляции в глубоких обсаженных скважинах. Классические широкополосные прецизионные сейсмометры требуют больших затрат для строительства шахт или подвалов, возведения массивных постаментов и обеспечения необходимого температурного режима помещений. Скважины общепринято считаются самой тихой средой для инструментов с низким уровнем собственного шума, однако приборы со скважинным замком дороже классических сейсмометров, их установка сопряжена с существенными затратами на бурение и подготовку скважины. Промежуточным вариантом инсталляции является прямая установка сейсмических инструментов в грунт, а также в неглубокие обсаженные и необсаженные скважины. Существуют отдельные сейсмометры различных производителей, которые могут быть установлены подобным образом, однако только компания Nanometrics Inc. (Канада) имеет специально разработанную полную линейку данных приборов для прямой установки в грунт (Posthole): от форс-балансных акселерометров до лучших сверхширокополосных сейсмометров для глобальной сейсмической сети – Trillium 360 секунд [2]. Приборы данного исполнения имеют преимущества как классических, так и скважинных сейсмометров: они выполнены в прочных водонепроницаемых корпусах из нержавеющей стали с классом защиты IP68, могут работать на глубинах до 300 метров, поддерживают автоматическое центрирование при углах отклонения от вертикали до 5–10 градусов, не используют дорогие скважинные замки, а среда установки сама обеспечивает максимальную фиксацию и температурную стабилизацию. Среди этих приборов существуют и уникальные модели, в частности, универсальный Horizon подходит также для установки на постаменте, а комбинированный инструмент Cascadia (широкополосный сейсмометр и акселерометр) обеспечивает суммарный динамический диапазон в 200 дБ и гарантирует регистрацию как слабых, так и сильных сейсмических событий [6].

### Типичные недостатки ряда сейсмических приборов

В последние годы уровень требований сейсмологов к инструментальной базе существенно возрос, что связано с реализацией значимых в глобальном масштабе проектов с различными условиями использования аппаратуры. При этом в ряде случаев уровень разработки инструментов не соответствует потребностям времени и реализуемым задачам, и сейсмологи вынуждены применять импровизированные решения по размещению приборов в более широких диапазонах условий и большим количеством. Поэтому существенной задачей производителей аппаратуры является улучшение конструкции инструментов для предоставления пользователям больших возможностей при снижении стоимости установки и обслуживания сейсмических приборов.

Несмотря на существенное улучшение качества сейсмометров и регистрирующей аппаратуры в последнее десятилетие, мы по-прежнему отмечаем их отдельные недостатки. В частности, корпуса и разъемы могут быть недостаточно прочными или из корродирующих материалов, не рассчитаны на избыточное давление при погружении прибора в воду или при контакте с такими материалами, как песок или грунт, не имеют магнитного экранирования и не защищены от влияния магнитного поля Земли. Многие приборы имеют ограниченную стойкость к низким температурам и к температурным градиентам, имеют небольшие рабочие углы наклонов и динамический диапазон, недостаточный для зон сильных землетрясений. Ряд датчиков не обладает удобным цифровым интерфейсом и имеет только аналоговый выход. Многие датчики не обеспечивают достаточную защиту от нестабильного напряжения питания, они спроектированы как отдельные приборы, а не полностью интегрированная часть сейсмической станции, в частности, сейсмометры не могут предоставлять детальный статус (метаданные и идентификаторы) и имеют ограниченную поддержку производителей.

## Конструктивные решения сейсмических приборов для прямой установки в грунт

Наглядным примером эволюции конструкции современных сейсмических станций является схема установки станций на Аляске [3, 7] (рис 1.).

Климат и география региона потребовали масштабной реструктуризации станции для достижения требуемого качества и достоверности данных. Установка датчиков в грунт обеспечила оптимальное качество данных, при этом для развертывания станций требуется только легкий бур, который легко транспортировать вертолетом.

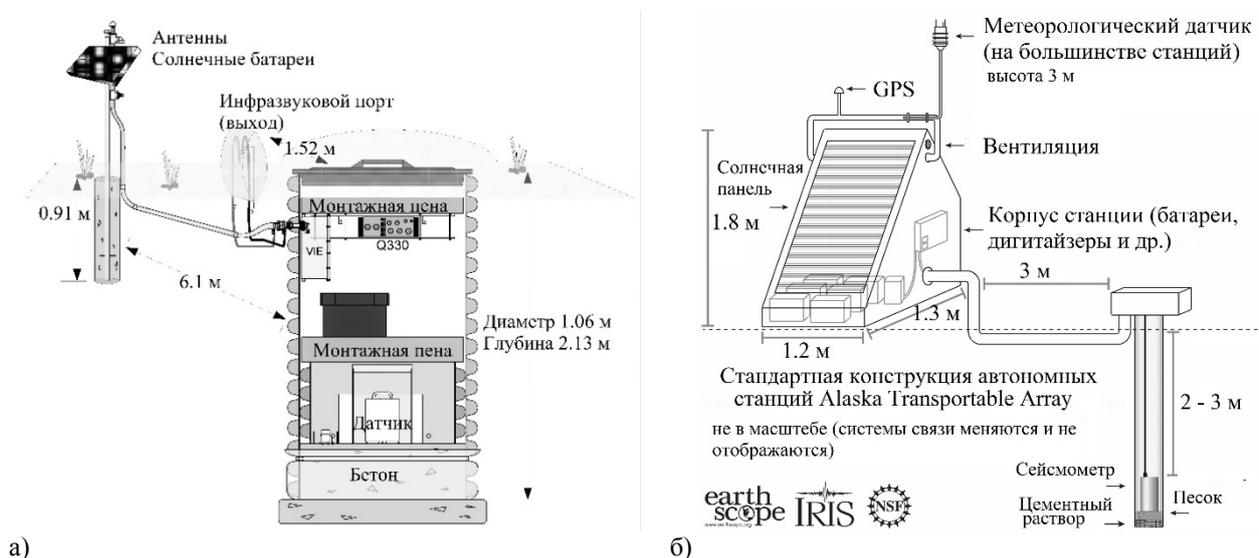


Рис. 1. Эволюция оборудования сейсмостанций в проекте EarthScope [4]: (а) – конструкция укрытия, использовавшаяся первые 8 лет наблюдений, многие инструменты, установленные подобным образом, оказались затоплены; (б) – новая схема установки станции с использованием датчика posthole. Данный вариант оборудования значительно понизил порог шума горизонтальных компонент сигнала и решил проблему термостабилизации в полярных областях

## Разработки компании Nanometrics Inc.

Сейсмологические приборы компании Nanometrics Inc. охватывают полный спектр широкополосного оборудования как для использования на временных станциях, так и для стационарных многофункциональных станций [5]. Разработанные приборы имеют разные варианты исполнения: для установки на постамент и для прямой установки в грунт и в скважины, из которых они могут быть легко извлечены и установлены вновь. Данные приборы эффективно используются в районах Крайнего Севера [1, 7].

Рассмотрим более подробно инструменты для прямой установки в грунт (Posthole). Они поддерживают три варианта инсталляции:

- 1) Поверхностная установка: в неглубокую яму или необсаженную скважину глубиной обычно от 1 до 3 м, засыпаемую грунтом.
- 2) Скважинная установка: используется скважина глубиной примерно от 2 до 10 м, обсаженная ПВХ или стальной трубой и частично засыпанная песком.
- 3) Глубинная скважинная: стальная сухая обсаженная скважина глубиной до 300 м. Установка производится также в песок.

Прямая установка в грунт эффективно решает задачу термоизоляции и снижения уровня шума и достаточно проста по своей реализации.

## Многофункциональные цифровые сейсмометры серии Meridian

Одним из примеров интегрированных систем для прямой установки в грунт является серия Meridian: широкополосный сейсмометр со встроенным дигитайзером.

В приборах этой серии реализованы все опции телеметрии, они имеют широкий диапазон рабочих углов наклона и прочный герметичный корпус из нержавеющей стали со степенью защиты IP68 для любых условий окружающей среды, что делает установку и обслуживание сейсмостанций максимально простыми и удобными. Производятся два типа приборов этой серии: компактный ( $D = 97$  мм) и полноразмерный ( $D = 143$  мм) с собственным шумом ниже модели Петерсона (NLNM)

в диапазоне от 100 с до 10 Гц (модель 120 секунд) (рис. 2). Оба типа подключаются к миниатюрному модулю диагностики и управления, который находится на поверхности и обеспечивает подключение антенны приемника точного времени, питания и телеметрии, а также имеет герметичный картридж с SD картой для данных с возможностью ее замены без прерывания записи. Конструкция системы подвеса масс сейсмометра очень надежна и не требует арретирования. Приборы способны регистрировать сейсмический сигнал амплитудой до 27 мм/с в диапазоне от 10 секунд до 10 Гц (модели MC20/120) и 0.17g на более высоких частотах. Электропитание в автономном режиме составляет всего 1 Вт для компактной версии инструмента.

Дигитайзер инструмента Meridian полностью конфигурируется с использованием интуитивно понятного веб интерфейса. Прибор поддерживает оцифровку на одной или двух частотах отсчетов до 2000 отс/с в режиме потока и до 500 отс/с в режиме постоянного архивирования, имеет универсальную систему автоматического детектирования событий с настраиваемыми полосовыми фильтрами, обеспечивает доступ к данным в формате MiniSEED при помощи съемной SD карты или локального Ethernet. Прибор может регистрировать статистику пиковых значений сигналов, включая ускорение, скорость и смещение, поддерживает различные опции связи в реальном времени, в том числе потоки данных по протоколу SeedLink.

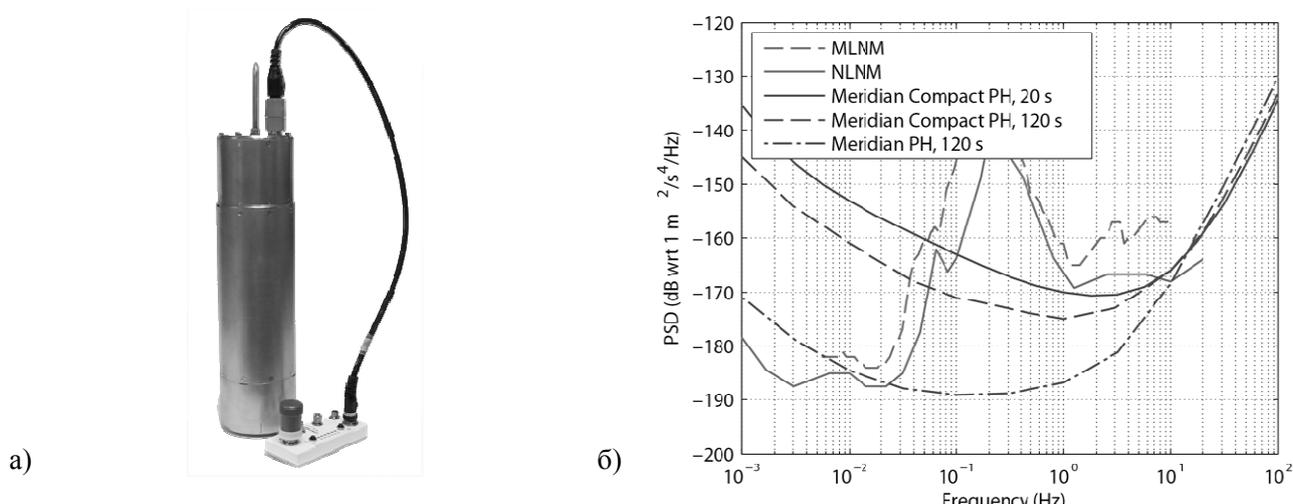


Рис. 2. Широкополосный сейсмометр Meridian Posthole: (а) – внешний вид; (б) – уровни собственного шума моделей Meridian Compact 20 с и 120 с, Meridian PH 120с относительно моделей Петерсона NLNM и MLNM

### Универсальный сейсмометр Trillium Compact

Один из самых известных в мире широкополосных сейсмометров Trillium Compact имеет исполнение Posthole в водонепроницаемом корпусе из нержавеющей стали и при весе 3.3 кг подходит для прямой установки в грунт и в скважины, в том числе необорудованные, может быть установлен в снег или заморожен в лед. Инструмент компактен и прост в инсталляции, не требует центрирования масс и арретирования, имеет широкий рабочий диапазон углов наклона – до 10° (модель 20 с). При этом обладает высоким динамическим диапазоном в полосе частот от 120 с до 100 Гц, при 1 Гц – более 152 дБ.

Этот универсальный прибор широко используется для решения различных задач сейсмологии: в региональных, национальных и глобальной сейсмических сетях, для изучения афтершоков, мониторинга наведенной сейсмичности, в том числе нефтяных и газовых месторождений, в инженерной сейсмологии.

### Комбинированный прибор Cascadia

Серия инструментов Cascadia – это комбинация датчиков для сильных и слабых движений в одном блоке, устанавливаемом как единый инструмент. Разработка Cascadia уменьшает размеры оборудования сейсмостанции без потери ее производительности, имеет высокую наработку на отказ – более 100 лет, что является существенным фактором в процессе будущей эксплуатации станции.

Конструктивно Cascadia объединяет сейсмометр Trillium Compact Posthole и акселерометр класса А – Titan Posthole. Cascadia имеет сверхширокий суммарный динамический диапазон (более 200 дБ) и позволяет регистрировать как сильные, так и слабые движения с высокой точностью и производительностью (рис. 3). Прибор допускает установку в агрессивной среде, устойчив к

затоплению, может быть установлен непосредственно в грунт, что делает его установку простой и быстрой.

Cascadia имеет ряд преимуществ как в плане улучшенной производительности, так и в части удобства установки и обслуживания. Комбинированные приборы этого типа выпускаются в нескольких вариантах, отличающихся диаметром корпуса, технологиями сейсмометра и диапазоном акселерометра.

Форм-факторы: модель Compact Posthole – диаметр 97 мм; модель Posthole с автоматическим выравниванием – диаметр 143 мм; модель Borehole – диаметр 143 мм, со скважинным замком.

Технологии сейсмометра: компактный, портативный, широкополосный – 120 секунд с диапазоном углов  $10^\circ$  – 20 с (в компактном форм-факторе); полноразмерный, класс observatory – 120 секунд (в варианте posthole или borehole); класс GSN – 360 секунд (в варианте posthole или borehole).

Диапазон акселерометра, задаваемый дистанционно:  $\pm 4g$ ,  $\pm 2g$ ,  $\pm 1g$ ,  $\pm 1/2g$ ,  $\pm 1/4g$ .

Для удобства установки этого датчика имеется электронный пузырьковый уровень в пользовательском интерфейсе регистратора, позволяющий легко задать правильное положение компактного датчика в неосвещенной скважине при установке и удаленно проверить наклон впоследствии в любой момент времени.

Производительность и эксплуатационные преимущества:

- регистрация как слабых телесейсмических событий, так и сильных локальных землетрясений без зашкаливания, поскольку все сигналы находятся в пределах объединенного динамического диапазона двух датчиков – сейсмометра и акселерометра;
- все шесть каналов абсолютно точно взаимно ориентированы;
- уровень фонового шума (от деятельности человека, температурный, вследствие наклона датчика) снижается даже при неглубокой установке;
- прибор может быть легко извлечен из скважины.

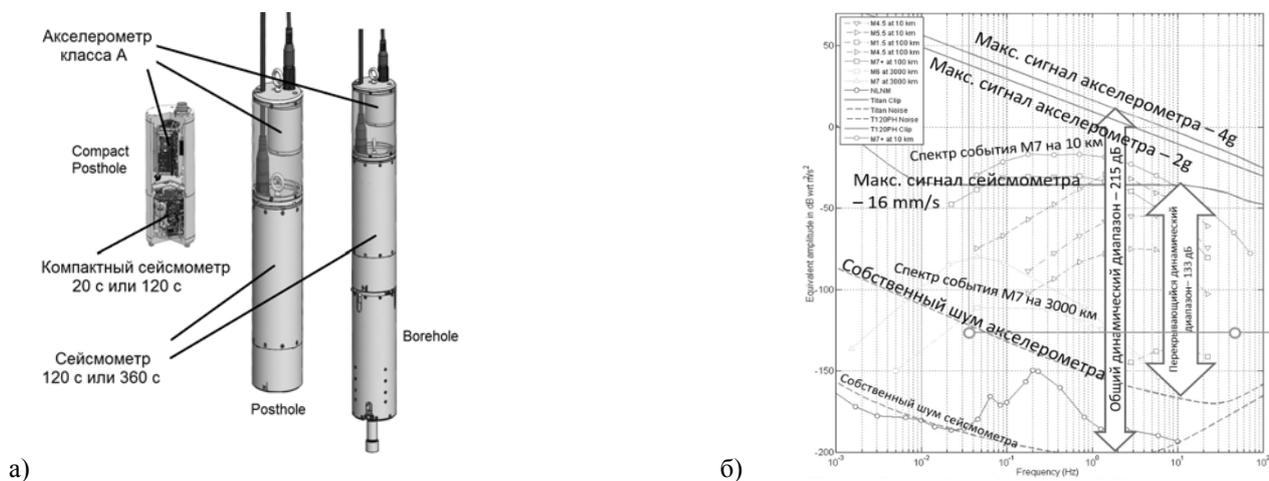


Рис. 3. Инструмент Cascadia: (а) – варианты исполнения; (б) – графическое представление комбинированного динамического диапазона, показывающее максимально возможный регистрируемый сигнал, минимально различимый сигнал (уровень собственного шума), типичные спектры землетрясений с различными магнитудами на различных удалениях, модель Петерсона (NLNM), перекрывающийся и общий динамический диапазоны

Cascadia позволяет получить максимум результатов и минимизировать затраты. Прибор подходит для любой сейсмической сети региона, где возможны сильные локальные события. Сейсмометр регистрирует много слабых землетрясений, что улучшает понимание геодинамики региона с течением времени, а акселерометр гарантирует запись редких, но важных сильных сейсмических событий, амплитуда которых выходит за диапазон регистрации сейсмометра.

### Результаты тестирования Cascadia

Датчик Cascadia Compact с шестиканальным регистратором Centaur были размещены рядом со станцией Y22D Earthscope TA на базе IRIS PASSCAL Instrument Center в Socorro, New Mexico.

Датчик был установлен в скважину глубиной ~1 м. Проведена серия тестов и долговременные измерения, начиная с весны 2017 года.

Собственные шумы станции Cascadia Compact SOC1 сравнимы с собственными шумами референтных датчиков на станции Y22D Earthscope TA. Регистрация нескольких телесеизмических событий подтвердила ожидаемый уровень когерентности записей акселерометра и сейсмометра, объединенных в инструменте Cascadia (рис. 4).

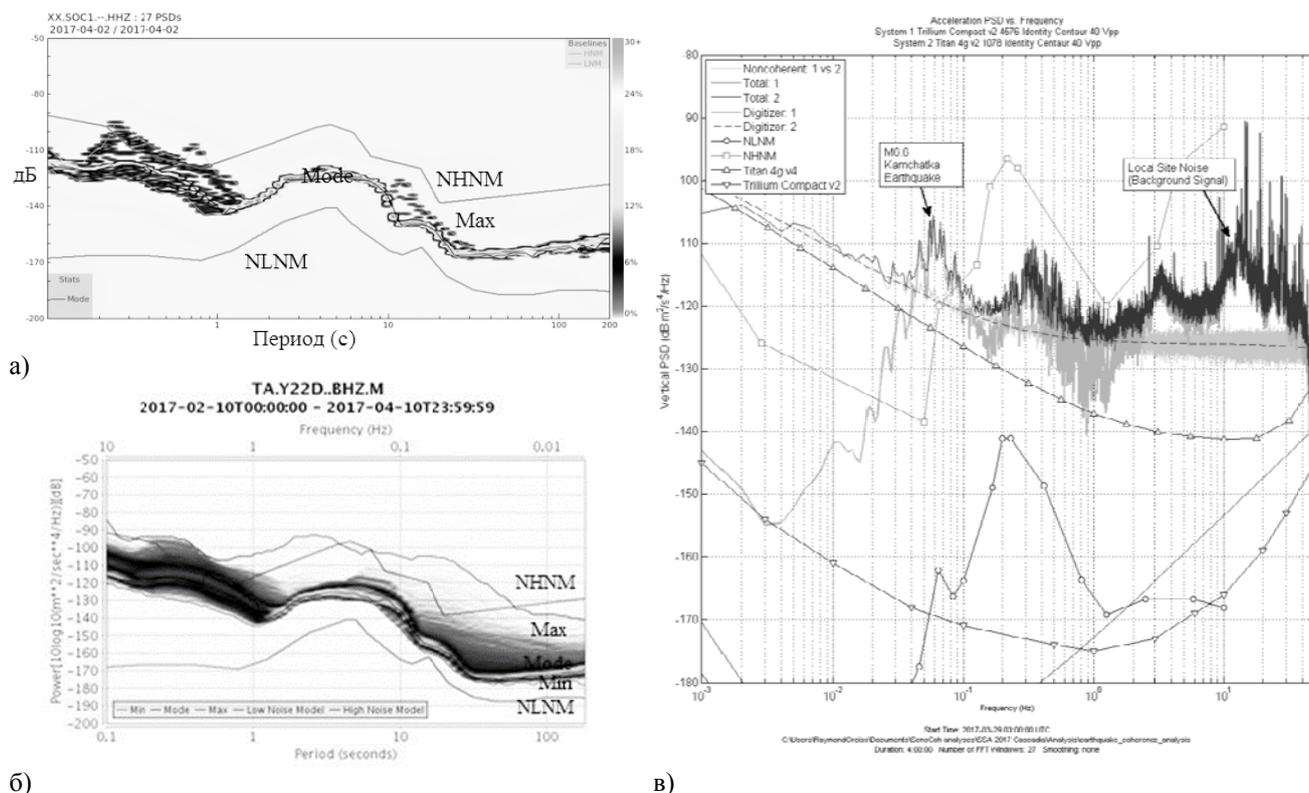


Рис. 4. Результаты тестирования Cascadia: (а) – собственные шумы временной станции Cascadia Compact SOC1 в сравнении с опорной стационарной станцией (б); (в) – сравнение спектров землетрясения и согласованность записей акселерометра Titan и сейсмометра Compact, на примере телесеизмического события магнитудой  $M = 6.6$  (29 марта 2017 г., 81 км от п. Усть-Камчатка)

### Заключение

Широкополосные сейсмические инструменты для прямой установки в грунт занимают отдельную нишу в сообществе прецизионных приборов для сейсмологии. Обладая высокими характеристиками классических широкополосных сейсмометров в сочетании с максимальной надежностью скважинных приборов и их устойчивостью к условиям окружающей среды, они предоставляют пользователям высокотехнологичное и экономически эффективное решение для широкого круга задач современной сейсмологии.

### Список литературы

1. Виноградов Ю.А., Пятунин М.С. Сейсмологический мониторинг на Северном Ямале. Первые результаты // Материалы XII Международной сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». Алматы, 2017. С. 92–95.
2. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nanometrics.ca/seismology/products/trillium-360-posthole>. (Дата обращения 11.09.2017).
3. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.usarray.org/alaska> (Дата обращения 11.09.2017).
4. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.earthscope.org> (Дата обращения 11.09.2017).
5. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.vulcan-inc.ru/seismic-equipment/product-documents-nanometrics> (Дата обращения 11.09.2017).
6. Parker T., Townsend B., Moores A.O., Bainbridge G.S., Easton D. Multi-Use Seismic Stations for Earthquake Early Warning // Материалы конференции American Geophysical Union, Fall General Assembly 2016. San Francisco: 2016. С. #S11D-2503.
7. Parker T., Winberry P., Huerta A., Bainbridge G., Devanney P. Direct Burial Broadband Seismic Instrumentation that are Rugged and Tilt Tolerant for Polar Environments // Материалы конференции EGU General Assembly 2016. Vienna: 2016. С. 17971.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ДВУХЛЕТНИХ ИЗМЕРЕНИЙ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ОБСЕРВАТОРИИ «ПАРАТУНКА» (КАМЧАТКА) С ПОМОЩЬЮ ФЛЮКСМЕТРОВ CS110 И ПОЛЕ-2

*Хомутов С.Ю.*

*Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
с. Паратунка, Камчатский край, khomutov@ikir.ru*

### **Введение**

Атмосферное электрическое поле является объектом активных экспериментальных и теоретических исследований. В ИКИР ДВО РАН такие исследования ведутся уже много лет, в т.ч. и мониторинговые наблюдения вертикального градиента потенциала  $E_z$  атмосферного электрического поля (АЭП), выполняемые на Геофизической обсерватории «Паратунка». Основные используемые приборы – электрометры-флюксометры "Поле-2" и "Градиент-3", хорошо зарекомендовавшие себя при долговременных измерениях. Однако, механическая часть этих флюксометров (ФМ) значительно изношена, схемные решения и используемые комплектующие устарели, обслуживание становится излишне трудоёмким. В связи с этим ИКИР ДВО РАН в 2015 г. в рамках проекта РНФ приобрёл современный цифровой электрометр CS110, который до некоторой степени является стандартным устройством в мировой практике наблюдений за АЭП. Предполагалось также, что сравнение результатов CS110, разработанного на технологических принципах, отличающихся от уже используемых флюксометров, позволит повысить достоверность получаемых данных.

В докладе рассмотрены результаты измерений CS110 и "Поле-2", полученные практически за два года. Основной акцент сделан на описание статистики измерений АЭП в условиях хорошей погоды (УХП) и оценку обнаруженной у CS110 особенности – сезонное изменение чувствительности.

### **Аппаратура, условия измерений**

Датчик напряженности электрического поля "Поле-2М" разработки ГФО им. А.И. Воейкова (Ленинград) является стандартным устройством для измерения вертикального градиента потенциала  $E_z$  атмосферного электрического поля [1]. Датчик имеет чувствительный и грубый измерительные каналы, подключенные к АЦП L-Card E14-140, что обеспечивает диапазон измерений около  $\pm 200 \pm 2000$  В/м и чувствительность около 0.15 и 1.5 В/м, соответственно. Регламентом ФМ предусмотрена его калибровка с помощью средств, входящих в штатный комплект. Первичный преобразователь ФМ установлен на специальной опоре высотой около 3.5 м и диаметром около 2.5 м, обеспечивающей выравнивание эквипотенциальных поверхностей АЭП в области измерений и расположение датчика выше максимального уровня снега на обсерватории (до 3 м). Общий вид расположения датчика представлен на рис. 1 (а, б). ФМ "Поле-2" используется для непрерывных измерений  $E_z$  на ГФО «Паратунка» с 1996 г. [4].

Электрометр CS110 разработки Campbell Scientific, Inc., США [5] представляет собой устройство, работающее на том же принципе, что и ФМ "Поле-2" – модуляция электростатического поля движущейся пластиной (field mill). Чувствительность в диапазоне  $\pm 2200$  В/м составляет 0.32 В/м, предусмотрен автоматический переход на расширенный диапазон измерений ( $\pm 22\ 300$  В/м) с чувствительностью на порядок ниже. Датчик смонтирован на штанге, на которой также закреплены влагозащищённый бокс с электроникой, метеорологические датчики и GPS-антенна. Все компоненты устройства заземлены. Электрометр установлен на крыше технического павильона, высота относительно крыши составляет около 1.2 м, относительно уровня земли – около 5 м. Также на крыше находится датчик осадков из комплекта CS110 и антенна WiFi-связи с регистрирующим компьютером. Общий вид ФМ CS110 показан на рис. 1в. Более подробное описание представлено в [6]. Регулярные измерения с помощью CS110 начаты в ноябре 2015 г.

Существуют несколько важных различий в описываемых приборах:

1) в ФМ "Поле-2" модуляция выполняется быстро вращающейся пластиной, в ФМ CS110 – с помощью пластины, выполняющей возвратно-поступательное движение с частотой измерений (используется шаговый двигатель). Такой подход обеспечивает ресурсосберегающий режим работы CS110, в отличие от "Поля", где механический износ двигателя и подвижных узлов является чувствительной проблемой при непрерывных мониторинговых измерениях. Однако опыт

эксплуатации CS110 показал, что в тёплое время года медленное движение его модулирующей пластины не препятствуют проникновению в измерительную часть датчика насекомых, например, пауков. Это может приводить к искажениям результатов измерений;

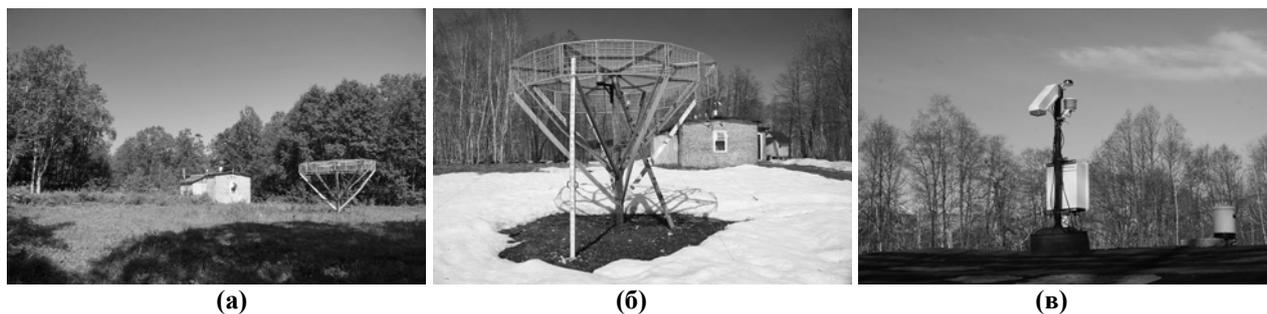


Рис. 1. Флюксометры "Поле-2" и CS110 на обсерватории «Паратунка». (а) поляна диаметром около 25 м, окружённая с востока, юга и запада деревьями высотой до 10 м, трава и кусты убраны; справа опорная площадка для ФМ "Поле-2", на заднем плане технический павильон, на крыше которого установлен ФМ CS110. (б) – опорная площадка высотой около 3.5 м с рейкой для измерения уровня снега, в центре площадки установлен ФМ "Поле-2", на заднем плане к северо-востоку от площадки - технический павильон с ФМ CS110. (в) – ФМ CS110 на крыше технического павильона; на стойке закреплены (снизу вверх) бокс с электроникой и системой питания, датчик CS110, вентилируемая коробка с датчиками температуры и влажности, антенна GPS; справа - датчик осадков; на крыше также находится антенна WiFi-связи датчика с регистрирующим компьютером

2) измерительный элемент датчика CS110 ориентирован вниз, в то время как у ФМ "Поле-2" он повернут вверх. При этом, несмотря на то, что быстро вращающаяся модулирующая пластина "Поле-2" создаёт поток воздуха от датчика, рассеивающего осадки, при сильных ливнях происходит накопление воды внутри датчика, а при снегопадах датчик сверху полностью закрывается снегом, и результаты измерений становятся недостоверными;

3) калибровка "Поле-2" является процедурой, выполняемой вручную и приводящей к потере данных (на ГФО «Паратунка» такая калибровка выполняется ежемесячно, а также после технических работ с прибором или его замены). Разработчиком CS110 декларируется, что калибровка выполняется после сборки электрометра и в условиях пользователя не требуется (по меньшей мере, в течение двух лет; или больше, если не вносились изменения в состав измерительной части). Однако, в случае, если такая калибровка понадобится, то это будет непростой задачей, т.к. потребуются специальная калибровочная установка;

4) ФМ "Поле-2" является электрометром с аналоговым выходом, требующим АЦП и пользовательских решений по синхронизации со шкалой UTC. CS110 – полностью цифровое устройство с WiFi-каналом связи с компьютером, GPS-синхронизацией внутреннего таймера, позволяющее подключать метеорологические датчики и с возможностями для пользователя модернизировать встроенное программное обеспечение в соответствии с конкретными задачами.

Необходимо также отметить, что условия, в которых находятся электрометры, различаются в зависимости от сезона. Зимой–весной снег с крыши технического павильона, на которой установлен CS110, убирается практически сразу же после окончания снегопада, поэтому только в редких случаях его уровень мог быть 20–40 см в течение одних-двух суток. В противоположность этому, снег на поляне, где расположен ФМ "Поле-2", накапливается до максимума в марте (например, максимальный уровень в 23.03.2016 г. был 160 см, а 13.03.2017 г. – 235 см). В тёплое время года может сказываться различие в подстилающей поверхности. Например, ожидается, что битумная крыша, на которой установлен CS110, в солнечный день будет вызывать существенно более сильные восходящие потоки воздуха из-за нагрева, чем грунт под опорной площадкой ФМ "Поле-2", поросший невысокой травой.

### Результаты измерений

Одна из основных проблем, возникающих при анализе данных флюксометров – очень большой диапазон изменений  $E_z$ , достигающий тысяч В/м, при том, что вариации являются следствием естественных, природных причин, а не аппаратурных проблем или технических помех при измерениях. На рис. 2а в качестве примера показаны усреднённые за 5 мин. значения  $E_z$ , полученные на ГФО «Паратунка» в 2016–2017 гг. с помощью ФМ "Поле-2" и CS110 (помехи, сбои аппаратуры, записи при калибровках или технических работах исключены). Действительный размах вариаций  $E_z$  по исходным данным достигает  $\pm(4000–5000)$  В/м, но у ФМ "Поле-2" сигнал аппаратно усечён

диапазоном  $\pm 2000$  В/м, а вариации для CS110 ограничены на графике для лучшей сопоставимости. Интересующие нас междусуточные и более медленные вариации  $E_z$  лежат в диапазоне первых сотен В/м и полностью маскируются огромными быстрыми вариациями, связанными с метеорологическими факторами. Применяемый обычно анализ данных, полученных при условиях хорошей погоды (УХП), осложняется тем, что корректное выделение УХП является достаточно непростой задачей, и дней, которые для Паратунки можно отнести к УХП, очень немного. Например, в соответствии с погодным журналом обсерватории за период, показанный на рис. 2, только 30% записей имеют качественную отметку "ясно", т.е. с определённой вероятностью фиксируют отсутствие облачности. Другие важные факторы, например, ветер, туманы, аэрозоли, зимняя позёмка, изолированные облака и т.п. зачастую остаются неучтёнными.

На рис. 2б показаны 5-минутные данные  $E_z$ , отобранные по критериям УХП, в т.ч. взяты полные сутки, для которых в погодном журнале для всех трёх сроков наблюдений (00, 04 и 20UT) отмечено "ясно". Количество 5-минутных значений для обоих электрометров, отобранных по такому критерию, составляет около 15%. Используемый критерий УХП является достаточно жёстким по сравнению, например, с [3], поскольку практически полностью исключает измерения при облачности, в т.ч. и переменной, осадках и тумане. С другой стороны, им учитываются условия только в дневное время (с 08 до 16 ч по местному времени), возможны пропуски изолированных облаков и не принимается во внимание ветер, а сам погодный журнал включает фактор субъективности наблюдателя.

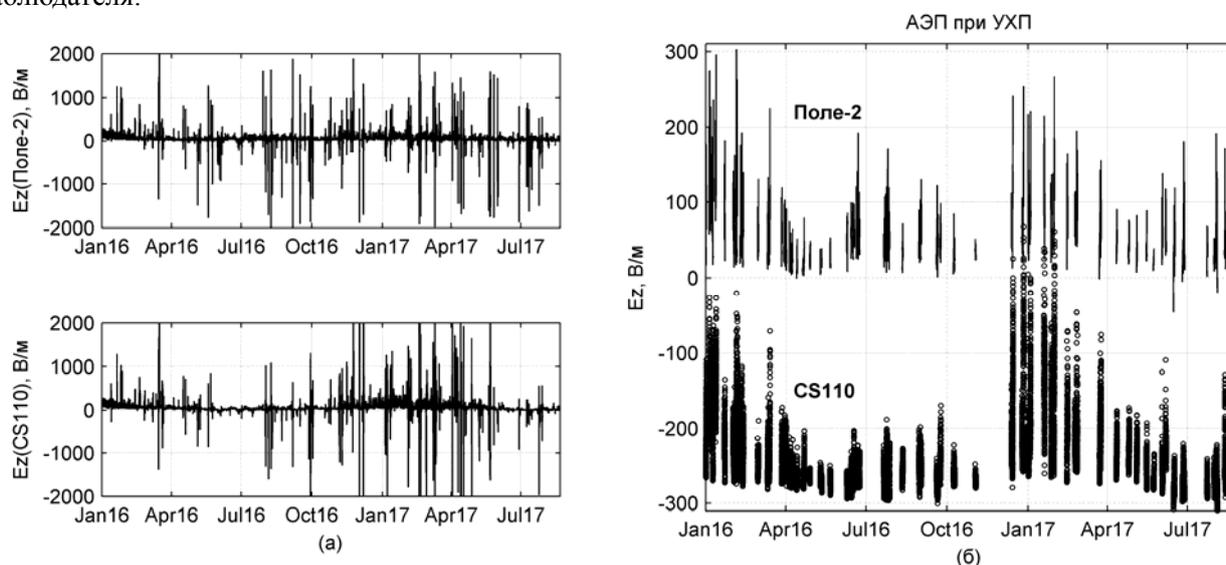


Рис. 2. Вариации градиента потенциала  $E_z$  по измерениям ФМ "Поле-2" и CS110 в 2016-2017 гг. (5-минутные значения): (а) – исходные данные, пределы оси ординат для графика CS110 ограничены для лучшего сопоставления с  $E_z$ ("Поле-2"); (б) – вариации при условиях хорошей погоды (данные для CS110 смещены по ординате на -300 В/м)

Результаты на рис. 2 показывают, что существуют сезонные изменения  $E_z$ , в т.ч. более высокие средние значения и изменчивость в зимнее время, чем в летнее, что совпадает с оценками в [2] по измерениям в 1998–2006 гг. Кроме того, по рис. 2 видно, что вариации в летнее время по измерениям с помощью ФМ "Поле-2" в целом больше, чем по измерениям CS110. Такое поведение  $E_z$ (CS110) было отмечено летом 2015 г., повторилось в 2016 г. и может быть интерпретировано как снижение чувствительности CS110. Для количественного выражения эффекта было получено отношение  $E_z$ (Поле) к  $E_z$ (CS110), результаты показаны на рис. 3. Хорошо видно на рис. 3(левая панель), что в мае–сентябре отношение возрастает примерно с 1 до 5–10, т.е. чувствительность CS110 уменьшается в несколько раз. Рис. 3(правая панель) в качестве примера даёт детализацию эффекта для одних суток (26.07.2016 г.), а также вариации температуры и влажности в датчике. Большой суточный перепад температуры связан с нагревом CS110 (и крыши) Солнцем, низкие значения относительной влажности – следствие использования силикагеля внутри датчика. Корреляции между аномальным поведением  $E_z$ (CS110) и такими факторами как, например, метеорологические параметры (внутренние и наружные температура и влажность) или ток утечки через электроды, который оценивается в CS110 для каждого измерения, предполагаются, однако они проявляются неустойчиво.

В качестве причины рассматривалось возможная активизация выделения аэрозолей из битумной крыши при сильном нагреве прямыми солнечными лучами, однако тестовые записи CS110,

сделанные на поверхности земли, показали, что этот фактор маловероятен. Более вероятной причиной представляются процессы, проходящие в измерительной части датчика с образованием конденсата. Действительно, чувствительность CS110 падает обычно перед закатом (астрономическим), т.е. при достаточно резком понижении температуры. Однако непосредственные измерения относительной влажности (если не предполагать их недостоверность) в самом датчике и уличной не показывают, что следует ожидать образования конденсата, например, на изоляторах или пластинах. Кроме того, ток утечки через изоляторы, причиной которого обычно является конденсат, регистрируется при измерениях и не показывает однозначной корреляции с изменением чувствительности электрометра. Необходимо отметить, что в конструкции датчика предусмотрено размещение силикагеля в измерительной области датчика CS110, и его замена не давала видимого эффекта.

Ещё одной причиной может быть активность насекомых в измерительной части датчика, которая снижается в ночное время суток и полностью отсутствует в холодное время года. Основанием для такого предположения является принципиальная возможность попадания насекомых внутрь датчика из-за низкой скорости движения экранирующей пластины, например, при порывах ветра. Так, во время профилактики в июле 2017 г. в области обтюлятора была обнаружена паутина, а внутри датчика – живой паук и кокон. Чистка датчика с одновременной заменой силикагеля восстановила чувствительность, однако через некоторое время эффект снова начал проявляться.

Существует также вероятность, что мы имеем дело с чисто аппаратным сбоем, возможно, требующим действий со стороны разработчика. Проблема остаётся нерешённой, в т.ч. и из-за некоторой её спонтанности: в конце августа 2017 г. без каких-либо видимых оснований чувствительность CS110 восстановилась и сохраняется на приемлемом уровне.

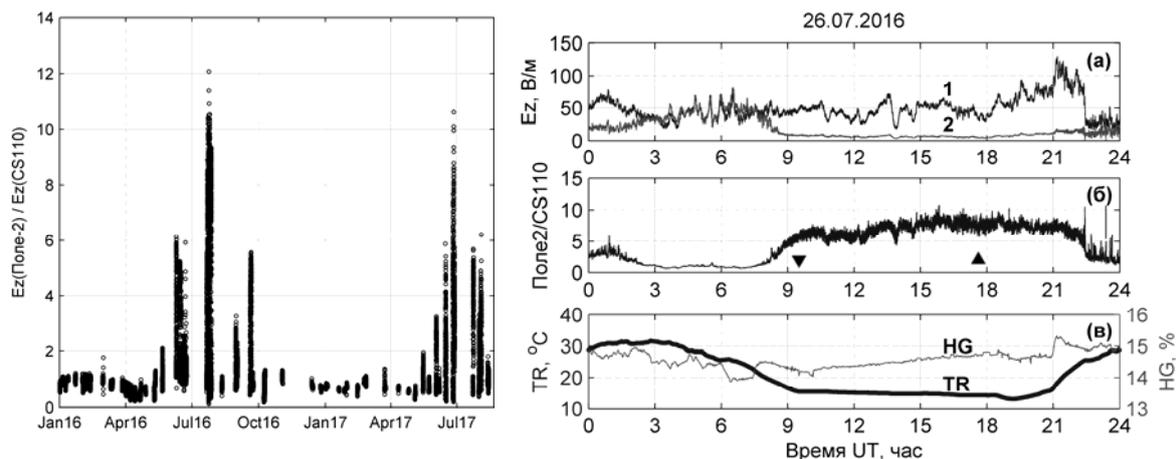


Рис. 3. Эффект сезонной нестабильности чувствительности электрометра CS110. На правой панели показано отношение  $E_z$ , зарегистрированного с помощью ФМ "Поле-2", к  $E_z(\text{CS110})$ . На левой панели: (а) – 5-минутные значения  $E_z$  двух электрометров (1 – "Поле-2", 2 – CS110); (б) – отношение  $E_z(\text{Поле-2})/E_z(\text{CS110})$ , символами  $\nabla$  и  $\Delta$  показаны моменты заката и восхода Солнца в рассматриваемые сутки; (в) – минутные значения температуры (TR) и относительной влажности (HG), зарегистрированной датчиками внутри датчика CS110

На рис. 4 показаны записи ФМ "Поле-2" и CS110 06.01.2017 г. во время незначительного снегопада, который проявился в виде трёх сильных аномалий, две из которых (в 08 и 12UT) представлены на рис. 4. Наблюдается почти полное совпадение записей двух электрометров в 12UT, при значительном амплитудном различии в 08UT. Возможной причиной этого может быть пониженная чувствительность CS110 в 08UT.

### Заключение

Выше были рассмотрены измерения  $E_z$ , выполненные на ГФО «Паратунка» в 2016–2017 гг. с помощью флюксометров "Поле-2" и CS110. Преимущественно анализировался единственный эффект, обнаруженный в результатах CS110 – сезонная нестабильность его чувствительности. Представлены некоторые возможные источники этого эффекта, однако решение проблемы не найдено и является задачей будущих работ.

Рассматриваемый вопрос в значительной степени является узкотехническим. Однако он затрагивает очень важный методический аспект, непосредственно касающийся научных исследований: надёжности (достоверности) используемых данных. В данном случае, при отсутствии измерений с помощью ФМ "Поле-2" и/или при отсутствии долговременных измерений при

постоянных условиях, полученные с помощью CS110 ряды рассматривались бы как достоверные, а обсуждаемый эффект сезонной нестабильности чувствительности мог бы быть интерпретирован как естественные вариации электрического поля. Подобная ситуация не уникальна и не связана исключительно с CS110 – например, иногда у ФМ "Поле-2" между калибровками, предусмотренными регламентом, существенно менялись инструментальные параметры, однако идентифицировать полученные при этом результаты измерений как недостоверные было практически невозможно.

Таким образом, в условиях сильной зависимости наблюдения АЭП от локальных эффектов, единственной возможностью контроля получаемых результатов являются параллельные независимые измерения двумя приборами, предпочтительнее, работающих на разных методических принципах.

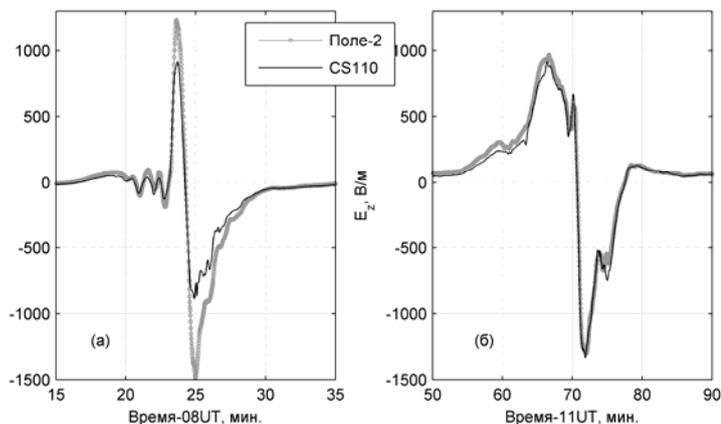


Рис. 4. Эффект нестабильной чувствительности электрометров "Поле-2" и CS110 во время снегопада 06.01.2017 г.

#### Благодарности

Автор благодарит сотрудников ГФО «Паратунка» С.В. Бутина и И.Ю. Бабаханова за техническое обеспечение мониторинга АЭП. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 14-11-00194.

#### Список литературы

1. Датчик напряженности электрического поля "Поле-2". Техническое описание и инструкция по эксплуатации // Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова. Ленинград, 1991. 35 с.
2. Чернева Н.В., Фирстов П.П. Влияние метеорологических факторов на электрические параметры нижней атмосферы // Метеорология и гидрология. 2013. № 3. С. 56–65.
3. Bennett A.J., Harrison R.G. Atmospheric electricity in different weather conditions // Weather. 2007. V. 62. № 10. P. 277–283.
4. Buzevich A.V., Smirnov S.E. Specialized Hardware-Software Complex of Geophysical Observatory "Paratunka" // 23 General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics. Sapporo, Japan. 2003. P. B81.
5. CS110 Electric Field Meter. Instruction Manual. Revision: 4/12. Campbell Scientific, Inc. 2005–2012. 40 p.
6. Khomutov S., Smirnov S., Butin S., Babakhanov I. First results of atmospheric electricity measurements by CS110 electric field meter at Paratunka observatory, Kamchatka // E3S Web Conf. 2016. Vol. 11, № 8. DOI: 10.1051/e3sconf/20161100008. VII International Conference "Solar-Terrestrial Relations and Physics of Earthquakes Precursors".

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В РИОЦ «ЮЖНО-САХАЛИНСК»

*Щукин М.В.*

*Сахалинский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Южно-Сахалинск, vgcet.zero@gmail.com*

В результате реализации комплекса мероприятий по выполнению Федеральной целевой программы «Снижение рисков и смягчение последствий ...» к 2013 году был накоплен значительный по объему и уникальный для исследований сейсмологический материал, который включал в себя каталоги оперативных данных, сводные каталоги параметров очагов землетрясений, архив первичных данных, цифровой архив волновых форм землетрясений, архив записей сильных движений. Однако, формат хранения накопленного материала накладывал существенные ограничения на возможности работы с этим материалом. В частности, не представлялось возможным составить запрос к данным, детализировать землетрясения, отслеживать развитие сейсмического процесса или проводить аналитический обзор данных. Таким образом, встал вопрос о создании банка сейсмологических данных СФ ФИЦ ЕГС РАН. В 2013 году был разработан один из первоначальных вариантов банка сейсмологических данных – база данных «Мониторинг сейсмичности Дальневосточного региона». [1]

На рис. 1 представлена блок-схема сбора, хранения и отображения сейсмологических данных в БД «Мониторинг сейсмичности Дальневосточного региона».

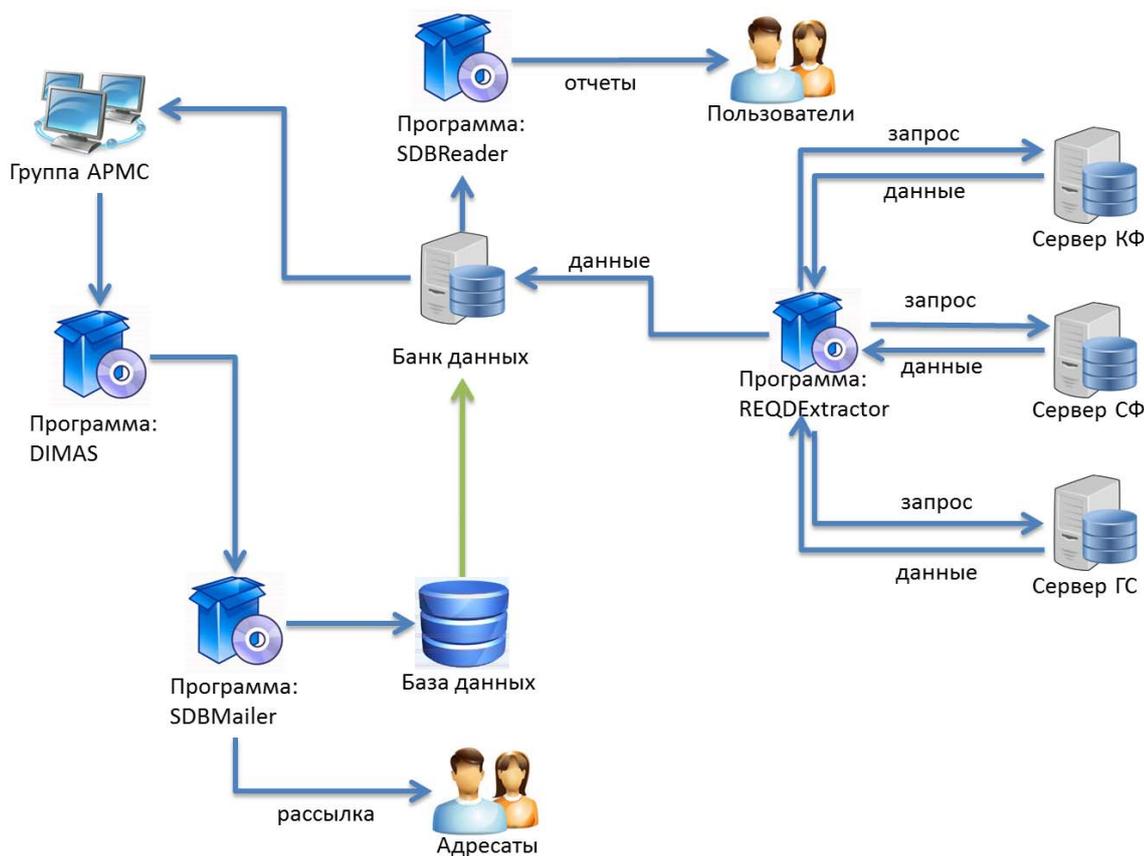


Рис. 1. Структура базы данных «Мониторинг сейсмичности Дальневосточного региона»

Данная система включает следующие компоненты:

- каркас БД – описание хранимых в БД данных и разработанный набор вспомогательных функций для работы с ней;
- данные – результаты обработки землетрясений прикладными программами (таблицы, каталоги, карты);
- набор прикладных программ для работы с базой данных.

В течение последних трех лет система получила дальнейшее развитие.

Для извлечения данных из БД использовалась программа SDBReader, которая формирует пользовательские запросы для визуального представления данных и, в дальнейшем, формирования отчетов. Однако, в связи с изменившимися требованиями, было проведено масштабное обновление данного ПО. Обновленная версия использует библиотеку SDBEarthquake, разработанную для упрощения и координации взаимодействия программ с БД. Новая версия программы получила название SDBReader Next, и была разработана на платформе Unity3D, с использованием языка C#. Среди обновленных функций наиболее значимыми являются следующие:

- Обновленная система для работы с картами. На выбор доступно более 80 типов карт, динамичная легенда, масштабирование маркеров и другие функции.
- Работа с зонами. Возможности наносить зоны на карту, сохранять, и использовать в запросах.
- Расширенные параметры запросов, использование LINQ вместо SQL для запросов, что так же существенно упрощает процедуру создания новых параметров запросов.
- Оптимизация и изменения в интерфейсе. Гибкая система для разработки пользовательского интерфейса Unity3D позволяет сократить время отклика программы, и предоставлять данные в более удобном для пользователя виде.

Пример измененного интерфейса приведен на рисунке:

The screenshot displays the SDBReader Next application interface. At the top, there are navigation buttons: 'Выполнить на карте', 'Выполнить запрос', 'Сгенерировать отчет', and 'Выйти'. Below these are several filter panels:

- Выборка по дате:** Two calendar pickers for selecting date ranges.
- Выборка по магнитудам и классам:** Fields for 'Магнитуда между:' (C and M) and 'Допустимые магнитуды:' with a 'Добавить' button.
- Выборка по глубине:** 'Глубина' field with 'C' and 'M' options.
- Выборка по радиусу:** 'Широта:' (Latitude) and 'Долгота:' (Longitude) fields with 'C' and 'M' options, and a 'Радиус, км:' field.
- Выборка по M:** 'Магнитуда' field with 'C' and 'M' options.
- Выборка по зоне:** 'Внутри зоны:' field with a 'Добавить +' button.
- Checkboxes for 'РИОЦ' and 'ОСО СД' are also visible.

Below the filters is a table with the following columns: ID, Origin Time, OriginErr., dErr, Lat., Long., Depth, DepthErr, TravelTimes, Loc. Limits, MagBest, N calc, and MagnitudesAll. The table contains several rows of earthquake data.

ID	Origin Time	OriginErr.	dErr	Lat.	Long.	Depth	DepthErr	TravelTimes	Loc. Limits	MagBest	N calc	MagnitudesAll
18511	2017.08.31 03:13:43	0,00	0,00	48,94	142,06	0	0	sah_kor.gdg	0,35;0;11,6912	1,2	1	Ks = 4 ML = 1,2
18509	2017.08.31 01:30:37	5,14	162,6	28,28	57,12	110	103	regional.gdg	0,777;14;0;21,56	4,4	1	MPLP = 4,6 MS = 4,4
18502	2017.08.30 22:09:04	5,68	54,24	28,10	130,02	70	31	iasp91.gdg	0,70;0;17	4,6	1	MPSP = 5,2
18507	2017.08.30 19:34:35	0,52	3,67	47,23	142,66	3	3	sah_kor.gdg	0,35;0;0,588	1,7	1	Ks = 4,7 MPSP = 3,4 Kr = 7
18506	2017.08.30 18:40:51	0,34	0,99	47,20	142,65	10	5	sah_kor.gdg	0,35;0;11,6912	2,2	1	Ks = 6,1 MPSP = 4,3 Kr = 8
18505	2017.08.30 16:55:03	0,49	5,08	47,36	142,68	5	6	sah_kor.gdg	0,35;0;0,98	3,0	1	Ks = 8 MPSP = 4,2 Kr = 7 ML = 3 Kr = 9,5

Рис. 2. Обновленный интерфейс программы SDBReader Next

Изменения были так же внесены и в другое ПО, обслуживающее базу данных. Была разработана программа SDBWarden, в функции которой входит занесение файлов обработки землетрясений в базу данных и формирование задач для других сервисов. Примером такого сервиса является SDBMailer – программа, занимающаяся рассылкой оповещений о сейсмических событиях на почту. Среди особенностей SDBWarden стоит отметить способность самостоятельно восстанавливаться после сбоя с последующей отправкой на анализ файла, вызвавшего сбой.

Так же было разработано новое ПО – RTSM. Данное ПО предназначено для мониторинга сейсмических событий в реальном времени. Данное программное решение разрабатывалось на платформе Unity3D, и использует те же библиотеки, что и SDBReader. RTSM имеет следующие возможности:

- Задание зоны мониторинга.
- Создание отчета по текущему мониторингу.
- Режим учений.
- Определение расчетной интенсивности в ближайших населенных пунктах.

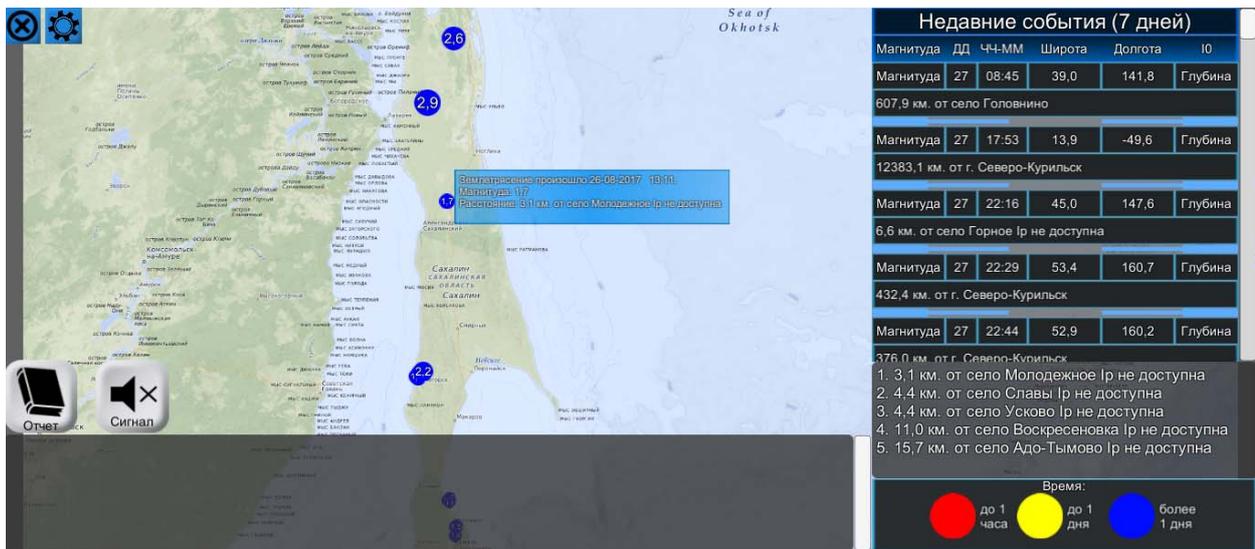


Рис. 3. Интерфейс программы RTSM

Таким образом, информационная система «Мониторинг сейсмичности Дальневосточного региона» была усовершенствована, а функционал прикладных программ был расширен, обеспечив более высокий уровень работы.

### Список литературы

1. *Щукин М.А., Семенова Е.П., Левин Ю.Н.* Создание в Сахалинском филиале ГС РАН базы сейсмологических данных «Мониторинг сейсмичности Дальневосточного региона» // *Материалы конференции Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска. Т. 2. г. Южно-Сахалинск. Владивосток: Дальнаука, 2015. С. 461–463.*