

DOI: 10.18454/2079-6641-2018-24-4-213-225

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 551.2.08:534.23:551.594.6

**МАКЕТ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ
ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА,
ИДЕНТИФИКАЦИИ И АНАЛИЗА
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ***

**И. А. Ларионов, Е. И. Малкин, Ю. В. Марапулец,
М. А. Мищенко, А. А. Солодчук**

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
684034, Камчатский край, с.Паратунка, ул. Мирная, 7

E-mail: igor@ikir.ru

Представлена разработка методов и технических средств комплексного анализа сигналов геоакустической и электромагнитной эмиссий для автоматизированной оценки состояния системы поверхностный слой Земли - низкие слои атмосферы в периоды предшествующие опасным сейсмическим событиям. Исследование относится к актуальному и важнейшему научному направлению - развитию теории моделирования механизмов природных катастроф на основе учета влияния определенного множества различных физических факторов. Приведено описание технологических процессов обеспечивающих обнаружение, обработку и анализ геофизических сигналов приповерхностной литосферно-атмосферной системы Земли в периоды фоновой и аномальной активности на Камчатке.

Ключевые слова: геоакустика, ОНЧ-излучение, система регистрации, аппаратно-программный комплекс

© Ларионов И. А. и др., 2018

*Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-11-00087)

Введение

На границе соприкосновения литосферы и атмосферы происходят взаимодействие и преобразование различных геофизических полей. Наиболее интенсивно это проявляется в сейсмоактивных регионах, где постоянно протекающий сеймотектонический процесс сопровождается более сильным деформированием пород. Непрерывно происходящие разномасштабные вариации этих полей отражают сложные связи между их источниками, а также свойствами твердой и газообразной сред [1].

Исследования геоакустических и электромагнитных полей в периоды повышенной сейсмической активности проводились в различных регионах [2, 3]. В лабораторных исследованиях [4] зарегистрировано, что при деформационных нагрузках горных пород возникают акустические и электромагнитные излучения. С целью обнаружения природных сигналов геоакустической и электромагнитной эмиссий, имеющих общую деформационную природу возникновения, в сейсмоактивном регионе на Камчатке проводятся одновременные комплексные наблюдения. Сигналы поступают от удаленных станций ИКИР ДВО РАН, объединенных в сеть.

Результатом исследований, проводимых на Камчатке [5], являются характерные признаки, выявленные в ходе обработки и анализа геоакустических сигналов и сигналов электромагнитной эмиссии ОНЧ диапазона, которые обнаруживаются перед сейсмическим событием в период от нескольких часов до нескольких суток. Наиболее вероятной причиной возникновения таких аномальных излучений в различных по своей природе полях является активизация деформационных процессов при подготовке землетрясения.

Геоакустические наблюдения

Акустическая эмиссия в твердых телах представляет собой упругие колебания, возникающие в ответ на динамическую перестройку их структуры. Характеристики возбуждаемого при этом импульсного излучения непосредственно связаны с особенностями пластических процессов.

В исследованиях на Камчатке [6, 7, 8] было показано, что типичный сигнал геоакустической эмиссии складывается из последовательности релаксационных импульсов различной амплитуды и длительности с ударным возбуждением и частотой заполнения от единиц до десятков килогерц. Частота их следования в спокойные периоды составляет единицы в секунду, а во время возмущений, предшествующих сейсмическим событиям, достигает десятков и даже сотен в секунду [9].

В фоновый период наблюдаются незначительные по амплитуде геоакустические импульсы с частотой следования в пределах 0.1–0.5 импульсов в секунду. Для примера на рис. 1 показан 10-минутный фрагмент записи геоакустического сигнала в спокойный (фоновый) период. Здесь и ниже на рисунках – акустическое давление.

Во время роста напряжений и скорости деформирования пород наблюдается увеличение как амплитуды импульсов, так и их количества в единицу времени. В качестве примера рассмотрим геоакустические сигналы, зарегистрированные 16.11.2007 г. На рис. 2 представлен 10-минутный фрагмент записи сигнала. Сигналы (рис. 2) наблюдались 16 ноября с 02:30 UT в течение 11.5 ч. Через 1.5 сут 17.11.2007 г. в 17:16 UT на эпицентральной дистанции 104 км произошло землетрясение с энергетическим классом $K_s = 12.8$. Координаты гипоцентра: 52.8° N, 159.63° E, глубина

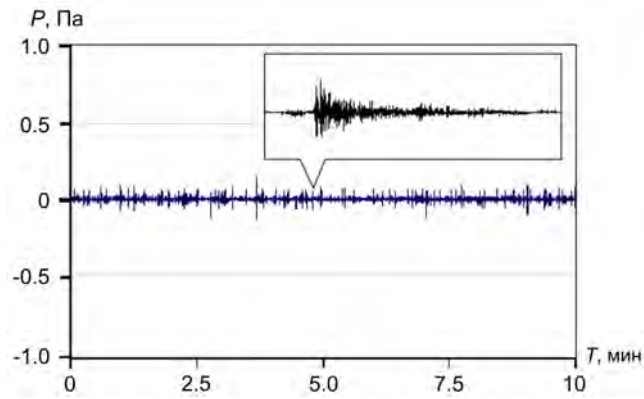


Рис. 1. Пример записи геоакустического сигнала в фоновый период. На выноске представлен одиночный импульс.

17 км (оперативные данные по землетрясению представлены Камчатским филиалом ФИЦ ЕГС РАН).

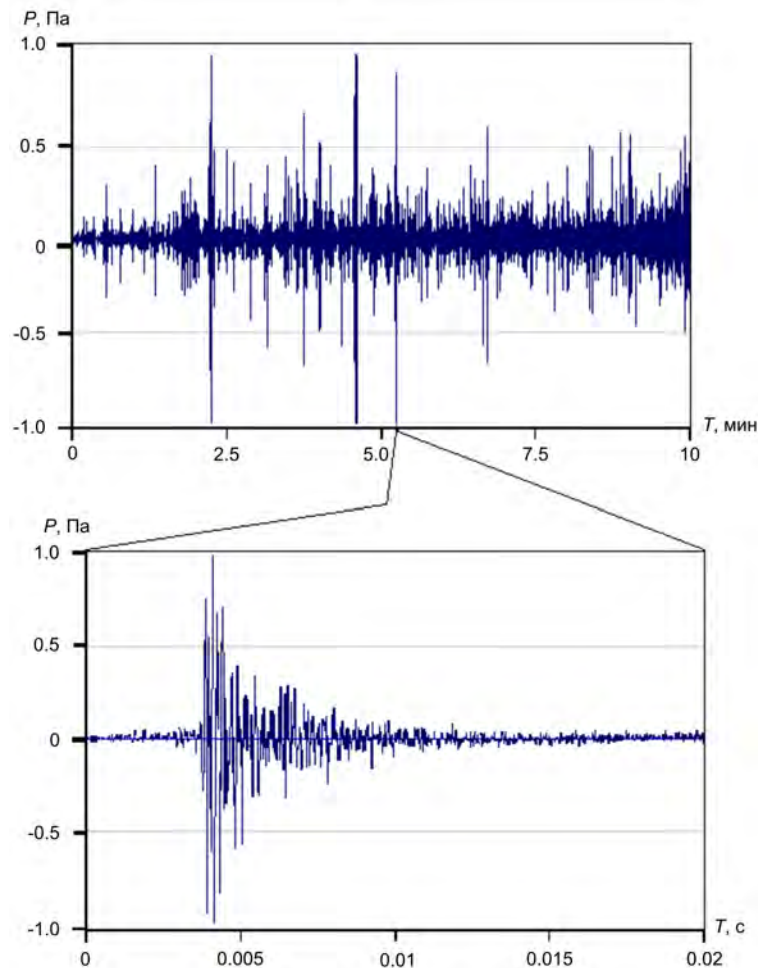


Рис. 2. Фрагмент геоакустического сигнала 16.11.2007 г. (а) и его одиночный импульс (б).

Согласно [10], наблюдаемые в экспериментах геоакустические сигналы создаются сдвиговыми источниками длиной единицы–десятки сантиметров, расположенными

на расстоянии до первых десятков метров от приемника. Таким образом, в случае сильного затухания, которое имеет место в осадочных породах, по длительности сигнала можно определить расстояние до его источника.

В связи с отсутствием геофонов, способных регистрировать геосигнал во всем диапазоне звуковых частот, с учетом результатов, полученных при регистрации сейсмоакустических сигналов гидроакустическими станциями, установленными на морском шельфе [12, 13], в качестве датчиков геоакустической эмиссии были использованы пьезокерамические гидрофоны, размещенные у дна природных и искусственных водоемов. Результаты экспериментальных исследований распространения сигналов в закрытых внутренних водоемах [6, 7, 8] и на морском шельфе [14, 15] показывают, что на небольших расстояниях искажение формы импульсов при распространении в волноводе, состоящем из водного слоя и приповерхностного слоя грунта, несущественно. Таким образом, изучение геоакустических сигналов гидрофонами, установленными в воде у дна водоемов, вполне допустимо.

На рис. 3 показана схема проведения эксперимента по регистрации геоакустической эмиссии. Генерация геоакустического сигнала происходит в приповерхностных осадочных породах, а его регистрация – в водной среде у дна водоема. На границе раздела двух сред возникает рефракция. Коэффициент преломления при переходе продольных колебаний из осадочных пород в воду составляет примерно 1.2–1.7. С учетом небольших расстояний распространения сигналов эффектами рефракции можно пренебречь.

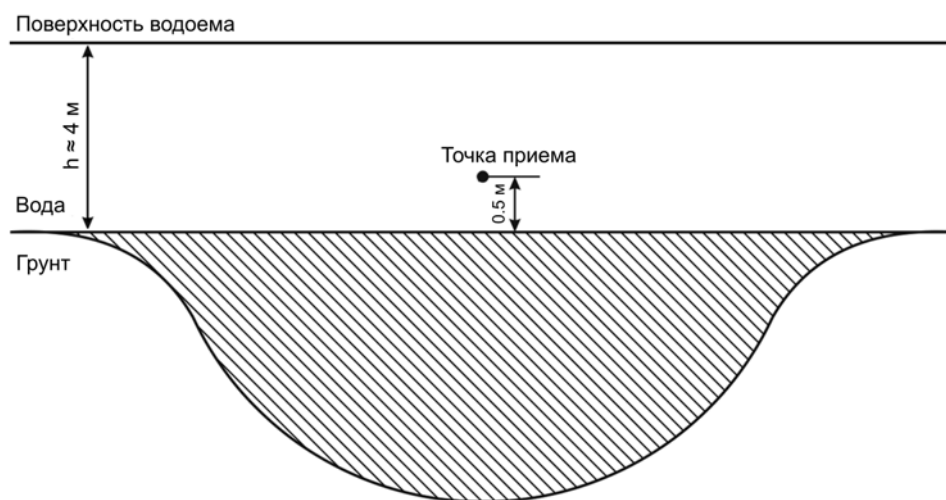


Рис. 3. Схема наблюдения геоакустической эмиссии. Приведено вертикальное сечение через точку установки приёмника. Штриховкой отмечена область, из которой может осуществляться приём сигнала [11]

Для приема геоакустического сигнала используются пьезокерамические цилиндрические гидрофоны [6, 16] мембранного типа диаметром = 65 мм. Гидрофоны предназначены для работы в звуковом диапазоне частот с чувствительностью (включая предварительное усиление) порядка десятков – сотен мВ/Па. Конструктивно каждый приемник выполнен в металлическом корпусе (рис. 4а). В качестве приемного элемента используются набор из помещенных на стержень 8 колец с габаритными размерами 22×10×4.8 мм, изготовленных из пьезокерамики ЦТБС-3. С тыльной стороны стержень жестко соединен с корпусом, а с другой – установлена мембрана,

которая воспринимает акустическое давление и передает его на пьезоэлементы. На рис. 4б приведен график спектральной чувствительности гидрофона вместе с предусилителем [8]. Калибровка акустических приемников осуществляется при помощи тестового сигнала с акустического излучателя при его постановке и при ежегодном техническом обслуживании.

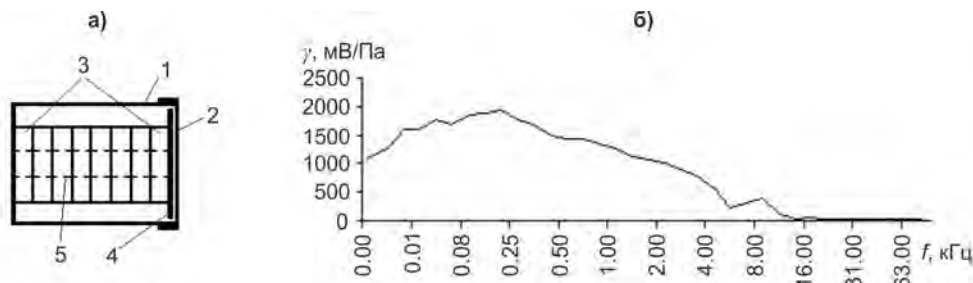


Рис. 4. Пьезокерамический гидрофон. Конструктивная схема гидрофона (а): 1 – корпус, 2 – крышка из звукопрозрачного материала, 3 – пьезокерамические кольца, 4 – мембрана, 5 – стержень. Его спектральная чувствительность (б)

Электромагнитные наблюдения

Регулярный шумовой фон (РШФ) в электромагнитном излучении (ЭМИ) существует постоянно. Источником РШФ являются: атмосфера (грозовые очаги), магнитосфера, потоки низко энергетических частиц неустойчивых к возбуждению волн вблизи нижнего гибридного резонанса (НГР) на высотах нижней ионосферы (НГР-канал, авроральная зона, дневной полярный касп) [17]. Исследования шумовой составляющей ЭМИ в диапазоне очень низких частот (ОНЧ) были начаты в России в 1962 г. Пономарёвым Е.А. и Вершининым Е.Ф. [18]. В настоящее время на территории Камчатки ведутся наблюдения ЭМИ с помощью многоканального ОНЧ регистратора, позволяющего принимать слабые шумовые сигналы. ОНЧ регистратор состоит из двух рамочных и одной вертикальной штыревой антенн, предварительных усилителей, согласованных по входу с антеннами, кабельной линии связи, устройством фильтрации и аналого-цифрового преобразователя (АЦП) [19]. Также на базе ОНЧ регистратора реализован пеленгатор импульсного ЭМИ грозового происхождения. Калибровка ОНЧ-пеленгатора осуществляется два раза в год от генератора белого шума, сигнал с которого подается через конденсатор на вход усилителя штыревой антенны, а на рамочные - через калибровочную антенну.

На рисунках 5 и 6 представлены суточный ход РШФ ЭМИ (а), азимутальное распределение импульсов ЭМИ (б) и скорость их счёта по направлениям (в) в условиях хорошей погоды в сейсмически спокойный период и в период подготовки и развития землетрясения, произошедшего 06.07.2018 г. в 01:40 UT на эпицентральной расстоянии 165 км. Координаты гипоцентра 51.32° N и 158.12° E, глубина 75 км, энергетический класс $K_s = 14.9$ (оперативные данные по землетрясению представлены Камчатским филиалом ФИЦ ЕГС РАН). РШФ оценивался на одиннадцати частотах (рис. 5а и 6а), а частота 1709 Гц – резонансная частота волновода Земля-ионосфера.

Как видно из рисунков, в условиях хорошей погоды регистрируемый РШФ ЭМИ в области ОНЧ обладает чётким суточным ходом с минимумом в дневное и максимумом в ночное время и малой дисперсией относительно огибающей (рис. 5а). Ази-

мутальное распределение импульсов ЭМИ также имеет четко выраженный суточный ход с максимальной скоростью счёта в вечернее-ночное время (рис. 5в) и азимутом 170° – 240° (рис. 5б). Аномалией РШФ можно назвать нарушение суточного хода, выраженного в виде смещения минимумов и максимумов на нехарактерные временные интервалы, а также увеличения дисперсии амплитуд относительно огибающей (рис. 6а). Аномалии азимутального распределения импульсного ЭМИ выражаются в виде отклонения скоростей счёта по направлениям (рис. 6в) от их значений в фоновый период, а также появления нехарактерных направлений (рис. 6б).

Основными известными причинами появления аномального суточного хода РШФ в ОНЧ-диапазоне и азимутального распределения импульсного ЭМИ являются:

- 1) активизация мощных далёких источников атмосферной или магнитосферной природы (тропические ураганы, геомагнитные возмущения) [20, 21];
- 2) активизация слабых, близких источников атмосферной природы (например коронный разряд) сопровождающих обильные атмосферные осадки, пылевые бури, вулканические пепловые облака и т.д. [22];
- 3) локальные изменения параметров проводимости земли и ионосферы (формирование неоднородностей в волноводе земля-ионосфера и внутриионосферном волноводе) [23, 24].

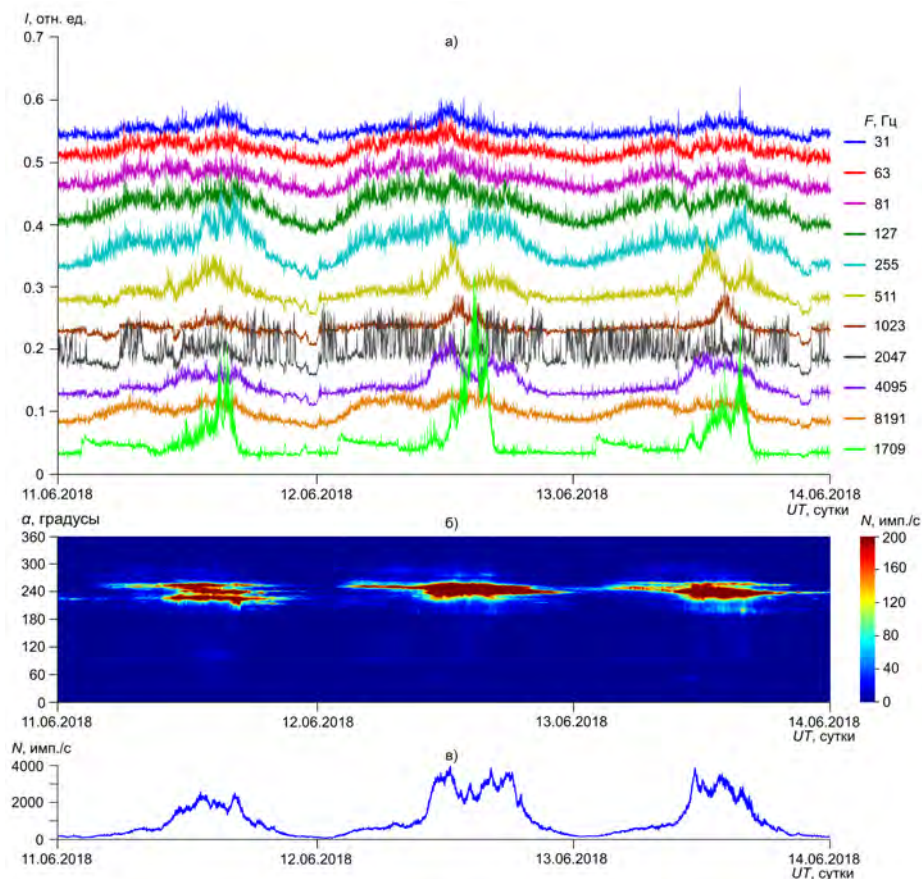


Рис. 5. Суточный ход РШФ ЭМИ (а), азимутальное распределение импульсов ЭМИ (б) и скорость их счёта по направлениям (в) в условиях хорошей погоды в фоновый период.

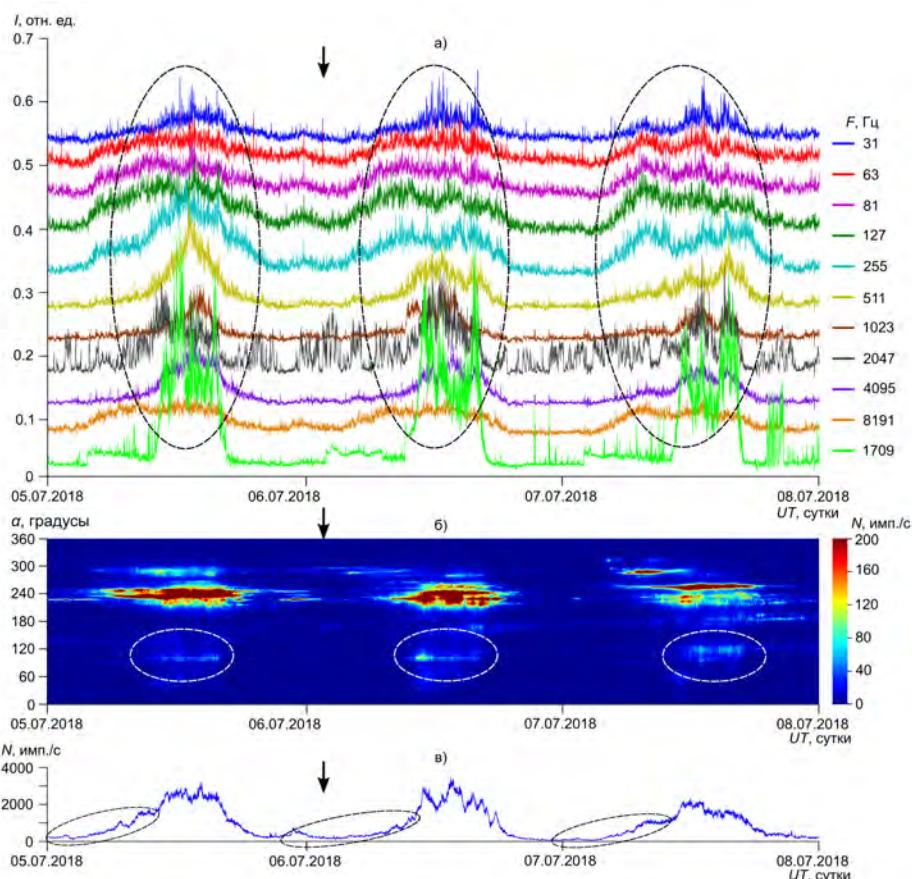


Рис. 6. Суточный ход РШФ ЭМИ (а), азимутальное распределение импульсов ЭМИ (б) и скорость их счёта по направлениям (в) в условиях хорошей погоды в период подготовки и развития землетрясения. Стрелками отмечен момент регистрации землетрясения 06.07.2018 г. 01:40 UT. Эллипсами отмечены аномальные участки сигнала.

Макет аппаратно-программного комплекса

Для регистрации широкополосного сигнала с различных систем наблюдений в режиме реального времени разработан макет аппаратно-программного комплекса (АПК), состоящий из двух пространственно разнесенных частей (автономной и стационарной). Стационарная часть комплекса находится в лабораторном корпусе ИКИР ДВО РАН. Автономная часть расположена в пункте наблюдений «Карымшина», удалённом на 18 км юго-юго-западнее Института. Между частями АПК организована высокоскоростная wi-fi линия связи для обмена данными и контроля работы удаленного оборудования. Структура комплекса представлена на рис. 7.

В автономной части АПК аналоговый сигнал, полученный с помощью первичных преобразователей исследуемых геофизических полей, обозначенных на рисунке «Датчик 1» . . . «Датчик N», проходит предварительное усиление и поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Далее персональный компьютер (ПК), используя программы регистрации [25, 27], производит запись цифрового сигнала на внутренний накопитель в формате RIFF (WAVE) без использования сжатия. Исключается ситуация переполнения носителей информации, что обеспечивает непрерывность записи данных. Число одновременно хранимых суточных данных задаётся

пользователем системы, исходя из объёма свободного пространства на используемом носителе. Для хранения полученных данных используется буферный накопитель большой емкости, на который они копируются с предварительным переводом в формат FLAC (Free Lossless Audio Codec). Этот формат позволяет производить сжатие аудиоданных без потерь. Заполненный накопитель своевременно меняется на новый и помещается в банк данных лаборатории. Следует отметить, что в архитектуру разработанного программного продукта заложена возможность одновременной и независимой работы с несколькими АЦП.

Отметим, что на удаленной станции наблюдений в качестве ПК могут использоваться энергоэффективные низкопроизводительные ноутбуки или миникомпьютеры, т.к. основную нагрузку по обработке данных они не несут.

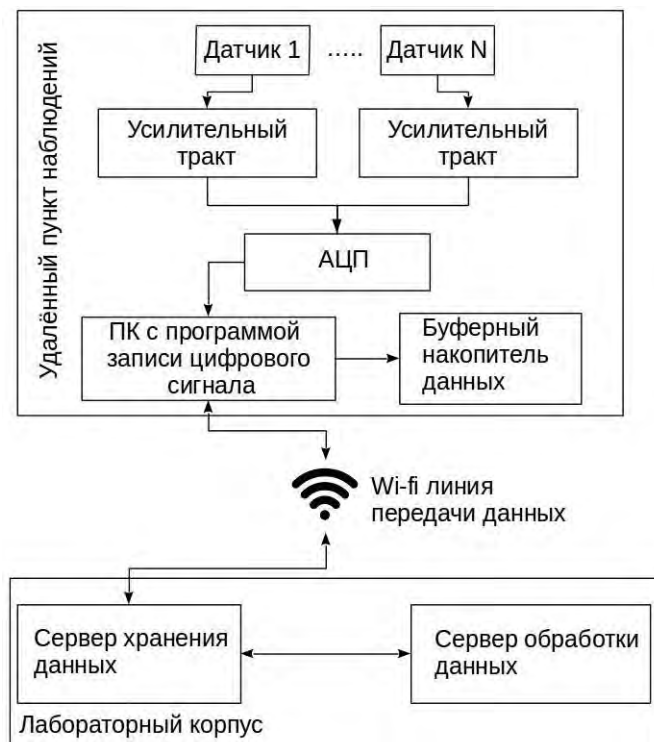


Рис. 7. Структурная схема АПК для регистрации широкополосных сигналов с различных систем наблюдений

В стационарной части АПК для оптимизации функций обработки и хранения данных, используются два сервера. Один из них оснащается мощными процессорами и расширяемым дисковым пространством и предназначен для сбора данных с автономной части комплекса, их предварительной обработки, хранения и обработки запросов пользователей. В реализованном макете АПК данный сервер включает:

- 16-ядерную двухпроцессорную систему на базе Intel Xeon с тактовой частотой 2.4 ГГц;
- оперативную память объёмом 64 Гб;
- 12 Тб дискового пространства.

Особенностью второго сервера в макете АПК является наличие материнской платы с возможностью одновременного подключения четырёх современных видеокарт

с поддержкой технологии параллельных вычислений NVIDIA CUDA. Он производит основную обработку данных, используя высокопроизводительные видеокарты, а также программный комплекс, состоящий из программы «IAC» для цифровой фильтрации [28] и программы для разреженной аппроксимации импульсных сигналов с применением параллельных вычислений [29]. Программа «IAC» состоит из двух независимых модулей: обработчика и монитора. Обработчик – консольная программа, написанная на языке C++, выполняющая основные расчеты на графических процессорах видеокарт. Для реализации данной функциональности используется открытый стандарт гетерогенных вычислений OpenCL и его реализация для видеокарт NVIDIA, основанная на технологии CUDA. Программы, написанные под этот стандарт, могут выполняться на любых современных видеокартах, а при их отсутствии – на центральном процессоре. Обработчик в качестве входных данных получает широкополосный сигнал в формате WAVE, производит его частотно-временную обработку, отображает результаты и сохраняет их в соответствующие каталоги на сервер хранения данных. Цифровая фильтрация осуществляется в семи частотных поддиапазонах (F1 – F7 на рис. 6): от 0.1 до 10, от 30 до 60, от 70 до 200, от 200 до 600, от 600 до 2000, от 2000 до 6500 и более 6500 Гц с последующим детектированием, интегрированием и синхронной записью отсчетов с частотой 1 Гц. Монитор – приложение с графическим пользовательским интерфейсом, написанное с использованием фреймворка Qt. Его задачей является визуализация обработанных данных за последние сутки в удобном виде. Интерфейс главного окна модуля «Монитор» представлен на рис. 8.

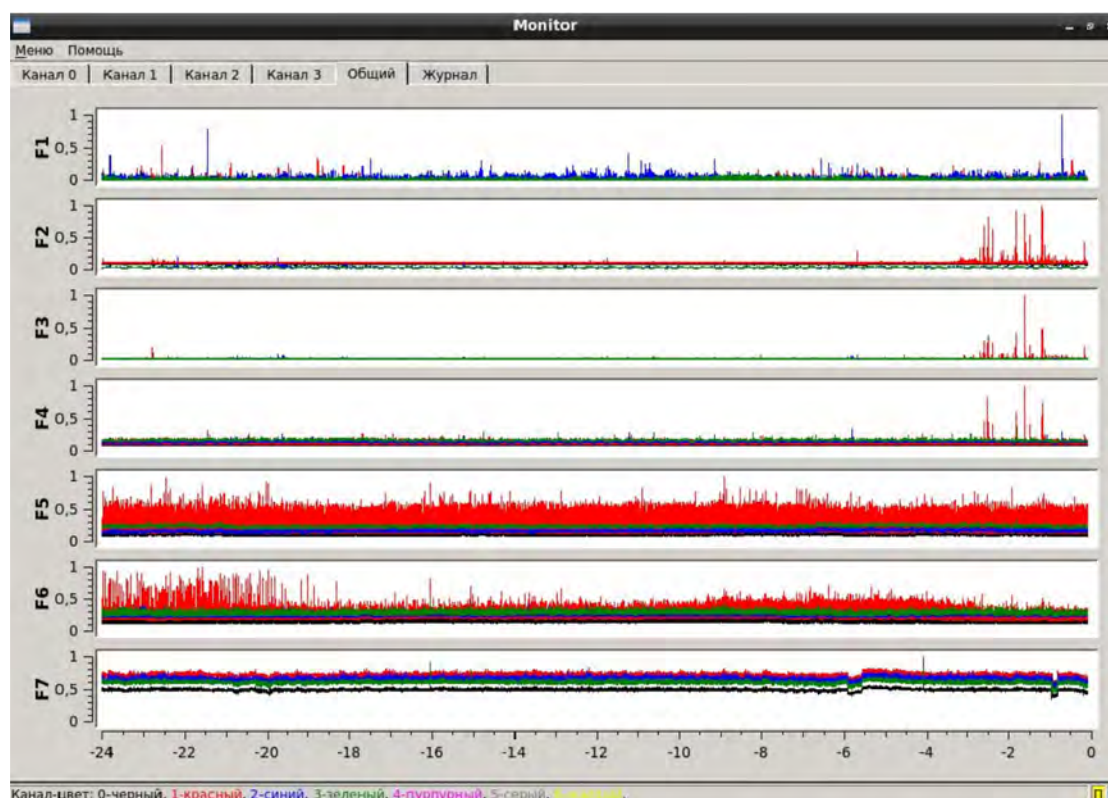


Рис. 8. Интерфейс главного окна модуля «Монитор»

Для раскрытия внутренней структуры сигнала, используется метод согласованного преследования для частотно-временного анализа сигналов. Данный подход осно-

ван на разложении импульсов в сигнале по некоторому набору базисных функций. Программа для разреженной аппроксимации сигналов, выполняющая эту задачу, также использует открытый стандарт гетерогенных вычислений OpenCL и его реализацию для видеокарт NVIDIA по технологии CUDA [30].

Таким образом, основное преимущество сервера обработки данных заключается в использовании десятка тысяч процессоров на нескольких видеокартах и технологии CUDA для обеспечения параллельных вычислений. Это дает возможность производить обработку и мониторинг сигналов наблюдений с различных систем регистрации в масштабе реального времени. Максимальная пропускная способность для решаемых задач составляет ≈ 10 Гб/мин.

Все описанные системы регистрации и комплексы обработки работают в автоматическом режиме. Важные модули или исполняющие программы имеют возможность сообщать о статусе своей работы в графическом режиме. Также, сервер хранения данных позволяет контролировать состояние работы АПК через интерфейс, доступный в сети INTERNET.

Заключение

Реализован макет автоматизированного АПК, который может быть использован для оперативного мониторинга, идентификации и выделения эффектов, возникающих в периоды прогнозируемых сейсмических событий в масштабе реального времени, их анализа и записи на цифровые носители.

Проведена апробация макета АПК на реальных сигналах геоакустической и электромагнитной эмиссий.

Список литературы

- [1] Адушкин В. В., Спивак А. А., “Приповерхностная геофизика: комплексные исследования литосферно-атмосферных взаимодействий в окружающей среде”, *Физика Земли*, **3** (2012), 3–21. [Adushkin V. V., Spivak A. A., “Near-surface geophysics: Complex investigations of the lithosphere-atmosphere interactions”, *Physics of the Solid Earth*, **48**:3 (2012), 181-198].
- [2] Гохберг М. Б., Моргунов В. А., Похотелов О. А., *Сейсмоэлектромагнитные явления*, Наука, М., 1988, 174 с. [Gohberg V.M., Morgunov V.A., Pohotelov O.A., *Sejsmoehlektromagnitnye yavleniya*, Nauka, M., 1988, 174 pp.]
- [3] Садовский М. А. и др., *Электромагнитные предвестники землетрясений*, Наука, М., 1982, 89 с. [Sadovskij M.A. et al., *Elektromagnitnye predvestniki zemletryasenij*, Nauka, M., 1982, 89 pp.]
- [4] Mori Y., Obata Y., Sikula J., “Acoustic and electromagnetic emission from crack created in rock sample under deformation”, *Acoustic Emission.*, **27** (2009), 157–166.
- [5] Дружин Г. И. и др., “Акустические и электромагнитные излучения перед землетрясением на Камчатке”, *ДАН*, **472**:5 (2017), 584–589.. [Druzhin G. I. et al., “Acoustic and electromagnetic emissions preceding the earthquake in Kamchatka Doklady Earth Sciences”, *DAN*, **472**:2 (2017), 215-219].
- [6] Купцов А. В. и др., “Анализ изменений геоакустической эмиссии в процессе подготовки сильных землетрясений на Камчатке”, *Исследовано в России*, **7** (2004), 2809–2818, <http://www.sci-journal.ru/articles/2004/262.pdf>. [Kupcov A. V. et al., “Analiz izmenenij geoakusticheskoy ehmissii v processe podgotovki sil'nyh zemletryasenij na Kamchatke”, *Issledovano v Rossii*, **7** (2004), 2809–2818].
- [7] Купцов А. В., “Изменение характера геоакустической эмиссии в связи с землетрясением на Камчатке”, *Физика Земли*, **10** (2005), 59–65. [Kupcov A.V., “Izmenenie haraktera

- geoakusticheskoj ehmissii v svyazi s zemletryaseniem na Kamchatke”, *Fizika Zemli*, 2005, № 10, 59–65].
- [8] Купцов А. В., Ларионов И. А., Шевцов Б. М., “Особенности геоакустической эмиссии при подготовке камчатских землетрясений”, *Вулканология и сейсмология*, **5** (2005), 45–58. [Kupcov A. V., Larionov I. A., Shevtsov B. M., “Osobennosti geoakusticheskoj ehmissii pri podgotovke kamchatskih zemletryasenij”, *Vulkanologiya i seismologiya*, 2005, № 5, 45–58].
- [9] Марапулец Ю. В., Щербина А. О., “Методы исследования пространственной анизотропии геоакустической эмиссии”, *Техническая акустика*, **8** (2008), 14, <http://ejta.org/archive/articles2008/marapuletz1.zip>. [Marapulets Yu. V., Shcherbina A. O., “Metody issledovaniya prostranstvennoj anizotropii geoakusticheskoj ehmissii”, *Tekhnicheskaya akustika*, 2008, № 8, 14].
- [10] Марапулец Ю. В., Шевцов Б. М., *Мезомасштабная акустическая эмиссия*, Дальнаука, Владивосток, 2012, 126 с. [Marapulets Yu. V., Shevtsov B. M., *Mezomasshtabnaya akusticheskaya emissiya*, Dal’nauka, Vladivostok, 2012, 126 pp.]
- [11] Щербина А. О., *Изменение направленности высокочастотной геоакустической эмиссии в периоды деформационных возмущений*, диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Паратунка, 2010, 97 с. [Shcherbina A. O., *Izmenenie napravlennosti vysokochastotnoj geoakusticheskoj ehmissii v periody deformatsionnyh vozmushcheniyu*, dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata fiziko-matematicheskikh nauk, Paratunka, 2010, 97 pp.]
- [12] Олещук В. Ю. и др., *Научно-технический отчет «Исследования влияния сейсмической активности на шумы океана»*, Акустический институт им. академика Андреева, Тихоокеанский филиал., М., 1991., 222 с. [Oleshchuk V.YU. et al., *Nauchno-tekhnicheskij otchet «Issledovaniya vliyaniya seismicheskoy aktivnosti na shumy okeana»*, Akusticheskij institut im. akademika Andreeva, Tihookeanskij filial, M., 1991, 222 pp.]
- [13] Сасорова Е. В., Левин Б. В., “Низкочастотные сейсмические сигналы как региональные признаки подготовки землетрясений”, *Вулканология и сейсмология*, **4/5**. (1999), 126–133. [Sasorova E. V., Levin B. V., “Nizkochastotnye seismicheskie signaly kak regional’nye priznaki podgotovki zemletryasenij”, *Vulkanologiya i seismologiya*, 1999, № 4/5, 126–133].
- [14] Войтенко Е. А., Моргунов Ю. Н., “Экспериментальные исследования распространения импульсных акустических сигналов в грунте”, *Акустический журнал*, **57:1** (2011), 73–74. [Voytenko E. A., Morgunov Yu. N., “Experimental studies of the propagation of buried pulsed acoustic signals in the ground”, *Acoustical Physics*, **57:1** (2011), 66–67].
- [15] Рутенко А. Н. и др., “Мониторинг акустического поля сейсморазведочных импульсов в прибрежной зоне”, *Акустический журнал*, **58:3** (2012), 356–369. [Rutenko A. N., “Monitoring the acoustic field of seismic survey pulses in the near-coastal zone”, *Acoustical Physics*, **58:3** (2012), 326–338].
- [16] Сапожков М. А., *Электроакустика*, Связь, М., 1978, 272 с. [Sapozhkov M. A., *Elektroakustika*, Svyaz’, M., 1978, 272 pp.]
- [17] Беспалов П. А., Трахтенгерц В. Ю., *Вопросы теории плазмы*. Т. 10, Атомиздат, М., 1980, 88 с. [Bespalov P. A., Trahtengerc V. Yu., *Voprosy teorii plazmy*. V. 10, Atomizdat., M., 1980, 88 pp.]
- [18] Вершинин Е. Ф., Пономарев Е. А., “О классификации непрерывного УНЧ излучения верхней атмосферы”, Иркутск. СибИЗМИР, *Земной магнетизм, полярные сияния и ультранизкочастотное излучение*, **1** (1966), 35–43. [Vershinin E. F., Ponomarev E. A., “O klassifikacii nepreryvnogo UNCH izlucheniya verhnej atmosfery”, Irkutsk: SibIZMIR, *Zemnoj magnetizm, polyarnye siyaniya i ul’tranizkochastotnoe izluchenie*, **1** (1966), 35–43].
- [19] Дружин Г. И. и др., “Аппаратурный комплекс для определения азимутальных углов прихода импульсных ОНЧ-излучений”, *Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений*, Тезисы докладов II Международного совещания, 2001, 14–19. [Druzhin G. I. et al., “Apparaturnyj kompleks dlya opredeleniya azimutal’nyh uglov prihoda impul’snyh ONCH-izluchenij”, *Solnechno-zemnyye svyazi i ehlektromagnitnye predvestniki zemletryasenij*, Tezisy dokladov II Mezhdunarodnogo soveshchaniya, 2001, 32–33].
- [20] Дружин Г. И., Чернева Н. В., Мельников Л. Н., “Пеленгация грозových источников на Камчатке”, *Вестник КамчатГТУ*, **7** (2008), 14–17. [Druzhin G. I., Cherneva N. V.,

- Mel'nikov L. N., "Pelengaciya grozovyh istochnikov na Kamchatke", *Vestnik KamchatGTU*, **7** (2008), 14–17].
- [21] Дружин Г. И., Чернева Н. В., Мельников Л. Н., "Грозовая активность по наблюдениям ОНЧ-излучения на Камчатке", *Солнечно-земная физика*, **2:12** (2008), 327–328. [Druzhin G. I., Cherneva N. V., Mel'nikov L. N., "Grozovaya aktivnost' po nablyudeniya ONCH-izlucheniya na Kamchatke", *Solnechno-zemnaya fizika*, **2:12** (2008), 327–328].
- [22] Firstov P., Cherneva N., Akbashev R., "Natural factor impact on atmospheric electric field variations in Kamchatka", *E3S Web of Conferences*, **20** (2017), 01003.
- [23] Фирстов П. П., "Изменение объемной активности радона в подпочвенном газе перед Кроноцким землетрясением", *Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 г. Предвестники, особенности, последствия*, 1999, 177–188. [Firstov P. P. Izmenenie ob'emnoj aktivnosti radona v podpochvennom gaze pered Kronockim zemletryaseniem, *Kronockoe zemletryasenie na Kamchatke 5 dekabrya 1997 Predvestniki, osobennosti, posledstviya*, Petropavlovsk-Kamchatskij, 1999, 177–188].
- [24] Пулинец С. А. и др., "Проверка концепции сейсмо-ионосферных связей в спокойных гелиогеомагнитных условиях на примере Венчуаньского землетрясения в Китае 12 мая 2008 г.", *Геомагнетизм и аэронавигация*, **50:2** (2010), 240–252. [Pulinets S. A. et al., "Verification of the concept of seismoionospheric coupling under quiet heliogeomagnetic conditions, using the Wenchuan (China) earthquake of May 12, 2008, as an example", *Geomagnetism and Aeronomy*, **50:2** (2010), 231-242].
- [25] Щербина А. О., *Программа регистрации акустического сигнала Sound Processor v.1.1*, Свидетельство об отраслевой регистрации разработки. №9537. 27.11.2007. [Shcherbina A. O., *Programma registracii akusticheskogo signala Sound Processor v.1.1*, Svidetel'stvo ob otraslevoj registracii razrabotki. №9537. 27.11.2007].
- [26] Щербина А. О., *Программа для выделения геоакустических импульсов и вычисления их направлений SmartPeleng v.0.7*, Свидетельство об отраслевой регистрации разработки. №9766. 10.01.2008. [*Programma dlya vydeleniya geoakusticheskikh impul'sov i vychisleniya ih napravlenij SmartPeleng v.0.7*, Svidetel'stvo ob otraslevoj registracii razrabotki. №9766. 10.01.2008].
- [27] Федоров С. О., Валов А. С., Красильная А. В., *Программный комплекс для цифровой фильтрации сигнала с использованием параллельных вычислений "IAC" версия 1.0*, Свидетельство о регистрации электронного ресурса. №19790. 24.12.2013. [Fedorov S. O., Valov A. S., Krasil'naya A. V., *Programmnyj kompleks dlya cifrovoj fil'tracii signala s ispol'zovaniem parallel'nyh vychislenij "IAC" versiya 1.0*, Svidetel'stvo o registracii ehlektronnoho resursa. №19790. 24.12.2013].
- [28] Ким А. А., Федоров С. О., *Программа для разряженной аппроксимации сигналов геоакустической эмиссии с применением параллельных вычислений*, Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. №2015613613. 19.03.2015. [*Programma dlya razryazhennoj approksimacii signalov geoakusticheskoy ehmissii s primeneniem parallel'nyh vychislenij*, Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EHM. №2015613613. 19.03.2015].
- [29] Tristanov A. V. et al., "A new approach to study of geoacoustic emission signals", *Pattern Recognition and Image Analysis*, **26:1** (2016), 34–44.

Для цитирования: Ларионов И. А., Малкин Е. И., Марапулец Ю. В., Мищенко М. А., Солодчук А. А. Макет автоматизированного аппаратно-программного комплекса для оперативного мониторинга, идентификации и анализа геофизических сигналов // *Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки*. 2018. № 4(24). С. 213-225. DOI: 10.18454/2079-6641-2018-24-4-213-225

For citation: Larionov I. A., Malkin E. I., Marapulets Yu. V., Mishchenko M. A., Solodchuk A. A. Layout for automated software-hardware complex for geophysical signal on-line monitoring, identification and analysis, *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*. 2018, **24**: 4, 213-225. DOI: 10.18454/2079-6641-2018-24-4-213-225

DOI: 10.18454/2079-6641-2018-24-4-213-225

INSTRUMENTS AND METHODS OF MEASUREMENT

MSC 86-02

**LAYOUT FOR AUTOMATED
SOFTWARE-HARDWARE COMPLEX FOR
GEOPHYSICAL SIGNAL ON-LINE MONITORING,
IDENTIFICATION AND ANALYSIS ***

**I. A. Larionov, E. I. Malkin, Yu. V. Marapulets,
M. A. Mishchenko, A. A. Solodchuk**

Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, FEB RAS, 684034
Kamchatka region, Paratunka, Mirnaya str., 7, Russia

E-mail: igor@ikir.ru

Methods and technical tools for complex analysis of geoacoustic and electromagnetic emissions signals have been developed to estimate automatically the state of the system «Earth surface layer – atmosphere lower layers» during the periods preceding hazardous seismic events. The investigation is a topical and one of the most important scientific directions, that is development of the theory of natural disaster mechanism modeling based on the consideration of the effects of a specified set of different physical factors. Technological processes which provide the detection, processing and analysis of geophysical signals from the near-surface lithosphere-atmosphere system of the Earth are described for the periods of background and anomalous activity in Kamchatka.

Key words: geoacoustic, VLF radiation, registration system, hardware-software complex

© Larionov I. A., et al., 2018

*The work was done through a grant from the Russian Science Foundation (project No 18-11-00087)