



УДК 004.4+534.2

Е. Р. Махмудов

Камчатский филиал Геофизической службы РАН,
г. Петропавловск-Камчатский
e-mail: mer@emsd.ru

Разработка информационной системы классификации данных акустического мониторинга волновых возмущений в атмосфере в рамках системы комплексного мониторинга вулканических извержений на Камчатке

Лабораторией акустического и радонового мониторинга на территории Камчатки постоянно регистрируются инфразвуковые колебания атмосферы как антропогенного, так и природного происхождения, с ростом количества которых возрастает необходимость в их классификации по качественным и количественным характеристикам, происхождению. В статье представлены описание и результаты работы по созданию информационной системы на базе СУБД SQLite, языка программирования Python, сервера приложений Django.

Введение

Флуктуации атмосферного давления, которые регистрируются микробарографами наземного базирования, являются надёжным источником информации о волновых возмущениях в атмосфере. Причины, порождающие атмосферные волны, многообразны и описаны в известной монографии [1]. Генерация акустических и акустико-гравитационных волн происходит в результате процессов как в нижней стратосфере (диссипативные процессы полярных и экваториальных электроджетов, нагрев атмосферы при полярных суббурах и т. п.), так и в тропосфере (прохождение фронтов, развитие циклонов, тайфунов, возникновение торнадо). Высокоэнергетические процессы, протекающие в гидросфере и литосфере (цунами, землетрясения, вулканические извержения), также порождают волны в атмосфере, изучение которых представляет большой интерес для понимания процесса взаимодействия этих двух различных сред.

Волны, обусловленные сжимаемостью атмосферного газа с $T < 300 \div 350$ с, относятся к акустическим, а под инфразвуковыми волнами (ИВ) принято считать низкочастотную ветвь акустического спектра с частотами менее 1 Гц [1]. В этом отношении, полуостров Камчатка изобилует природными явлениями (циклоны, извержения вулканов, сильные землетрясения), во время которых возникают акустические волны.

На Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне в конце прошлого века систематически проводились работы по изучению акустических сигналов (АС) в атмосфере, сопровождающих вулканические извержения. Как показал многолетний опыт регистрации волновых возмущений в атмосфере, связанных с активностью вулканов, характеристики акустического излучения дают представление

о динамике взрывных извержений и указывают на характер излияния магмы на дневную поверхность и, наряду с традиционной сейсмологией, могут служить ещё одним дистанционным методом для мониторинга активности вулканов [3]. Благодаря аномальному распространению звука в атмосфере, в ходе которого звуковой луч, исходящий от источника, многократно отражается от верхних слоёв атмосферы и поверхности Земли, можно осуществлять мониторинг за извержениями вулканов на расстояниях до нескольких тысяч километров. Оперативная информация о количестве выброшенного пепла может быть весьма полезной для службы безопасности полётов авиалайнеров вблизи Камчатского полуострова.

Аппаратура и методика наблюдений

В настоящее время мониторинг волновых возмущений в атмосфере на полуострове Камчатка осуществляется в пунктах, расположенных в посёлках: Паратунка, Ключи, Начики (PRT, KLY, IS44-NCH). Схема расположения станций и наиболее активных вулканов на полуострове Камчатка приведена на рис. 1.

В PRT, KLY работают стационарные акустические станции (САС) Камчатского филиала ГС РАН, созданные на базе стационарной цифровой сейсмической станции путём замены сейсмометров акустическими каналами [4]. САС позволяет регистрировать волновые возмущения в атмосфере в диапазоне частот 0,003–10,0 Гц. В качестве датчика использован конденсаторный микробарограф К304, полоса пропускания которого разделена на пять одновременно действующих частотных каналов. Нами используются три канала с граничными частотами: 0,003–0,3, 0,03–0,3; 0,2–10 Гц. Для автоматизации процесса ежесуточного получения данных создан

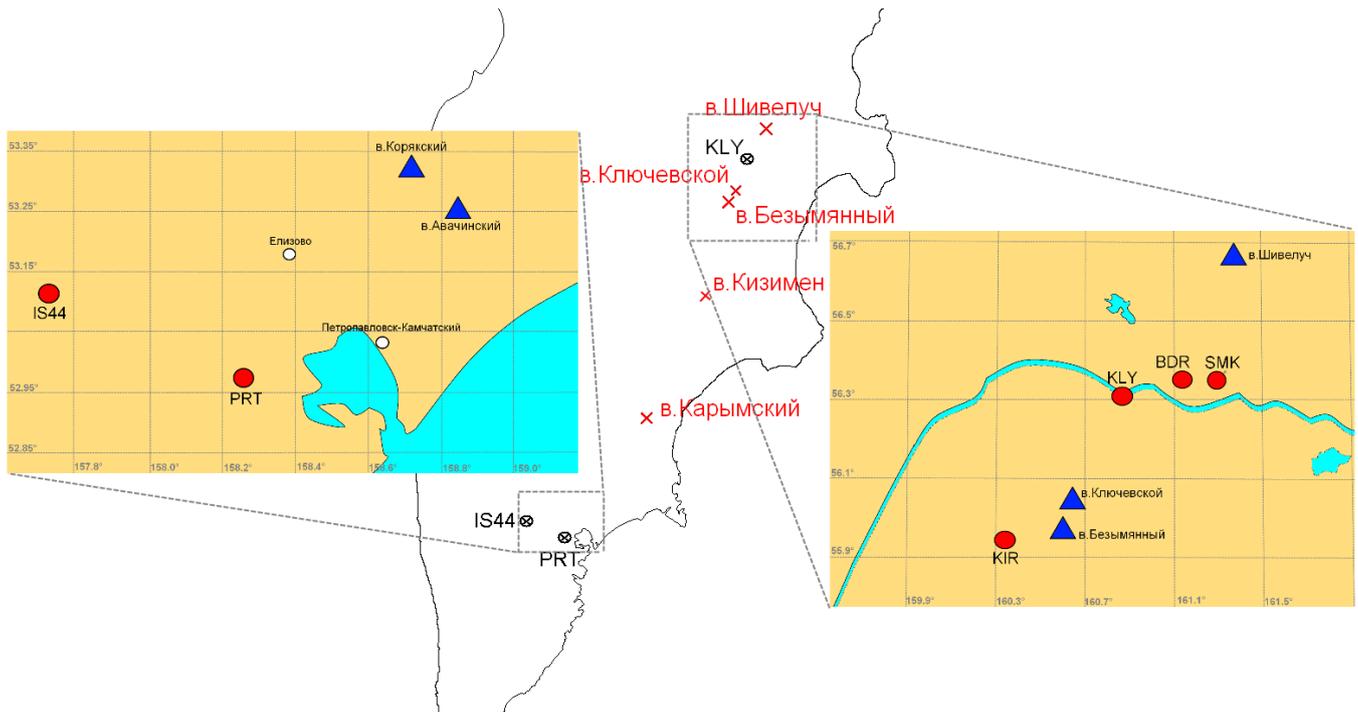


Рис. 1. Схема расположения наиболее активных вулканов и стационарных акустических станций на полуострове Камчатка — пос. Паратунка (PRT), пос. Начики (IS44), пос. Ключи (KLY), телеметрические станции Байдарная, Сёмкорок, Киришева (BDR, SMK, KIR).

пакет прикладных программ, с использованием языка программирования Python 2,6 и библиотеки графического интерфейса Qt [5].

Станция IS44-NCH создана в рамках международной системы инфразвукового мониторинга за режимом выполнения Договора о Всеобъемлющем Запрещении Ядерных Испытаний (ДВЗЯИ). В качестве датчиков на этой станции использованы 4 микробарографа MB2000 французского производства, позволяющие регистрировать акустические волны с частотой 0,05–10 Гц, и образующие группу, конфигурация которой показана на рис. 2. Каждый датчик оснащён пространственным инфразвуковым филь-

тром, что повышает соотношение сигнал-шум. Данная конфигурация группы позволяет определять азимут на источник зарегистрированного сигнала.

Описание работы приложения

Результатом проведённой работы стала информационная система, позволяющая систематизировать получаемые данные о выявленных сигналах и, впоследствии, иметь лёгкий доступ к их характеристикам. Общую схему работы, выраженной на рис. 3, можно разбить на два этапа: занесение в систему информации о событии и получение информации из системы.

Занесением данных о событии занимается оператор, работа которого заключается в следующем:

- просмотр исходных данных и обнаружение акустических сигналов;
- с помощью разработанной программы, написанной на языке Python [2], производить расчёт азимута на источник по данным группы IS44 с привлечением данных PRT (рис. 4а);
- если сигнал, предположительно, связан с проявлением эксплозивной активности того или иного вулкана Камчатки из данных сети радиотелеметрических сейсмических станций КФ ГС РАН извлекается запись соответствующего сейсмического сигнала;
- на основе волновых форм сигнала, азимутальному направлению на источник, сейсмических данных происходит идентификация происхождения сигнала;

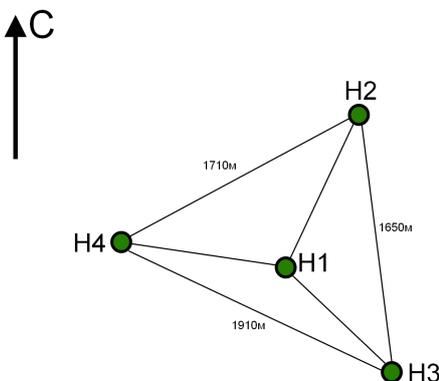


Рис. 2. Схема расположения микробарографов на станции IS44.

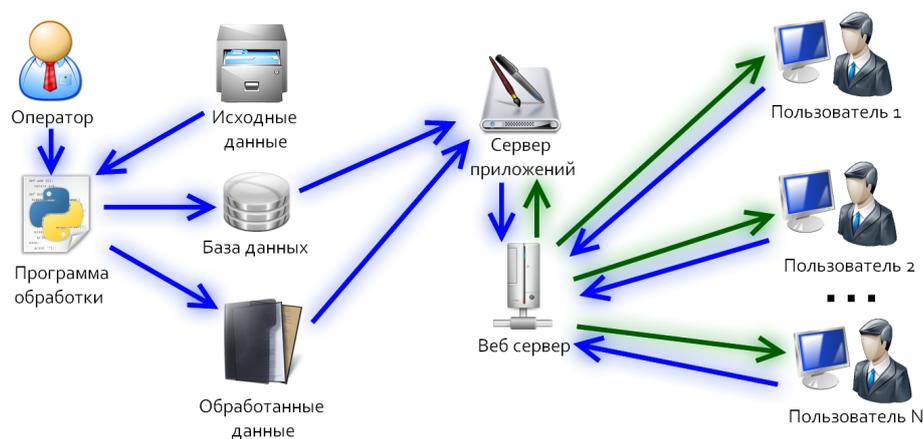


Рис. 3. Общая схема работы системы.

- сохранение изображения волновых форм акустического и сейсмического сигналов в специальный каталог;
- измерение параметров сигнала: двойной максимальной амплитуды; продолжительности; количества отдельных групп волн, из которых состоит сигнал (рис. 4б).

Сигналу присваивается уникальный идентификационный номер, на основе даты и времени первого вступления. Его параметры заносятся в базу данных СУБД SQLite [11].

Помимо этого, в автоматическом режиме, в базу данных заносятся данные радиозондирования атмосферы NOAA/ESRL [12] со станций находящихся в посёлках Пионерский и Ключи. Данные представляют собой такие параметры атмосферы как изменение с высотой температуры, направления и скорости ветра.

Предоставление информации пользователям осуществляется запросом к специальному приложению, написанному с использованием сервера приложений Django [9] на языке программирования Python [8], посредством обычного интернет браузера. Таким образом, пользователю предоставляется простая WEB страница (рис. 5), являющаяся интерфейсом к базе данных и каталогам с иллюстрациями. Стартовая страница содержит форму для поиска в базе данных по параметрам сигнала.

Результатом запроса станет страница, в которой помимо характеристик сигналов будут представлены статистические диаграммы на основе заданных данных поиска сигналов: распределение по амплитуде, продолжительности, азимуту, дням. На рис. 6 представлен пример выборки из базы со следующими параметрами поиска: сигналы за декабрь 2011 г., двойная максимальная амплитуда больше 0,5 Па, количество групп волн больше одной, и указанием в комментарии источника сигналов – вулкан Карымский.

Заключение

По результатам обработки данных за 2010–2011 гг. в базу данных было внесено 637 инфразвуковых сигналов. Из них 316 сигналов связаны с взрывными процессами вулканов полуострова Камчатка: 303 – вулкан Карымский (155 км), 7 – вулкан Шивелуч (458 км), 3 – вулкан Ключевской (378 км), 2 – вулкан Кизимен (282 км), 1 – вулкан Безымянный (369 км).

В связи с утилизацией боеприпасов зарегистрировано 158 сигналов, связанных с взрывами 100–120 кг в тротиловом эквиваленте с двух полигонов.

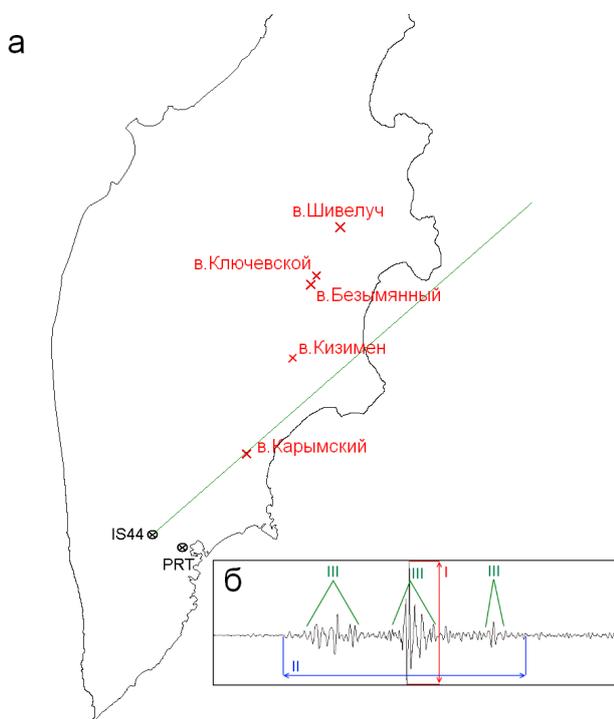


Рис. 4. а) Пример определения азимута на источник (в. Карымский), б) определяемые параметры сигнала: I) двойная максимальная амплитуда сигнала, II) продолжительность сигнала, III) отдельные группы волн.

Камчатский филиал
геофизической службы

Лаборатория акустического
и
радонового мониторинга

В базе данных инфразвуковых сигналов лаборатории акустического и радонового мониторинга хранится информация о всех событиях которые были зафиксированы и пригодны для определения основных характеристик.

[База данных](#)

[Инфразвуковых сигналов](#)

[Радоновый мониторинг](#)

[О лаборатории](#)

Доступные поля:

- **ID** - уникальный номер идентифицирующий событие
- **Дата время** - дата и время зафиксированного сигнала
- **Размах амплитуды** - максимальное и минимальное значения амплитуды сигнала, считается по первой станции прихода, если в комментарии не оговорено обратное
- **Продолжительность** - время сигнала в секундах, четко выраженное между каналами и уровнем фона
- **Количество фрагментов** - количество выделенных участков сигнала с разными амплитудно частотными характеристиками
- **Станция** - название станции первой зафиксировавшей приход волны сигнала
- **Азимут** - азимутальное направление на источник сигнала от указанной станции, если в комментариях не указано обратное
- **Комментарий** - комментарий оператора о природе сигнала и технических особенностях
- **Wave** - ссылка на иллюстрацию волновой формы сигнала
- **Azimuth** - ссылка на иллюстрацию расчета азимутального направления
- **Seismo** - ссылка на иллюстрацию волновой формы акустического сигнала и запись сейсмического канала
- **Meteo** - ссылки на данные радиозондирования атмосферы, по времени ближайšie к времени сигнала

Каналы станции для анализа подвергаются фильтрации полосовым фильтром:

- С 2010-01-01 по 2012-03-31 использовался фильтр Батерворта второго порядка с бесконечной импульсной характеристикой 1-10 Гц.
- С 2012-04-01 используется фильтр с конечной импульсной характеристикой 0.5-10 Гц, весовое окно хемминга, количество коэффициентов 330 при $F_s=20$ и 1000 при $F_s=128$

Ниже представлена форма осуществляющая запрос к базе данных с возможностью фильтрации результатов. Если не задан ни один из критериев, то будут выведены все записи находящиеся в базе данных.

Параметры запроса

<input type="text"/>	\leq Дата(ГГГГ-ММ-ДД) <	<input type="text"/>
<input type="text"/>	\leq Размах амплитуды, Па \leq	<input type="text"/>
<input type="text"/>	\leq Продолжительность, с \leq	<input type="text"/>
<input type="text"/>	\leq Количество фрагментов \leq	<input type="text"/>
<input type="text"/>	\leq Азимут, гр \leq	<input type="text"/>

Комментарий содержит:

По убыванию даты



Рис. 5. Стартовая страница интерфейса к базе данных инфразвуковых сигналов.

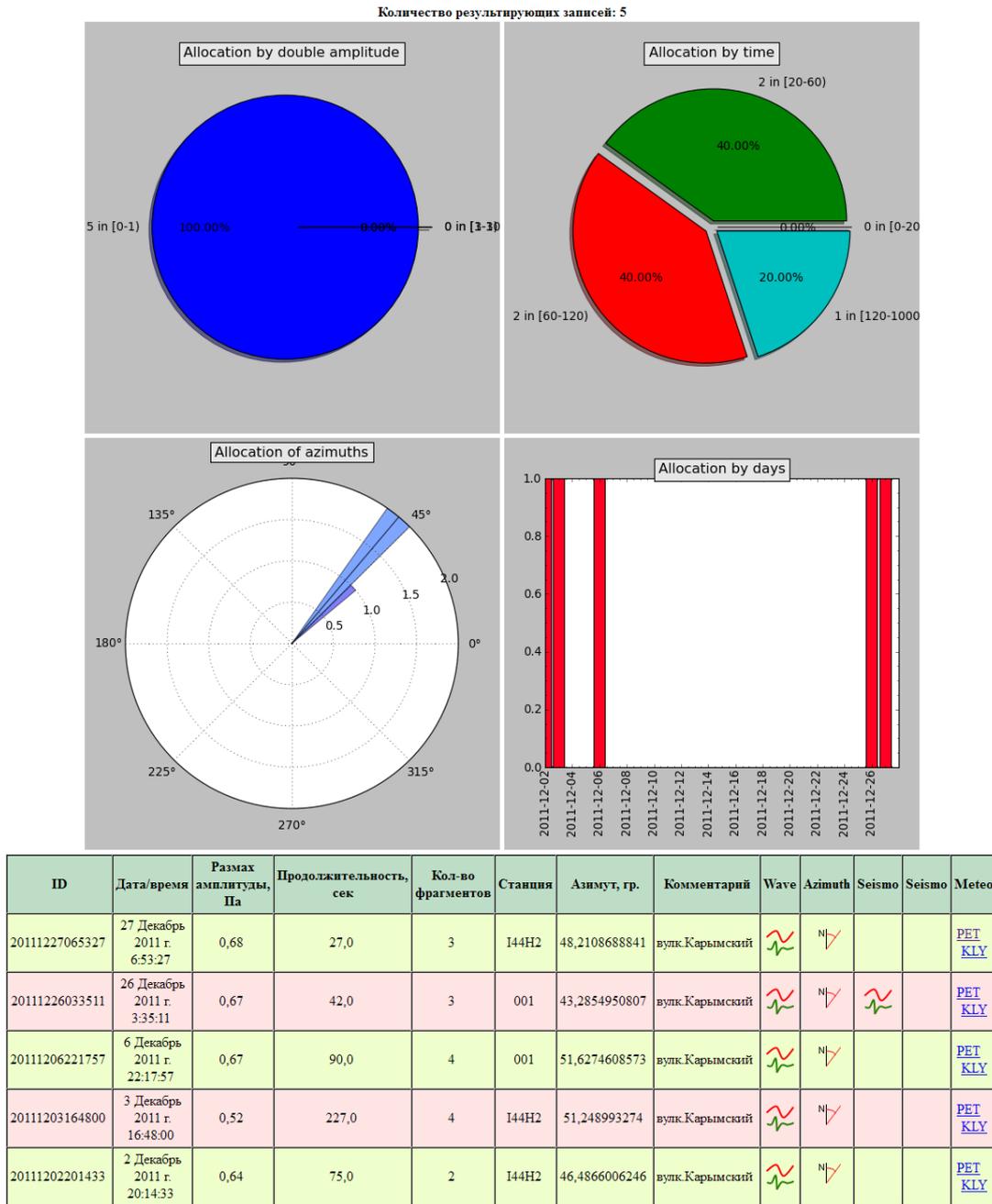


Рис. 6. Результат запроса к базе данным.

Ощутимые землетрясения зарегистрировались на САС в 20 случаях, источник 143 акустических сигналов не установлен.

В дальнейшем планируется продолжить работу над совершенствованием приложения, расширяя его функциональные возможности.

Список литературы

1. Госсард Э., Хук У. Волны в атмосфере. М.: Мир, 1978. 529 с.
2. Лутц М. Изучаем Python. Спб.: Символ-Плюс, 2009.
3. Махмудов Е. Р. «Некоторые вопросы организации сети инфразвукового мониторинга на полуострове Камчатка». // Материалы VIII региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о земле», стр.97–108
4. Фирстов П. П. Вулканические акустические сигналы диапазона 1,0÷10 Гц и их связь с взрывным процессом. Петропавловск-Камчатский: КамГУ, 2003. 90 с.
5. Фирстов П. П., Тристанов А. Б., Махмудов Е. Р. Об организации наблюдений за волновыми возмущениями в атмосфере на полуострове Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 2. Вып. 12. С. 164 – 173.
6. Фирстов П. П., Махмудов Е. Р., Чебров В. Н. Некоторые результаты акустического мониторинга взрывных извержений вулканов Камчатки // Материалы ежегодной конференции, посвящённой Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 107–111.
7. Форсье Д. Django Разработка веб-приложений на Python. Спб.: Символ-Плюс, 2009.
8. NOAA/ESRL Radiosonde database¹.
9. Official Python documentation².
10. Official Django framework documentation³.
11. Python Image Library documentation⁴.
12. SQLite documentation⁵.

¹<http://www.frd.fsl.noaa.gov/mab/raob/>

²<http://docs.python.org/>

³<https://docs.djangoproject.com/>

⁴<http://www.pythonware.com/products/pil/>

⁵<http://www.sqlite.org/docs.html/>