

## **РЕКОГНОСЦИРОВОЧНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ В ДОЛИНЕ ГЕЙЗЕРОВ И КАЛЬДЕРЕ УЗОН, ДЕКАБРЬ 2007 Г.**

**Ю.А. Кугаенко, В.А. Салтыков, В.И. Сеницын**

*Камчатский филиал ГС РАН, Петропавловск-Камчатский, e-mail: ku@emsd.ru*

### **Введение**

В конце 2007 года в районе Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессии были выполнены сейсмологические наблюдения на базе временных сейсмических станций. Работы проводились при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Поводом для выделения средств на наблюдения явилась геологическая катастрофа, которая произошла в Долине Гейзеров 3 июня 2007 г. [8] (гигантский оползень и обрушение части склона, примыкавшего к борту кальдеры). Попытки понять причины активизации склоновых процессов и оценить возможность возникновения в будущем аналогичных оползней сталкиваются с проблемой недостаточной геофизической изученности территории и отсутствием здесь базовых систем наблюдений: сейсмологических и геодинамических.

Регистрация проведена двумя станциями, одна из которых была установлена непосредственно в Долине Гейзеров, вторая – в 10 км к северо-западу, в кальдере Узон, которые относятся к единой активной вулканической структуре - Узон-Гейзерной депрессии. Проведенные наблюдения являются частью рекогносцировочных работ по организации локальной сейсмометрической микрогруппы для сейсмического мониторинга в районе Долины Гейзеров. В статье приведена информация о проведенных наблюдениях, представлены примеры зарегистрированных сейсмических сигналов и дана их предварительная оценка.

### **Общие сведения о районе работ**

Район Узон-Гейзерной вулcano-тектонической депрессии связан с узлом пересечения крупных разломов: магмо- и флюидопроводящего Вулканического раздвиг северо-восточного простирания и субширотного Узон-Валагинского глубинного сдвига. Выделена также сеть разломов, ориентированных концентрически по отношению к Узон-Гейзерной депрессии. Депрессия представляет собой кальдеру обрушения, ограниченную кольцевым разломом, – опущенный блок общего северо-западного простирания. Глубина верхней кромки предполагаемого магматического очага под кальдерой и его диаметр оценены соответственно в 7-8 км и 10 км [1]. К восточному краю депрессии приурочена Долина Гейзеров, к западному – кальдера Узон [7].

Над восточным бортом Узон-Гейзерной депрессии возвышается сложный разновозрастный вулканический массив Кихпинич, который относится к активным вулканам Камчатки [2]. Последняя активизация вулкана произошла менее 600 лет назад. Долина Гейзеров примыкает к его юго-западному склону.

По карте общего сейсмического районирования ОСР-97-а Узон-Гейзерная вулcano-тектоническая депрессия относится к 9-балльной зоне [9]. За последнее столетие Долина Гейзеров 3 раза испытывала сотрясения с интенсивностью 7-8 баллов (1923, 1927, 1959 гг.) и 3 раза - 6 баллов (1952, 1971, 1997 гг.) по шкале макросейсмической интенсивности MSK-64, вызванные сильнейшими за годы инструментальных наблюдений региональными землетрясениями с магнитудами  $M=7.5\div 9$ . По данным Камчатской региональной сети сейсмических станций району Узон-Гейзерной депрессии присуща локальная мелкофокусная сейсмическая активность низкого энергетического уровня [4].



**Рис. 1.** Установка временной сейсмической станции в Долине Гейзеров. Аппаратура помещена в защитный металлический корпус без дна. Блок сейсмометров установлен внизу, непосредственно на мерзлом грунте, без дополнительного фундамента. Для запуска станции в рабочий режим к цифровому регистратору подключен персональный компьютер

### **Регистрация сейсмических сигналов**

Для регистрации сейсмических сигналов использовались трехкомпонентные блоки короткопериодных сейсмометров СМ-3 с периодом собственных колебаний 2 с и цифровые 24-разрядные регистраторы GSR-24.

Параметры регистрации:

- регистрируемый параметр: скорость смещения грунта;
- частота оцифровки: 100 отсч./с;
- частотный диапазон регистрации: 0.5 ÷ 25 Гц;
- разрядность АЦП: 23+знак;
- динамический диапазон регистрации: не хуже 120 дБ;
- емкость флэш-карты: 2 Гб;
- срок автономности по емкости памяти флэш-карты: 14 суток.

Наблюдения осуществлялись в сложных зимних условиях (рис. 1) 29.11.2007 – 14.12.2007. Сейсмометры были установлены в зимнем полевом варианте: на мерзлый грунт. Аппаратура (сейсмометры, регистратор, блок батарей питания) были помещены в портативные защитные металлические корпуса. Для привязки записи к точному времени использовались GPS-антенны, которые были закреплены на мачтах на высоте 1.5 м над уровнем снега.

### **Станция «Долина Гейзеров»**

Станция была установлена на территории кордона «Долина Гейзеров» Кроноцкого государственного биосферного заповедника, в среднем течении реки Гейзерной, на водоразделе рек Гейзерной и ручья Водопадного, по долине которого прошла обломочная

лавина, на высоте 495 м над уровнем моря. Расстояние до подпрудного озера составило около 250 м, высоты до уреза воды - 70 м. В месте установки залегают гидротермально-измененные озерные отложения поздне-плейстоценового возраста, мощность которых в районе Долины Гейзеров достигает 300 м [6].

В точке регистрации в Долине Гейзеров высота снежного покрова составила около 1 м. Станция была полностью размещена под снегом, что уменьшало уровень ветровых помех. Координаты станции: 54.44 град. с.ш., 160.14 град. в.д.

Как и предполагалось, обнаружены локальные сейсмические события. Пример записи такого землетрясения ( $K=5$ ) приведен на рис. 2. (В статье используется энергетическая классификация С.А. Федотова для Курило-Камчатских землетрясений. [10]). Величина  $T_s-p=0.8$  сек., т.е. расстояние до гипоцентра не превышает 4-5 км. Р-волна подошла к станции субвертикально, что позволяет предположительно связать землетрясение с областью корового магматического очага Узон-Гейзерной депрессии [1]. Точнее определить положение гипоцентра по данным единственной станции не представляется возможным.

Полученные записи позволили оценить уровень фонового микросейсмического сигнала. Территория кордона «Долина Гейзеров» характеризуется низким уровнем шумов - сказывается удаленность от районов антропогенной активности. По сейсмическим данным место проведенной регистрации можно рассматривать как потенциально подходящее для организации сейсмостанции (рис.3).

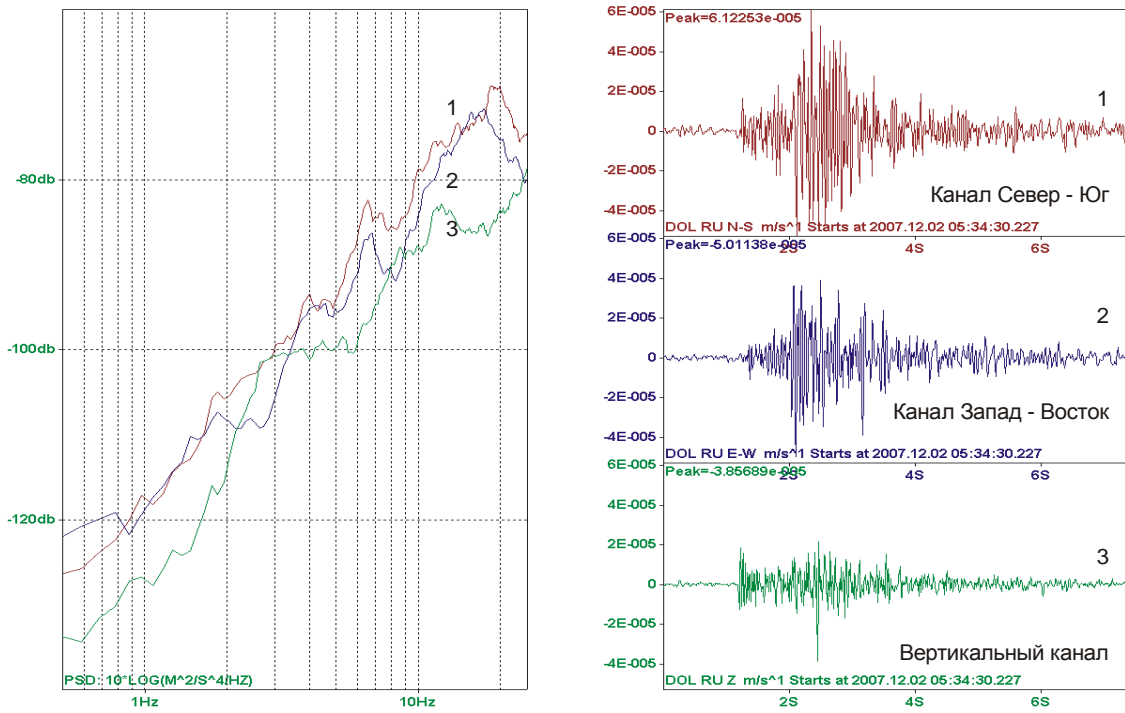
#### **Станция «Кальдера Узон»**

Станция установлена в северо-западной части кальдеры Узон, непосредственно рядом со зданием стационара Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Территория также относится к Кроноцкому государственному биосферному заповеднику. Высота 660 м. Координаты станции: 54.50 град. с. ш., 160.02 град. в.д. Ближайшее гидротермальное поле (кипящий грязевой котел и бурлящий источник) находится в 200 м к югу. Площадка достаточно ровная, кочкарник удален при строительстве стационара. В месте установки залегают озерные отложения поздне-плейстоценового возраста [6].

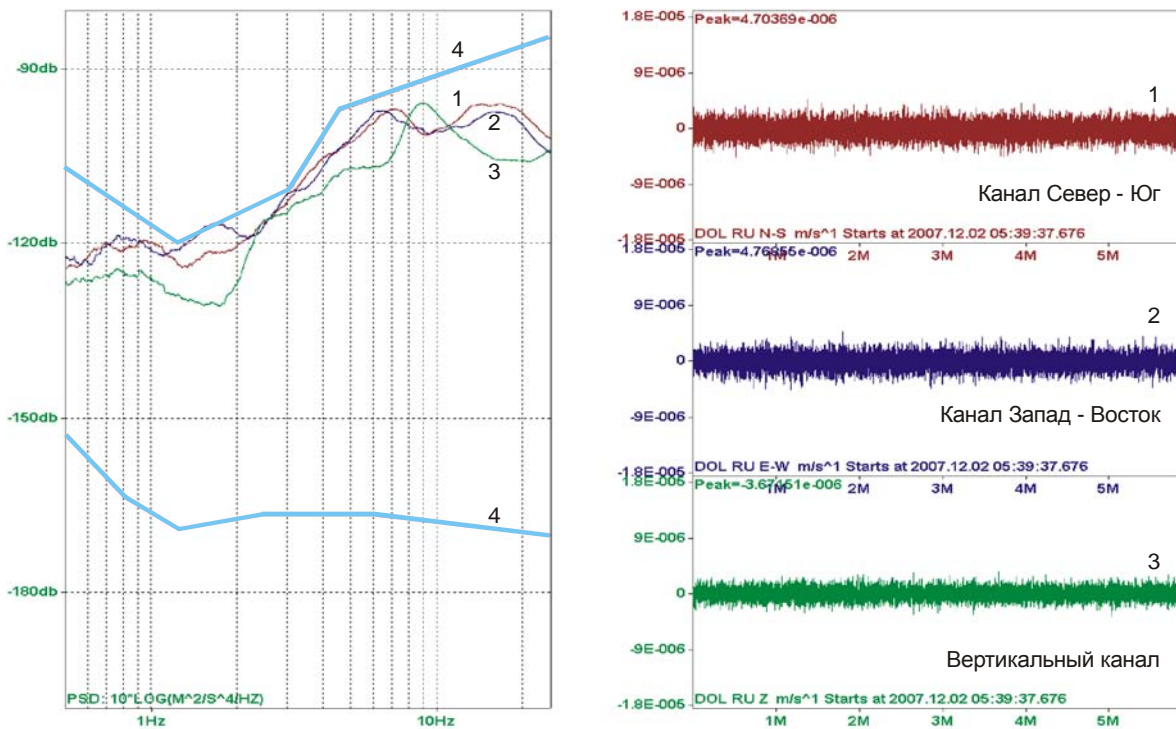
Снежный покров незначителен, не более 30 см. Снег сметен сильным ветром. Станция установлена на мерзлый грунт, помещена в защитный корпус и лишь наполовину присыпана снегом. Ветровое воздействие ощущается на этой станции значительно сильнее (рис.4).

Фоновый сигнал сопоставим по уровню с фоном для Долины Гейзеров (рис.3), однако отличается более низкочастотным характером спектра. Высокочастотная компонента активизируется только при сильном ветре (рис.4). Зафиксирован интересный факт: в частотном диапазоне 3-4 Гц сильный ветер не оказывает влияния на спектр сигнала, хотя в спектре на этих частотах наблюдается устойчивый локальный максимум (рис.4). Следовательно, существует процесс предположительно эндогенного происхождения, инициирующий излучение в указанном частотном диапазоне. Возникает задача определения природы и положения источника интенсивного эндогенного микросейсмического излучения.

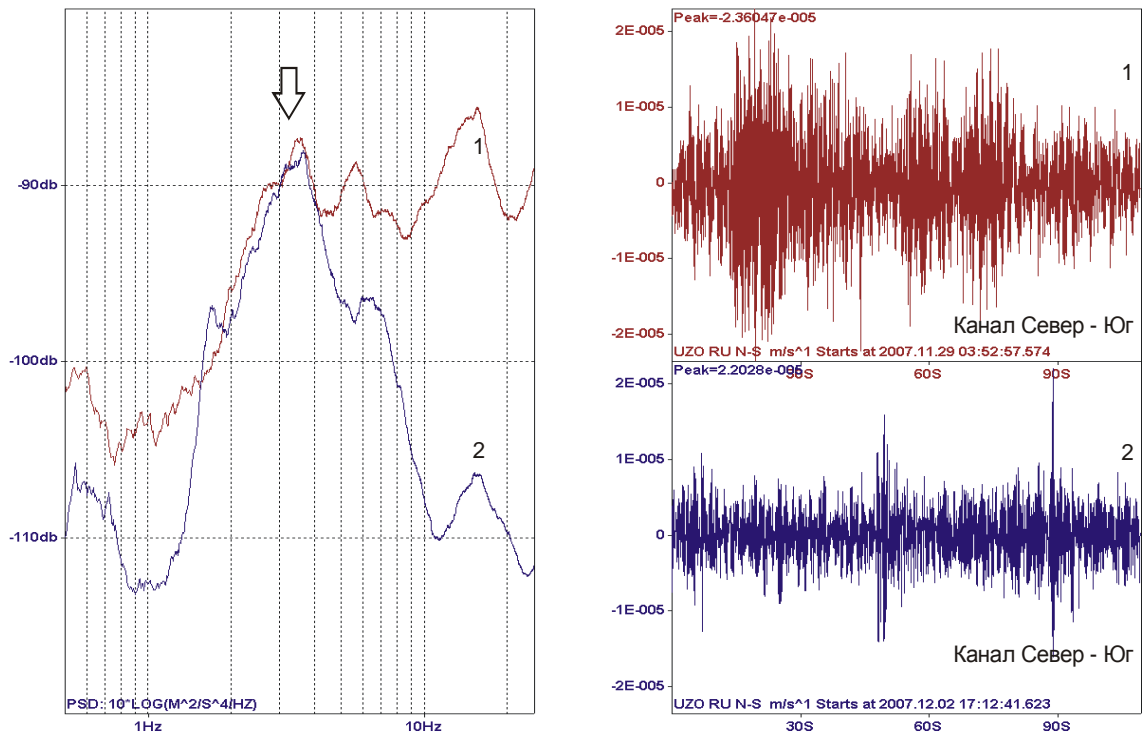
Зарегистрирован ряд локальных, относительно низкочастотных сигналов длительностью 5-7 секунд (рис. 5, а-в). Отсутствие четких вступлений продольных и поперечных волн, характерных для тектонических землетрясений, позволяет предположительно связать эти сигналы с деятельностью гидротермальной системы кальдеры Узон. Сигналы уверенно превышают уровень фона. Сопоставление спектров мощности сигналов и фонового излучения показывает незначительное смещение максимума спектра сигнала в область более высоких частот, что свидетельствует об активизации источников, не связанных фоновым уровнем микросейсм.



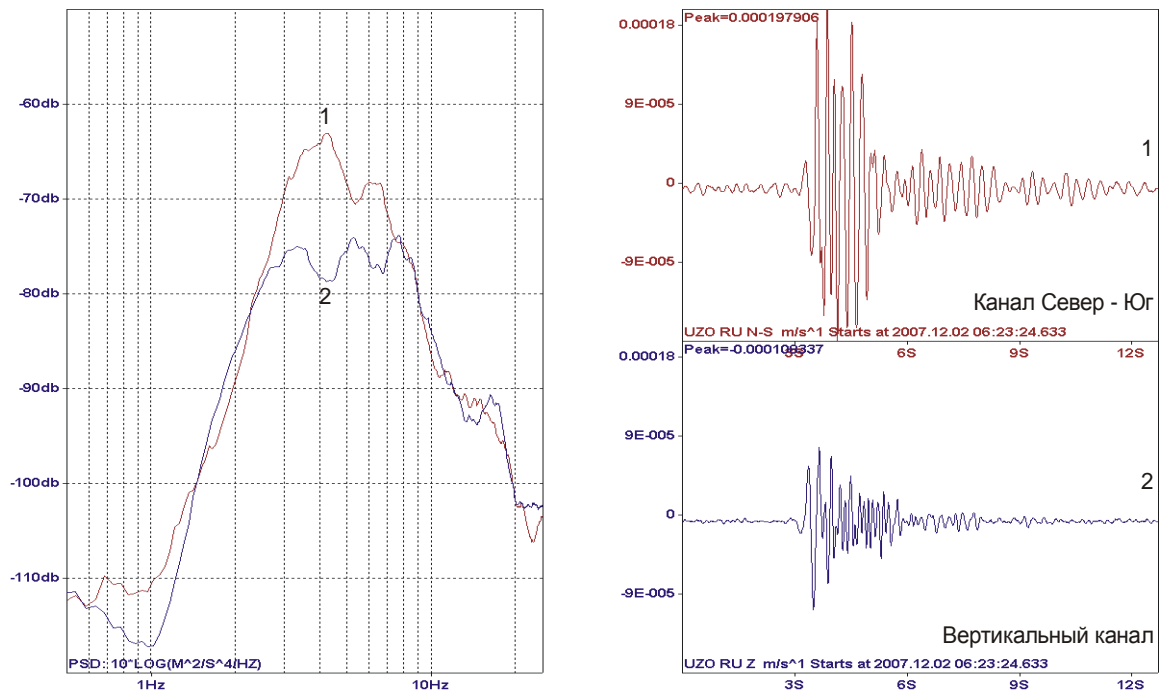
**Рис. 2. Долина Гейзеров.** Пример записи локального землетрясения ( $T_s-p=0.8$  сек,  $K=5$ ). Слева – соответствующие спектры мощности. Здесь и далее: обработка сейсмического сигнала проведена программой DIMAS, разработчик Д.В. Дроздин. По оси ординат отложены отсчеты АЦП, единица младшего разряда соответствует  $1.9 \times 10^{-8}$  м/с.



**Рис. 3. Долина Гейзеров.** Фоновый сейсмический сигнал (справа). Слева – соответствующие спектры мощности (1-3) и осредненный уровень фонового сейсмического шума на станциях мировой сети (4) по [11]



**Рис. 4.** Кальдера Узон. Фоновый сейсмический сигнал. Справа сверху – при сильном порывистом ветре, внизу – в тихую погоду. Слева – соответствующие спектры мощности. Стрелкой отмечен локальный максимум спектра, предположительно связанный с эндогенным источником излучения



**Рис. 5-а, б, в.** Кальдера Узон. Примеры записей локальных сейсмических сигналов, предположительно связанных с гидротермальной деятельностью, и их спектры мощности

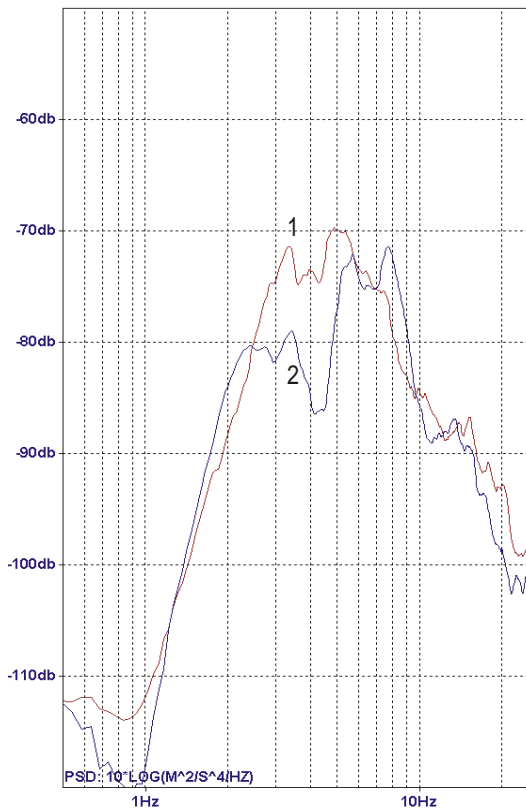


Рис. 5-б

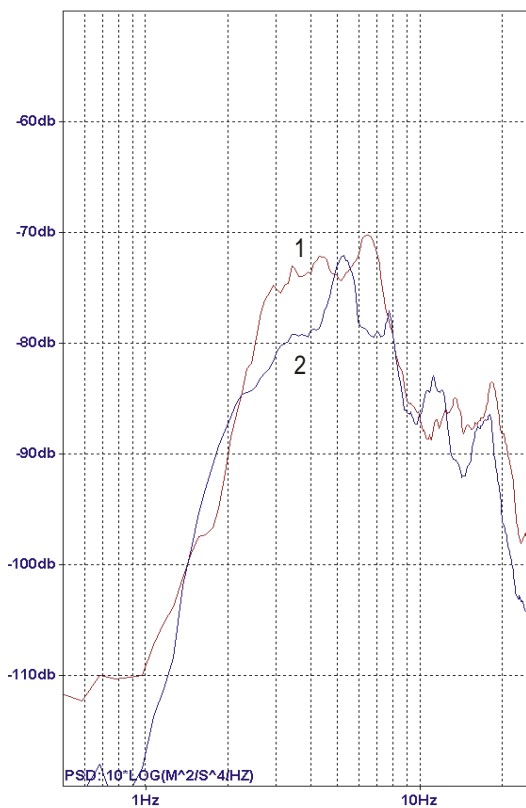
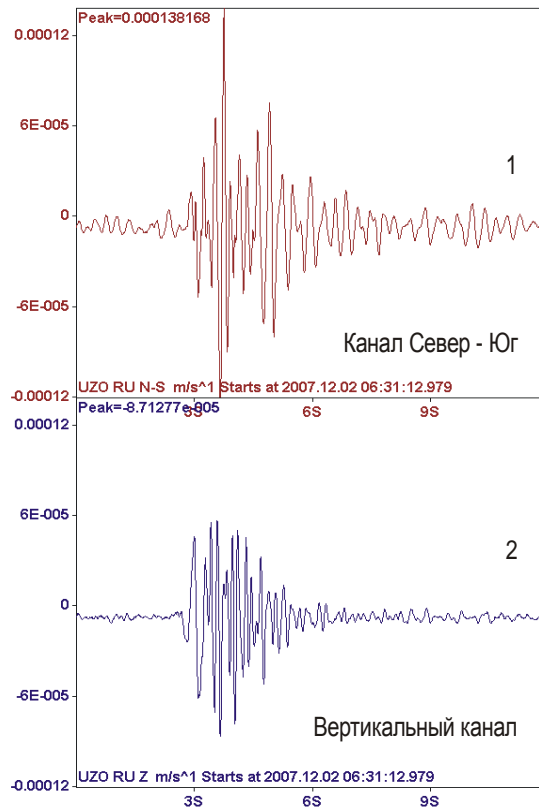
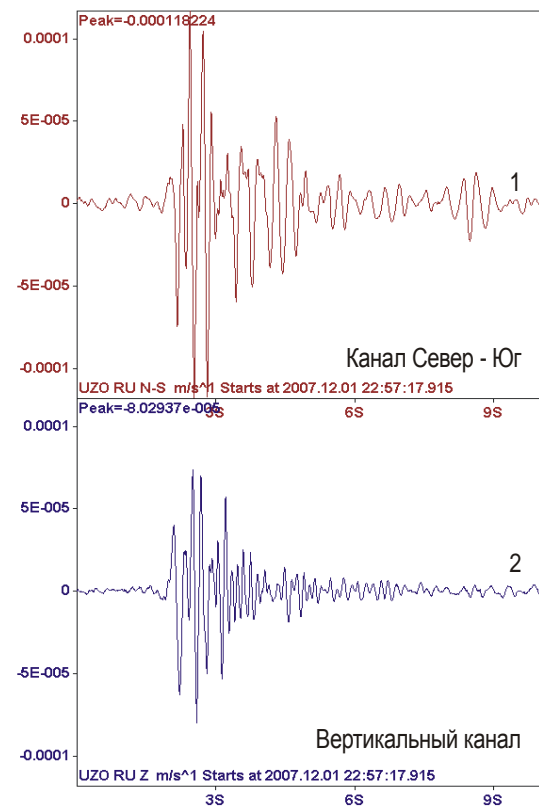


Рис. 5-в



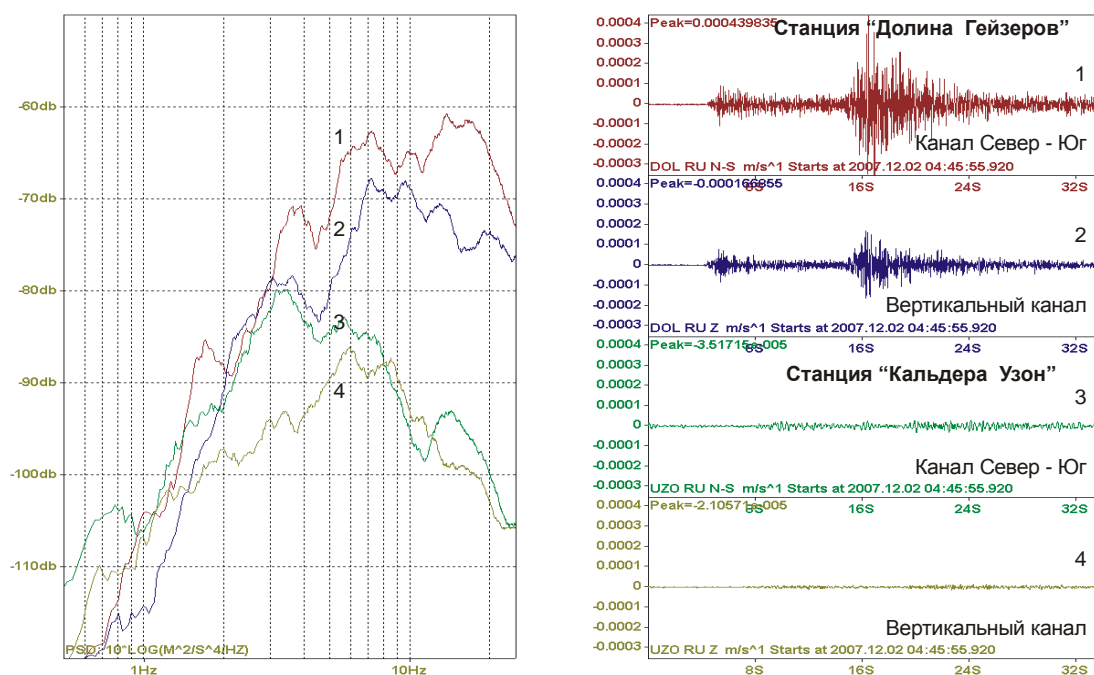
Важной особенностью локальных сейсмических сигналов, зафиксированных в кальдере Узон, является подобие формы отдельных сигналов и сходство их спектральных характеристик. Проводя аналогию с длиннопериодными вулканическими земле-

трясениями [3], можно предположить наличие стационарного источника при неструктурном процессе в среде, вмещающей водоносный комплекс. Источники сигналов имеют предположительно импульсный характер и связаны с динамикой флюида. Их можно рассматривать как центр расширения (взрыв) при локальном вскипании перегретых термальных вод в системах подземных трещин и каналов.

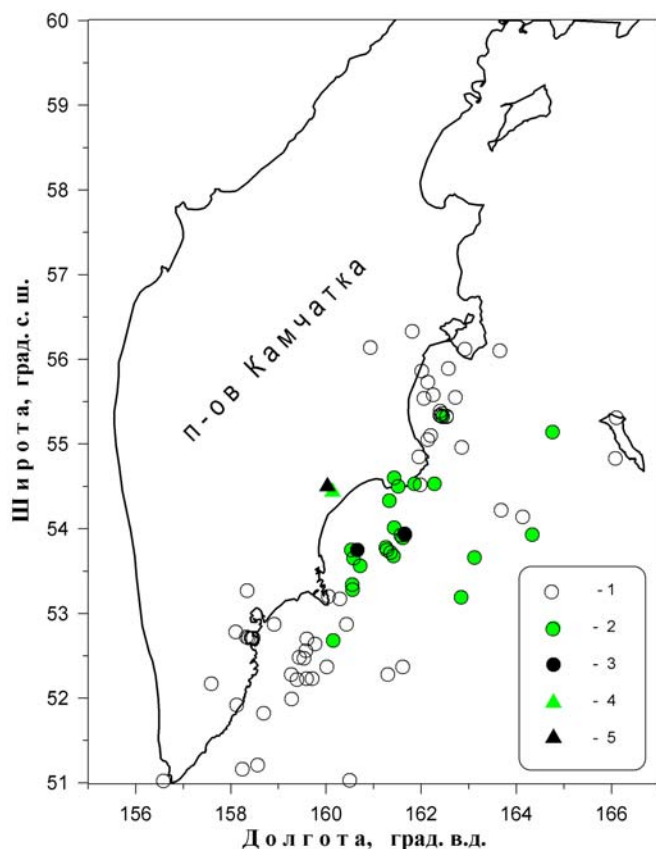
Чувствительность временной сейсмической станции, установленной в непосредственной близости от гидротермального поля, к местным эндогенным источникам сигнала показывает, что в этом районе возможно исследование динамики гидротермальной системы сейсмическими методами. Для картирования конфигурации наиболее активных областей целесообразно применение методик энергетического сканирования и сейсмозмиссионной томографии [5].

### Записи региональных землетрясений

За время работы временных сейсмических станций Камчатской региональной сети было зарегистрировано 87 землетрясений 6-11 класса. Из них 20 событий присутствуют в записях станции «Долина Гейзеров» и только 2 землетрясения записано на станции «Кальдера Узон». Пример записи регионального землетрясения обеими станциями приведен на рис.6. Таким образом, выявлена различная чувствительность точек, выбранных для временной регистрации, к региональным землетрясениям. В отличие от места установки временной сейсмостанции в Долине Гейзеров, пункт в кальдере Узон не является благоприятным для организации здесь стационарной сейсмической станции. Грунтовые условия, обводненность, близость мощного водоносного комплекса и близкоповерхностного магматического очага [2] и, возможно, другие неучтенные факторы определили низкую чувствительность этого пункта к региональным землетрясениям (рис.7).



**Рис. 6.** Справа: Запись регионального землетрясения 2 декабря 2007 г. 04:45 (UT) из центральной части Кроноцкого залива временными станциями в Долине Гейзеров и в кальдере Узон. Параметры землетрясения: 53.75 град. с.ш., 160.66 град. в.д., глубина 40 км,  $K=8.7$ . Слева - соответствующие спектры мощности сигналов



**Рис. 7.** Эпицентры землетрясений, которые произошли с 29.11.2007 по 5.12.2007 в Камчатском регионе по данным оперативного каталога КФ ГС РАН (1). Из них только часть была зарегистрирована временными станциями:

2 – эпицентры землетрясений, зарегистрированных станцией в Долине Гейзеров, 3 – в кальдере Узон;  
4, 5 – временные сейсмические станции в Долине Гейзеров и кальдере Узон соответственно

Однако район научного стационара в кальдере Узон является привлекательным для организации вблизи от него сейсмической станции (наличие квалифицированного персонала, охрана дорогостоящего оборудования в летнее время, электропитание и пр.). Поэтому целесообразно провести специальные наблюдения в районе кальдеры Узон для определения потенциальных мест

установки сейсмоприемников, обладающих достаточной чувствительностью к сейсмическому излучению землетрясений сейсмофокальной зоны. В первую очередь это ближайшие борта кальдеры (породы докальдерного комплекса) и кислые экстрезии посткальдерной фазы вулканизма кальдеры Узон.

### Заключение

Впервые в Долине Гейзеров и кальдере Узон получены сейсмические записи фонового шума, региональных землетрясений, локальных сейсмических событий, связанных с геодинамической активностью района и, возможно, гидротермальной активностью. Обнаружена локальная сейсмическая активность в Долине Гейзеров.

Показано, что пункт регистрации в Долине Гейзеров подходит для организации здесь региональной сейсмической станции и по уровню фонового микросейсмического сигнала соответствует мировым требованиям. Отсутствие антропогенных помех позволяет рассматривать микросейсмичность как информативный фактор при исследовании процессов оползнеобразования в Долине Гейзеров.

В кальдере Узон в частотном диапазоне 3-4 Гц выявлен устойчивый максимум в спектре фонового микросейсмического излучения, источник которого, возможно, имеет эндогенное происхождение. Зарегистрированы нетектонические сейсмические сигналы, имеющие сходную форму и спектральные характеристики. Для локализации источников микросейсмичности необходимы исследования с использованием сейсмической антенны.

Проведение сейсмических наблюдений поддержано Российским фондом фундаментальных исследований, грант 07-05-02107.

Обработка сигналов проведена интерактивной программой DIMAS (Display, Interactive Manipulation and Analysis of Seismograms), которая используется в Камчатском филиале Геофизической службы РАН для визуализации и детального анализа цифровых сейсмических записей. Авторы благодарят автора программы, Д.В. Дрознина, за помощь при подготовке полученного материала к обработке.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов В.И., Гриб Е.Н., Леонов В.Л. Геологические позиции гидротермальных систем Долины Гейзеров и кальдеры Узон // Вулканология и сейсмология. 1983. № 1. С. 65-79
2. Брайцева О. А., Флоренский И. В., Пономарева В. В., Литасова С. Н. История активности вулкана Кихпинич в голоцене // Вулканология и сейсмология. 1985. № 6. С. 3-19.
3. Горельчик В.И., Сторчеус А.В. Глубокие длиннопериодные землетрясения под Ключевским вулканом, Камчатка // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. С. 373-389.
4. Кугаенко Ю.А. Сейсмичность как фактор риска оползня 3 июня 2007 г. в Долине Гейзеров // Статья в настоящем сборнике.
5. Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Синицын В.И., Чебров В.Н. Локация источников сейсмического шума, связанного с проявлением гидротермальной активности, методом эмиссионной томографии. Физика Земли. 2004. № 2. С. 66-81.
6. Леонов В.Л. Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1989. 104 с.
7. Леонов В.Л., Гриб Е.К., Карпов Г.А. и др. Кальдера Узон и Долина Гейзеров // Действующие вулканы Камчатки. Том 2. М.: Наука, 1991. С. 94-143.
8. Пинегина Т.К., Делемень И.Ф., Дроздин В.А. и др. Камчатская Долина Гейзеров после катастрофы 3 июня 2007 г. // Вестник ДВО РАН. 2008. № 1. С. 33-44.
9. Страхов В.Н., Уломов В.И., Шумилина Л.С. Общее сейсмическое районирование территории России и сопредельных стран // Физика Земли, 1998, № 10. С. 92-96.
10. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 117 с.
11. Peterson J. Observation and modeling of seismic background noise. Open-file report 93-322. Albuquerque, New Mexico: U.S. Department of Interior Geological Survey, 1993. 96 p.

## **RECONNAISSANCE SEISMIC OBSERVATIONS IN THE VALLEY OF THE GEYSERS AND UZON CALDERA, DECEMBER 2007**

**Yu.A. Kugaenko, V.A. Saltykov, V.I. Sinitsyn**

*Kamchatkan Branch of Geophysical Survey of RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006,  
e-mail: ku@emsd.ru*

In the end of 2007 for the first time short-term instrumental observations of two temporal seismic stations were carried out in the Valley of the Geysers and in Uzon caldera on Kamchatka. Digital records of the regional earthquakes, local seismic events and background seismic noise were obtained and studied. The occurrence of local earthquakes in the Valley of the Geysers area was confirmed. In Uzon caldera signals of non tectonic origin were detected. In frequency band 3-4 Hz stable maximum in spectrum of background microseisms was found. Probably it is connected with local hydrothermal activity.