

# РАЗВЕРНУТЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ ПО ПРОЕКТУ РФФИ

№ 07-05-02107-к

## Организация и проведение экстренных сейсмологических наблюдений в районе Долины Гейзеров на Камчатке

Геологическая катастрофа, которая произошла в Долине Гейзеров 3 июня 2007 г., привлекла повышенное внимание к этому уникальному уголку природы и объекту туристической индустрии Камчатки. Информация о катастрофе подробно освещена по Интернет-адресу [http://www.kscnet.ru/ivs/geyser\\_valley/index.html](http://www.kscnet.ru/ivs/geyser_valley/index.html) на сайте Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Остро обозначились проблемы, связанные с ограниченностью существующих представлений об опасных эндогенных и экзогенных процессах и отсутствием геолого-геофизического мониторинга этого района.

По карте общего сейсмического районирования ОСР-97 район Долины Гейзеров относится к 9-балльной зоне (Уломов, Шуმიлина, 1999). Расчетные периоды повторения сотрясений с интенсивностью более 7 баллов по шкале МСК-68 составляют 12-55 лет, 8 баллов – 50-120 лет. По существующим представлениям большинству гидротермальных систем мира присуща локальная сейсмическая активность. Долина Гейзеров расположена у подножья сложного разновозрастного вулканического комплекса Кихпинич, характеризующегося в настоящее время слабой фумарольной деятельностью (Брайцева и др., 1985). Последняя активизация вулкана произошла менее 600 лет назад. Район, несомненно, обладает высокой геодинамической активностью.

С момента открытия в 1941 г. Долины Гейзеров здесь не проводились ни геофизические, ни сейсмологические исследования. Отсутствует система наблюдений за современными движениями земной коры. Имеющаяся в настоящее время региональная сеть сейсмических станций ориентирована на исследование региональной сейсмичности Камчатки и Командорских островов и позволяет уверенно регистрировать землетрясения из района Долины Гейзеров начиная только с 7.5 класса (по энергетической классификации С.А. Федотова для курило-камчатских землетрясений (Федотов, 1972)). Ближайшие сейсмические станции камчатской региональной сети: 1) «Карымский» (район Карымского вулкана, расстояние до Долины Гейзеров около 70 км); 2) «Мыс Козлова» (побережье Кроноцкого полуострова, расстояние около 100 км); 3) «Тумрок» (хребет Тумрок, расстояние около 90 км). По имеющимся сообщениям об ощутимых землетрясениях, на территории Кроноцкого заповедника ощущались сейсмические сотрясения, информация о которых отсутствует в региональном каталоге. Таким образом, территория контролируется в сейсмологическом плане недостаточно: конфигурация и технические возможности сети не позволяют осуществлять необходимый контроль тонкой структуры сейсмичности в локальных районах, в частности, в Долине Гейзеров. Отметим, что как местная, так и региональная сейсмичность потенциально являются причиной активизации склоновой неустойчивости.

Встает вопрос об организации в районе Долины Гейзеров системы локального мониторинга сейсмичности и современных движений земной коры. Это достаточно объемные, трудоемкие и дорогостоящие работы. Реализация такого проекта возможна лишь при наличии целевого финансирования или значительной спонсорской поддержки.

В конце 2007 г. при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в районе Долины Гейзеров была впервые организована регистрация сейсмических сигналов. Работы проведены сотрудниками Камчатского филиала Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН). Цели проекта: установка в районе Долины Гейзеров временных автономных цифровых сейсмических станций для оценки локальной сейсмичности; проведение измерений фонового сейсмического сигнала для решения вопроса о возможном размещении региональной сейсмической станций. Проведенные в 2007 г. наблюдения являются частью рекогносцировочных работ по организации локальной группы станций для сейсмического мониторинга Долины Гейзеров.

Регистрация проводилась в ноябре-декабре 2007 г. в двух пунктах: непосредственно в Долине Гейзеров и в 10 км к северо-западу, в кальдере Узон (рис.1). Использовались трехкомпонентный блок короткопериодных сейсмометров СМ-3 с периодом собственных колебаний 2 сек. и цифровой 24-разрядный регистратор GSR-24. Параметры регистрации:

- регистрируемый параметр: скорость смещения грунта;
- частота оцифровки: 100 отсч./сек.;

- 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.

Предэкспедиционные работы (ноябрь 2007 г.) включали подготовку аппаратуры, профилактику приборов, запись сейсмического сигнала на едином сейсмопостаменте.

Установка аппаратуры осуществлялась в сложных зимних условиях. Сейсмометры были установлены в зимнем полевом варианте: на мерзлый грунт. Аппаратура (сейсмометры, регистратор, блок батарей питания) были помещены в портативный защитный металлический корпус.

Начата обработка полученных материалов. Некоторые предварительные результаты представлены ниже.

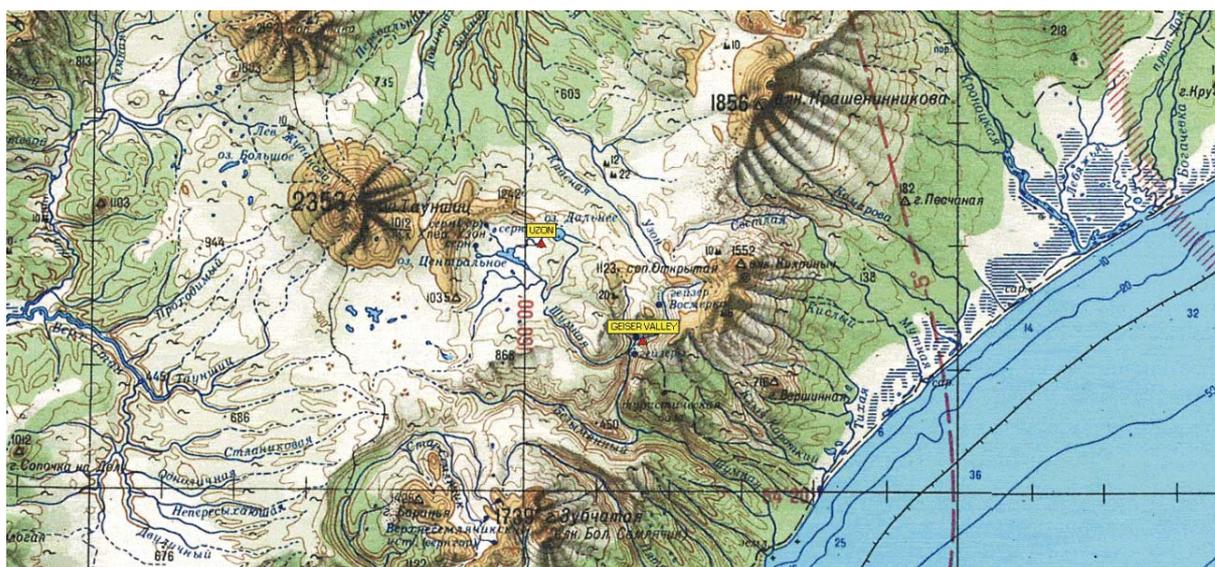


Рис.1. Карта Узоно-Гейзерного района, где проводилась регистрация. Временные сейсмические станции обозначены красными треугольниками.

### **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 составила около 250 м, высоты до уреза воды - 70 м. В месте установки залегают гидротермально-измененные озерные отложения позднеплейстоценового возраста, мощность которых в районе Долины Гейзеров достигает 300 м (Леонов, 1989).

В точке регистрации в Долине Гейзеров высота снежного покрова составила около 1 м. Станция была полностью размещена под снегом, что уменьшало уровень ветровых помех. GPS-антенна для привязки записи к точному времени была закреплена на мачте на высоте 1.5 м над уровнем снега. Координаты станции: 54.4361 град. с.ш., 160.1375 град. в.д.

Первые результаты обработки полученных записей 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 сеймостанции (рис.6). Зарегистрирован ряд региональных землетрясений. Как и предполагалось, обнаружены локальные сейсмические события. Пример записи такого землетрясения ( $K=5$ ) приведен на рис. 4, 5. Величина  $T_s-p=0.8$  сек. Расстояние до гипоцентра не превышает 4-5 км. Р-волна подошла к станции субвертикально, что позволяет предположительно связать землетрясение с областью развития корового магматического очага Узоно-Гейзерной депрессии (Белоусов и др., 1983). Точнее определить положение гипоцентра по данным единственной станции не представляется возможным.

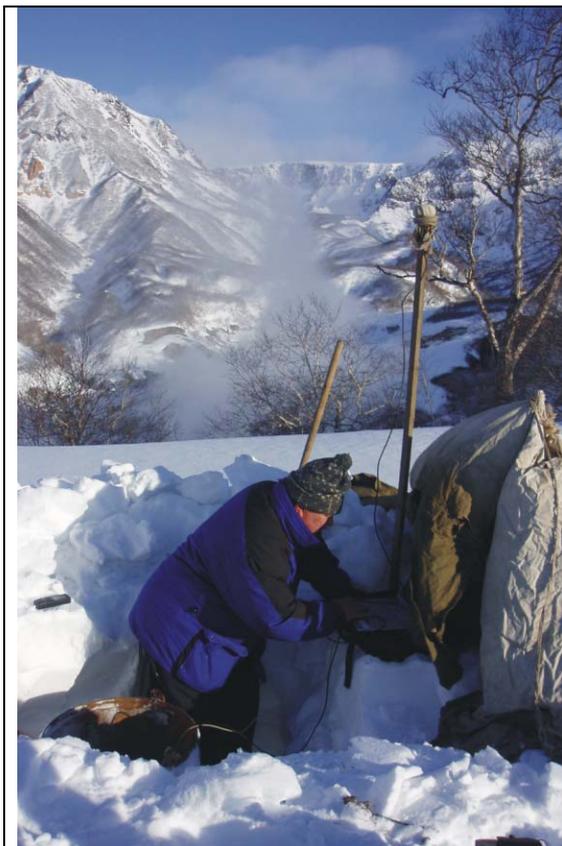


Рис. 2. Установка временной сейсмической станции в Долине Гейзеров. Аппаратура размещена в металлическом корпусе (слева). К цифровому регистратору подключен портативный компьютер для установки параметров регистрации и запуска станции в рабочий режим.

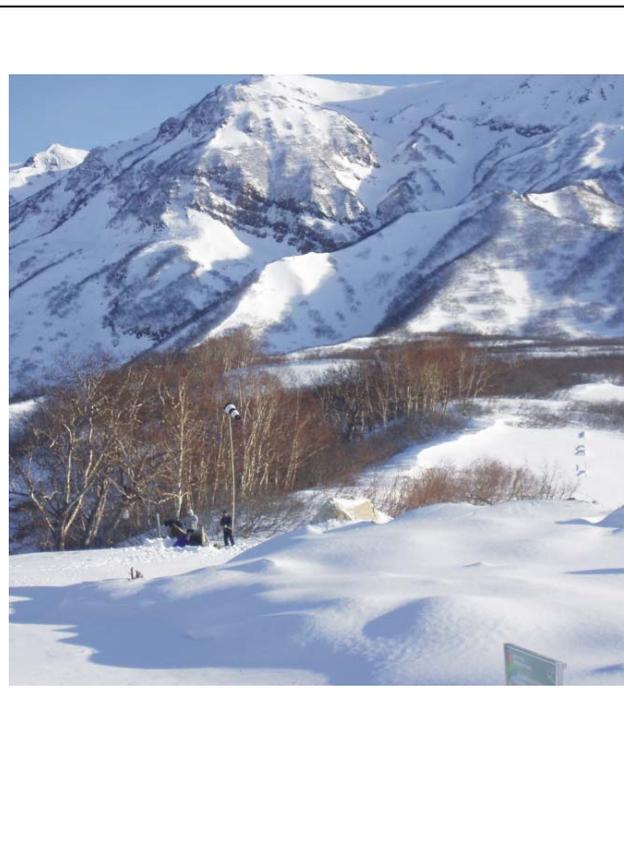


Рис. 3. Место установки временной сейсмической станции в Долине Гейзеров: водораздел рек Гейзерной и ручья Водопадного. На переднем плане – покрытый снегом участок оползня, подошедшего непосредственно к кордону «Долина Гейзеров».

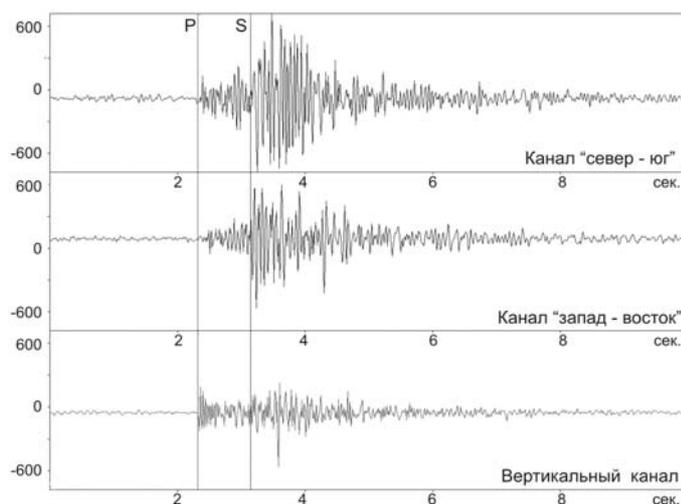


Рис. 4. Запись близкого землетрясения, зафиксированного 2 декабря 2007 г. в 5 часов 34 мин. 31.4 сек. временной сейсмической станцией в Долине Гейзеров. Энергетический класс землетрясения  $K=5$ . Нанесены моменты вступления продольной (P) и поперечной (S) волн:  $T_s-p=0.8$  сек. По оси ординат отложены отсчеты АЦП, единица младшего разряда соответствует  $1.9 \times 10^{-8}$  м/с. Обработка сейсмического сигнала (здесь и далее) проведена программой DIMAS, разработчик: Д.В. Дрознин.

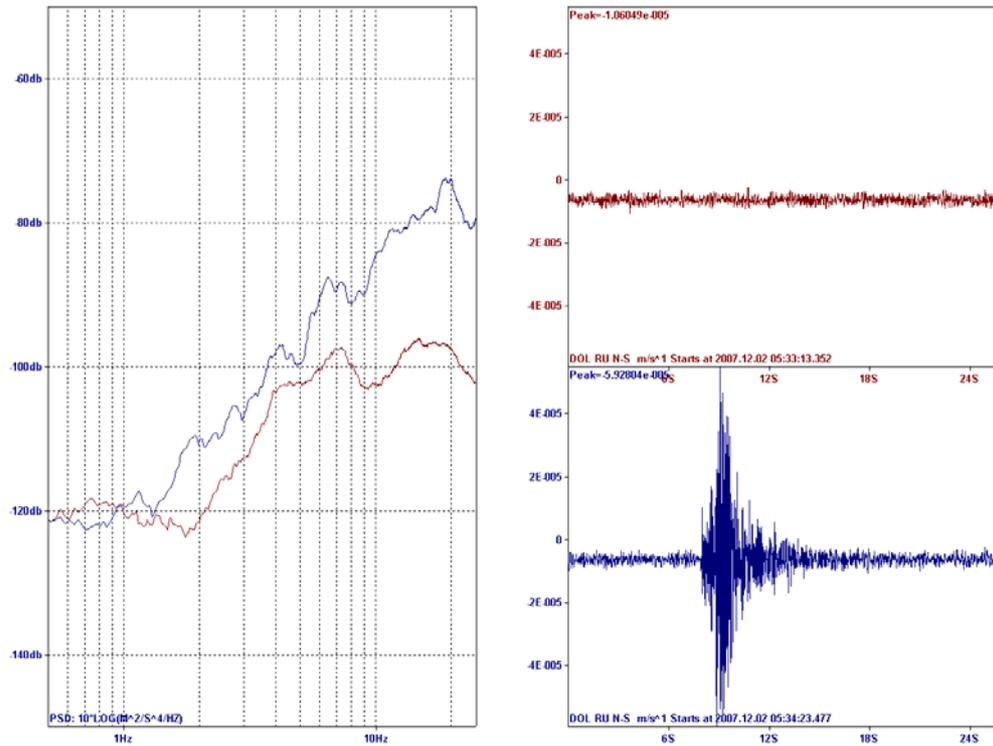


Рис. 5. Фоновый сейсмический сигнал, запись близкого землетрясения временной сейсмической станцией (канал север-юг) в Долине Гейзеров (справа) и соответствующие спектры мощности (слева).

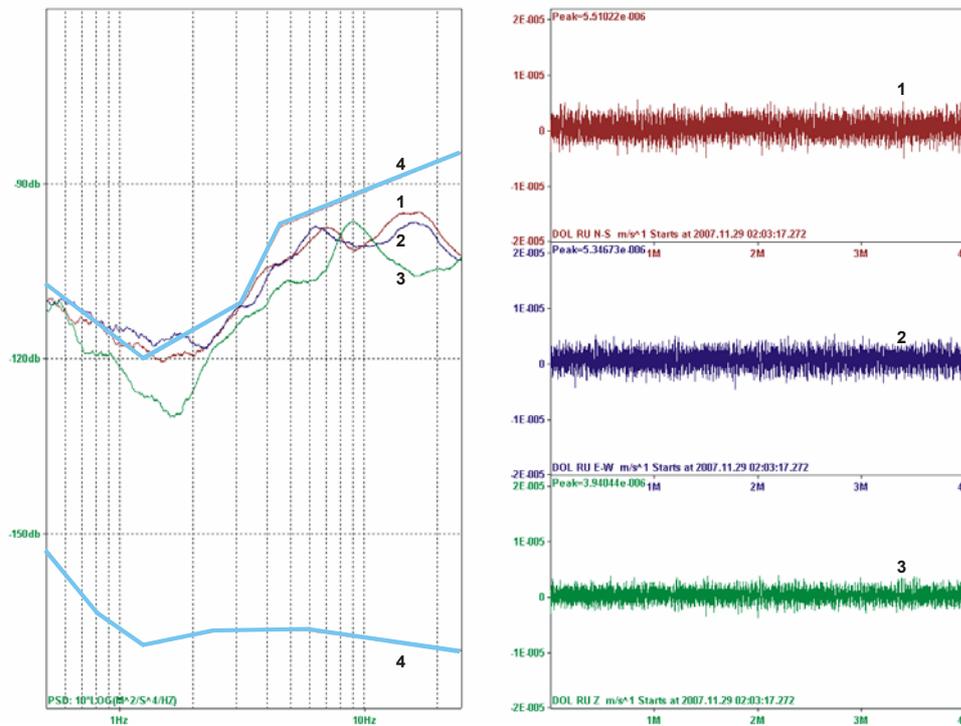


Рис.6. Фоновый сейсмический сигнал (справа), временная сейсмическая станция «Долина Гейзеров». 1- канал север-юг, 2 – канал запад-восток, 3 – вертикальный канал. Слева – соответствующие спектры мощности (1-3) и осредненный уровень фонового сейсмического шума на станциях мировой сети (4) по (Peterson, 1993).

### **Станция «Узон»**

Станция установлена в северо-западной части кальдеры Узон, непосредственно рядом со зданием стационара Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (рис.7, 8). Территория также относится к Кроноцкому государственному биосферному заповеднику. Высота 660 м. Координаты станции: 54.50 град. с. ш., 160.02 град. в.д. Расстояние до скрытого под снегом ручья 30 м. Течение спокойное, ламинарное. Ближайшее гидротермальное поле (кипящий грязевой котел и бурлящий источник) находятся в 200 м к югу. Площадка достаточно ровная, кочкарник удален при строительстве стационара. В месте установки залегают озерные отложения позднеплейстоценового возраста (Леонов, 1989).

Снежный покров у домика 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.

Фоновый сигнал сопоставим по уровню с фоном для Долины Гейзеров, однако отличается более низкочастотным характером спектра (рис.8,9). Высокочастотная компонента активизируется только при сильном ветре (рис.10).

Зафиксирован ряд локальных, относительно низкочастотных сигналов длительностью 5-7 секунд (рис.8,9). 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.

Место установки временной сейсмостанции в кальдере Узон не является благоприятным для организации здесь пункта долговременных сейсмических наблюдений – стационарной сейсмической станции. Грунтовые условия, обводненность, близость мощного водоносного комплекса и близповерхностного магматического очага (Белоусов и др., 1983) и, возможно, другие неучтенные факторы определили низкую чувствительность этого пункта к региональным землетрясениям рис. 11, 12.

Однако район научного стационара 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 борты кальдеры (породы докальдерного комплекса) и кислые экструзии посткальдерной фазы вулканизма кальдеры Узон.



Рис.6. Кальдера Узон. Здание стационара Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Справа от здания была установлена временная сейсмическая станция. На заднем плане – борт кальдеры.



Рис. 7. Временная сейсмическая станция в кальдере Узон.

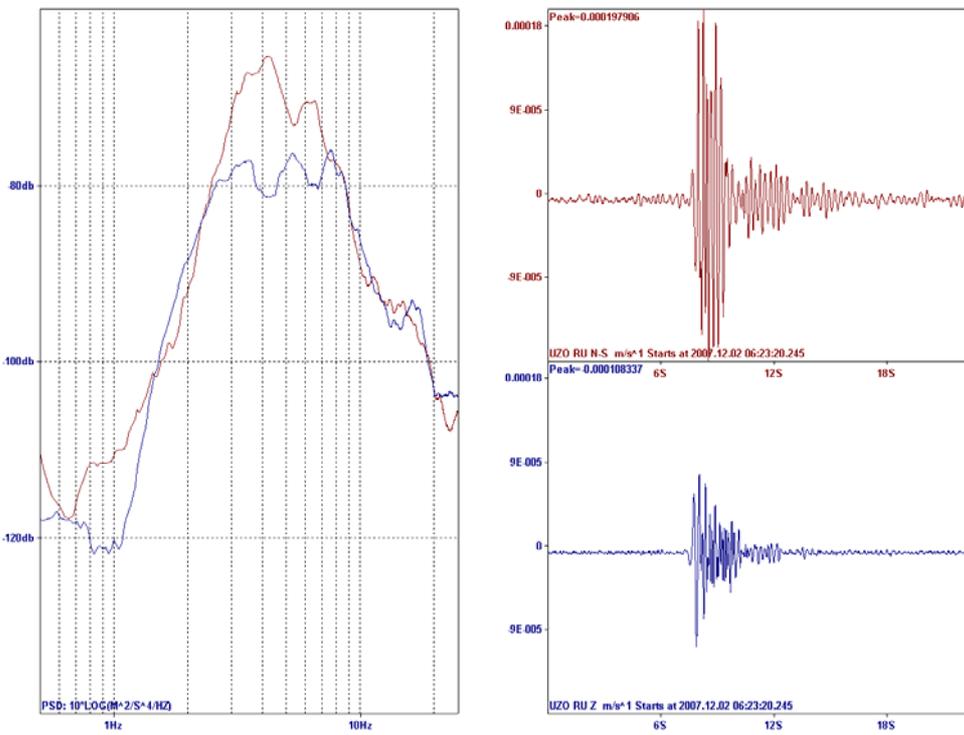


Рис.8 Справа: запись локального сейсмического сигнала временной станцией в Долине Гейзеров (сверху вниз каналы: север-юг, вертикальный). Слева: соответствующие спектры мощности сигналов.

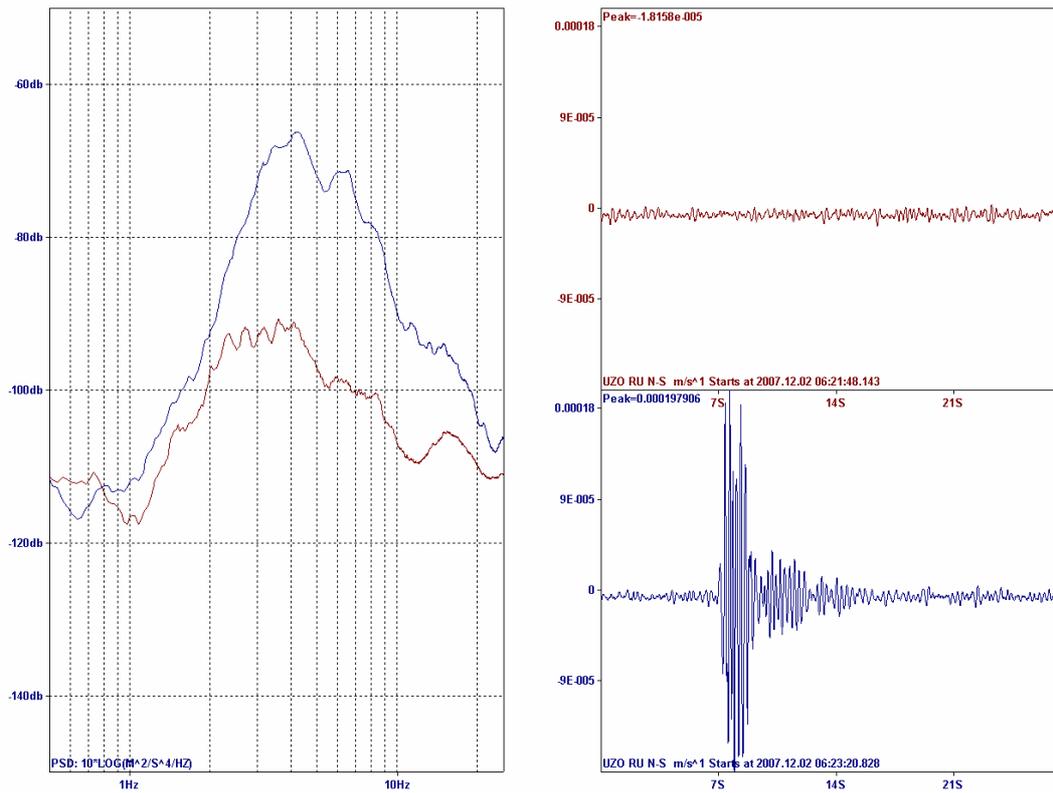


Рис.9. Фоновый сейсмический сигнал, запись близкого землетрясения временной сейсмической станцией (канал север-юг) в кальдере Узон (справа) и соответствующие спектры мощности (слева).

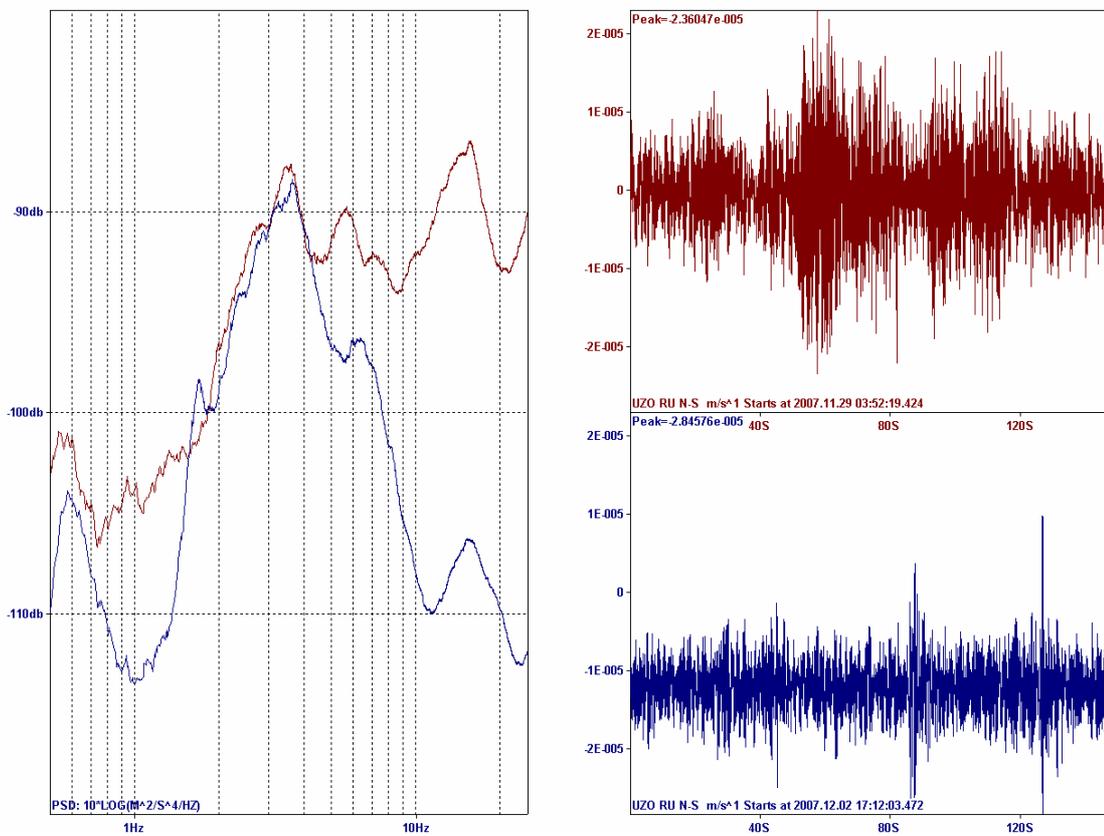


Рис. 10. Фоновый сейсмический сигнал в кальдере Узон. Слева сверху – при сильном порывистом ветре, внизу – в тихую погоду. Справа – соответствующие спектры мощности.

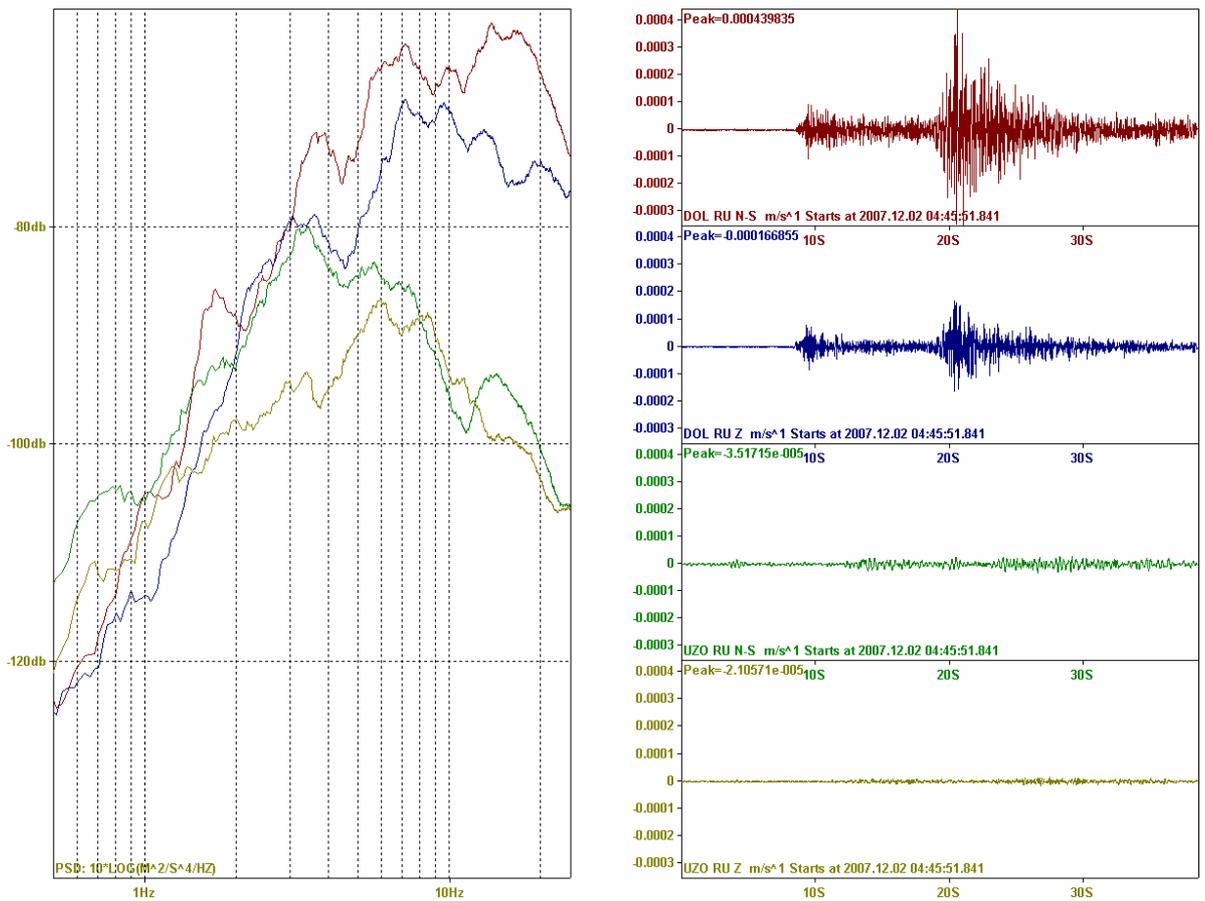


Рис. 11. Справа: Запись регионального землетрясения (приведены каналы «север-юг» и вертикальный) временными станциями в Долине Гейзеров (два верхних графика) и в кальдере Узон (два нижних графика). Слева - соответствующие спектры мощности сигналов.

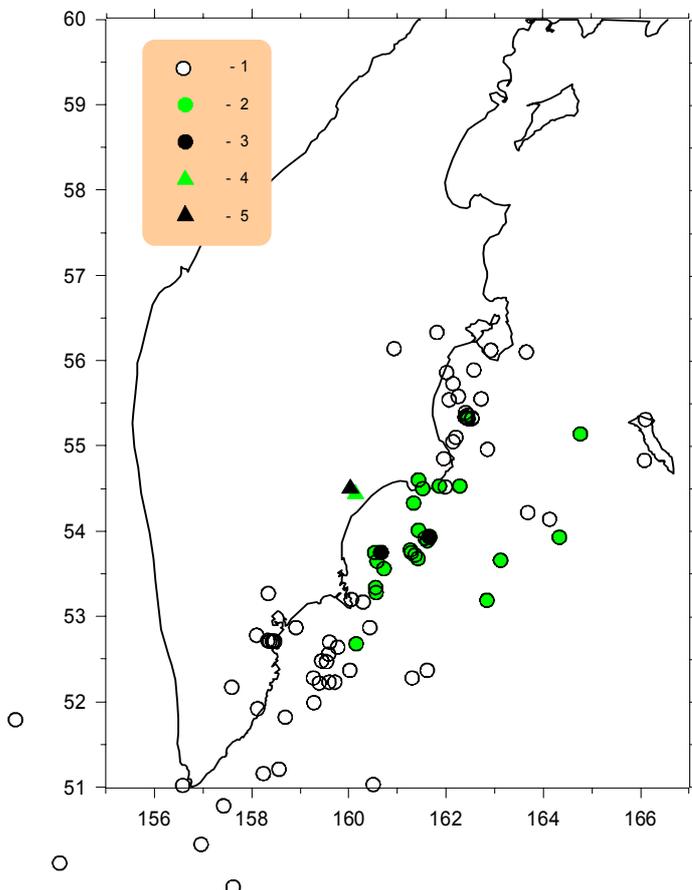


Рис. 12. Эпицентры землетрясений, которые произошли с 29.11.2007 по 5.12.2007 в Камчатском регионе по данным оперативного каталога КФ ГС РАН (1). Из них только часть была зарегистрирована временными станциями: 2 – эпицентры землетрясений, зарегистрированных станцией в Долине Гейзеров, 3 – в кальдере Узон. 4, 5 – временные сейсмические станции в Долине Гейзеров и кальдере Узон соответственно.

Проведенные работы по регистрации сейсмических сигналов в

Долине Гейзеров можно рассматривать как пример конструктивного взаимодействия представителей различных научных коллективов Камчатки: Камчатского филиала Геофизической службы РАН, Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Кроноцкого государственного биосферного заповедника. Группа КФ ГС РАН, проводившая работы, пользовалась активной поддержкой коллег, получала своевременные консультации и всю необходимую для организации наблюдений информацию. Администрация заповедника проявила всестороннюю заинтересованность в дальнейшем сотрудничестве и в планируемом мониторинге сейсмичности и современных движений земной коры в районе Долины Гейзеров. Ведется работа по систематизации и передаче в КФ ГС РАН имеющейся информации о землетрясениях, которые ощущались на территории Кроноцкого заповедника.

Участники работ благодарят всех сотрудников Камчатского научного центра, оказавших им поддержку, в особенности В.А. Дрознина, одного из ведущих специалистов в области исследований гейзеров.

Работы проведены при финансовой поддержке РФФИ – Грант № 07-05-02107.

По предварительным результатам регистрации подготовлено сообщение в журнал «Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле»:

*Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Сеницын В.И.* Сейсмические наблюдения в Долине Гейзеров // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. №2. Вып.10.

#### **Список литературы**

- 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
- 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.
- Леонов В.Л.* Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм. М.: Наука, 1989. 104 с.
- Уломов В.И., Шумилина Л.С.* Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97. Масштаб 1:8000000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ, 1999. 57 с.
- Федотов С.А.* Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 117 с.
- 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.