

УДК 551.233:550.34.05

АКТИВНОСТЬ ГЕЙЗЕРОВ В ЗАПИСЯХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН,
Петропавловск-Камчатский, ku@emsd.ru

Аннотация

В Камчатской Долине Гейзеров начаты работы по составлению «сейсмических портретов» гейзеров. Первые результаты обработки сигналов демонстрируют высокую информативность этого метода исследования, учитывая новые возможности, связанные с широкополосной записью. Обнаружены смещения земной поверхности, связываемые с извержениями. Получены данные, свидетельствующие о существовании в районе площадки гейзера Великан подземного гейзера, который предложено назвать Сердце Великана.

Введение

В ходе полевых работ в сентябре 2009 г. в камчатской Долине Гейзеров проведена рекогносцировочная регистрация сейсмических сигналов на гейзерном поле.

Сейсмический метод предполагает новые возможности для изучения особенностей гейзерного режима. Первые результаты обработки сигналов демонстрируют высокую информативность этого метода исследования гейзеров, учитывая новые возможности, связанные с широкополосной записью.

Актуальность исследований определяется проблемой сохранения рекреационных ресурсов Кроноцкого заповедника и его уникальных природных объектов в условиях высокой эндогенной активности и изменения климата.

Аппаратура

Наблюдения проводились сейсмометрами Guralp CMG-6TD, которые относятся к категории портативных широкополосных приборов со встроенной памятью и одновременно сочетают в себе функции сейсмического датчика и цифрового регистратора (частотный диапазон 0.03–100 Гц). Амплитудно-частотная характеристика CMG-6TD приведена на рис. 1.

Сейсмометры устанавливались непосредственно на дневную поверхность, без заглубления, поблизости от грифонов гейзеров.

Использовались как сейсмические каналы, так и служебные сертифицированные каналы «mass position», диагностирующие состояние прибора и работающие в режиме акселерометра.

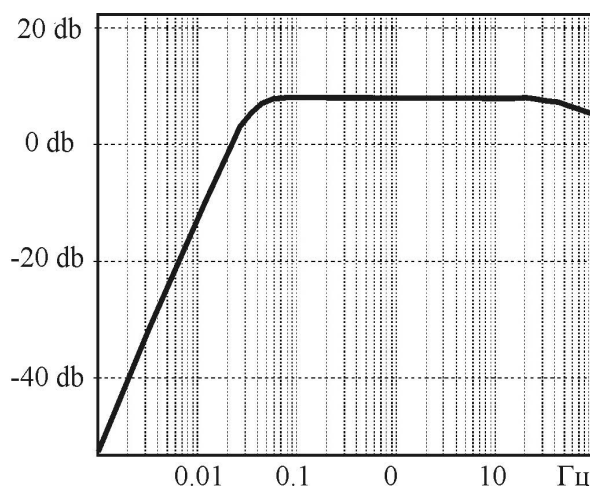


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика сейсмометра GURALP CMG-6TD.

Гейзер Щель

Щель относится к группе гейзеров со стабильным режимом, малой продолжительностью цикла, небольшой площадью выходного отверстия и сравнительно небольшим объемом канала [3, 4, 6]. В трещине щелеобразного вида расположены три отверстия канала гейзера. Извержение – выброс пароводяной смеси из всех трех отверстий одновременно под углом 50° к склону на высоту до 2 м. Характерная черта гейзера Щель – отсутствие стадии излива. Пропуск стадии излива объясняется тем, что канал гейзера хорошо изолирован и достаточно прогрет. После прекращения извержения оставшаяся в канале вода нагревается не только за счет поступления глубинной перегретой воды, но и при контакте с нагретыми стенками канала. Длительность извержения около 1 мин., период – 31–32 мин. После извержения гейзер интенсивно парит.

Периодичность в деятельности гейзера Щель хорошо проявляется в высокочастотном диапазоне сейсмических записей $f > 1$ Гц (рис. 2). Максимум сейсмического сигнала длится около 2 мин. (что несколько больше видимого эпизода извержения). Затем следует отрезок времени (28–29 мин.), когда в сейсмической записи фиксируется поземная активность гейзера в виде отдельных спазматических цугов, временами сливающихся в единый поток сейсмического шума. В [9–11] такой характер сейсмического сигнала связывается с коллапсом пузырей пара при их продвижении вверх по каналу гейзера. Интенсивность сейсмического сигнала минимальна в последние 2–3 минуты перед следующим извержением. По-видимому, вследствие подъема воды по узкому субвертикальному неравномерно прогретому каналу гейзера давление возрастает и кипение временно прекращается. Стенки канала гейзера являются самостоятельным источником нагрева поступающей воды и в некоторый момент обеспечивают возрастание температуры в канале до точки кипения, начиная новое извержение.

Выявленные по сейсмическим данным стадии деятельности гейзера Щель хорошо отражаются в спектрах записей (рис. 3).

Гейзер Большой

Гейзер Большой относится к группе гейзеров с большой продолжительностью цикла и заметной зависимостью режима от гидрометеорологической обстановки вследствие большой площади выходного отверстия и объема верхней части канала. До геологической катастрофы (оползня 03.06.2007, уничтожившего часть гейзеров), особенностью режима Большого гейзера являлась неравномерность цикла за счет незакономерного удлинения стадии покоя [3, 4], что пока не нашло своего объяснения.

В июне 2007 г. гейзер Большой был затоплен подпрудным озером, а через несколько месяцев, после прорыва дамбы и частичного опускания воды, заработал [2]. Но ванна гейзера (отверстие его выходного канала) долгое время сообщалась с озером, в результате чего его активность была нестабильной и прекращалась в периоды подъема уровня озера в периоды таяния снегов и обильных осадков. 10 сентября 2009 г. после сильного циклона произошел частичный размыв дамбы в районе выхода реки Гейзерной из подпрудного озера. В результате уровень озера уменьшился примерно на 0.5 м и опустился на 20–30 см. ниже минимальной точки слива ванны. Гейзер интенсивно заработал. В сентябре 2009 его период был 55–60 мин. Изменился характер деятельности: наблюдались извержения пульсирующего характера, кипение и отдельные выплески воды происходили на протяжении всего цикла, фаза покоя не наблюдалась. Нам предоставилась возможность наблюдать и

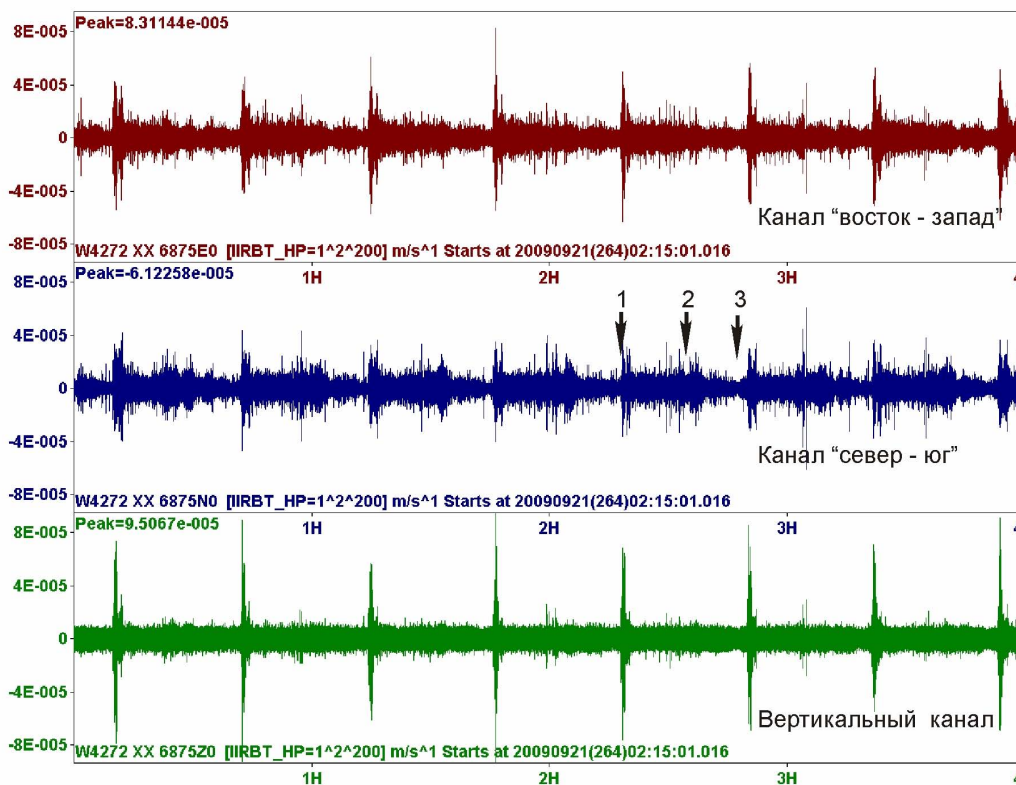


Рис. 2. Сейсмический сигнал гейзера Щель в диапазоне частот от 1 Гц и выше.

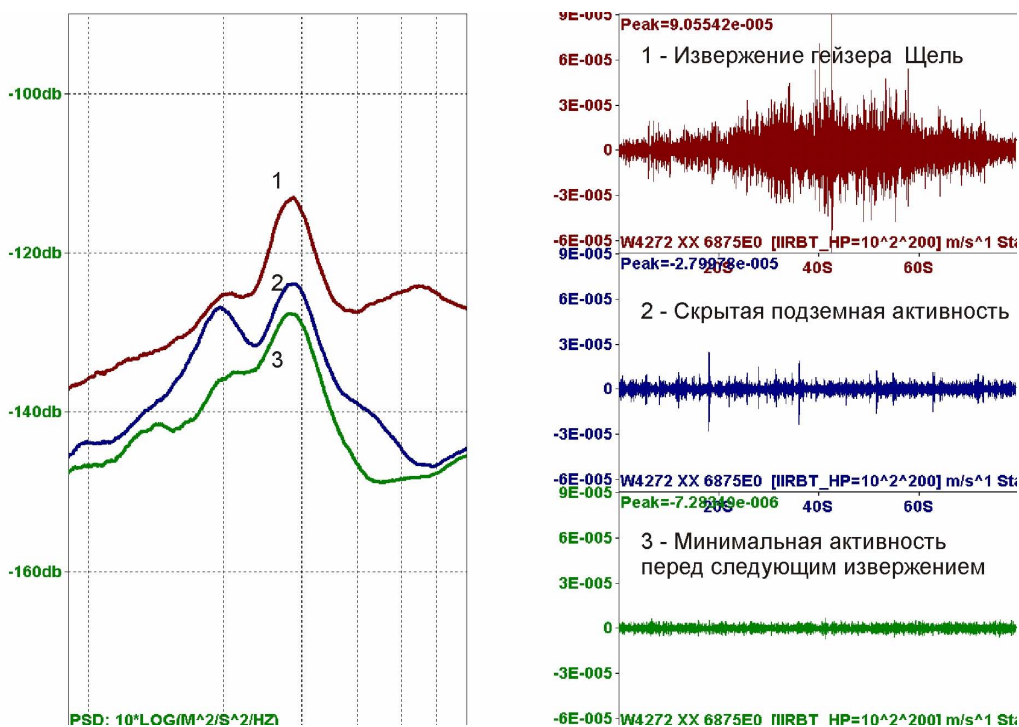


Рис. 3. Спектры сейсмического сигнала гейзера Щель в диапазоне частот от 1 Гц и выше для различных участков гейзерного цикла (представленные участки записи отмечены на рис. 2).

исследовать деятельность гейзера, находящегося в экстремальных изменяющихся естественных внешних условиях. 21 сентября 2009 года на гейзере Большом были проведены сейсмологические наблюдения (рис. 4 – 7)

Зарегистрированы медленные деформационные процессы, сопровождающие извержения гейзера Большого. Для анализа деформаций использованы записи канала «mass position» (рис. 7). Показано, что характер извержений меняется. Особенно это заметно при анализе различных частотных диапазонов сейсмических записей (рис. 5, 6). Некоторые извержения гораздо слабее других и не сопровождаются деформациями, хотя внешние условия постоянны. Это говорит о возможных вариациях в тепловом питании гейзера.

Обработка сейсмической записи канала «mass position» позволила восстановить длиннопериодную вариацию смещения поверхности, наиболее ярко проявившуюся на вертикальном канале (рис. 8). Оказалось, что изменение характера извержений гейзера Большого соответствует смене знака поверхностной деформации: растяжению соответствует строгая периодичность извержений во всех диапазонах спектра, а при сжатии деятельность гейзера нестабильна. Возможно, длиннопериодная вариация смещения поверхности связана с земными приливами. Отметим, что по литературным данным ряд исследователей выявляли воздействие приливов на периодичность работы гейзеров (например, [7, 8, 13, 14]), однако зависимость характера единичных извержений от фазы прилива никогда ранее не рассматривалась. Для получения более убедительных результатов в этом направлении мы планируем организовать на гейзере Большом длительные наблюдения.

Регистрация в районе гейзеров Жемчужный и Великан

Площадка расположена в излучине реки Гейзерной и относится к Центральному участку Гейзерного термального поля. Расстояние между выходными отверстиями гейзеров Жемчужного и Великана около 40 м. Их гейзеритовые площадки между собой не сообщаются: на дневной поверхности они разделены полосой глинистых пород (гидротермально-измененных озерных отложений), обводненными топкими участками стока термальных вод, небольшими пульсирующими кипящими источниками.

Сейсмометр был установлен на гейзеритовый щит гейзера Жемчужного в 4 м от выходного канала гейзера. В сентябре 2009 г. период работы гейзера Жемчужного составлял около 195 мин., длительность извержения – 4 мин. Как и на гейзере Большом, зарегистрированы медленные деформационные процессы, сопровождающие извержения.

Как в сейсмической записи (рис. 9), так и в записи канала «mass position» (рис. 10) выявлены периодические вариации с периодом 17 мин. Их строгая периодичность свидетельствует о том, что в зоне регистрации присутствует еще один источник гейзерного типа. На поверхности такие гейзеры неизвестны. Предполагается, что выявлен подземный источник, работающий в гейзерном режиме. Его периодичность близка к малому циклу (периоду промежуточных вскипаний) гейзера Великан [1,5], период которых в сентябре 2009 г. составлял около 20 мин. (по данным В.А. Дрознина). На этом основании мы предполагаем, что выявлен подземный гейзер, возможно, входящий в структуру теплового питания гейзера Великан. Предлагается назвать его Сердце Великана. (Отметим, что по сейсмическим записям период гейзера Жемчужного не кратен периоду Сердца Великана). Для уточнения его местонахождения необходимо организовать специализированные площадные наблюдения.

АКТИВНОСТЬ ГЕЙЗЕРОВ В ЗАПИСЯХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

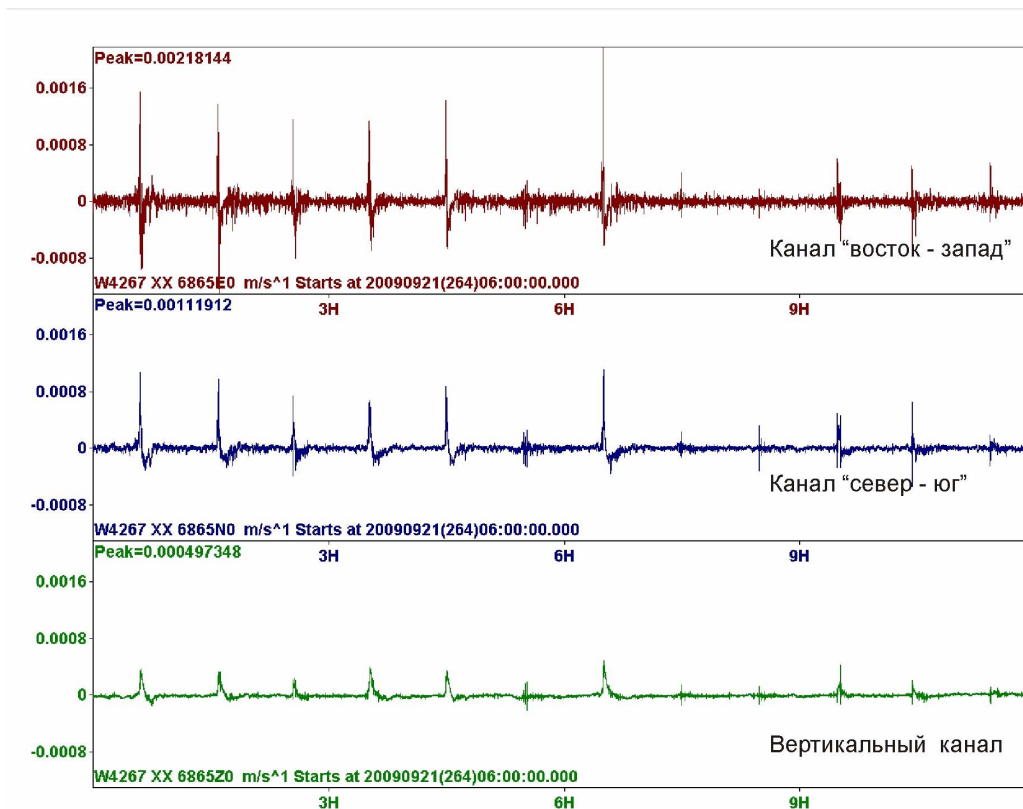


Рис. 4. Оригинальный сейсмический сигнал, зарегистрированный вблизи гейзера Большого.

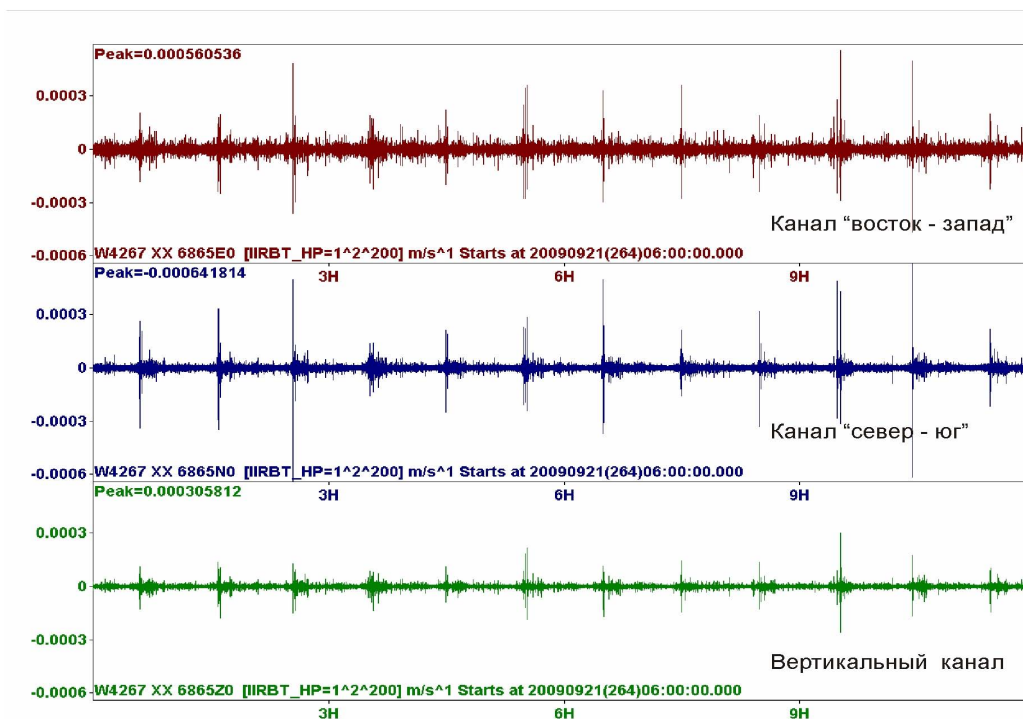


Рис. 5. Сейсмический сигнал гейзера Большого в диапазоне частот от 1 Гц и выше.

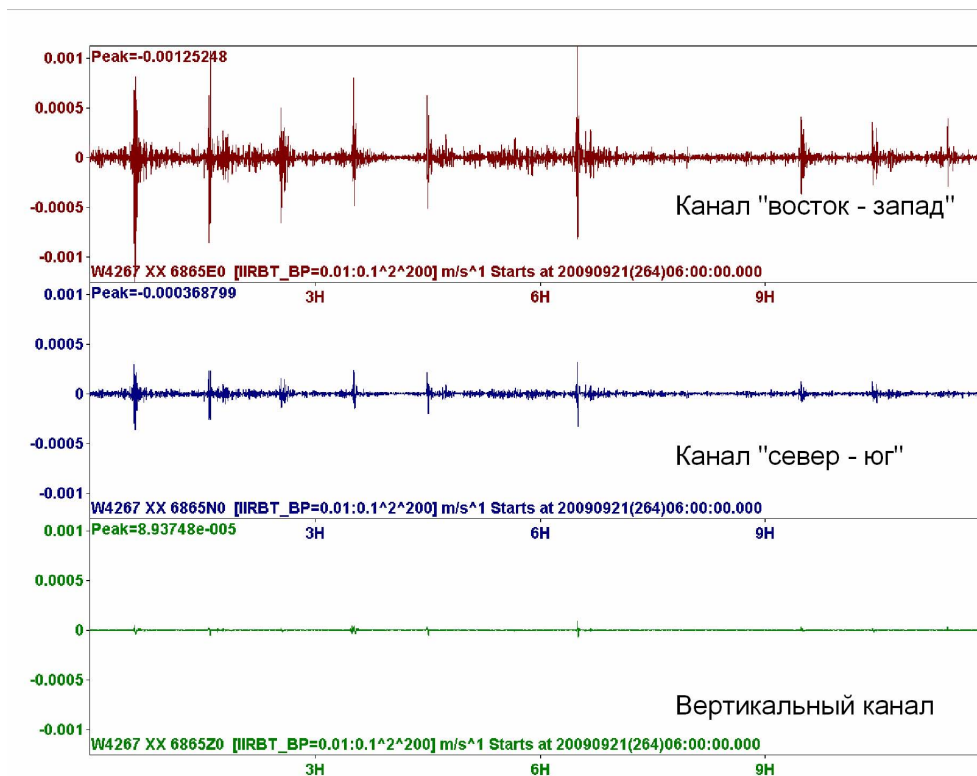


Рис. 6. Сейсмический сигнал гейзера Большого в диапазоне частот 0.01 – 0.1 Гц.

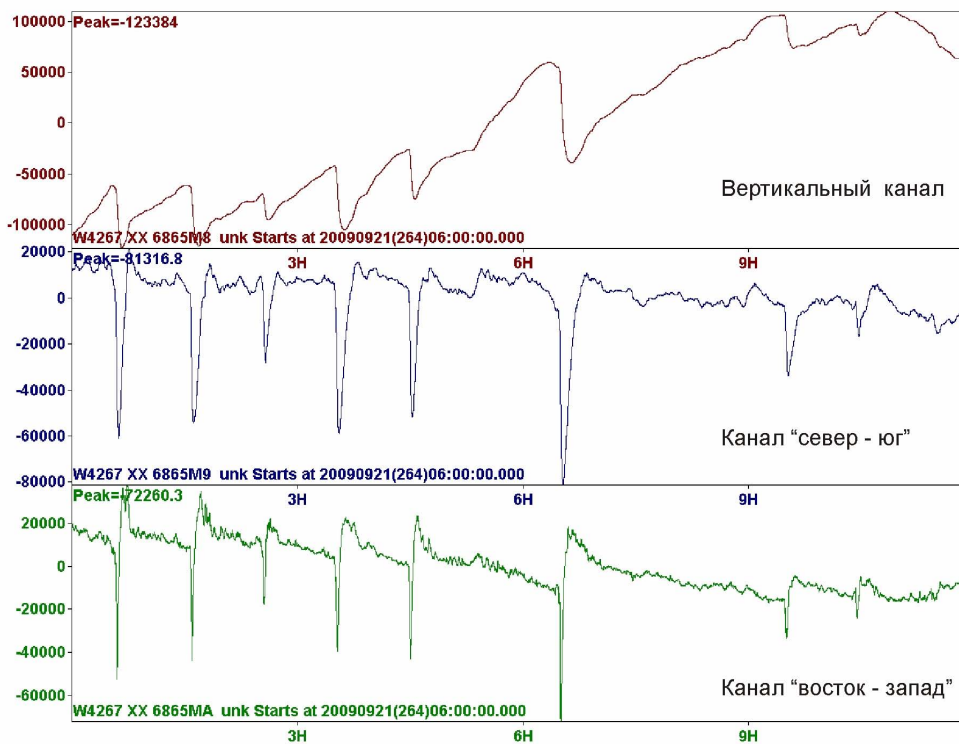


Рис. 7. Запись канала «mass position» вблизи гейзера Большого.

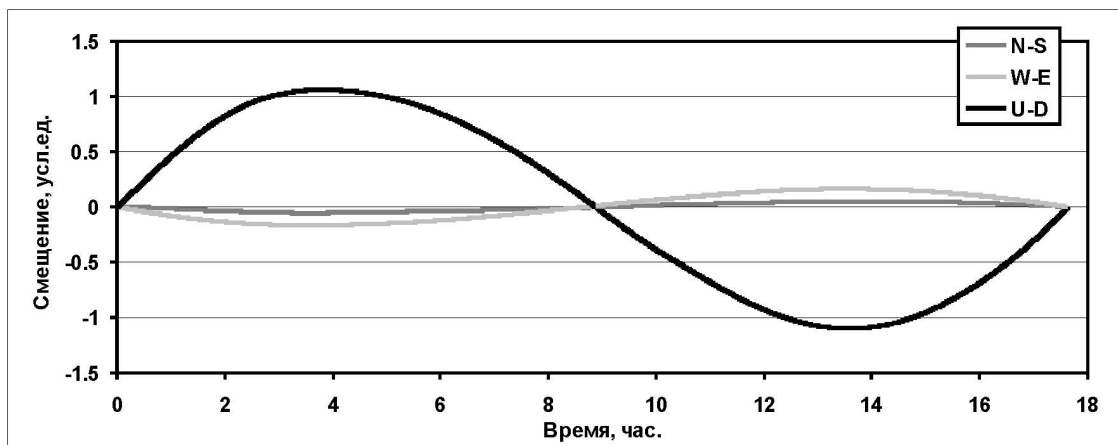


Рис. 8. Смещение дневной поверхности вблизи гейзера Большого, восстановленное по записи канала «mass position».

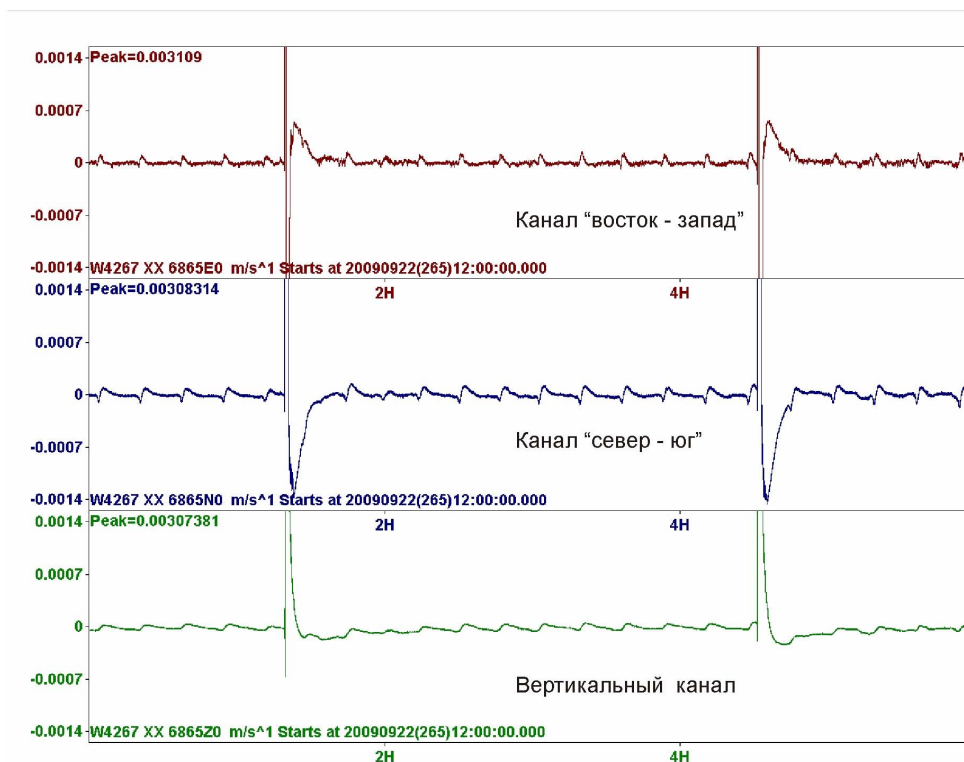


Рис. 9. Оригинальный сейсмический сигнал, зарегистрированный на гейзеритовом щите гейзера Жемчужного.

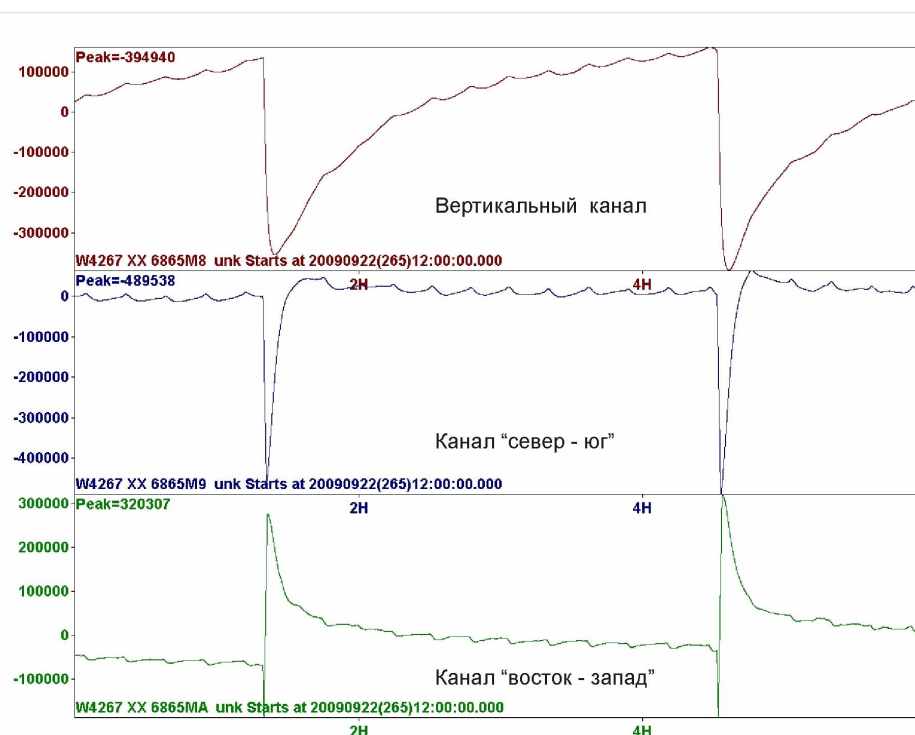


Рис. 10. Запись канала «mass position» на гейзеритовом щите гейзера Жемчужного.

Заключение

В камчатской Долине Гейзеров начаты работы по составлению «сейсмических портретов» гейзеров.

Обнаружены смещения земной поверхности, связываемые с работой гейзеров. Ранее аналогичные деформации в окрестностях выхода гейзерного канала были обнаружены только на искусственном гейзере Оникобэ в Японии [12].

Получены данные, свидетельствующие о существовании в районе площадки гейзера Великан подземного гейзера, который предложено назвать Сердце Великана.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 09-05-10067, 10-05-00139).

Список литературы

1. Дрознин В.А., Бахтияров В.Ф., Левин В.Е. Измерения температуры в ванне гейзера Великан (Долина Гейзеров, Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 1999. № 1. С. 3 – 19.
2. Селивёрстов Н.И., Дрознин В.А. Долина Гейзеров после геологической катастрофы // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 2 (10). С. 7–8.
3. Сугробов В.М., Сугрובה Н.Г., Дрознин В.А. и др. Жемчужина Камчатки – Долина Гейзеров. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2009. 108 с.
4. Сугрובה Н.Г. Некоторые закономерности режима гейзеров Камчатки. Вулканология и сейсмология. 1983. № 5. С.35–48.

5. *Сугробова Н.Г.* Режим гейзера Великан. Вопросы географии Камчатки. 1982. Вып.8. С. 66–68.
6. *Устинова Т.И.* Камчатские гейзеры. М.:География, 1955. 120с.
7. *Geer R.D., Rinehart J.S.* Geyser Eruptions and the 18.6-Year Tidal Component. // *Science*. 1973 Vol.180(4093). P.1384–1385.
8. *Ingebritsen S.E., Rojstaczer S.A.* Geyser periodicity and response of geysers to deformation // *J.Geophys.Res.* 1996. Vol.101. N B10. P.21891–21905.
9. *Kedar S., Sturtevant B., Kanamori H.* The origin of harmonic tremor at Old Faithful geyser // *Nature*. 1996. V.379. P.708 – 711.
10. *Kedar, S., H. Kanamori, and B. Sturtevant.* Bubble collapse as the source of tremor at Old Faithful Geyser // *J. Geophys. Res.* 1998. V.103. N B10. P. 283–299.
11. *Kieffer S.W.* Seismicity of Old Faithful Geyser: an isolated source of geothermal noise and possible analogue of volcanic tremor // *J. Volcanology and Geothermal Research*. 1984. Vol. 22. Issue 1–2. P.59–95.
12. *Nishimura T., Ichihara M., Ueki S.* Investigation of Onikobe geyser, NE Japasn, by observing the ground till and flow parameters // *Earth, Planets, Space*. 2006. N 58. P.e21–e24.
13. *Rinehart J.S.* Fluctuations in geyser activity caused by variation in Earth tidal forces, barometric pressure and tectonic stress // *J.Geophys.Res.* 1972. Vol.77. N2. P.342–350.
14. *Rojstaczer S., Galloway D.L., Ingebritsen S.E., Rubin D.M.* Variability in geyser eruptive timing and its causes: Yellowstone National Park // *Geophysical Research Letters*. 2003. Vol. 30. N 18, 1953, doi:10.1029/2003GL017853