

## СЕЙСМИЧНОСТЬ ВУЛКАНА ГОРЕЛЫЙ В 1984-2009 ГГ.

Соболевская О.В.

Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, [sva06@emsd.ru](mailto:sva06@emsd.ru).**Введение**

Мониторинг активности вулкана Горелый проводится КФ ГС РАН также как и остальных действующих вулканов Камчатки с целью оценки вулканической опасности. В настоящее время мониторинг вулканической активности основывается на данных трех дистанционных видов наблюдений: 1) сейсмический мониторинг на основе обработки и интерпретации данных автоматических телеметрических сейсмических станций; 2) визуальные и видео наблюдения; 3) спутниковый мониторинг термальных аномалий и пепловых выбросов на основе обработки и интерпретации данных датчика AVHRR спутников NOAA [5].

Вулкан Горелый (52° 33' с.ш., 158° 02' в.д., абс. высота вершины 1829 м) – один из двух (вместе с вулканом Мутновский) действующих вулканов Мутновского геотермального района. Находится он примерно в 70 км на юго-запад от г. Петропавловск-Камчатский и непосредственной близости от других наиболее населенных пунктов юга Камчатки. Вулкан расположен в обширной кальдере и представляет собой современный этап развития долгоживущего вулканического центра, включающего образование докальдерного сооружения, кальдеры, комплекса многовыходного посткальдерного вулканизма и формирование сложной современной постройки [4].

**Ретроспективный анализ**

Документально зафиксированные извержения вулкана имели место в 1828, 1832, 1855, 1869, 1929-1931, 1947, 1961 гг., т.е. до начала детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке. При эксплозивном извержении 1980-1981 гг. основной объем сейсмометрических данных был получен с

помощью радиотелеметрической сейсмостанции “GRL”, установленной в августе 1980 г. и работавшей с кратковременными перерывами весь период извержения и после его окончания. Сейсмическая активизация из района вулканов Мутновский и Горелый в 1983 г. была определена как Асачинский рой и относилась к верхнекоровой сейсмичности в пределах древнего массива вулкана Асача (рис. 1).

Последний раз вулкан извергался в период 1984-1985 гг. Активизация его деятельности началась после заметной сейсмической подготовки в виде вулканического дрожания и продолжилась появлением взрывных вулканических землетрясений. В начале августа стали регистрироваться и местные вулканические землетрясения с  $K_s \leq 6.0$ . Все эти события были зафиксированы лишь одной сейсмостанцией “GRL”, поэтому локализовать и определить их стандартные параметры не представлялось возможным, так как для этого необходимы данные как минимум с трех станций.

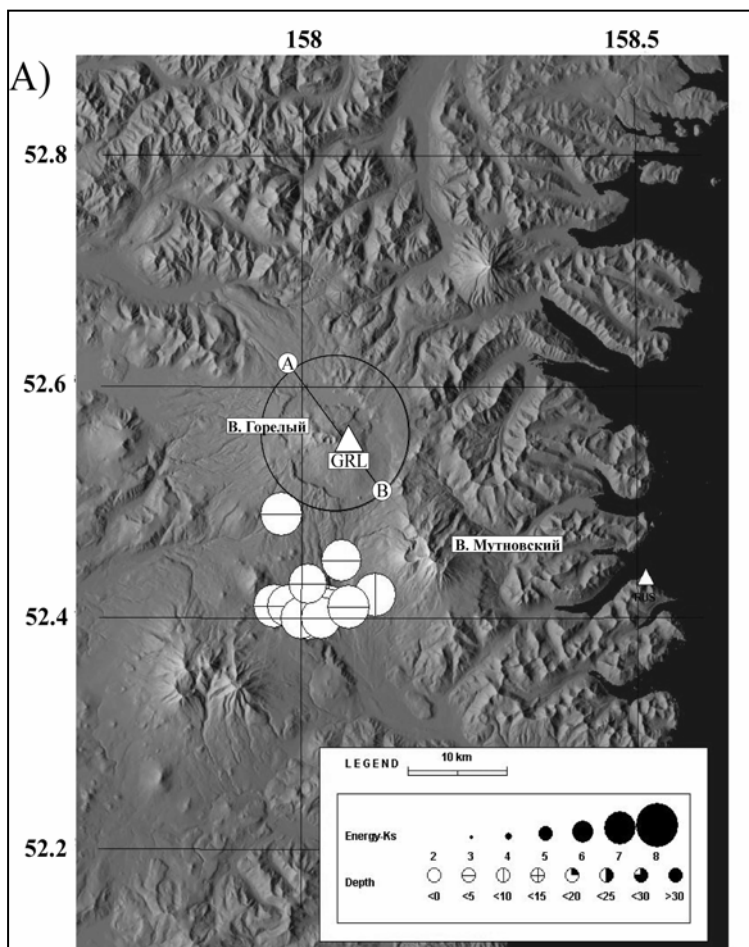


Рис.1. Сейсмическая активность вулкана Горелый в 1983-1986 гг.: А) карта, радиус окружности вокруг вулкана 8 км.

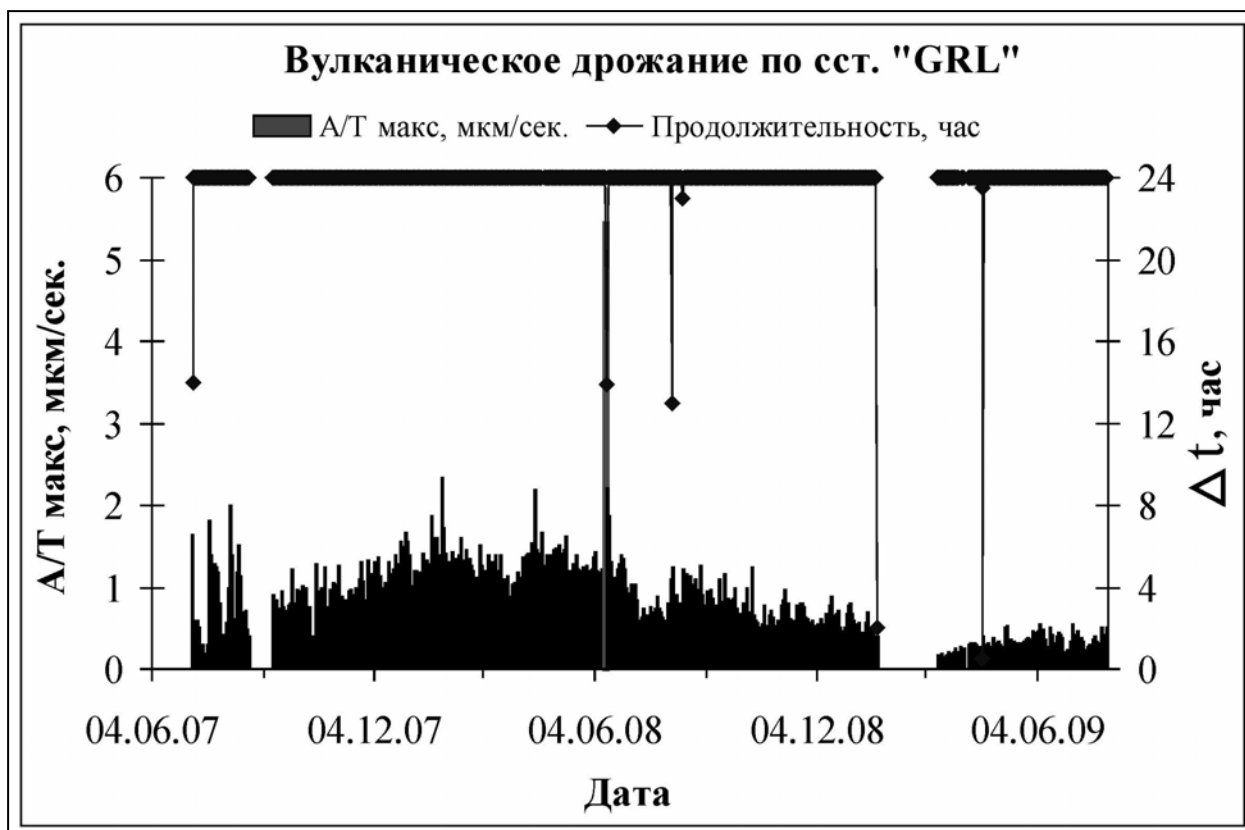


Рис. 2. Вулканическое дрожание на в. Горелый в 2007 – 2009 гг. Отсутствие данных по техническим причинам: 23.08 – 10.09.07 и 24.01 – 13.03.09

Обобщая данные по сейсмической активности вулкана в августе-октябре 1984 г., можно выделить три фазы сейсмической активности, характеризующиеся уровнем вулканического дрожания и количеством взрывных землетрясений. Фаза I характеризуется наличием вулканического дрожания со средней амплитудой 0.5 мкм и периодами 1.6-1.8 с, максимальная амплитуда достигала 0.8 мкм. С началом фазы II амплитуда дрожания резко уменьшилась и одновременно с этим начались взрывные землетрясения. Фаза III характеризуется низким уровнем дрожания, а так же отсутствием землетрясений [1].

Визуально в ходе извержения наблюдалось усиление фумарольной активности и появление редких, слабо нагруженных пеплом парагазовых выбросов на высоту до 1.5-2 км над кратером. Максимальная высота газо-пепловой колонны достигала 3000м над кратером. В течение 1985г. вулкан находился в стадии парагазового извержения [2].

### Результаты

На протяжении последних 20-ти лет, с 1985 до 2007 г., сейсмичность в районе вулкана не превышала обычный, фоновый уровень. При оперативной обработке сейсмических событий в лаборатории исследований сейсмической и вулканической активности (ЛИСВА КФ ГС) формально принято, что сейсмичность для этого вулкана является выше фоновой, если зарегистрировано более 5 землетрясений  $K_s \geq 4.0$  класса, или больше 2 землетрясений  $K_s \geq 5.0$ , или свыше 100 событий за сутки, или вулканическое дрожание по данным сейсмостанции «GRL» с  $A/T \geq 5.0$  мкм/сек.

Начиная с весны 2007 г. в районе вулканов Горелый и Мутновский стала регистрироваться повышенная сейсмичность в виде вулканического дрожания, отношение максимальной амплитуды к периоду (A/T) которого достигало 5.44 мкм/сек по станции «GRL». Она расположена в 4-х км от кратера вулкана (рис. 2). Максимальное A/T вулканического дрожания за весь исследуемый период достигало сначала 2 мкм/сек, затем 2.5 мкм/сек и 13.06.2008 резко поднялось до 5.44 мкм/сек, это были резкие, эпизодические и кратковременные усиления дрожания в течение суток. Продолжительность таких периодов была не более 2-4 часов за сутки. Мы не можем определено сказать с чем связаны такие резкие спазмы, но можем предположить, что, скорее всего, они сопровождали небольшие парагазовые эмиссии в пределах активного кратера вулкана. Однозначно

определить принадлежность этого дрожания к одному из вулканов не представлялось возможным до 2008 г. из-за отсутствия дополнительных сейсмических станций.

Установка летом 2008 г. в этом районе новых радиотелеметрических станций «MTV» и «ASA», на расстоянии порядка 10 и 20 км от вершины соответственно, однозначно определила принадлежность вулканического дрожания к вулкану Горелый. Вулканическое дрожание непрерывно регистрируется до сих пор, наряду с возросшим количеством поверхностных сейсмических событий из района вулкана.

Минимальный уровень регистрации землетрясений с вулкана Горелый по ближайшей станции «GRL» соответствует классу 2.2. Теоретический уровень надежной регистрации, по состоянию на 2007 г., по трем ближайшим станциям, соответствовал классу землетрясений 6.0. При этом ближайшие станции располагались на расстоянии примерно 4, 30 и 60 км от вулкана. Данные новых станций «MTV» и «ASA» позволили снизить уровень надежной регистрации сейсмических событий по трем станциям с  $K_s = 6.0$  до  $K_s = 3.5$ .

В 2008 г. землетрясения с максимальным энергетическим классом регистрировались в феврале-марте и июне. Их количество было незначительным и в основном они представляли собой одиночные события с  $5.0 \leq K_s \leq 7.0$  с глубин порядка 3-9 км. Такая локализация событий в основном была связана с наличием только одной сейсмостанции в районе вулкана, поэтому локализовать события с  $K_s < 5.5$  не представлялось возможным. В течение года так же наблюдались продолжительные периоды времени отсутствия данных с опорной станции по техническим причинам, это тоже препятствовало точной локализации событий и определению их стандартных параметров. Поэтому за 2008 г. мы имеем неполный набор сейсмической информации о количестве и локализации землетрясений в районе вулкана. Как только в июле 2008 г. в непосредственной близости к вулкану появились новые сейсмические станции, количество землетрясений из района Горелого резко возросло, так как установка новых станций позволила значительно снизить уровень надежной регистрации сейсмических событий по трем ближайшим станциям. Количество землетрясений достигло своего максимума к концу 2008 – началу 2009 гг.

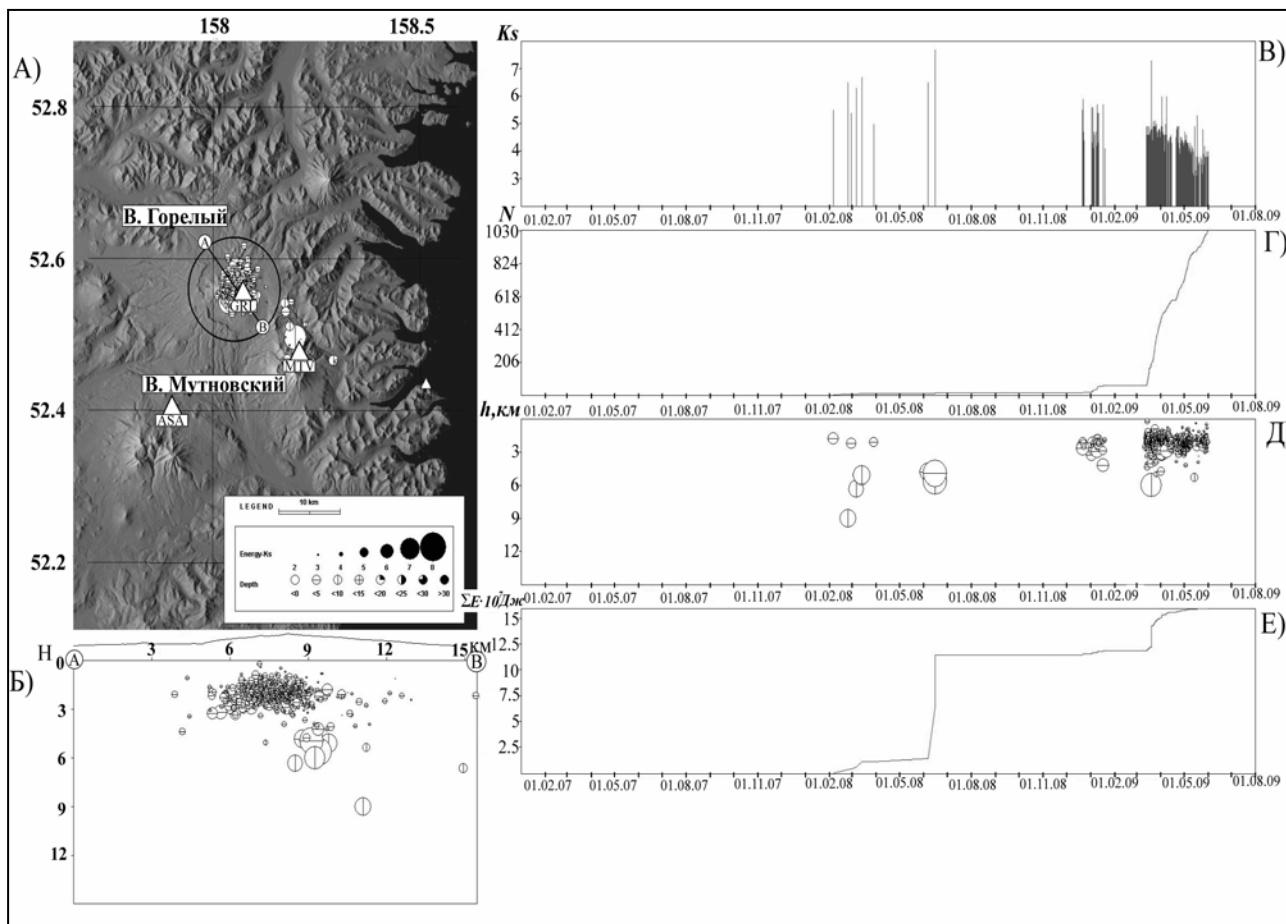


Рис. 3. Сейсмическая активность вулкана Горелый в 2007-2009 гг.: А) карта, радиус окружности вокруг вулкана 8км.; Б) проекция гипоцентров на вертикальный разрез вдоль линии АВ; В) энергетический класс по S-волне; Г) кумулятивное количество землетрясений; Д) глубина гипоцентров км; Е) кумулятивная энергия, Дж.

Весной 2009 г. сейсмическая активизация вулкана усилилась. В феврале стало регистрироваться уже около сорока землетрясений с  $K_s \geq 4.0$  (максимальный – 7.4) за сутки. Количество локализованных событий в сутки достигало: 1) в феврале порядка  $\geq 40$ ; 2) в марте  $\geq 1200$ ; 3) в апреле  $\geq 1500$ . В среднем, за исследуемый период 2009-го года фиксировалось около 300-500 событий в месяц (рис. 3).

Ежедневно при оперативной обработке сейсмических событий из вулканических районов Камчатки, включая район вулкана Горелый, все сейсмические события делятся на типы по классификации П.И. Токарева, адаптированной к цифровой обработке. Таким образом, землетрясения локализованные на глубине от 0 до 5 км, относятся к типу III (в землетрясениях этого типа поверхностные волны преобладают над объемными в 2-5 раз), а события с глубины свыше 5 км определяются как тип I (на записи преобладают объемные волны, а поверхностные волны или выражены очень слабо или совершенно отсутствуют). На рисунке 3 видно, что все события из района вулкана локализуются только на глубинах ниже уровня моря, в постройке вулкана нет ни одного события. Это связано с отсутствием специального годографа для этого вулканического района, подобно таким, какие были созданы для Ключевской и Авачинской групп вулканов. Для расчетов гипоцентров землетрясений из района вулкана Горелый используется региональный камчатский годограф, в котором заложены глубины только ниже уровня моря [3]. Поэтому практически все события локализуются на глубинах от 0 до 5 км. Не смотря на то, что рой землетрясений под вулканом Горелый не привел к внешней активизации вулкана, необходимо было проанализировать все его возможные параметры для оценки потенциальной опасности его будущих извержений.

По визуальным данным, в период с января 2008 по март 2009 гг. на вулкане наблюдалась лишь слабая парогазовая деятельность, наличия пепла на снежном покрове в окрестностях вулкана так же не наблюдалось. По данным спутникового мониторинга на основе обработки и интерпретации

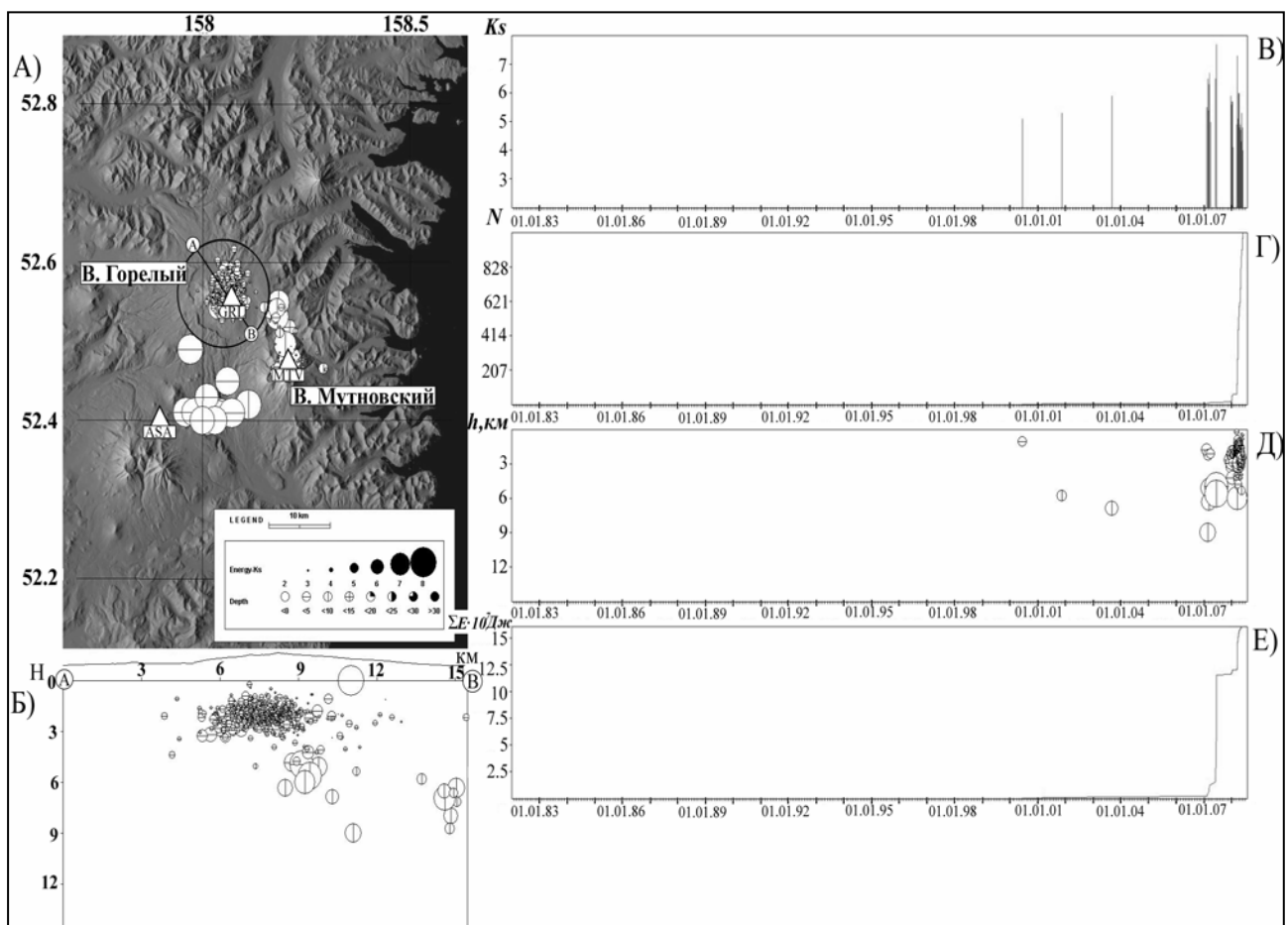


Рис. 4. Сейсмическая активность вулкана Горелый в 1983-2009 гг.: А) карта, радиус окружности вокруг вулкана 8км.; Б) проекция гипоцентров на вертикальный разрез вдоль линии АВ; В) энергетический класс по S-волне; Г) кумулятивное количество землетрясений; Д) глубина гипоцентров км; Е) кумулятивная энергия, Дж

данных датчика AVHRR спутников NOAA никаких термальных аномалий в районе вулкана не наблюдалось.

Таким образом, совмещая данные о сейсмическом режиме вулкана Горелый за достаточно продолжительный период времени, порядка 20 лет, можно сделать следующие выводы (рис. 4).

### **Выводы**

Сейсмический мониторинг вулкана Горелый был начат в 1980 г. с установкой сейсмостанции "GRL". До июля 1984 г. сейсмическая активность вулкана была на низком уровне. Ближайшая станция "GRL", расположенная примерно в 4-х км от кратера вулкана, регистрировала в среднем порядка 10-20 взрывных землетрясений в год, при этом землетрясений типа I (по классификации П.И. Токарева) на эпицентральных расстояниях до 20 км от вулкана не отмечалось. Сейсмическая активизация из района вулканов Мутновский и Горелый в 1983 г. была определена как Асачинский рой и относилась к верхнекоревой сейсмичности в пределах древнего массива вулкана Асача.

В период 1984 – 1985 гг. сейсмостанцией "GRL" на вулкане стало фиксироваться вулканическое дрожание, усилилась фумарольная активность и появились редкие, слабо нагруженные пеплом парогазовые выбросы. Локализовать гипоцентры поверхностных землетрясений по трем ближайшим станциям не представлялось возможным, так как регистрация велась лишь по одной станции "GRL". Анализ данных с этой станции за все время активизации вулкана в сентябре 1984 г. показал, что общее количество взрывных землетрясений, зарегистрированных за этот период, равно 75, а максимальный  $K_s = 5.0$  [1].

В течение 1985 г. вулкан находился в стадии парогазового извержения.

Сейсмичность в период 1986-2007 гг. можно считать фоновой. Редкие сейсмические события из района вулкана не сопровождали никаких проявлений вулканической активности.

В течение 2007-2009 гг. на вулкане стала регистрироваться повышенная сейсмическая активность. Появилось вулканическое дрожание и количество зарегистрированных сейсмических событий достигло 40÷100 за сутки. Данные новых станций «MTV» и «ASA», установленных в 2008 г., позволили снизить уровень надежной регистрации сейсмических событий по трем станциям с  $K_s = 6.0$  до  $K_s = 3.5$ . Количество сейсмических событий в районе вулкана резко возросло весной 2009 г. Всего за март было зафиксировано примерно 1200 событий, а в апреле уже порядка 1500 землетрясений. В среднем, за исследуемый период 2009-го года фиксировалось около 300-500 событий в месяц.

За 27-летний период сейсмического мониторинга за вулканом Горелый активизация 2009 г. является продолжением нового периода начавшегося в 2007 г., который продолжается до сих пор. Относительно предыдущих активизаций, она более хорошо изучена в связи с расширением сети РТСС в данном районе, что способствует более точному определению стандартных параметров землетрясений.

Сотрудники лаборатории ИСВА КФ ГС продолжают наблюдать за сейсмической обстановкой на этом вулкане и надеемся, что детальный ретроспективный анализ его сейсмичности, позволит в будущем делать обоснованные оценки опасности его извержений на основе накопленного опыта.

### **Список литературы:**

1. Гаврилов В.А., Иванов В.В., Трухин Ю.П., Шувалов Р.А., Ящук В.В. Активизация вулкана Горелый в августе-сентябре 1984 г. // Вулканология и сейсмология. 1986. №5. С. 90-92.
2. Иванов Б.В., Дроздин В.А., Вакин Е.А., Иванов В.В., Овсянников А.А., Разина А.А. Извержение вулкана Горелый в 1985г. // Вулканология и сейсмология. 1988. №4. С. 93-98.
3. Кузин И.П. Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки. Москва, 1974. 130 с.
4. Селянгин О.Б., Пономарева В.В. Строение и развитие Гореловского вулканического центра, Южная Камчатка // Вулканология и сейсмология. 1999. №2. С. 3-23.
5. Сеньюков С.Л. Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений в 2000-2004 гг. // Вулканология и сейсмология. 2006. №3. С. 68-78.