

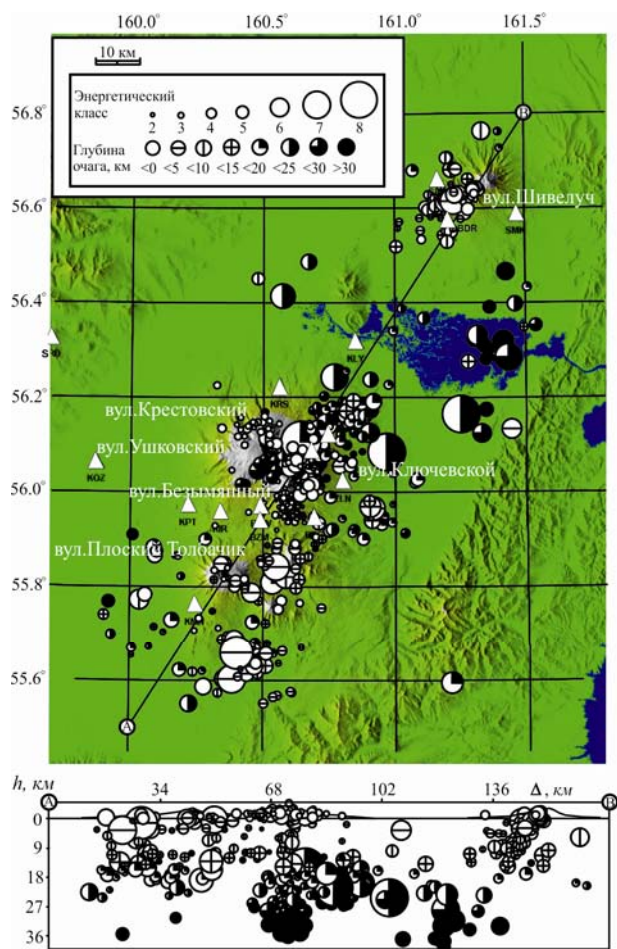
### III. Результаты детального сейсмического мониторинга

#### III.1. Непрерывные наблюдения

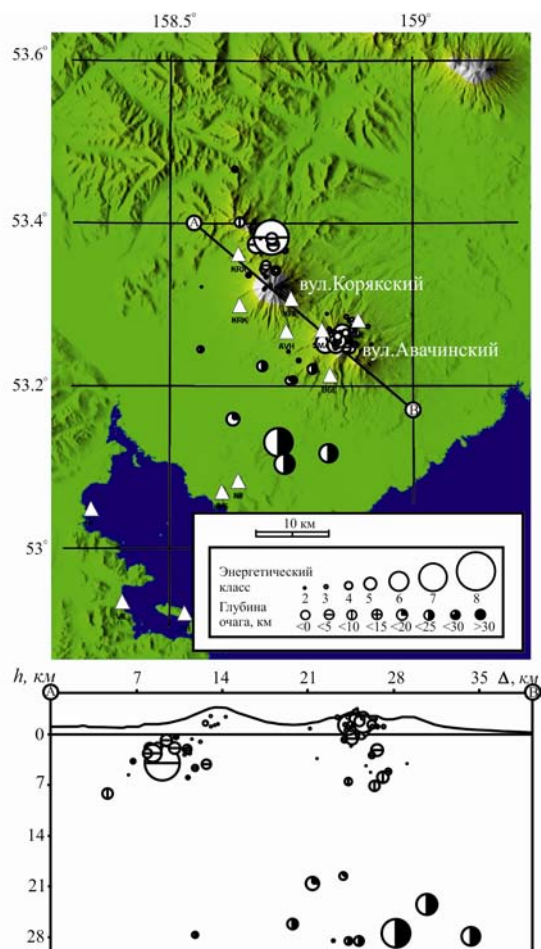
##### III.1.1. Вулканы Камчатки

*С.Л. Сеньюков, И.Н. Нуждина, В.Н. Чебров*

В 2011 г. радиотелеметрическая сеть сейсмических станций [Чебров и др., 2012] Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) РАН позволяла проводить сейсмический мониторинг вулканов Камчатки с разной степенью детальности в режиме, близком к реальному времени. Наиболее детальные наблюдения проводились для Северной (вулканы Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Крестовский, Ушковский и Плоский Толбачик, рис. III.1), Авачинской (вулканы Авачинский и Корякский, рис. III.2), Мутновско-Гореловской (вулканы Мутновский и Горелый, рис. III.3) групп вулканов и вулкана Кизимен (рис. III.4). В табл. III.1 приведены сведения о вулканах, для которых проводился сейсмический мониторинг.



**Рис. III.1.** Карта эпицентров землетрясений в районе Северной группы вулканов в 2011 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В



**Рис. III.2.** Карта эпицентров землетрясений в районе Авачинской группы вулканов в 2011 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В

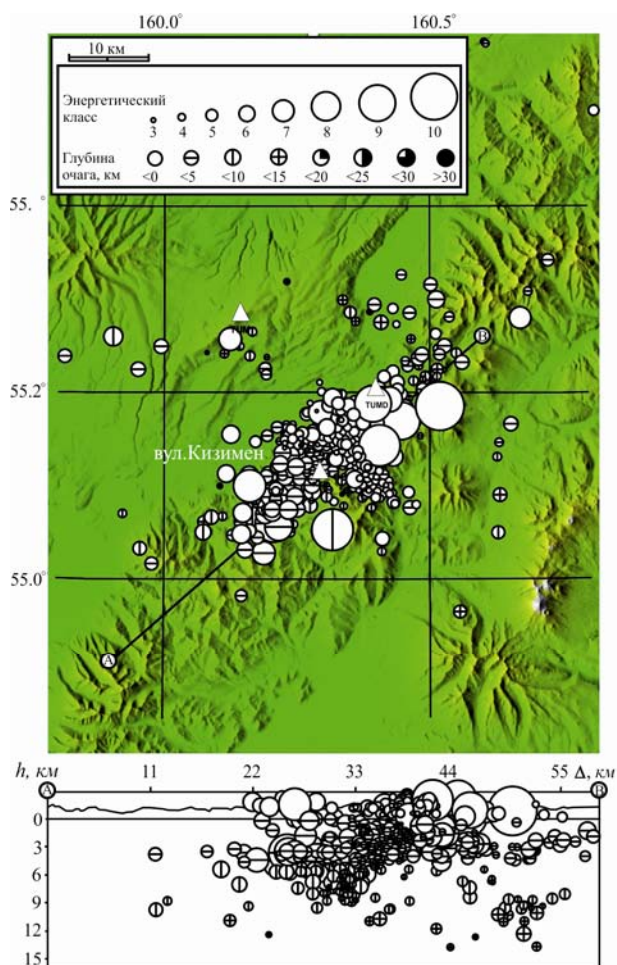


Рис. III.3. Карта эпицентров землетрясений в районе Мутновско-Гореловской группы вулканов в 2011 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А-В

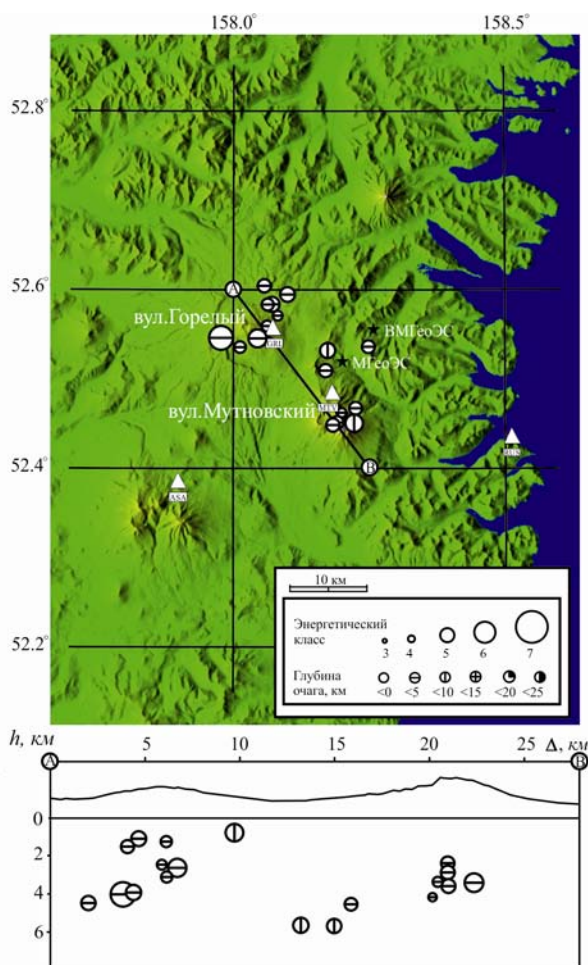


Рис. III.4. Карта эпицентров землетрясений в районе вулкана Кизимен в 2011 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А-В

Таблица III.1. Сведения о вулканах Камчатки, для которых проводился сейсмический мониторинг

Название вулкана	Координаты вершины		Абсолютная высота вершины, м	Диаметр кратера, м
	φ, °N	λ, °E		
<b>Авачинская группа вулканов</b>				
Авачинский	53.25	158.83	2741	350
Корякский	53.32	158.72	3456	
<b>Мутновско-Гореловская группа вулканов</b>				
Горелый	52.55	158.03	1829	
Мутновский	52.45	158.20	2323	
<b>Северная группа вулканов</b>				
Шивелуч	56.63	161.32	2500	
Ключевской	56.07	160.63	4750	700
Безымянный	55.97	160.58	2869	
Крестовский	56.12	160.50	4108	
Ушковский	56.07	160.47	3943	
Плоский Толбачик	55.82	160.37	3085	400
<b>Остальные вулканы</b>				
Кизимен	55.13	160.33	2375	
Карымский	54.05	159.43	1536	250

Для расчета параметров вулканических событий (координаты гипоцентра, глубина, энергия) применялась программа «DIMAS» [Дрознин, Дрознина, 2010]. Для Северной и Авачинской групп вулканов использовались локальные годографы [Сенюков, 2006], для вулканов Мутновский, Горелый, Кизимен и Карымский – одномерная скоростная модель Камчатского региона с возможностью поиска решений положений гипоцентров землетрясений выше уровня моря. С 2010 г. каталог для всех групп вулканов формируется в сетевой базе данных в режиме, близком к реальному времени, и доступен в Интернете по адресу: <http://www.emsd.ru/ts/>.

Вблизи вулкана Карымский установлена только одна станция, что дает возможность фиксировать слабые локальные события этого вулкана, но не позволяет определять их пространственное положение. Для таких событий велся только подсчет их количества. Более сильные землетрясения (обычно с  $K_S \geq 6.0$  [Федотов, 1972]), для которых были определены кинематические параметры, помещены в сетевую базу. Сейсмический мониторинг вулкана Алаид в 2011 г. был невозможен из-за отсутствия данных.

В 2011 г. высокая сейсмическая активность наблюдалась на вулканах Ключевской, Кизимен и Карымский.

**Вулкан Шивелуч** – самый северный действующий вулкан Камчатки, расположен в 45 км от пос. Ключи. Ближайшие радиотелеметрические станции (SRKR, SMKR и BDR) расположены на расстоянии 8.5–10 км от активного кратера вулкана [Чебров и др., 2012].

В исследуемый период продолжалось извержение вулкана Шивелуч, сопровождавшееся вулканическим дрожанием, газо-пепловыми выбросами, сходом пирокластических потоков и горячих лавин. Такая высокая вулканическая деятельность связана с интенсивным ростом нового купола. В течение всего года по спутниковым данным наблюдалась термальная аномалия на растущем куполе, свидетельствующая о присутствии на поверхности горячего магматического материала.

В 2011 г. сейсмическая активность вулкана Шивелуч, по сравнению с 2010 г., была невысокой. Всего в районе вулкана было локализовано 298 землетрясений, суммарная сейсмическая энергия которых составила  $\Sigma E = 6.4 \cdot 10^7$  Дж. Представительный класс землетрясений, определенный с помощью автоматической процедуры программы ZMAP [Weimer, 2001], получился равным  $K_{\text{пред}} = 4.0$  при угле наклона графика повторяемости  $\gamma = 0.64 \pm 0.06$ .

**Вулкан Ключевской** – самый высокий действующий вулкан Курило-Камчатской дуги и Европы и Азии, расположен в 32 км к юго-западу от пос. Ключи. Ближайшая радиотелеметрическая станция LGNR установлена в 4 км от кратера [Чебров и др., 2012]. В 2011 г. в радиусе 7 км от вулкана Ключевской и диапазоне глубин от кратера до 40 км ниже уровня моря было локализовано 5573 землетрясения,  $\Sigma E = 6.5 \cdot 10^8$  Дж. Все землетрясения, как и в предыдущие годы, условно разделены по глубине на три группы: поверхностные – локализованные в диапазоне глубин от –5 до +5 км, промежуточные – от +5 до +20 км и глубокие – от +20 до +35 км. В 2011 г. практически вся сейсмичность была сосредоточена на глубине (5447 событий), где генерируется множество длиннопериодных землетрясений, в образовании которых активную роль играет магматический расплав. С помощью программы ZMAP были определены представительный класс  $K_{\text{пред}}$  и угол наклона  $\gamma$  для событий каждой группы. Для глубоких землетрясений  $K_{\text{пред}} = 4.8$  при  $\gamma = 2.12 \pm 0.07$ , для поверхностных –  $K_{\text{пред}} = 4.0$  при  $\gamma = 0.76 \pm 0.07$ . В промежуточном слое было локализовано недостаточное количество землетрясений для определения аналогичных параметров.

В 2011 г. на вулкане Ключевской наблюдалась вулканическая активность только в виде fumarольной деятельности.

На вулкане *Безымянный* в 2011 г. произошло одно эксплозивное извержение. На основе ежедневного анализа данных с использованием накопленного опыта был сделан успешный краткосрочный прогноз начала и масштабов возможного эксплозивного извержения. По сейсмическим данным взрывное извержение произошло 13 апреля с 20<sup>h</sup>20<sup>m</sup> до 21<sup>h</sup>00<sup>m</sup>, в этот период на станции ZLN было зарегистрировано сейсмическое событие с максимальной амплитудой 27.8 мкм/с.

В 2011 г. в радиусе 6 км от вулкана было локализовано 151 землетрясение,  $\Sigma E = 0.14 \cdot 10^7$  Дж,  $K_{\text{пред}} = 4.1$ ,  $\gamma = 0.54 \pm 0.04$ .

**Вулкан Плоский Толбачик.** Ближайшая телеметрическая станция «Каменистая» расположена в 10 км от кратера вулкана. В 2011 г. в радиусе 20 км от вулкана и диапазоне глубин от кратера до 25 км ниже уровня моря было локализовано 78 землетрясений, максимальный класс  $K_S = 7.7$ . Выделенная сейсмическая энергия локализованных землетрясений составила  $\Sigma E = 0.94 \cdot 10^8$  Дж,  $K_{\text{пред}} = 4.1$ , угол наклона совпадает со значением для региональных тектонических землетрясений  $\gamma = 0.54 \pm 0.04$ .

**Вулканы Корякский и Авачинский** расположены в 25–30 км от Петропавловска-Камчатского и Елизово и поэтому представляют наибольшую потенциальную угрозу для населения. В исследуемый период в районе Авачинской группы вулканов было локализовано 413 землетрясений, суммарная сейсмическая энергия которых составила  $\Sigma E = 3.8 \cdot 10^7$  Дж.

Авачинский вулкан в исследуемый период был спокоен, его сейсмичность не превышала обычный «нормальный, фоновый» уровень. В 2011 г. в радиусе 8 км от вулкана было локализовано 360 землетрясений,  $\Sigma E = 0.36 \cdot 10^7$  Дж,  $K_{\text{пред}} = 2.5$ ,  $\gamma = 0.51 \pm 0.05$ .

В 2011 г. на вулкане Корякский наблюдалась относительно спокойная сейсмичность. В радиусе 8 км от вулкана было локализовано 49 землетрясений с  $K_{\text{пред}} \geq 2.5$ ,  $\gamma = -0.35 \pm 0.01$ ,  $\Sigma E = 0.26 \cdot 10^8$  Дж.

**Вулканы Горелый и Мутновский** расположены в 70 км к югу от Петропавловска-Камчатского. В районе мутновско-гореловской группы вулканов расположены Мутновская и Верхне-Мутновская геотермальные электростанции.

Ближайшая к вулкану Горелый станция GRL [Чебров и др., 2012] расположена в 4 км от кратера. Отсутствие данных со станции MTV с 1 января по 30 марта и с 1 июня по 19 августа, а также регистрация сильного непрерывного вулканического дрожания на станции GRL, источником которого является вулкан Горелый, не позволили локализовать землетрясения в эти периоды. В 2011 г. в районе мутновско-гореловской группы вулканов было локализовано 18 землетрясений,  $\Sigma E = 0.42 \cdot 10^7$  Дж.

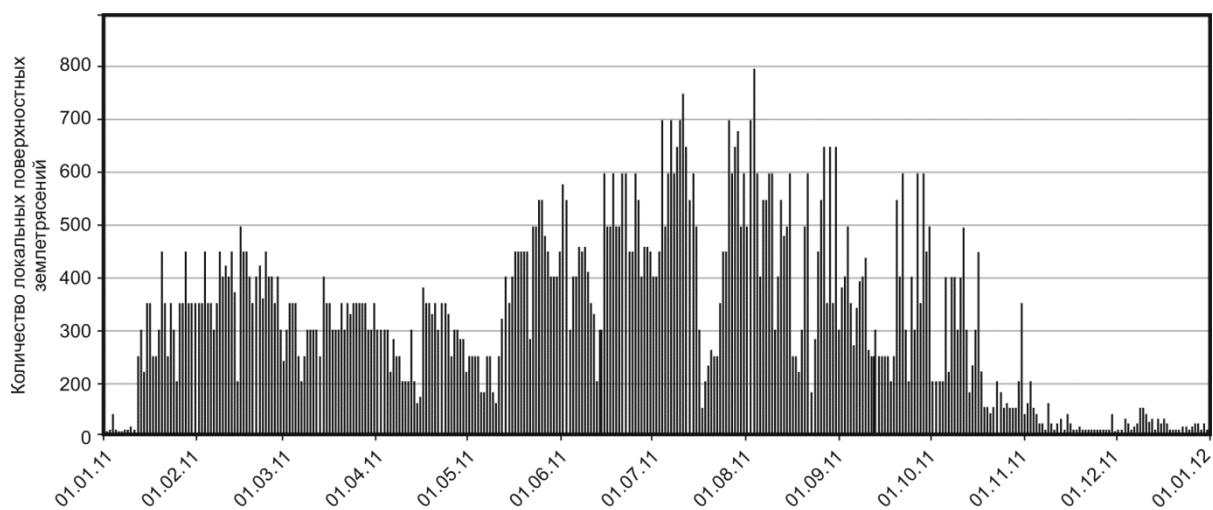
В 2011 г. на вулкане Горелый наблюдалась мощная парогазовая деятельность из бокки диаметром около 20 м, образовавшейся у основания северо-восточной стенки активного кратера, заполненного кислотным озером.

На вулкане Мутновский в 2011 г. наблюдалась вулканическая активность только в виде фумарольной деятельности.

**Вулкан Кизимен** по отношению к другим вулканам Камчатки занимает обособленное положение на западном склоне южной части хребта Тумрок. Это единственный действующий вулкан, расположенный на сочленении грабена Центральной Камчатской депрессии с горстом Восточного хребта. Ближайшая радиотелеметрическая станция KZV расположена на юго-западном склоне вулкана в 2.5 км от вершины. В августе 2011 г. была введена в эксплуатацию новая станция «Тумрок-источники» (TUMD). Станция установлена примерно в 9.4 км от вулкана Кизимен. В исследуемый период на вулкане Кизимен наблюдалась высокая сейсмическая активность, которая, возможно, была связана с выжиманием интрузии. Всего за этот период в каталог района вулкана Кизимен включены 41459 событий,  $K_{\text{max}} = 10.5$ ,  $\Sigma E = 5.5 \cdot 10^{10}$  Дж. Для землетрясений ( $N = 41384$ ), локализованных в радиусе 15 км от вулкана, были определены  $K_{\text{пред}} = 5.0$ ,  $\gamma = 1.9 \pm 0.1$ .

В 2011 г. продолжалось извержение вулкана Кизимен, которое сопровождалось истечением лавового потока, слабыми пепловыми выбросами.

**Вулкан Карымский** в 2011 г. продолжал извергаться. Ближайшая станция КИ расположена на юго-восточном склоне в 1.5 км от кратера [Чебров и др., 2012]. Другие радиотелеметрические станции расположены на расстоянии свыше 100 км и могут обеспечить надежное определение параметров землетрясений по трем станциям с занесением в каталог только с  $K \geq 6.0$ . В 2011 г. в радиусе 10 км от вулкана было зарегистрировано единственное землетрясение  $K_S=6.4$ , которое произошло 16 декабря в 15<sup>h</sup>41<sup>m</sup> на глубине 4.5 км от уровня моря. Поэтому все основные выводы о деятельности вулкана сделаны по данным одной станции – КИ. На рис. III.5 показано количество локальных ( $2 < K_S < 6$ ) поверхностных землетрясений, большинство из которых – взрывы в кратере.



**Рис. III.5. Сейсмичность вулкана Карымский в 2011 г. по данным сейсмостанции КИ**

Гистограмма (рис. III.5) наглядно показывает периоды усиления и ослабления активности вулкана. Во время активизации регистрировались события, сопровождавшие газопепловые выбросы высотой до 6500 м над кратером.

На вулканах **Крестовский** и **Ушковский** наблюдалась «нормальная, фоновая» сейсмичность.