

III. Результаты детального сейсмического мониторинга

III.1. Непрерывные наблюдения

III.1.1. Вулканы Камчатки

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

Радиотелеметрическая сеть сейсмических станций [Чебров и др., 2012] Камчатского филиала (КФ) ГС РАН позволяла проводить сейсмический мониторинг вулканов Камчатки в режиме, близком к реальному времени, с разной степенью детальности. 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.

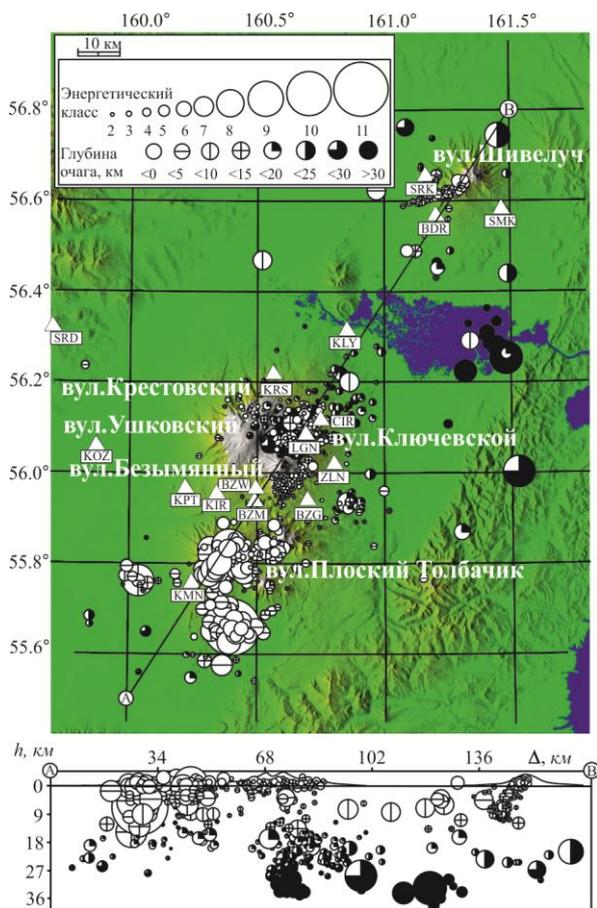


Рис. III.1. Карта эпицентров землетрясений в районе Северной группы вулканов в 2012 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В

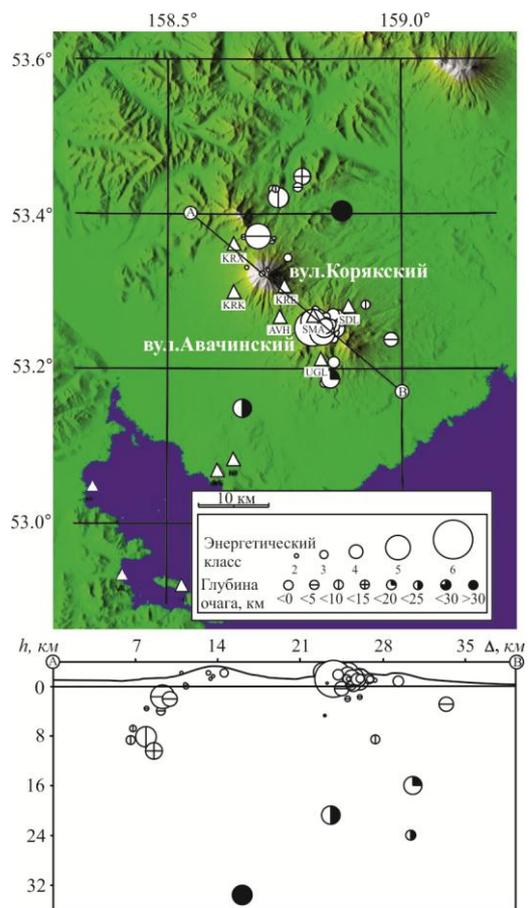


Рис. III.2. Карта эпицентров землетрясений в районе Авачинской группы вулканов в 2012 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В

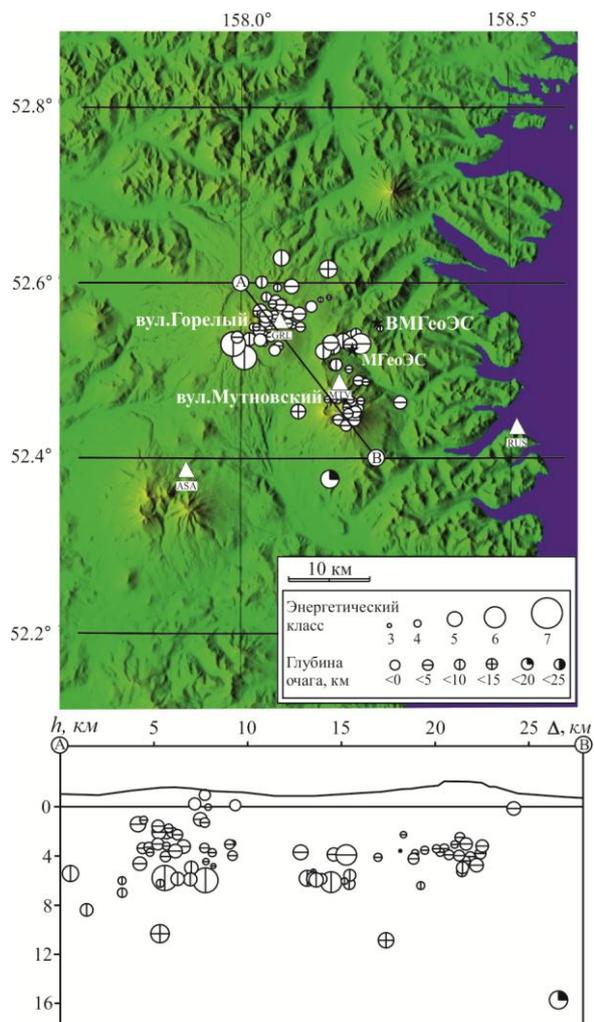


Рис. III.3. Карта эпицентров землетрясений в районе Мутновско-Гореловской группы вулканов в 2012 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В

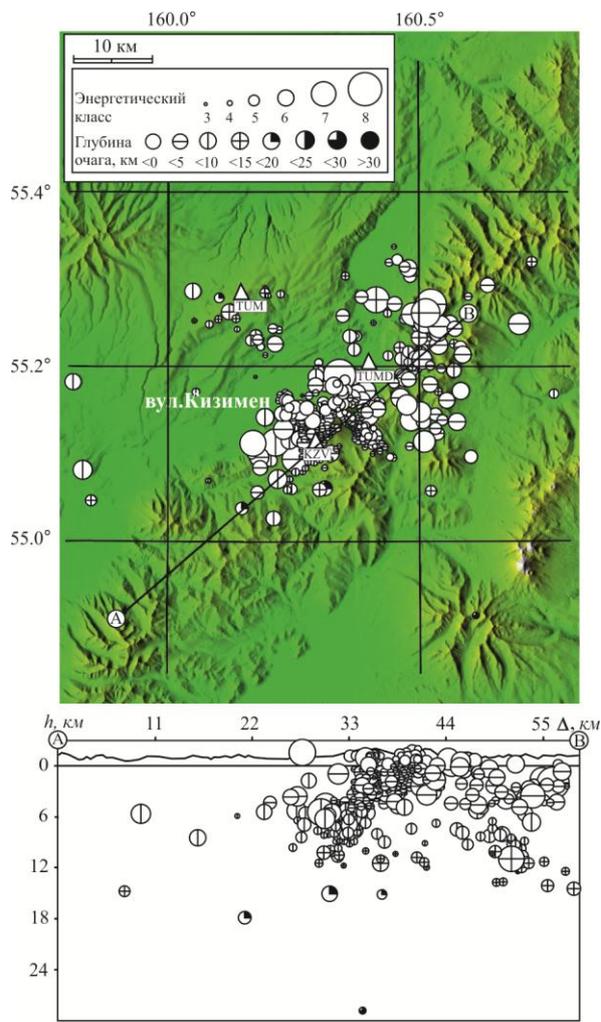


Рис. III.4. Карта эпицентров землетрясений в районе вулкана Кизимен в 2012 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В

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		
Авачинская группа вулканов				
Авачинский	53.25	158.83	2741	350
Корякский	53.32	158.72	3456	
Мутновско-Гореловская группа вулканов				
Горелый	52.55	158.03	1829	
Мутновский	52.45	158.20	2323	
Северная группа вулканов				
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
Остальные вулканы				
Кизимен	55.13	160.33	2375	
Карымский	54.05	159.43	1536	250

Как и в 2011 г., для расчета параметров вулканических событий (координаты эпицентра, 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 ведется только подсчет их количества. Для более сильных землетрясений (обычно с $K_S \geq 6.0$ [Федотов, 1972]), зарегистрированных удаленными от вулкана станциями, определяются кинематические и динамические параметры и помещаются в сетевую базу данных.

В каталог Северной группы вулканов за 2012 г. вошло 7637 землетрясений, суммарная выделившаяся энергия которых составила $\Sigma E \sim 2.211 \cdot 10^{11}$ Дж, в каталог Авачинской группы – 175 землетрясений ($\Sigma E \sim 2.1 \cdot 10^6$ Дж), Мутновско-Гореловской группы – 81 ($\Sigma E \sim 1.5 \cdot 10^7$ Дж), района вулкана Кизимен – 2063 ($\Sigma E \sim 4.9 \cdot 10^8$ Дж) (раздел IV на CD-ROM). Печатные варианты каталогов представлены в разделе IV.13 и содержат: Северная группа вулканов с $ML \geq 2.8$ – 68 землетрясений; Авачинская группа вулканов с $ML \geq 1.3$ – 27; вулканы Горелый и Мутновский с $ML \geq 1.8$ – 26; вулкан Кизимен с $ML \geq 2.3$ – 52 землетрясения.

В исследуемый период высокая сейсмическая активность наблюдалась на вулканах Ключевской, Плоский Толбачик, 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].

Продолжалось извержение вулкана Шивелуч, сопровождавшееся вулканическим дрожанием, газопепловыми 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.

Сейсмическая активность вулкана Шивелуч, как и в 2011 г., была невысокой. В радиусе 12 км от вулкана было локализовано 340 землетрясений, $\Sigma E \sim 2.9 \cdot 10^7$ Дж. Представительный класс землетрясений, определенный с помощью автоматической процедуры программы ZMAP [Weimer, 2001], получился равным $K_{\text{пред}} = 4.1$ при угле наклона графика повторяемости $\gamma = 0.75 \pm 0.04$.

Вулкан Ключевской – самый высокий действующий вулкан Курило-Камчатской дуги, 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 2012 г. в радиусе 7 км от вулкана Ключевской и диапазоне глубин от кратера до 40 км ниже уровня моря было локализовано 5984 землетрясения, $\Sigma E \sim 3.8 \cdot 10^8$ 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 2012 г. практически вся сейсмичность была сосредоточена на глубине 20–35 км (5900 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 γ для событий каждой группы. Для глубоких землетрясений $K_{\text{пред}}=4.5$ при $\gamma=1.29\pm 0.04$, для поверхностных – $K_{\text{пред}}=4.0$ при $\gamma=0.85\pm 0.1$. В промежуточном слое было локализовано недостаточное количество землетрясений для определения аналогичных параметров.

На вулкане Ключевской наблюдалась вулканическая активность только в виде фумарольной деятельности. С конца октября на спутниковых снимках стала регистрироваться термальная аномалия, свидетельствующая о заполнении кратера раскаленным магматическим материалом.

На **вулкане Безымянный** в 2012 г. было зафиксировано два эксплозивных извержения. На основе ежедневного анализа данных с использованием алгоритма прогноза, в котором сведен накопленный опыт за 17 извержениями с 2000 г. [Сенюков, 2013], были сделаны успешные краткосрочные прогнозы начала и масштабов возможных эксплозивных извержений. Первое извержение, по сейсмическим данным, произошло 8 марта с 21^h27^m до 22^h10^m. По визуальным данным высота пепловых выбросов достигала 8 км над уровнем моря. Второе эксплозивное извержение вулкана было зарегистрировано по сейсмическим данным 1 сентября с 19^h16^m до 19^h45^m. Высота пепловой колонны достигала 12 км над уровнем моря (по визуальным данным из села Козыревск).

В 2012 г. в радиусе 6 км от вулкана было локализовано 222 землетрясения, $\Sigma E \sim 1.36 \cdot 10^7 \text{ Дж}$, $K_{\text{пред}}=3.2$, $\gamma=0.62\pm 0.05$.

Вулкан Плоский Толбачик. Ближайшая телеметрическая станция «Каменистая» расположена в 10 км от кратера вулкана. 27 ноября 2012 г. примерно в 05^h15^m началось новое Трещинное Толбачинское извержение (ТТИ). Сейсмичность, предвещавшая новое ТТИ, была существенно слабее, чем сейсмичность перед Большим Трещинным Толбачинским извержением в 1975 году. Гипоцентры землетрясений, предвещавшие новое ТТИ, были сосредоточены в юго-восточном секторе под постройкой вулкана Плоский Толбачик на глубинах 0–5 км от уровня моря. В 2012 г. в радиусе 20 км от вулкана было локализовано 796 землетрясений, диапазон глубин – от кратера до 28.1 км ниже уровня моря. Землетрясение с максимальным классом $K_S=11.3$ произошло 11 ноября в 11^h00^m на глубине 6.5 км. Выделенная сейсмическая энергия локализованных землетрясений составила $\Sigma E \sim 2.196 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$, $K_{\text{пред}}=4.0$, угол наклона совпадает со значением для региональных тектонических землетрясений $\gamma=0.44\pm 0.11$.

Вулканы Корякский и Авачинский расположены в 25–30 км от городов Петропавловск-Камчатский и Елизово, и поэтому представляют наибольшую потенциальную угрозу для населения.

Авачинский вулкан в исследуемый период был спокоен, и его сейсмичность не превышала обычный «нормальный, фоновый» уровень. В радиусе 8 км от вулкана было локализовано 157 землетрясений (рис. III.2.), $\Sigma E \sim 0.36 \cdot 10^7 \text{ Дж}$, $K_{\text{пред}}=2.8$, $\gamma=0.67\pm 0.02$.

На вулкане Корякский в 2012 г. наблюдалась очень слабая сейсмичность. В радиусе 8 км от вулкана было локализовано всего 11 землетрясений, $\Sigma E \sim 0.12 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.

Вулканы Горелый и Мутновский расположены в 70 км к югу от г. Петропавловск-Камчатский. В районе Мутновско-Гореловской группы вулканов находятся Мутновская и Верхне-Мутновская геотермальные электростанции (МгеоЭС и ВМгеоЭС, соответственно на рис. III.3.).

Ближайшая к вулкану Горелый станция GRL [Чебров и др., 2012] расположена в 4 км от кратера. Отсутствие данных со станции GRL с 4 февраля по 10 мая, а также регистрация станциями в течение всего года непрерывного вулканического дрожания ($A/T_{\text{сред}}=0.36 \text{ мкм/с}$ по станции GRL), источником которого является вулкан Горелый, затрудняли выделение слабых сейсмических событий и определение их положения в пространстве. В 2012 г. в радиусе выборки 7 км от центров вулканов было локализовано

38 землетрясений ($\Sigma E \sim 8.94 \cdot 10^6 \text{ Дж}$) на вулкане Горелый и 25 – на вулкане Мутновский ($\Sigma E \sim 1.11 \cdot 10^6 \text{ Дж}$).

В 2012 г. на вулканах Горелый и Мутновский 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 (рис. III.4.). В 2012 г. в каталог района вулкана Кизимен вошло 2063 события, $\Sigma E \sim 4.9 \cdot 10^8 \text{ Дж}$. Для землетрясений ($N=1973$), локализованных в радиусе 15 км от вулкана, были определены $K_{\text{пред}}=4.1$ и $\gamma=0.83 \pm 0.09$.

В 2012 г. продолжалось извержение вулкана Кизимен, которое сопровождалось истечением вязкого лавового потока и пепловыми выбросами высотой до 4800 м над уровнем моря.

Вулкан Карымский в 2012 г. продолжал извергаться. Ближайшая станция – КП – 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 2012 г. в радиусе 10 км от вулкана таких землетрясений зарегистрировано не было. Поэтому все основные выводы о деятельности вулкана сделаны по данным одной станции – КП. На рис. III.5 показано количество локальных ($2 < K_S < 6$) поверхностных землетрясений, большинство из которых – взрывы в кратере.

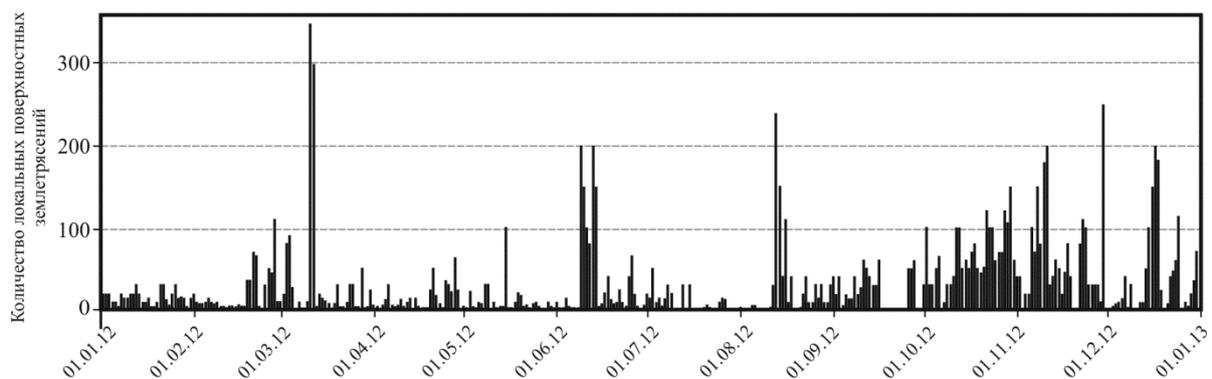


Рис. III.5. Сейсмичность вулкана Карымский в 2012 г. по данным сейсмостанции КП.
Значение «0» означает отсутствие данных

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.