

III. Результаты детального сейсмического мониторинга

III.1. Непрерывные наблюдения

III.1.1. Вулканы Камчатки

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

В 2010 г. радиотелеметрическая сеть сейсмических станций [Чебров и др, 2012] Камчатского филиала Геофизической службы (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.

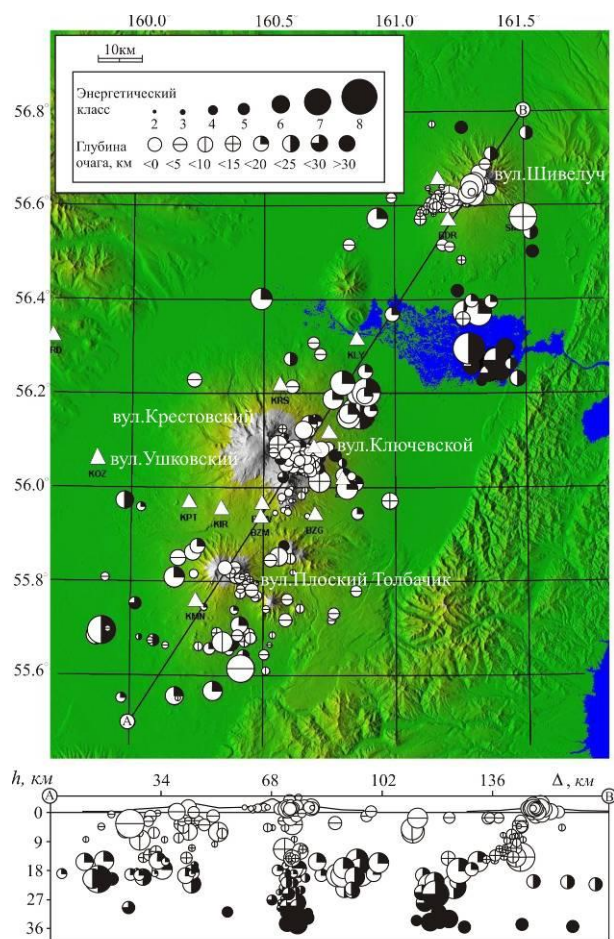


Рис. III.1. Карта эпицентров землетрясений в районе Северной группы вулканов в 2010 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В

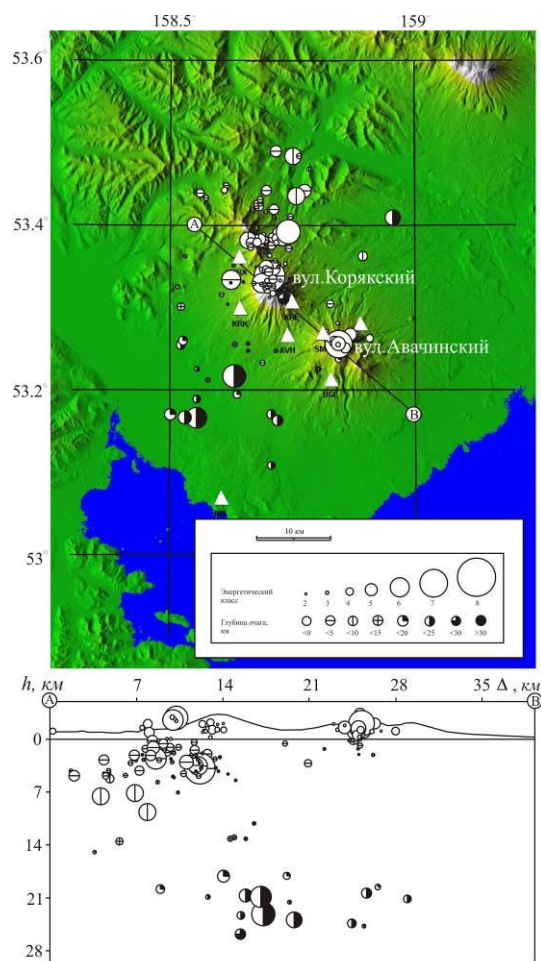


Рис. III.2. Карта эпицентров землетрясений в районе Авачинской группы вулканов в 2010 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В

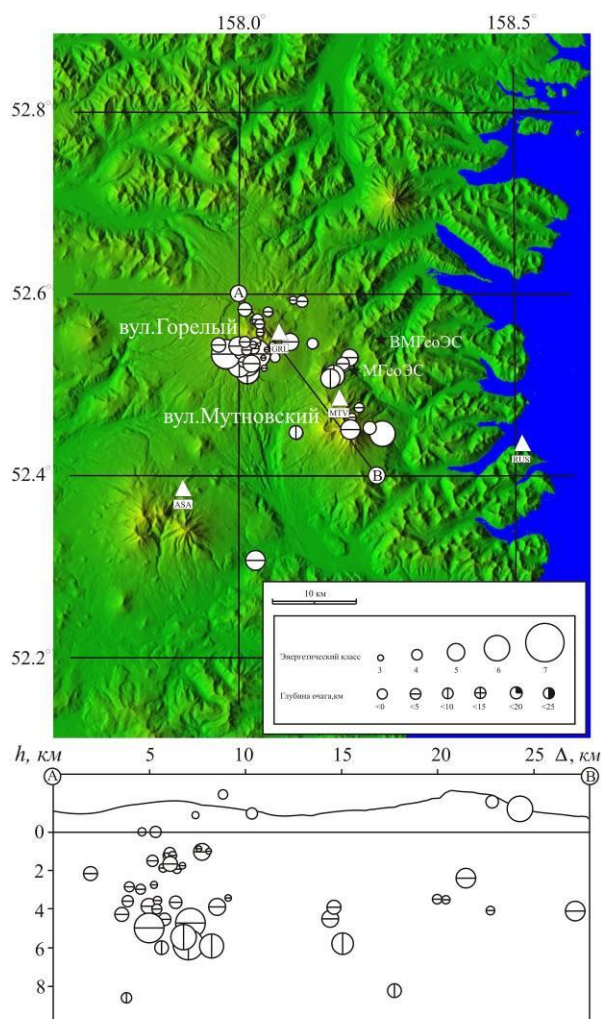


Рис. III.3. Карта эпицентров землетрясений в районе Мутновско-Гореловской группы вулканов в 2010 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В

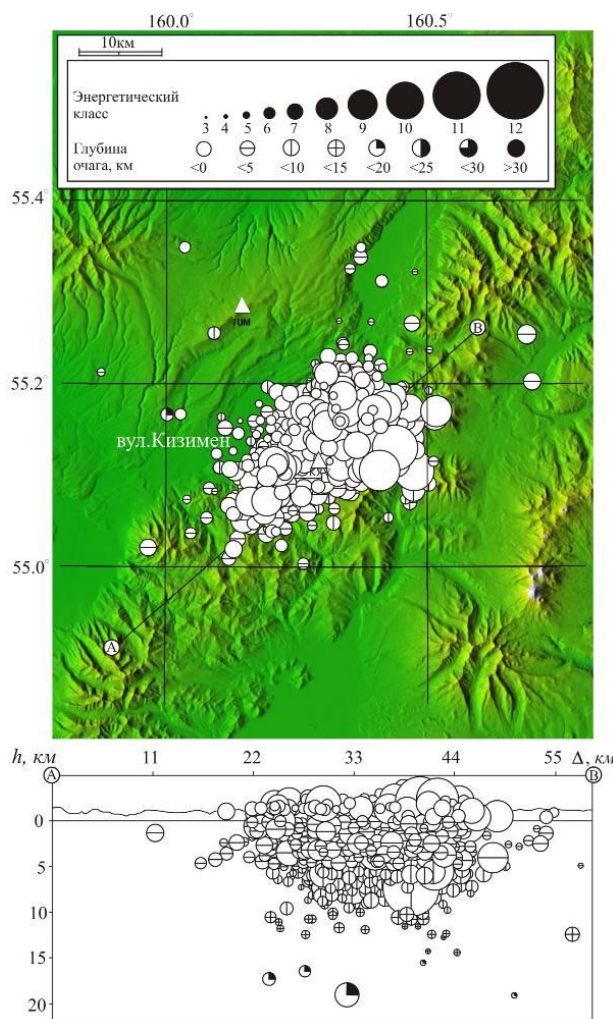


Рис. III.4. Карта эпицентров землетрясений в районе вулкана Кизимен в 2010 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В

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

| Название вулкана | Координаты вершины | | Абсолютная высота вершины, м | Диаметр кратера, м |
|--|---------------------------|---------------------------|------------------------------|--------------------|
| | $\varphi, ^\circ\text{N}$ | $\lambda, ^\circ\text{E}$ | | |
| 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 |

Для всех групп вулканов составлялись отдельные каталоги землетрясений с помощью программы расчета параметров вулканических событий «DIMAS» [Дрознин, Дрознина, 2010]. Для Северной и Авачинской групп вулканов использовались локальные годографы. В связи с отсутствием уточненных локальных скоростных моделей для Мутновско-Гореловской группы и вулкана Кизимен при расчете положений гипоцентров использовались одномерная скоростная модель Камчатского региона с возможностью поиска решений положений гипоцентров землетрясений выше уровня моря. Сравнительный анализ полученных параметров вулканических землетрясений программой «DIMAS» и программой «НПО» [Мельников, 1990], которая использовалась в КФ ГС РАН до 2010 г., показал, что систематические отклонения для координат очагов и глубины при новой обработке не превышают ошибки определения. Систематические отклонения в плане получились меньше 1 км, а по глубине – несколько больше. Для очагов, расположенных выше уровня моря, глубина, полученная по программе «DIMAS», в среднем на 1.3 км выше, чем по программе «НПО». Вблизи вулкана Карымский установлена только одна станция, что дает возможность фиксировать слабые локальные события этого вулкана, но не позволяет определять их пространственное положение и составлять отдельный каталог. Более сильные землетрясения (обычно с $K_S \geq 6.0$ [Федотов, 1972]) фиксировались в оперативном каталоге Камчатки и Командорских островов в соответствии с принятой методикой обработки, а для более слабых событий велся только подсчет их количества. Сейсмический мониторинг вулкана Алаид в 2010 г. был невозможен из-за отсутствия данных.

В 2010 г. высокая сейсмическая активность наблюдалась на вулканах Шивелуч, 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]. Уровень надежной регистрации, определенный с помощью автоматической процедуры программы ZMAP [Weimer, 2001], получился $K=5.1$ при угле наклона $\gamma=-1.35 \pm 0.01$.

В исследуемый период продолжалось извержение вулкана Шивелуч, связанное с ростом нового купола. Извержение сопровождалось вулканическим дрожанием, газопепловыми выбросами, сходом пирокластических потоков и горячих лавин. В течение всего года по спутниковым данным наблюдалась термальная аномалия на растущем куполе, свидетельствующая о присутствии на поверхности горячего магматического материала.

В 2010 г. в районе вулкана Шивелуч было локализовано 6075 землетрясений в радиусе 12 км от вулкана, что почти в два раза меньше, чем в предыдущий год. Но суммарная сейсмическая энергия не изменилась, по сравнению с 2009 г., и составила $\Sigma E \sim 8.3 \cdot 10^8$ Дж.

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 2010 г. в радиусе 7 км от вулкана Ключевской и диапазоне глубин от кратера до 40 км ниже уровня моря было локализовано 750 землетрясений, $\Sigma E \sim 0.83 \cdot 10^8$ Дж. Все землетрясения были 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. С помощью программы ZMAP были определены представительный класс $K_{\text{пред}}$ и угол наклона γ для событий каждой группы. Для поверхностных землетрясений $K_{\text{пред}}=4.9$ при $\gamma=-1.43 \pm 0.06$. Для глубоких землетрясений $K_{\text{пред}}=4.7$ при $\gamma=-1.30 \pm 0.1$. В промежуточном слое было локализовано недостаточное количество землетрясений для определения аналогичных параметров.

В 2010 г. продолжалось мощное вершинное извержение, начавшееся осенью 2008 года. Извержение сопровождалось пепловыми выбросами высотой до 9 км над уровнем моря и излиянием нескольких лавовых потоков. К концу года извержение постепенно прекратилось.

На вулкане **Безымянный** в 2010 г. произошло одно умеренное эксплозивное извержение. Корректный сейсмический мониторинг вулкана Безымянный в исследуемый период был невозможен из-за сильного вулканического дрожания, сопровождавшего извержение вулкана Ключевской. Это стало основной причиной пропуска сейсмических предвестников перед эксплозивным извержением 31 мая. Максимальная фаза эксплозивного извержения по сейсмическим данным продолжалась с 12^h34^m до 12^h50^m. По визуальным наблюдениям высота эруптивной колонны достигала 11 км выше уровня моря.

В 2010 г. в радиусе 6 км от вулкана было локализовано 13 землетрясений, $\Sigma E \sim 0.21 \cdot 10^6$ Дж.

Вулканы Корякский и Авачинский расположены в 25–30 км от Петропавловска-Камчатского 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 2010 г. в радиусе 8 км от вулкана было локализовано 179 землетрясений, $\Sigma E \sim 1.04 \cdot 10^7$ Дж, $K_{\text{пред}} = 2.9$, $\gamma = -0.53 \pm 0.04$.

В 2010 г., по сравнению с 2008–2009 гг., на вулкане Корякский наблюдалась относительно спокойная сейсмичность. В радиусе 9 км от вулкана было локализовано 251 землетрясение с $K_{\text{пред}} \geq 2.5$, $\gamma = -0.50 \pm 0.01$, $\Sigma E \sim 2.05 \cdot 10^7$ Дж.

Вулканы Горелый и Мутновский расположены в 70 км к югу от г. 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 GRL с 28 января по 19 апреля, а также регистрация сильного непрерывного вулканического дрожания с середины июня и до конца года не позволили локализовать землетрясения в эти периоды. В 2010 г. в радиусе 7 км от вулкана Горелый и диапазоне глубин от $-1.5 \leq h \leq 10$ км было локализовано 41 землетрясение, $\Sigma E \sim 0.92 \cdot 10^7$ Дж, $K_{\text{пред}} = 4.2$ при $\gamma = -0.6 \pm 0.1$.

В 2010 г. на вулкане Горелый наблюдалась мощная парогозовая деятельность из бокки диаметром около 20 м, образовавшейся у основания северо-восточной стенки активного кратера, заполненного кислотным озером.

Ближайшая к вулкану Мутновский станция MTVR [Чебров и др., 2012] расположена в 3 км от активного кратера. В 2010 г. в радиусе 7 км от вулкана и диапазоне глубин от $-1.5 \leq h \leq 10$ км было локализовано девять землетрясений, $\Sigma E \sim 0.2 \cdot 10^7$ Дж.

В 2010 г. на вулкане Мутновский наблюдалась вулканическая активность только в виде fumarольной 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. Последнее извержение вулкана произошло в 1927–1928 гг. [Пуйн, 1946]. Ближайшая радиотелеметрическая станция KZV расположена на юго-западном склоне вулкана в 2.5 км от вершины. В 2010 г. на вулкане Кизимен наблюдалась высокая сейсмическая активность, начавшаяся в середине 2009 года. В исследуемый период в радиусе 15 км от вулкана и в диапазоне глубин от $-1.5 \leq h \leq 20$ км было локализовано 2833 землетрясения с $K_{\text{max}} = 11.9$, $\Sigma E \sim 1.6 \cdot 10^{12}$ Дж, $K_{\text{пред}} = 5.8$ при $\gamma = -0.47 \pm 0.01$.

6 октября было зафиксировано появление новых фумарол на юго-восточном склоне близ вершины, из которых впоследствии наблюдалась мощная парогазовая эмиссия с пеплом. 27 ноября 2010 г. в 18^h56^m ($K_S=11.4$, $M_C=5.0$) и в 19^h29^m ($K_S=11.9$, $M_C=5.3$) произошли два сдвоенных во времени и в пространстве поверхностных землетрясения вблизи вулкана. Все это свидетельствовало об активизации вулкана, разрушении его постройки и о подготовке к сильному эксплозивному извержению, краткосрочный прогноз которого был передан в Камчатский филиал Российского экспертного совета сотрудниками лаборатории ИСВА 10 декабря [Сенюков и др., 2011]. 12 декабря в 19^h49^m была зарегистрирована серия поверхностных сейсмических событий продолжительностью 20 мин, сопровождавших сильное эксплозивное извержение. Пепловый шлейф от этого извержения распространился на высоте около 10 км в северо-западном направлении через поселки Козыревск и Тигиль.

Вулкан Карымский в 2010 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 $K \geq 6.5$. В 2010 г. в радиусе 10 км от вулкана таких событий 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.

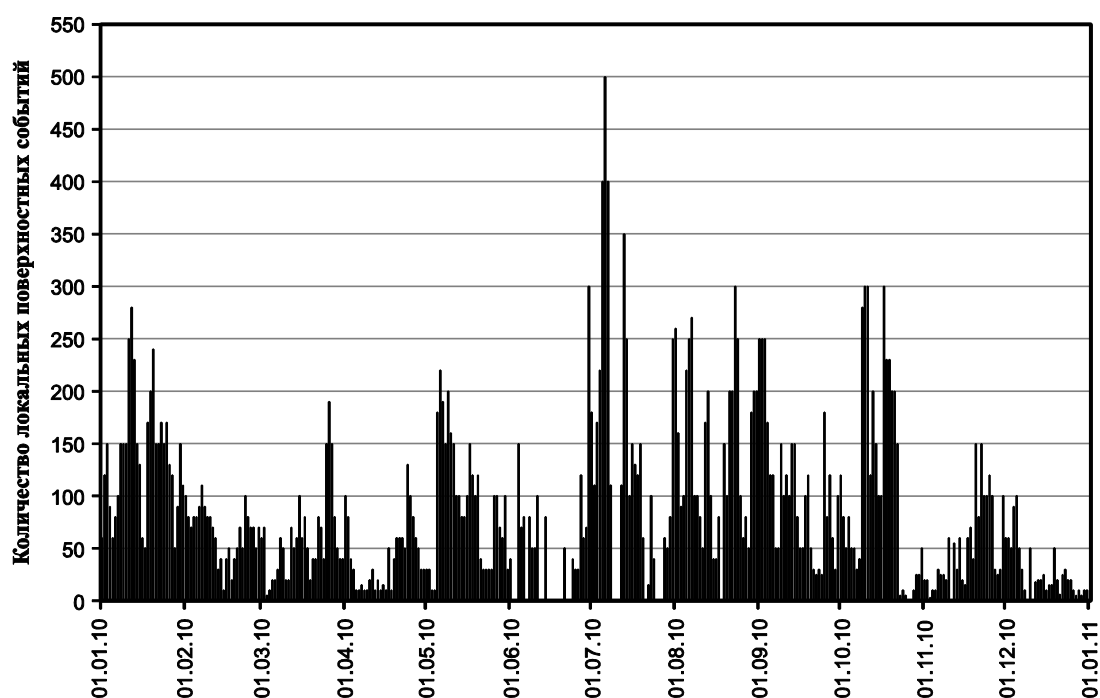


Рис. III.5. Сейсмичность вулкана Карымский в 2010 г. по данным сейсмостанции КП. Значение «0» означает отсутствие данных

Гистограмма (рис. III.5) наглядно показывает периоды усиления и ослабления активности вулкана. Во время активизации регистрировались события, сопровождавшие газопепловые выбросы высотой до 3000 м над кратером.

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