

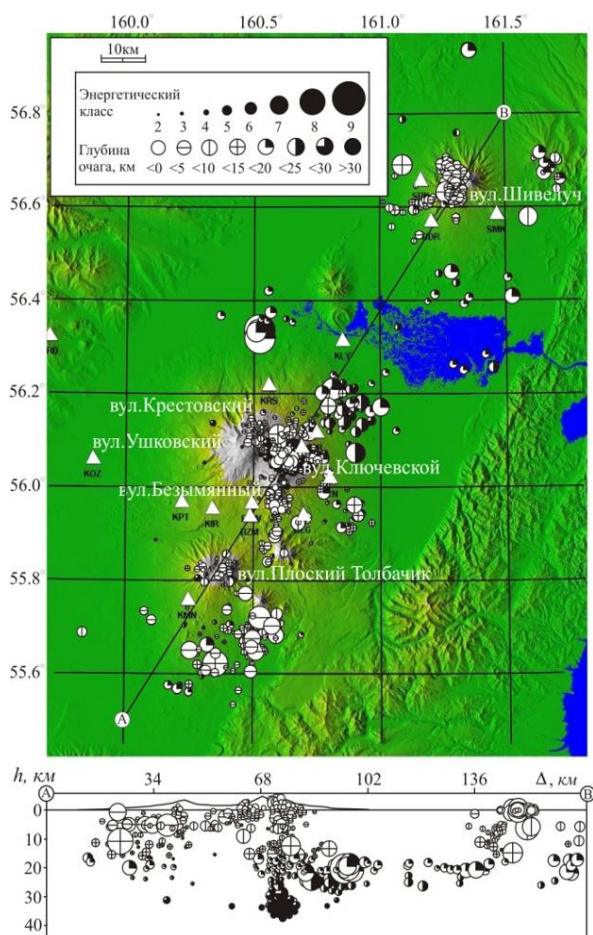
### III. Результаты детального сейсмического мониторинга

#### III.1. Непрерывные наблюдения

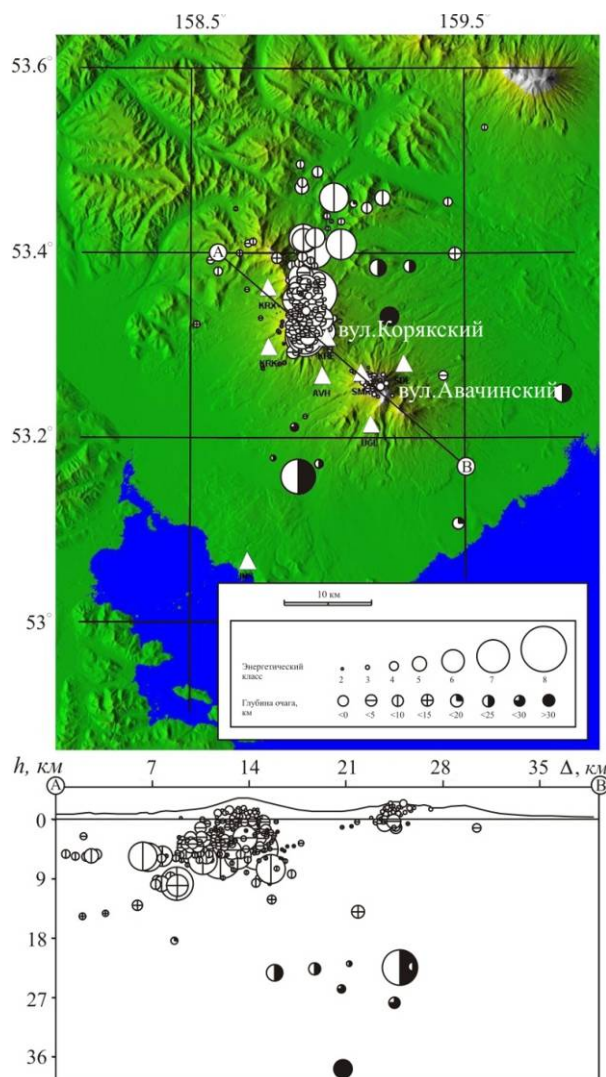
##### III.1.1. Вулканы Камчатки

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

В 2009 г. телеметрическая сеть 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) и Авачинской (вулканы Авачинский и Корякский, рис. III.2) групп вулканов.



**Рис. III.1.** Карта эпицентров землетрясений в районе Северной группы вулканов в 2009 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В



**Рис. III.2.** Карта эпицентров землетрясений в районе Авачинской группы вулканов в 2009 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В

Для этих групп вулканов составлялись отдельные каталоги землетрясений (см. раздел V.12) с помощью адаптированных программ расчетов параметров вулканических событий, использующих локальные географы.

Введение в систему наблюдений телеметрических станций MTV и ASA (Мутновско-Гореловская группа вулканов, рис. III.3) в декабре 2008 г. и KZV (вулкан Кизимен, рис. III.4) в октябре 2009 г. позволило локализовать в этих районах более слабые события, чем в среднем для Камчатки. Поэтому с 2009 г. для землетрясений из этих районов составляются отдельные каталоги. В связи с отсутствием уточненных локальных скоростных моделей для этих районов при расчете положений гипоцентров использовалась одномерная скоростная модель и такая же программа, как и для всего Камчатского региона. 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 классом  $K_S \geq 6.0$ ) 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 2009 г. был не возможен из-за отсутствия данных.

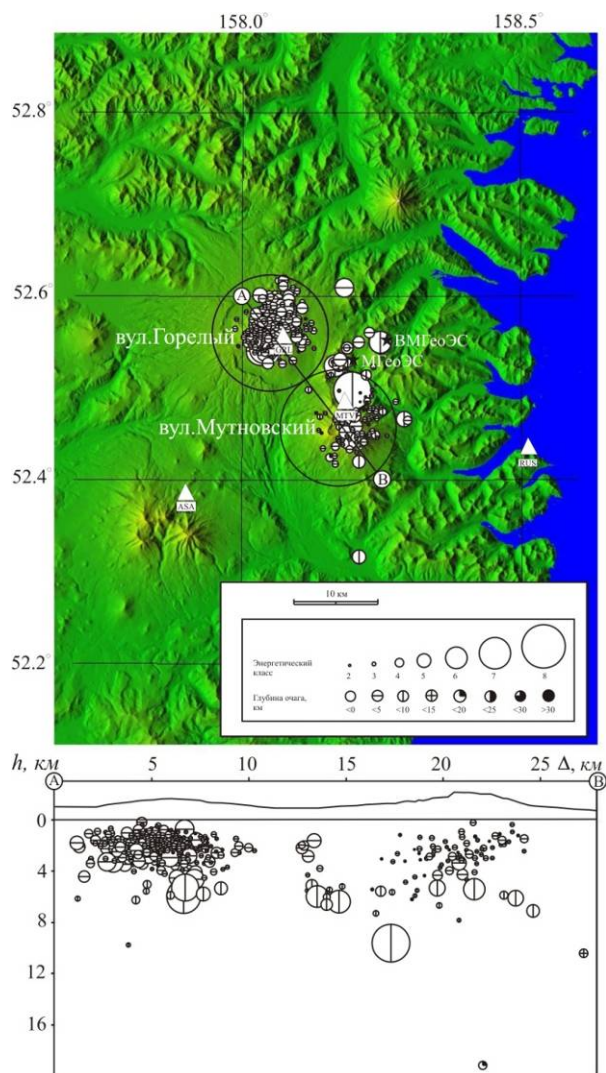


Рис. III.3. Карта эпицентров землетрясений в районе Мутновско-Гореловской группы вулканов в 2009 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А-В

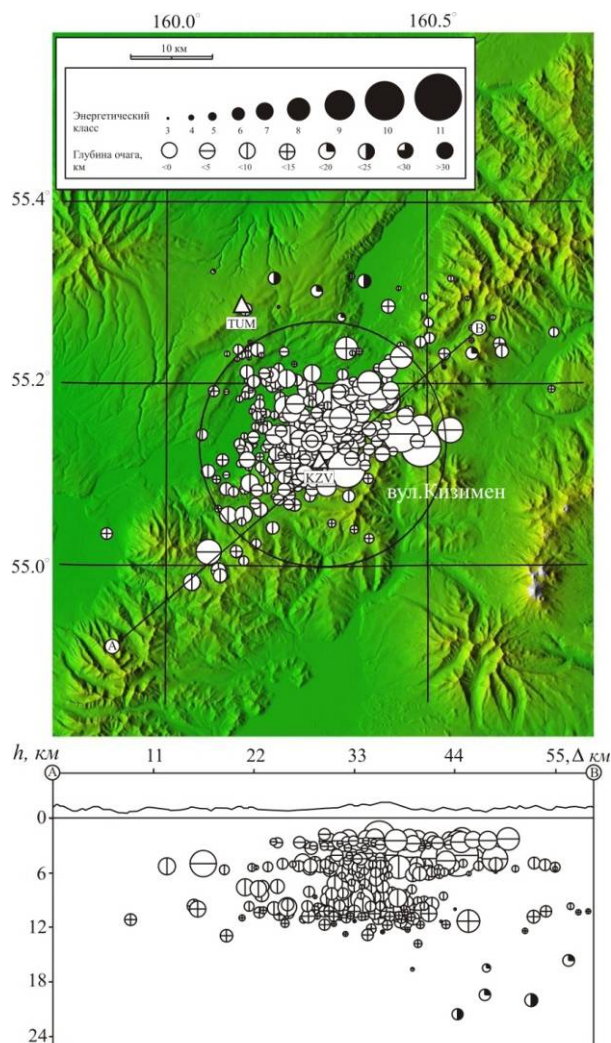


Рис. III.4. Карта эпицентров землетрясений в районе вулкана Кизимен в 2009 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А-В

В табл. III.1 приведены сведения о вулканах, для которых проводится сейсмический мониторинг.

**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>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
Горелый	52.55	158.03	1829	
Мутновский	52.45	158.20	2323	
Алаид	50.86	155.55	2239	

В 2009 г. высокая сейсмическая активность наблюдалась на вулканах Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Корякский, Горелый, Кизимен и Карымский.

**Вулкан Шивелуч** – самый северный действующий вулкан Камчатки – расположен в 45 км от пос. Ключи (рис. III.5). Ближайшие телеметрические станции (SRK, SMK и BDR) расположены на расстоянии 8.5÷10 км от активного кратера вулкана. Уровень надежной регистрации, определенный с помощью автоматической процедуры программы ZMAP, получился равным классу 4.5 при угле наклона  $\gamma = -1.28 \pm 0.01$ .



**Рис. III.5. Раскаленные лавины на куполе вулкана Шивелуч 23 сентября 2009 г. Фото Ю. Демянчука [http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/current/shv/archives/2009/]**

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 2009 г. на вулкане Шивелуч было локализовано 12003 землетрясения в радиусе 12 км от вулкана – это почти в 1.9 раза больше, чем в предыдущий год. Было выделено сейсмической энергии  $\Sigma E \sim 8 \cdot 10^8$  Дж, что примерно в 1.7 раза больше, чем в 2008 году.

**Вулкан Ключевской** – самый высокий действующий вулкан Курило-Камчатской дуги – расположен в 32 км к юго-западу от пос. Ключи. Ближайшая телеметрическая станция LGN установлена в 4 км от кратера. Минимальный уровень регистрируемой сейсмичности по этой станции соответствует классу землетрясений  $K=2.2$ .

В 2009 г. в радиусе 7 км от вулкана Ключевской и диапазоне глубин от кратера до 40 км ниже уровня моря было локализовано 2230 землетрясений, количество высвобожденной энергии составило  $\Sigma E \sim 2 \cdot 10^8$  Дж. Все землетрясения были 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 и угол наклона  $\gamma$  для событий каждой группы. Для поверхностных землетрясений представительный класс получился равным 4.0 в спокойный период и 5.5 – в период вершинного извержения, сопровождавшегося высоким уровнем вулканического дрожания. Для глубоких землетрясений представительный класс получился равным 4.5 при  $\gamma = -1.20 \pm 0.02$ . В промежуточном слое наблюдается наименьшее количество землетрясений, уровень надежной регистрации для него –  $K=4.1$ , угол наклона близок к многолетнему значению  $\gamma = -0.5$  для региональных землетрясений Камчатки.

К концу января 2009 г. закончилось вершинное извержение, начавшееся осенью 2008 года. После этого очаги землетрясений опустились на глубину около 30 км и только во второй половине года вновь начали постепенно перемещаться к поверхности. Впервые свечение в кратере было отмечено 2 августа. В дальнейшем до конца года в вершинном кратере вулкана фиксировалась вулканическая активность в виде взрывающейся магмы и слабых пепловых выбросов.

**Вулкан Безымянный** в 2009 г. извергался один раз в декабре. В течение всего года сейсмическая активность вулкана была минимальной. Рой поверхностных землетрясений, предваряющий извержение, начался 8 декабря. Количество и энергия землетрясений постепенно увеличивались. На основе ежедневного анализа данных с использованием накопленного опыта был сделан успешный краткосрочный прогноз начала и масштабов возможного эксплозивного извержения, который был передан в КФ РЭС. Эксплозивное извержение ожидалось с 14 по 24 декабря, а началось 16 декабря в 21<sup>h</sup>45<sup>m</sup> и продолжалось несколько часов. По сейсмическим данным это было самое сильное взрывное извержение за последние 10 лет. По визуальным наблюдениям вулкан был закрыт облачностью. По спутниковым данным Аляскинской вулканологической обсерватории пепловый шлейф достигал высоты как минимум 8 км над уровнем моря.

В 2009 г. в радиусе 6 км от вулкана было локализовано 144 землетрясения, суммарная энергия которых составила  $\Sigma E \sim 6 \cdot 10^6$  Дж. Уровень надежной регистрации получился равным  $K=3.7$  при угле наклона графика  $\gamma = -0.60 \pm 0.04$ .

**Вулканы Корякский и Авачинский** расположены в 25–30 км от самых густонаселенных городов полуострова – Петропавловска-Камчатского и Елизово, поэтому являются наиболее потенциально опасными вулканами.

Авачинский вулкан в исследуемый период был спокоен, и его сейсмичность не превышала обычный «нормальный, фоновый» уровень.

Установленные в 2009 г. в районе Корякского вулкана две радиотелеметрические станции KRE и KRX (см. раздел I.10) значительно улучшили возможности сейсмических наблюдений. В исследуемый период на вулкане продолжала наблюдаться высокая сейсмичность, начавшаяся еще в марте 2008 года. В 2009 г. в радиусе 9 км от вулкана было локализовано 1690 землетрясений с представительным классом  $K=3.1$ . Угол наклона графика повторяемости для этих событий получился равным  $\gamma=-0.55\pm 0.01$ . В периоды наибольшей сейсмической активности в марте-апреле и в августе по визуальным и спутниковым данным наблюдалась мощная паро-газовая эмиссия с пеплом высотой до 1.5 км над вулканом, протяженность шлейфов достигала 500 км.

**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 расположена в 4 км от кратера и способна регистрировать землетрясения с минимальным классом 2.1. В 2009 г. в радиусе 7 км от вулкана и диапазоне глубин от поверхности до 20 км ниже уровня моря было локализовано 2731 землетрясение. Количество высвобожденной энергии составило  $\Sigma E \sim 5.5 \cdot 10^7$  Дж. Уровень надежной регистрации, определенный с помощью автоматической процедуры программы ZMAP, получился  $K=3.5$  при угле наклона  $\gamma=-0.8\pm 0.01$ . На протяжении всего года на станции GRL регистрировалось непрерывное вулканическое дрожание.

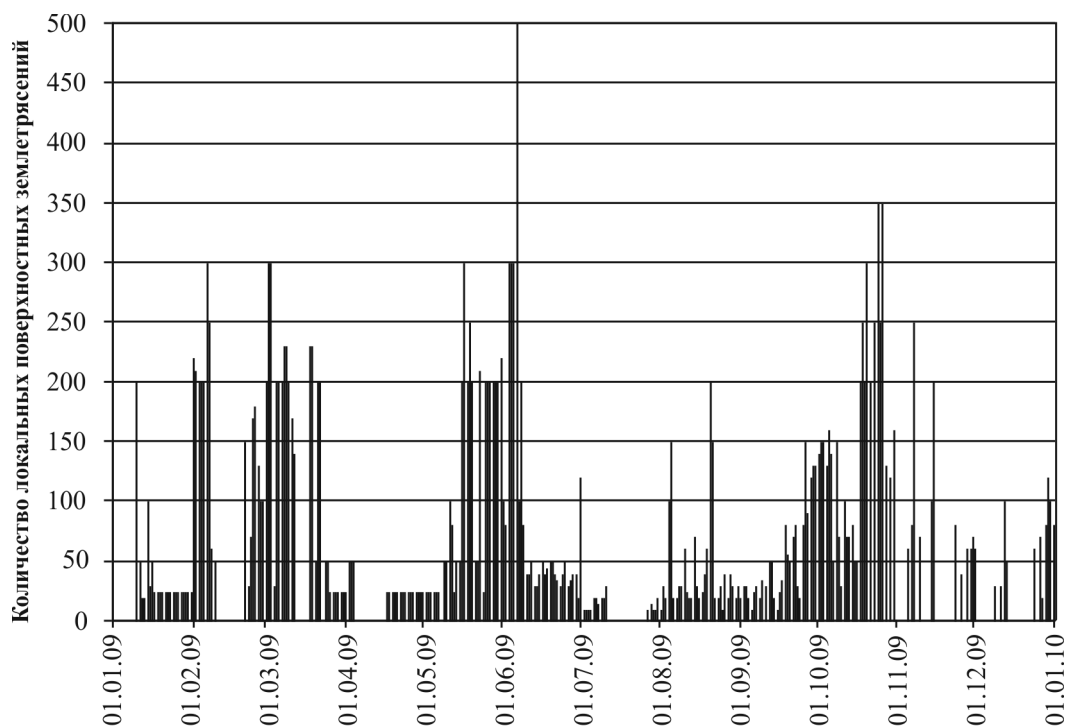
Введенная в эксплуатацию в конце декабря 2008 г. новая телеметрическая станция MTV расположена в 3 км от активного кратера вулкана Мутновский. Минимальный уровень регистрируемой сейсмичности по этой станции соответствует  $K=2.0$ . В 2009 г. в радиусе 7 км от вулкана и диапазоне глубин от поверхности до 20 км ниже уровня моря было локализовано 97 землетрясений с  $K_{\max}=7.5$ . Количество высвобожденной энергии составило  $\Sigma E \sim 3 \cdot 10^7$  Дж.

В 2009 г. на вулканах Мутновский и Горелый 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. Последнее извержение вулкана произошло в 1927–1928 гг. Ближайшая телеметрическая станция TUM расположена в 20 км от вулкана. В конце сентября 2009 г. на юго-западном склоне вулкана на удалении 2.5 км от вершины была установлена новая радиотелеметрическая станция «Кизимен» (KZV), потоки данных которой были введены в оперативную обработку только в конце октября (см. раздел I.10). В исследуемый период первые землетрясения были зарегистрированы в конце апреля, а с июля началось усиление сейсмической активности вулкана. Надо отметить, что такой сильной сейсмичности в районе вулкана Кизимен не наблюдалось, по крайней мере, в течение последних 10 лет. В 2009 г. в радиусе 15 км от вулкана и в диапазоне глубин от поверхности до 40 км ниже уровня моря было локализовано 533 землетрясения с  $K_{\max}=10.3$ . Количество высвобожденной сейсмической энергии составило  $\Sigma E \sim 5 \cdot 10^{10}$  Дж. Уровень надежной регистрации для этих событий, определенный с помощью автоматической процедуры программы ZMAP, получился  $K=5.8$  при угле наклона  $\gamma=-0.54\pm 0.01$ .

В исследуемый период вулкан находился в состоянии активной фумарольной деятельности.

**Вулкан Карымский** в 2009 г. продолжал извергаться. Ближайшая телеметрическая станция KRY расположена на юго-восточном склоне в 1.5 км от кратера, что обеспечивает уровень регистрации по одной станции землетрясений с  $K \geq 1.0$ . Другие телеметрические станции расположены на расстоянии свыше 100 км и могут обеспечить надежное определение параметров землетрясений по трем станциям с занесением в каталог только с  $K_S \geq 6.5$ . В 2009 г. в радиусе 10 км от вулкана таких событий зарегистрировано не было. Поэтому все основные выводы о деятельности вулкана сделаны по данным одной станции KRY. На рис. III.6 показано количество локальных ( $2 < K_S < 6$ ) поверхностных землетрясений, большинство из которых – взрывы в кратере.



**Рис. III.6. Сейсмичность вулкана Карымский в 2009 г. по данным сейсмостанции KRY.**  
Знак «—» означает отсутствие данных

График наглядно показывает периоды усиления и ослабления активности вулкана. Во время активизации регистрировались события, сопровождавшие газо-пепловые выбросы высотой до 3000 м над кратером.

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