

III. Результаты детального сейсмического мониторинга

III.1. Непрерывные наблюдения

III.1.1. Вулканы Камчатки и вулкан Алаид

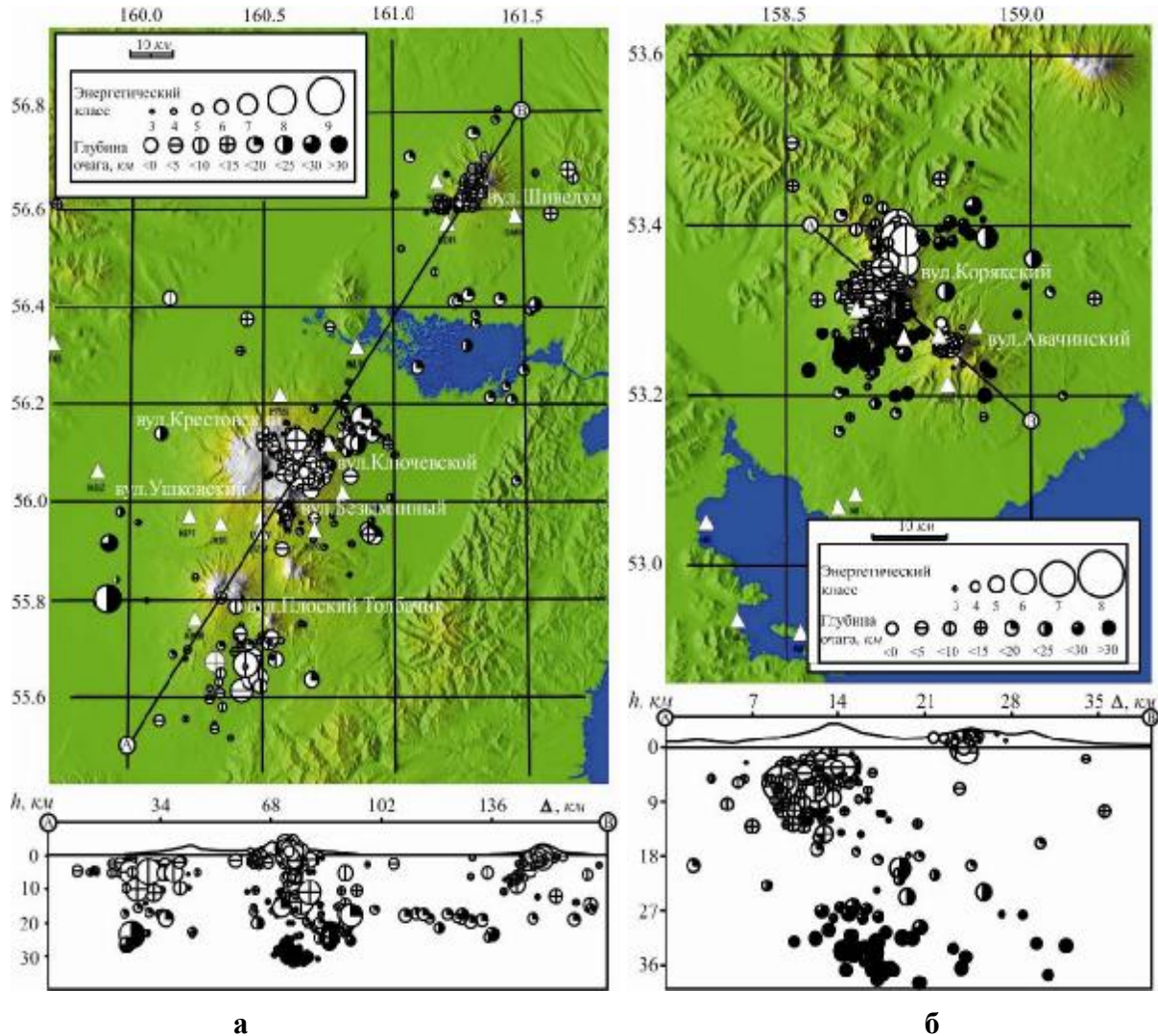
С.Л. Сеньюков, И.Н. Нуждина, В.Н. Чебров

В 2008 г. телеметрическая сеть КФ ГС РАН (см. табл. I.17) 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.1а) и Авачинской (вулканы Авачинский и Корякский) (рис. III.1б) групп вулканов. Для этих групп вулканов составлялись отдельные каталоги землетрясений с помощью адаптированных программ расчетов параметров вулканических событий, использующих локальные годографы. В декабре 2008 г. были введены в систему наблюдений две новые телеметрические станции (MTV и ASA) (см. табл. I.17) в районе Мутновско-Гореловской группы вулканов. Это позволило разделить сейсмичность вулканов Горелый и Мутновский. Вблизи вулканов Кизимен и Карымский установлено только по одной станции, что дает возможность фиксировать слабые локальные землетрясения этих вулканов, но не позволяет определять их пространственное положение и составлять отдельные каталоги. Поэтому более сильные землетрясения этих вулканов (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 2008 г. был невозможен из-за отсутствия данных.

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 | | |
| Авачинская группа вулканов | | | | |
| Авачинский | 53.25 | 158.83 | 2741 | 350 |
| Корякский | 53.32 | 158.72 | 3456 | |
| Северная группа вулканов | | | | |
| Шивелуч | 56.63 | 161.32 | 2500 | 700 |
| Ключевской | 56.07 | 160.63 | 4750 | |
| 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 | |
| Остальные вулканы | | | | |
| Кизимен | 55.13 | 160.33 | 2375 | 250 |
| Карымский | 54.05 | 159.43 | 1536 | |
| Горелый | 52.55 | 158.03 | 1829 | |
| Мутновский | 52.45 | 158.20 | 2323 | |
| Алаид | 50.86 | 155.55 | 2239 | |



**Рис. 3.1. Карты эпицентров землетрясений в 2008 г.:
а – Северная группа вулканов; б – Авачинская группа вулканов
и проекции очагов на вертикальные разрезы А–В**

В 2008 г. были активны следующие вулканы: Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Корякский и Карымский.

Вулкан Шивелуч – самый северный действующий вулкан Камчатки – расположен в 45 км от пос. Ключи. Ближайшие телеметрические станции (SRK, SMK и BDR) расположены на расстоянии $8.5 \div 10$ км от активного кратера вулкана. Уровень надежной регистрации, определенный с помощью автоматической процедуры программы ZMAP, получился равным классу 4.7 при угле наклона $\gamma = -1.55 \pm 0.03$.

В исследуемый период продолжалось извержение вулкана Шивелуч, начавшееся 4 декабря 2006 года. Извержение сопровождалось большим количеством поверхностных землетрясений и вулканическим дрожанием. В течение всего года по спутниковым данным наблюдалась термальная аномалия на растущем куполе, свидетельствующая о присутствии на поверхности горячего магматического материала.

В 2008 г. на вулкане Шивелуч было локализовано 6534 землетрясения в радиусе 12 км от вулкана – это на 2890 событий меньше, чем в предыдущий год. Было выделено сейсмической энергии $\Sigma E \sim 4.8 \cdot 10^8$ Дж, что примерно в 1.5 раза меньше, чем в 2007 году. Наибольшая активность наблюдалась во второй половине года, когда высота пепловых выбросов по визуальным и сейсмическим данным достигала 6–8 км над уровнем моря.

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 2.2.

В 2008 г. в радиусе 7 км от вулкана Ключевской и диапазоне глубин от кратера до 40 км ниже уровня моря было локализовано 2506 землетрясений. 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 γ для событий с этих глубин. Для поверхностных землетрясений представительный класс получился равным 4.0 в спокойный период и 6.3 – в период извержения. Глубокие землетрясения практически не регистрируются в период извержений, и для них в спокойный период представительный класс равен 4.2 при $\gamma = -1.23 \pm 0.04$. В промежуточном слое наблюдается наименьшее количество землетрясений, уровень надежной регистрации для него равен классу 4.1, угол наклона близок к многолетнему значению $\gamma = -0.5$ для региональных землетрясений Камчатки.

В исследуемый период произошло вершинное извержение вулкана Ключевской. Активизация началась в начале лета. В течение июня были зафиксированы: 1) подъем центра выделенной энергии, 2) увеличение амплитуды вулканического дрожания, 3) появление термальной аномалии в районе кратера вулкана. На основании этих предвестников был дан прогноз о начале возможного вершинного эксплозивно-эффузивного извержения вулкана в ближайшие три месяца. Прогноз был передан в Камчатский филиал Российского экспертного совета (КФ РЭС) 1 июля и в целом оправдался. Впервые свечение в кратере было отмечено 8 октября, лавовый поток по северо-западному склону – 21 ноября, первые газо-пепловые выбросы были зафиксированы 4 декабря. Максимальная фаза извержения с высотой пепловых выбросов до 8 км над уровнем моря наблюдалась 7 и 12 декабря. К концу года извержение пошло на убыль.

Вулкан Безымянный в 2008 г. извергался один раз в августе. Предваряющая извержение сейсмическая подготовка была слабой и кратковременной. Температура термальной аномалии резко выросла в течение 10 и 11 августа до критической и достигла 56.9°C по данным Аляскинской вулканологической обсерватории. Анализ данных на основе накопленного опыта позволил сделать прогноз начала возможного эксплозивного извержения с 12 по 19 августа, который был передан в КФ РЭС. Извержение произошло 19 августа с $10^{\text{h}}30^{\text{m}}$ до $11^{\text{h}}15^{\text{m}}$, когда по сейсмическим данным было зарегистрировано событие с амплитудой до 8.9 мкм/с по станции ZLN. По визуальным наблюдениям вулкан был закрыт облачностью. По спутниковым данным, в $14^{\text{h}}26^{\text{m}}$ пепловое облако размером 140×40 км было зафиксировано на расстоянии ~175 км к западу от вулкана на высоте 6500–7000 м над уровнем моря (по температурному профилю).

Следует отметить, что в исследуемый период корректный сейсмический мониторинг вулкана Безымянный был невозможен с 21 октября по 31 декабря из-за сильного вулканического дрожания, сопровождавшего извержение вулкана Ключевской.

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.

Сейсмическая активизация Корякского вулкана началась в марте 2008 г. и продолжалась до конца года (рис. III.2). Сначала в начале месяца произошла небольшая серия землетрясений (класс от 4 до 6) в диапазоне глубин 25–40 км. Потом с 24 по 28 марта было зарегистрировано 101 землетрясение с энергетическим классом от 4 до 7.7.

Очаги землетрясений располагались к северу от вершины Корякского вулкана на глубинах 5–25 км. После некоторого перерыва, с середины июня 2008 г., сейсмическая активность вновь возросла, но уже непосредственно под Корякским вулканом на глубинах 3–10 км. До конца года было зарегистрировано более 400 слабых землетрясений. Вместе с повышением сейсмической активности осенью 2008 г. заметно усилилась фумарольная активность. 24, 26–28 декабря визуальными наблюдениями были зафиксированы парогазовые выбросы высотой до 1 км, содержащие пепел (рис. III.2). Эмиссия происходила из фумарол, расположенных на северо-западном склоне на высоте около 3 км. Ближайшая сейсмическая станция KRK, расположенная на расстоянии 6 км от вершины, не зарегистрировала сейсмических сигналов, сопровождавших эту эмиссию.



*Рис. III.2. Парогазовая эмиссия с пеплом на вулкане Корякский 28 декабря 2008 г.
Фото С.Н. Игошина*

Вулкан Карымский в исследуемый период 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 класса 1.0 и выше. 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 класса 6.5. В 2008 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.3 показано количество локальных ($2 < K_S < 6$) поверхностных землетрясений, большинство из которых – взрывы в кратере. График наглядно показывает периоды усиления и ослабления активности вулкана. Во время активизации регистрировались события, обычно сопровождавшие газо-пепловые выбросы высотой до 6000 м над кратером. Один из таких сильных выбросов (высота до 5500 м над кратером) был подтвержден визуальными наблюдениями 29 марта полевого отряда Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

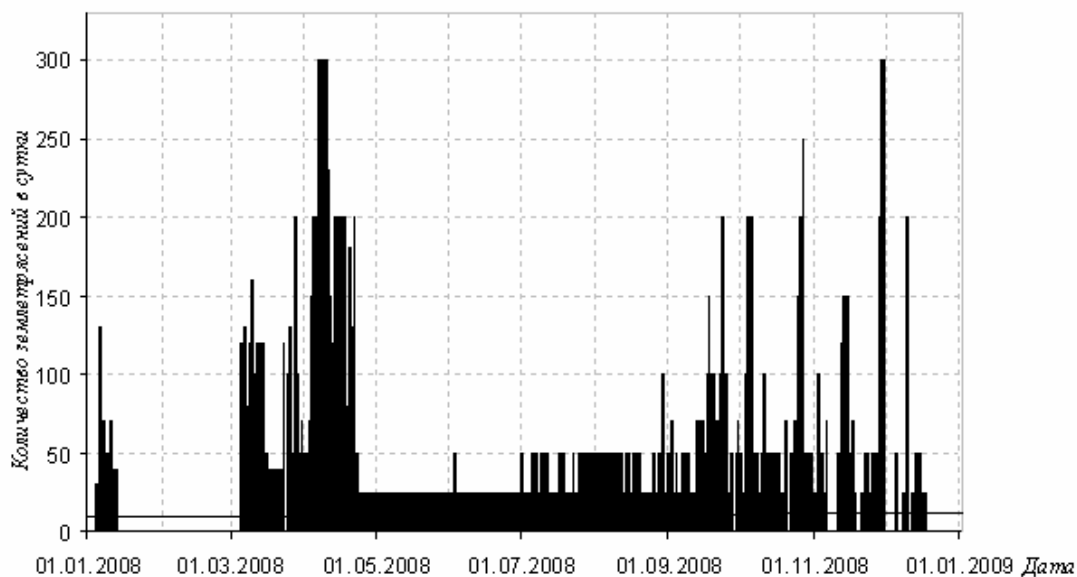


Рис. III.3. Сейсмичность вулкана Карымский в 2008 г. по данным сейсмостанции KRY.
 Знак «—» означает отсутствие данных

Вулканы Мутновский и Горелый расположены в 70 км к югу от Петропавловска-Камчатского. Ближайшая телеметрическая станция GRL находится на склоне вулкана Горелый в четырех километрах от кратера. Летом 2008 г. в районе этой группы вулканов были установлены еще две телеметрические станции: MTV – в трех километрах от активного кратера вулкана Мутновский, и ASA – в районе вулкана Асача. К сожалению, их потоки данных были введены в оперативную обработку только в конце декабря, поэтому анализ сейсмичности Мутновско-Гореловской группы вулканов в исследуемый период проводился только по станции GRL. В течение всего года этой станцией регистрировалось вулканическое дрожание. Введение в эксплуатацию станции MTV решило вопрос о положении источника этого дрожания в пользу вулкана Горелый. В 2008 г. на этих вулканах сейсмичность не превышала «нормальный, фоновый» уровень.

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

В печатном варианте (раздел V.12) каталоги землетрясений за 2008 г. публикуются с $ML \geq 1.8$ для Авачинской группы вулканов, с $ML \geq 2.6$ – для Северной группы вулканов. В электронном варианте (раздел V на CD-ROM) каталоги землетрясений вулканических районов Камчатки публикуются в полном объеме.