

III. Результаты детального сейсмического мониторинга

Непрерывные наблюдения

Вулканы Камчатки

С.Л. Сеников, И.Н. Нуждина, Д.В. Чебров

Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

В 2016 г. радиотелеметрическая сеть сейсмических станций Камчатского филиала (КФ) ФИЦ ЕГС РАН [1, 2] практически не изменилась по сравнению с 2015 г. [3], добавилась только станция ВЗР [2] в районе вулкана Безымянный. Сеть 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) и Мутновско-Гореловской (вулканы Мутновский и Горелый, рис. III.3) групп вулканов, а также вулканов Жупановский (рис. III.4) и Кизимен (рис. III.5). В табл. III.1 приведены сведения о вулканах, для которых проводился сейсмический мониторинг.

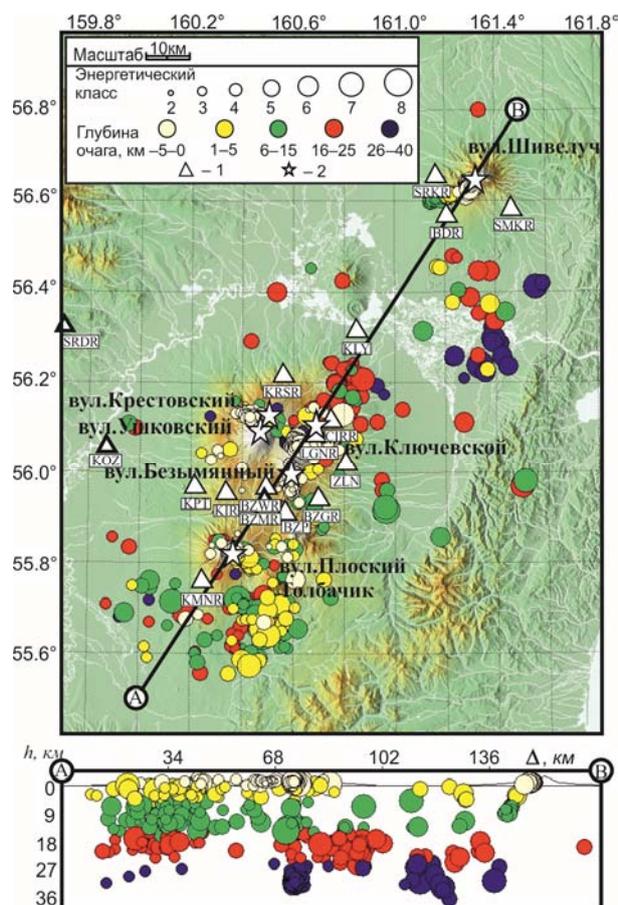


Рис. III.1. Карта эпицентров землетрясений в районе Северной группы вулканов в 2016 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В: 1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан

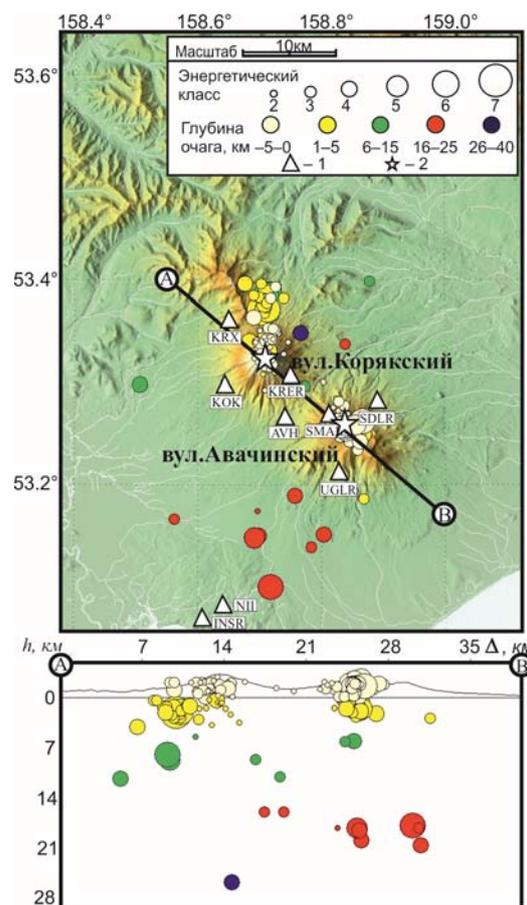


Рис. III.2. Карта эпицентров землетрясений в районе Авачинской группы вулканов в 2016 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В: 1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан

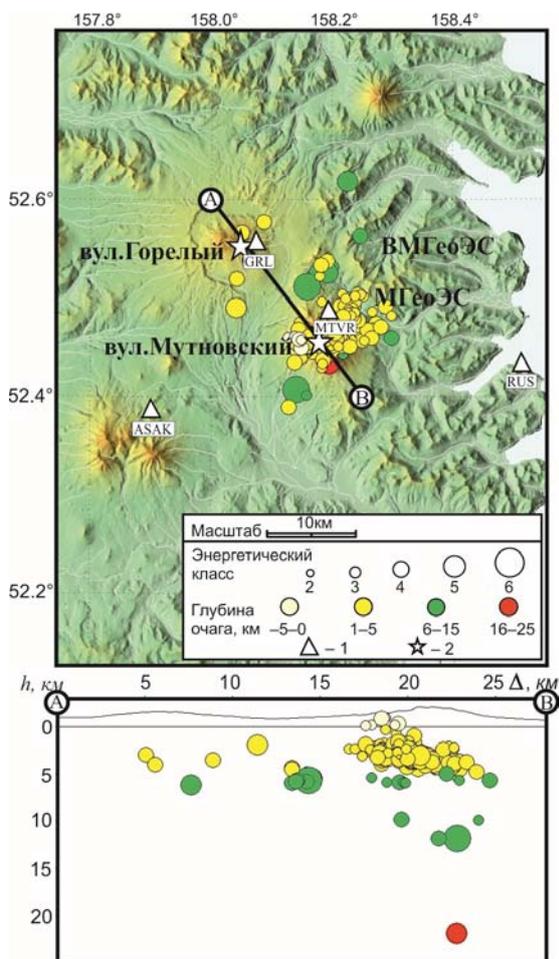


Рис. III.3. Карта эпицентров землетрясений в районе Мутновско-Гореловской группы вулканов в 2016 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В:
1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан

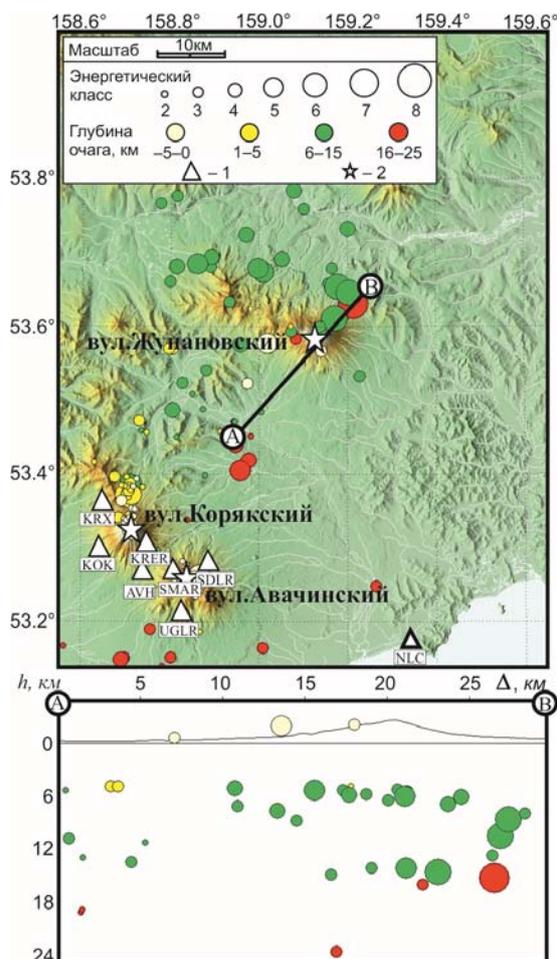


Рис. III.4. Карта эпицентров землетрясений в районе вулкана Жупановский в 2016 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В:
1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан

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

Название вулкана	Координаты вершины		Абсолютная высота вершины, м	Диаметр кратера, м	Теоретический уровень надежной регистрации, K_{\min}
	φ, °N	λ, °E			
Авачинская группа вулканов					
Авачинский	53.25	158.83	2741	350	3.0
Корякский	53.32	158.72	3456		3.0
Мутновско-Гореловская группа вулканов					
Горелый	52.55	158.03	1829		4.5
Мутновский	52.45	158.20	2323		4.5
Северная группа вулканов					
Шивелуч	56.63	161.32	2600		3.5
Ключевской	56.07	160.63	4750	700	3.0
Безымянный	55.97	160.58	2869		3.0
Крестовский	56.12	160.50	4108		4.0
Ушковский	56.07	160.47	3943		4.0
Плоский Толбачик	55.82	160.37	3085	400	4.0
Остальные вулканы					
Кизимен	55.13	160.33	2375		4.5
Жупановский	53.58	159.16	2923		4.9
Карымский	54.05	159.43	1536	250	6.5

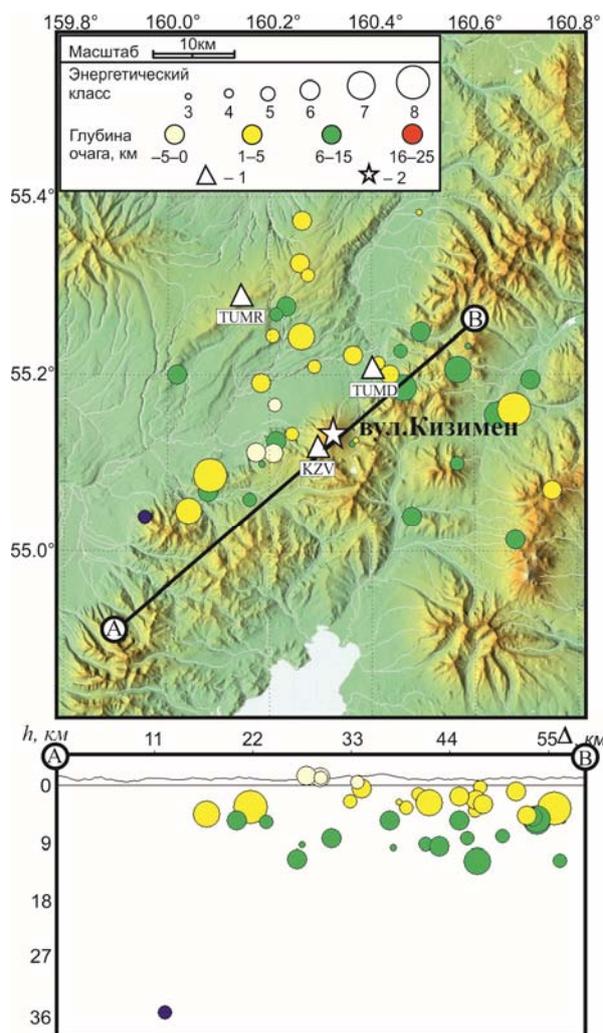


Рис. III.5. Карта эпицентров землетрясений в районе вулкана Кизимен в 2016 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В: 1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан

Теоретический уровень надежной регистрации K_{min} (табл. III.1) рассчитывался с помощью программы «Kam_tst» (автор Д.В. Дроздин).

Расчет параметров вулканических событий в 2016 г. (координаты эпицентра, глубина, энергия) проводился по программе «DIMAS» [4]. Для локации сейсмических событий Северной и Авачинской групп вулканов использовались локальные географы [5], для вулканов Мутновский, Горелый, Жупановский, Кизимен и Карымский – одномерная скоростная модель Камчатского региона с возможностью поиска решения положения гипоцентра землетрясения выше уровня моря. Каталог для всех групп вулканов формировался в сетевой базе данных в режиме, близком к реальному времени, и доступен в Интернете по адресу: <http://www.emsd.ru/ts/>. Представительный класс и угол наклона графика повторяемости землетрясений определялись по программе ZMAP [6].

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 $K_s \geq 6.0$ [7]), зарегистрированных удаленными от вулкана станциями, определяются кинематические и динамические параметры, которые помещаются в сетевую базу данных.

Для каждого вулкана ежедневно выставлялся цветовой код опасности по сейсмическим, видео и спутниковым наблюдениям и помещался в Интернет по адресу (<http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>). «Красный» код присваивался при очень высокой сейсмической активности и регистрации пепловых выбросов высотой 8 км над уровнем моря (н.у.м.) и выше, «оранжевый» – при регистрации большого количества локальных землетрясений, пепловых выбросов на высоту до 8 км н.у.м. и (или) наличии на вулкане лавовых потоков. «Желтый» код выставлялся, когда сейсмичность немного превышала фоновую, наблюдались слабые пепловые выбросы, высота которых не превышала 1 км над кратером вулкана, а также при наличии термальных аномалий по спутниковым данным. Когда на вулкане сейсмическая и вулканическая активность не превышала фоновый уровень, выставлялся «зеленый» код.

В 2016 г. в каталог Северной группы вулканов включено (рис. III.1, [8]) 3223 землетрясения, в очагах которых было высвобождено энергии $\Sigma E \sim 5.51 \cdot 10^8$ Дж, в каталог Авачинской группы (рис. III.2, [8]) – 322 ($\Sigma E \sim 1.67 \cdot 10^7$ Дж), Мутновско-Гореловской группы (рис. III.3, [8]) – 259 ($\Sigma E \sim 0.23 \cdot 10^7$ Дж).

Каталоги землетрясений для районов вулканов Жупановский (рис. III.4, [8]) и Кизимен (рис. III.5, [8]) содержат 52 ($\Sigma E \sim 1.54 \cdot 10^8 \text{ Дж}$) и 46 ($\Sigma E \sim 1.965 \cdot 10^8 \text{ Дж}$) событий соответственно.

В печатные варианты каталогов землетрясений вулканических районов Камчатки помещено: Северная группа вулканов – 32 землетрясения с $ML^1 \geq 2.3$ [9]; Авачинская группа вулканов – 21 землетрясение с $ML \geq 1.5$ [10]; Мутновско-Гореловская группа вулканов – 28 землетрясений с $ML \geq 1.3$ [11]; вулкан Жупановский – 27 землетрясений с $ML \geq 1.3$ [12]; вулкан Кизимен – 30 землетрясений с $ML \geq 1.8$ [13].

В исследуемый период высокая сейсмическая и вулканическая активность наблюдалась на вулканах Ключевской, Шивелуч, Жупановский, Безымянный и Карымский (рис. III.6).



Рис. III.6. Кадр полевой камеры видео наблюдений КФ ФИЦ ЕГС РАН с изображением трех вулканов (время съемки – 15 сентября 2016 г., 19^h53^m). Вулканы слева-направо: Безымянный – паро-газовая деятельность; Камень; Ключевской – пепловая эмиссия

Вулкан Шивелуч – самый северный действующий вулкан Камчатки, расположен в 45 км от пос. Ключи. Ближайшие радиотелеметрические станции (SRKR, SMKR и BDR) (рис. III.1) расположены на расстоянии 8.5÷10 км от активного купола вулкана [1, 2]. В 2016 г. продолжалось экструзивно-эксплозивное извержение вулкана Шивелуч, связанное с ростом нового купола. Извержение сопровождалось вулканическим дрожанием, мощными газо-пепловыми 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. Самый высокий «красный» код опасности на вулкане в 2016 г. выставлялся пять раз, «оранжевый» – 294 раза и «желтый» – 66 раз.

В 2016 г. в радиусе 12 км от вулкана и диапазоне глубин от вершины нового купола до 10 км ниже уровня моря было локализовано 1805 землетрясений, высвобожденно сейсмической энергии $\Sigma E \sim 0.368 \cdot 10^8 \text{ Дж}$. Землетрясение с максимальным классом ($K_s=6.2$) произошло 9 декабря в 22^h28^m в постройке вулкана. Представительный класс землетрясений, определенный с помощью автоматической процедуры программы ZMAP, получился равным $K_{\text{пред}}=3.6$ при угле наклона графика повторяемости $\gamma=0.98 \pm 0.03$.

¹Магнитуда ML – расчетная: $ML=K_s/2-0.75$ [14].

Вулкан Ключевской – самый высокий действующий вулкан Курило-Камчатской дуги, расположен в 32 км к юго-западу от пос. Ключи. Ближайшая станция LGNR установлена в 4 км от кратера [1, 2]. С 6 апреля и до конца года на Ключевском вулкане наблюдалось вершинное эксплозивно-эффузивное извержение. Извержение сопровождалось пепловыми выбросами с максимальной высотой 11 км над уровнем моря и лавовым потоком. В 2016 г. для вулкана Ключевской выставлялся повышенный код опасности: 12 раз – «красный»; 176 – «оранжевый»; 112 – «желтый». В исследуемый период в радиусе 7 км от вулкана Ключевской и диапазоне глубин от кратера до 40 км ниже уровня моря было локализовано 933 землетрясения, $\Sigma E \sim 0.32 \cdot 10^8 \text{ Дж}$ (рис. III.1, [8]). Надо отметить, что в период извержения станции, расположенные в районе Северной группы вулканов, регистрировали сильное спазматическое вулканическое дрожание ($A/T_{\max} \sim 52 \text{ мкм/с}$), затруднявшее локацию землетрясений с $K_s \leq 5.0$. Все землетрясения, как и в предыдущие годы, условно разделены по глубине на три слоя: поверхностные, локализованные в диапазоне глубин от -5 до $+5$ км; промежуточные – от $+5$ до $+20$ км; глубокие – от $+20$ до $+35$ км. Практически вся сейсмичность в 2016 г. была сосредоточена в верхнем и нижнем слоях. С помощью программы ZMAP были определены представительный класс $K_{\text{пред}}$ и угол наклона графика повторяемости γ для событий в каждом слое. Для поверхностных землетрясений (629 событий) получился $K_{\text{пред}}=3.9$ при $\gamma=1.09 \pm 0.04$, а для глубоких (295 событий) – $K_{\text{пред}}=3.6$ при $\gamma=1.21 \pm 0.07$. Большие значения угла наклона связаны с магматическими процессами. В промежуточном слое было локализовано всего девять землетрясений.

На вулкане **Безымянный** с апреля по октябрь 2016 г. корректный сейсмический мониторинг был невозможен из-за извержения вулкана Ключевской, сопровождавшегося сильным вулканическим дрожанием, интенсивность которого снизилась до 1.0 мкм/с только 27 октября. С 28 октября стали регистрироваться единичные поверхностные землетрясения из района вулкана Безымянный, а с 9 ноября по спутниковым данным начала отмечаться термальная аномалия на экструзивном куполе вулкана. Разница температур земной поверхности в месте аномалии и окружающей среды (фона) 12 декабря достигла 60°C . На основании высокой температуры аномалии [15] и повышенной сейсмичности на вулкане Безымянный был сделан прогноз извержения, переданный в Камчатский филиал РЭС 13 декабря [16]. В прогнозе ожидалось эксплозивное извержение в последующие 30 дней. Мощная парогазовая эмиссия с высотой эруптивного облака до 6 км над уровнем моря была зафиксирована 15 декабря с $04^{\text{h}}00^{\text{m}}$ до $05^{\text{h}}00^{\text{m}}$ по видео наблюдениям. В 2016 г. для вулкана Безымянный повышенный код опасности выставлялся 16 раз: три – «оранжевый»; 13 – «желтый». Землетрясение с $K_s=5.4$ произошло 22 ноября в $14^{\text{h}}34^{\text{m}}$ в постройке вулкана. Всего в 2016 г. в радиусе 6 км от вулкана и диапазоне глубин от вершины нового купола до 8 км ниже уровня моря было локализовано 43 землетрясения с $2.3 \leq K_s \leq 5.4$, выделившаяся суммарная энергия которых составила $\Sigma E \sim 0.49 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.

Вулкан Плоский Толбачик. Ближайшая телеметрическая станция KMNR [1, 2] расположена в 10 км от кратера вулкана. В 2016 г. в окружности радиусом 20 км, включающей вышеназванный вулкан и Толбачинский дол, было локализовано 191 землетрясение с $2.5 \leq K_s \leq 7.5$ в диапазоне глубин от кратера до 29.1 км ниже уровня моря. Землетрясение с максимальным классом $K_s=7.5$ произошло 18 сентября в $20^{\text{h}}22^{\text{m}}$ на глубине 14.5 км. Выделенная сейсмическая энергия локализованных землетрясений составила $\Sigma E \sim 9.05 \cdot 10^7 \text{ Дж}$, $K_{\text{пред}}=3.5$, угол наклона совпадает со значением региональных тектонических землетрясений $\gamma=0.48 \pm 0.03$.

Из-за повышенной сейсмичности на Ключевском вулкане корректный сейсмический мониторинг Плоского Толбачика был невозможен в сентябре-октябре 2016 года. В течение года на вулкане Плоский Толбачик в основном наблюдалась «фоновая» сейсмическая и вулканическая активность. И только десять раз, когда на вулкане регистрировалась повышенная сейсмичность, выставлялся «желтый» код.

На вулканах **Крестовский** и **Ушковский** в 2016 г. с 15 по 29 февраля наблюдалась «повышенная» сейсмичность, возможно связанная с подвижкой ледника. За этот период было локализовано 109 поверхностных землетрясений, эпицентры которых располагались в узком секторе северо-западного склона вулкана Ушковский. Здесь расположен крупнейший пульсирующий ледник России Бильченок. Всего в радиусе 10.1 км от вулканов и диапазоне глубин $-1.9 \leq h \leq 25.8$ км было локализовано 120 землетрясений с $3.1 \leq K_s \leq 5.2$ ($\Sigma E \sim 0.105 \cdot 10^7$ Дж), для которых представительный класс $K_{\text{пред}}=3.6$ [6]. Землетрясение с максимальным классом ($K_s=5.2$) зарегистрировано 16 апреля в 06^h23^m на глубине $h=12.1$ км под постройкой вулкана Крестовский.

Вулканы Корякский и **Авачинский** расположены в 25–30 км от городов Петропавловск-Камчатский и Елизово и поэтому представляют наибольшую потенциальную угрозу для населения. В 2016 г. вулканы были спокойны, их сейсмичность не превышала обычного «нормального, фонового» уровня.

В радиусе 8 км от Авачинского вулкана и диапазоне глубин от кратера до 6.2 км (рис. III.2) было локализовано 221 землетрясение ($\Sigma E \sim 0.31 \cdot 10^7$ Дж), для которых $K_{\text{пред}}=2.3$, $\gamma=0.49 \pm 0.05$. Землетрясение с максимальным классом ($K_s=5.8$) зарегистрировано 1 августа в 00^h09^m под постройкой вулкана ($h=1.4$ км).

В радиусе 9 км от Корякского вулкана были определены кинематические и динамические характеристики для 90 землетрясений ($1.7 \leq K_s \leq 7.0$, $-2.8 \leq h \leq 26$ км, $\Sigma E \sim 1.3 \cdot 10^7$ Дж). Землетрясение с $K_s=7.0$ произошло 28 февраля в 01^h40^m под постройкой вулкана ($h=2.1$ км).

Вулканы Горелый и **Мутновский** расположены в 70 км к югу от г. Петропавловска-Камчатского. В районе Мутновско-Гореловской группы вулканов находятся Мутновская и Верхне-Мутновская геотермальные электростанции (МгеоЭС и ВМгеоЭС соответственно на рис. III.3). Ближайшая к вулкану Мутновский сейсмическая станция МТВР [1, 2] расположена в 3 км от активного кратера. В 2016 г. в каталог Мутновско-Гореловской группы вошло 262 землетрясения, выделившаяся суммарная энергия которых составила $\Sigma E \sim 2.34 \cdot 10^6$ Дж. Практически вся сейсмичность была сосредоточена в районе вулкана Мутновский, в радиусе 8 км от его вершины было локализовано 229 землетрясений ($2.2 \leq K_s \leq 5.7$, $-0.9 \leq h \leq 21.9$ км, $K_{\text{пред}}=3.2$, $\gamma=0.96 \pm 0.04$). Землетрясение с максимальным классом ($K_s=5.7$) произошло на глубине $h=11.9$ км под постройкой Мутновского вулкана 24 февраля в 13^h02^m.

Ближайшая к вулкану Горелый станция GRL [1, 2] расположена в 4 км от кратера. В течение всего года станцией регистрировались спазматическое вулканическое дрожание и слабые локальные поверхностные сейсмические события от вулкана. В радиусе 7 км от вулкана Горелый в 2016 г. было локализовано всего четыре землетрясения с $3.6 \leq K_s \leq 5.1$.

В 2016 г. из-за повышенной сейсмичности «желтый» код выставлялся на вулкане Горелый 112 раз, на вулкане Мутновский – три раза.

В 2016 г. вулканическая активность Мутновско-Гореловской группы вулканов проявлялась только в виде фумарольной деятельности.

Вулкан Жупановский расположен в ~70 км к север–северо-востоку от г. Петропавловска-Камчатского. Вулкан относится к юго-восточному вулканическому поясу Камчатки и представляет собой восточную часть Дзензур-Жупановского вулканического хребта, образованную четырьмя слившимися конусами стратовулканов.

В 2016 г. сейсмический мониторинг проводился по удаленным станциям [1, 2], ближайшие из которых (SDL, KRE, KRX) расположены от него в 38–40 км в районе Авачинской группы вулканов (рис. III.4). Всего в исследуемый период в районе Жупановского вулкана ($\varphi=53.40\text{--}53.90^\circ\text{N}$, $\lambda=158.70\text{--}159.65^\circ\text{E}$) было локализовано 52 землетрясения ($2.5 \leq K_s \leq 8.1$) в диапазоне глубин 2.1–23.8 км, из них 28 – в радиусе 20 км

от вершины вулкана. Выделенная в очагах суммарная сейсмическая энергия составила $\Sigma E \sim 1.54 \cdot 10^8 \text{ Дж}$. Землетрясение с максимальным классом ($K_s=8.1$) произошло 13 октября в 09^h18^m на глубине 15.4 км под постройкой вулкана.

В 2016 г. продолжалось извержение Жупановского вулкана, сопровождавшееся пепловыми выбросами высотой до 10 км над уровнем моря. Самый высокий «красный» код опасности в исследуемый период присваивался вулкану четыре раза, «оранжевый» – три раза и «желтый» – 33 раза. Все извержения, зарегистрированные по сейсмическим данным, подтверждены видео и (или) спутниковыми наблюдениями.

Вулкан Карымский в 2016 г. продолжал извергаться. Ближайшая станция КП расположена на юго-восточном склоне в 1.5 км от кратера [1, 2]. 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 исследуемый период в радиусе 10 км от вулкана было зарегистрировано всего одно землетрясение. Поэтому все основные выводы о деятельности вулкана сделаны по данным одной станции – КП.

На рис. III.7 показано количество локальных ($2 < K_s < 6$) поверхностных землетрясений, большинство из которых – взрывы в кратере. Гистограмма наглядно показывает периоды усиления и спада активности вулкана. Во время активизации регистрировались события, сопровождавшие газо-пепловые выбросы высотой до 3000 м над кратером. В 2016 г. для вулкана Карымский повышенный код опасности выставлялся 151 раз: 44 – «оранжевый»; 107 – «желтый».

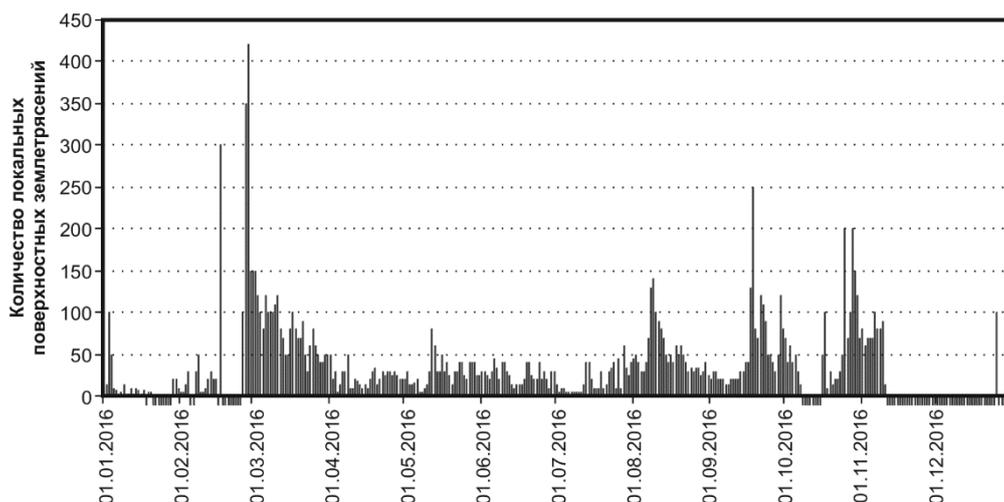


Рис. III.7. Сейсмичность вулкана Карымский в 2016 г. по данным сейсмостанции КП.
Значение меньше «0» означает отсутствие данных

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.5) [1, 2]. В 2016 г. в районе вулкана Кизимен ($\varphi=54.90\text{--}55.54^\circ\text{N}$, $\lambda=159.82\text{--}160.80^\circ\text{E}$) было локализовано 46 землетрясений ($3.5 \leq K_s \leq 8.0$, $-1.5 \leq h \leq 35.9 \text{ км}$), из них 20 – в радиусе 20 км от вершины вулкана [8]. Суммарная энергия землетрясений составила $\Sigma E \sim 1.96 \cdot 10^8 \text{ Дж}$. Землетрясение с $K_s=8.0$ ($h=4.8 \text{ км}$) произошло вне зоны вулкана 26 марта в 20^h16^m. При регистрации повышенной сейсмичности в 2016 г. «желтый» код присваивался вулкану три раза.

В 2016 г. на вулкане Кизимен наблюдалась вулканическая активность только в виде fumarольной деятельности.

Литература

1. Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Кугаенко Ю.А., Левина В.И., Сениюков С.Л., Сергеев В.А., Шевченко Ю.В., Яшук В.В. Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 году // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 18–40.
2. Чебров Д.В., Дроздина С.Я., Сениюков С.Л., Шевченко Ю.В., Митюшкина С.В. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 65–72.
3. Чебров Д.В., Дроздина С.Я., Сениюков С.Л., Шевченко Ю.В., Митюшкина С.В. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 67–73.
4. Дроздин Д.В., Дроздина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – М.: ИФЗ РАН, 2010. – Т. 46, № 3. – С. 22–34.
5. Сениюков С.Л. Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений в 2000–2004 гг. // Вулканология и сейсмология. – 2006. – № 3. – С. 68–78.
6. Weimer S. A software package to analyze seismicity: ZMAP // Seism. Res. Lett. – 2001. – Vol. 72. – P. 373–382.
7. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. – М.: Наука, 1972. – 117 с.
8. Part_IV-2016. 12_Volcano-regions-of-Kamchatka_2016.xls // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD-ROM.
9. Нуждина И.Н. (отв. сост.), Навылова О.А., Навылова Н.А., Демянчук М.В., Соболевская О.В., Кожевникова Т.Ю., Толокнова С.Л. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Северная группа вулканов // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 170.
10. Нуждина И.Н. (отв. сост.), Кожевникова Т.Ю., Толокнова С.Л., Соболевская О.В., Назарова З.А. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Авачинская группа вулканов // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 171.
11. Нуждина И.Н. (отв. сост.), Кожевникова Т.Ю., Толокнова С.Л., Назарова З.А., Соболевская О.В. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Мутновско-Гореловская группа вулканов // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 172.
12. Нуждина И.Н. (отв. сост.), Кожевникова Т.Ю., Толокнова С.Л., Назарова З.А., Соболевская О.В., Навылова Н.А. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Вулкан Жупановский // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 173.
13. Нуждина И.Н. (отв. сост.), Кожевникова Т.Ю., Толокнова С.Л., Назарова З.А., Соболевская О.В. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Вулкан Кизимен // Землетрясения России в 2016 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 174.
14. Гусев А.А., Мельникова В.Н. Связь между магнитудами – среднемировые и для Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 1990. – № 6. – С. 55–63.
15. Сениюков С.Л. Прогноз извержений вулканов Ключевской и Безымянный на Камчатке. – Saarbrücken: LAP LAMBERTS Academic Publishing, 2013. – 144 p.
16. Чебров Д.В., Фирстов П.П., Сениюков С.Л., Близнецов В.Е., Воропаев П.В., Гарбузова В.Т., Дроздина С.Я., Кожевникова Т.Ю., Кугаенко Ю.А., Назарова З.А., Нуждина И.Н., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К., Сероветников С.С., Соболевская О.В. Активность вулкана Безымянный (Камчатка) в 2016–2017 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2017. – № 1 (33). – С. 5–11.