

III. Результаты детального сейсмического мониторинга

Непрерывные наблюдения

Вулканы Камчатки

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

КФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

В 2022 г. радиотелеметрическая сеть сейсмических станций Камчатского филиала (КФ) ФИЦ ЕГС РАН в вулканических районах сохранилась без изменений по сравнению с 2021 г. [1, 2]. 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 мен (рис. III.5). В табл. III.1 приведены сведения о вулканах, для которых проводился сейсмический мониторинг.

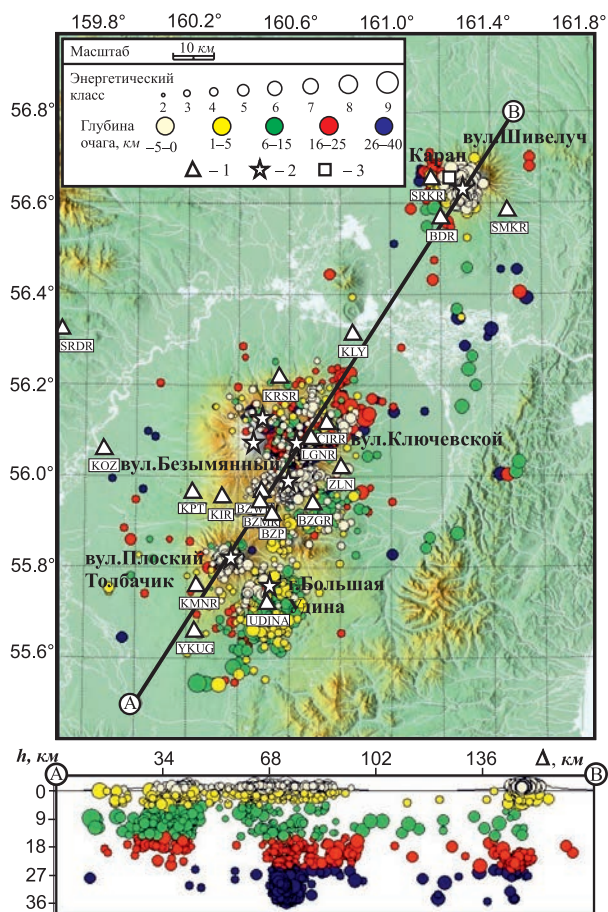


Рис. III.1. Карта эпицентров землетрясений в районе Северной группы вулканов в 2022 г., и проекция очагов на вертикальный разрез А–В: 1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан; 3 – экструзия Каран

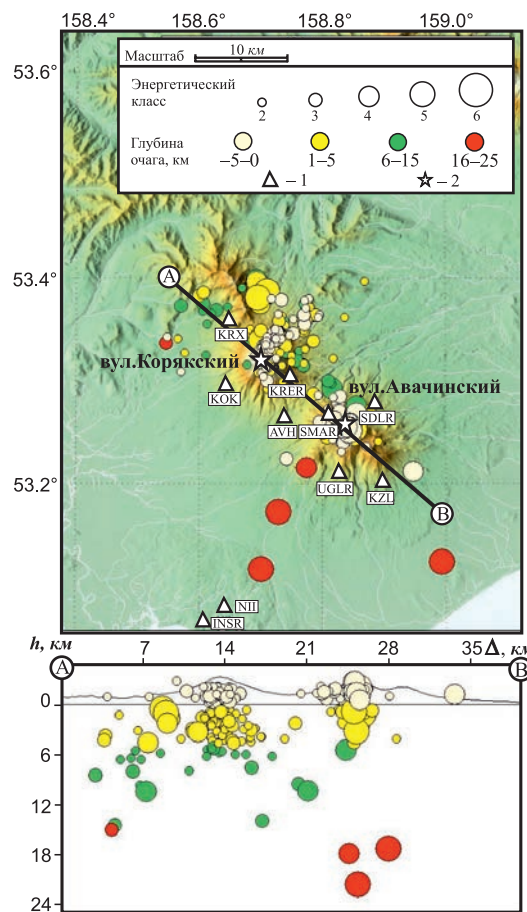


Рис. III.2. Карта эпицентров землетрясений в районе Авачинской группы вулканов в 2022 г., и проекция очагов на вертикальный разрез А–В: 1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан

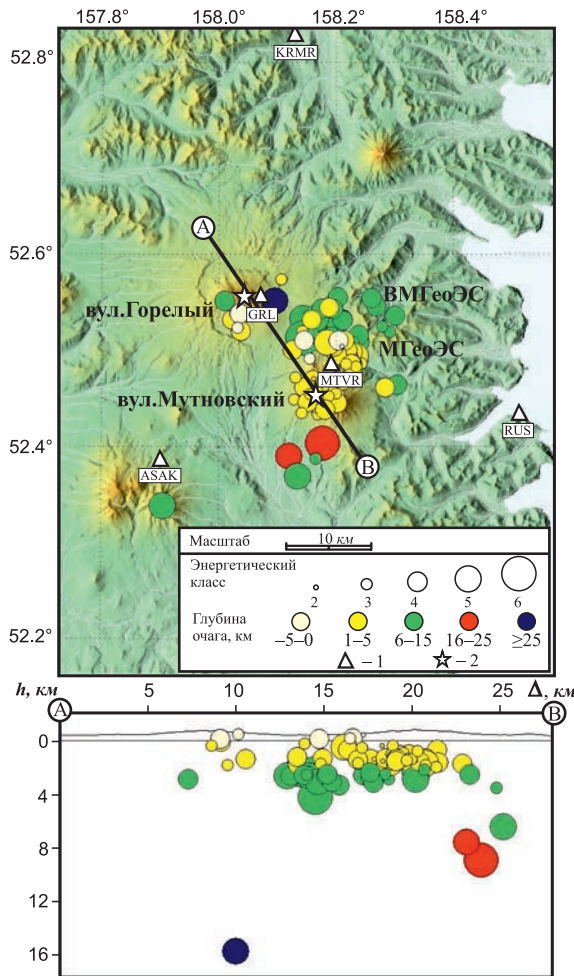


Рис. III.3. Карта эпицентров землетрясений в районе Мутновско-Гореловской группы вулканов в 2022 г., и проекция очагов на вертикальный разрез А–В:
1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан

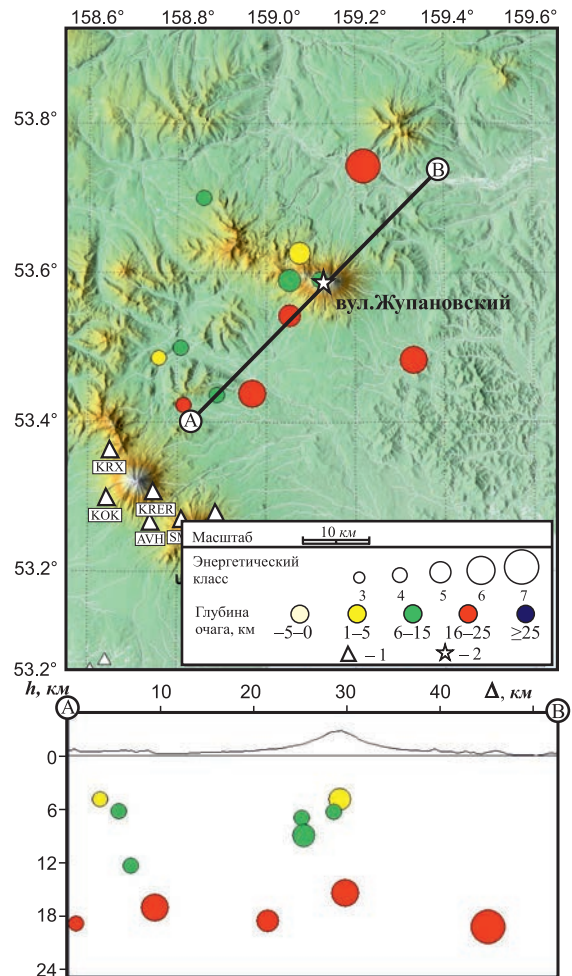


Рис. III.4. Карта эпицентров землетрясений в районе вулкана Жупановский в 2022 г., и проекция очагов на вертикальный разрез А–В:
1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан

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}	Уровень надежной регистрации $K_{\text{пред}}$ и угол наклона γ в 2022 г.
	φ , °N	λ , °E				
Авачинская группа вулканов						
Авачинский	53.25	158.83	2741	350	3.0	2.4/0.57±0.06
Корякский	53.32	158.72	3456		3.0	1.7/0.71±0.06
Мутновско-Гореловская группа вулканов						
Горелый	52.55	158.03	1829		4.5	мало данных
Мутновский	52.45	158.20	2323		4.5	3.6/0.74±0.1
Северная группа вулканов						
Шивелуч	56.63	161.32	2600		3.5	4.7/1.66±0.05
Безымянный	55.97	160.58	2869		3.0	2.7/0.57±0.04
Крестовский	56.12	160.50	4108		4.0	3.0/0.42±0.14
Ушковский	56.07	160.47	3943			
Плоский	55.82	160.37	3085	400	4.0	3.2/0.59±0.07
Толбачик						

Название вулкана	Координаты вершины		Абсолютная высота вершины, м	Диаметр кратера, м	Теоретический уровень надежной регистрации, K_{\min}	Уровень надежной регистрации $K_{\text{пред}}$ и угол наклона γ в 2022 г.
	$\varphi, ^\circ\text{N}$	$\lambda, ^\circ\text{E}$				ZMAP
Ключевской	56.07	160.63	4750	700	3.0	(за период 01.01.2022–15.10.2022) для поверхностных – $3.1/0.97 \pm 0.04$; для промежуточных – мало данных; для глубоких – $3.8/0.46 \pm 0.08$
Остальные вулканы						
Кизимен	55.13	160.33	2375		4.5	мало данных
Жупановский	53.58	159.16	2923		4.9	мало данных
Карымский	54.05	159.43	1536	250	6.5	мало данных

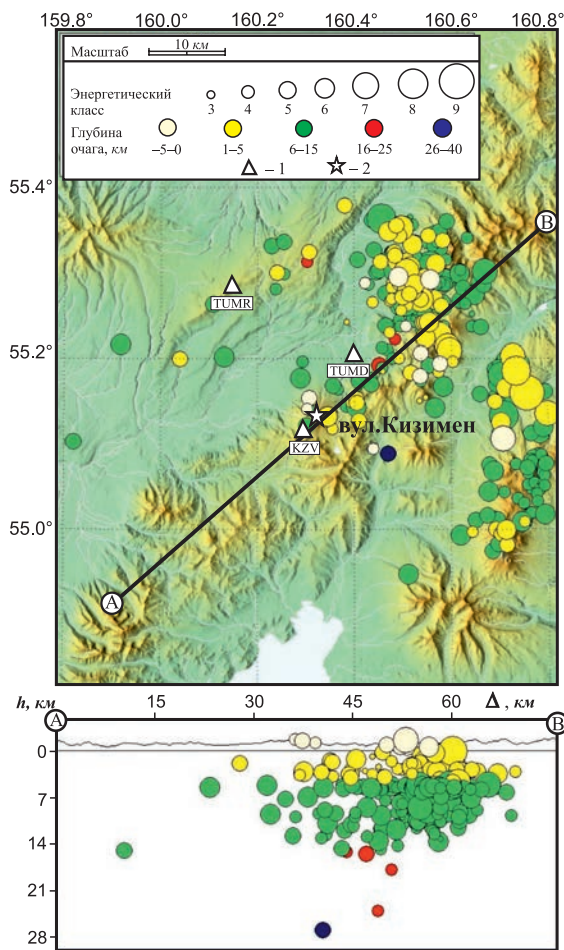


Рис. III.5. Карта эпицентров землетрясений в районе вулкана Кизимен в 2022 г., и проекция очагов на вертикальный разрез А–В: 1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан

Представительный класс и угол наклона графика повторяемости землетрясений определялись с помощью автоматической процедуры программы ZMAP [7]. Метод основан на оценке представительного класса по максимальному количеству землетрясений в выборке и может применяться в случаях, когда количество событий $N \geq 50$. 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 производился только подсчет их количества. Для более сильных землетрясений (обычно с $K_s \geq 6.0$ [8]), зарегистрированных удаленными

Каталог Северной группы обрзан по 15.10.2022 г. в основном в связи с многочисленной сейсмической подготовкой к катастрофическому извержению вулкана Шивелуч, которое произошло с 10 по 12 апреля 2023 г. [3]. В настоящее время обработано примерно 2500 из 7500 событий, зарегистрированных за период с 16.10. по 31.12.2022 года.

Теоретический уровень надежной регистрации K_{\min} (табл. III.1) рассчитывался с помощью программы Kam_tst (автор – сотрудник КФ ФИЦ ЕГС РАН Д.В. Дроздин). Расчет параметров вулканических событий в 2022 г. (координаты эпицентра, глубина, энергия) проводился по программе DIMAS [4]. Для лоцирования сейсмических событий Северной и Авачинской групп вулканов использовались локальные годографы [5], для вулканов Мутновский, Горелый, Жупановский, Кизимен, Карымский – одномерная скоростная модель Камчатского региона с возможностью поиска решений положений гипоцентров землетрясений выше уровня моря. Каталог для всех групп вулканов формировался в сетевой базе данных (<http://www.emsd.ru/ts/>) с задержкой не более суток и доступен по адресу: <http://www.emsd.ru/sdis/main.php> [1, 6].

от вулкана станциями, определялись кинематические и динамические параметры, которые помещались в сетевую базу данных.

Для каждого вулкана ежесуточно выставлялся цветовой код опасности по сейсмическим, видео и спутниковым наблюдениям и размещался в Интернете по адресу: <http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>. «Красный» код присваивался при очень высокой сейсмической активности и регистрации пепловых выбросов высотой больше или равной 8 км над уровнем моря (н.у.м.). «Оранжевый» код – при регистрации большого количества локальных землетрясений, пепловых выбросов на высоту до 8 км н.у.м. и (или) при фиксировании 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 или свечения по видеонаблюдениям. Когда на вулкане сейсмическая и вулканическая активность не превышала фоновый уровень, выставлялся «зеленый» код опасности.

В электронный каталог Северной группы вулканов вошли параметры 11598 событий (рис. III.1, [9]), лоцированных в период с 1 января по 15 октября 2022 года. В очагах этих землетрясений было высвобождено суммарной сейсмической энергии $\Sigma E \sim 1.4 \cdot 10^9 \text{ Дж}$. В 2022 г. в каталог землетрясений Авачинской группы включены параметры 276 событий (рис. III.2, [9]), высвобожденная ими сейсмическая энергия составила $\Sigma E \sim 0.13 \cdot 10^7 \text{ Дж}$, в каталог Мутновско-Гореловской группы (рис. III.3, [9]) – 108 ($\Sigma E \sim 0.32 \cdot 10^7 \text{ Дж}$). Каталоги землетрясений для районов вулканов Жупановский (рис. III.4, [9]) и Кизимен (рис. III.5, [9]) содержат соответственно параметры 12 событий ($\Sigma E \sim 0.83 \cdot 10^7 \text{ Дж}$) и 390 событий ($\Sigma E \sim 1.23 \cdot 10^9 \text{ Дж}$).

В печатные варианты каталогов землетрясений вулканических районов Камчатки помещены параметры: Северная группа вулканов – 55 землетрясений с $M \geq 1.0$ ($K_s \geq 6.1$) [10]; Авачинская группа вулканов – восемь землетрясений с $M \geq 0$ ($K_s \geq 4.6$) [11]; Мутновско-Гореловская группа вулканов – 13 землетрясений с $M \geq 0$ ($K_s \geq 4.6$) [12]; вулкан Жупановский – шесть землетрясений с $M \geq 0$ ($K_s \geq 4.6$) [13] и вулкан Кизимен – 27 землетрясений с $M \geq 1.1$ ($K_s \geq 6.2$) [14].

В исследуемый период высокая сейсмическая и вулканическая активность наблюдалась на вулканах Шивелуч, Безымянный, Ключевской, Горелый и Карымский.

Вулкан Шивелуч – самый северный действующий вулкан Камчатки – расположен в 45 км от поселка Ключи. Ближайшие радиотелеметрические станции (SRKR, SMKR и BDR) (рис. III.1) расположены на расстоянии 8.5–10.0 км от активного купола вулкана [2]. В январе-мае 2022 г. наблюдалось слабое экстрезивно-эксплозивное извержение вулкана Шивелуч в районе активного купола. Извержение сопровождалось периодической пепловой эмиссией и свечением купола в ночное время. За первые три месяца было лоцировано всего восемь землетрясений с энергетическим классом $3.7 \leq K_s \leq 5.8$ в диапазоне глубин $0.5 \leq h^1 \leq 27.1$ км [9, 10]. В апреле сейсмическая активность резко выросла, гипоцентры землетрясений находились на глубине ~20–28 км западнее экстрезии Каран (рис. III.1). С конца апреля и до июня наблюдалась миграция сейсмичности с глубины к поверхности и с запада на восток (от Карана к активному куполу). В этот период фиксировался и рост вулканической активности. Все это свидетельствовало о подъеме новой порции магмы, которая, вероятно, мигрировала с глубины к поверхности со стороны экстрезии Каран к активному куполу. Начиная с июня и до 15 октября вся сейсмичность была сосредоточена в постройке вулкана в районе активного купола [3].

¹ Для вулканических землетрясений глубина h (км) определяется от уровня моря: со знаком «+» – ниже уровня моря, со знаком «-» – над уровнем моря (н.у.м.).

Из-за неустойчивой работы станции SRKR в течение исследуемого периода локализовать землетрясения до уровня теоретического представительного класса $K_{\min}=3.5$ не всегда было возможно. Всего с 1 января по 15 октября в радиусе 12 км от вулкана было лоцировано 4014 землетрясений с энергетическим классом $2.9 \leq K_s \leq 6.7$ в диапазоне глубин $(-2.6) \leq h \leq 34.6$ км [9, 10], высвобождено сейсмической энергии $\Sigma E \sim 2.99 \cdot 10^8$ Дж.

Представительный класс и угол наклона графика повторяемости землетрясений получились равными 4.7 и 1.66 ± 0.05 (табл. III.1). Землетрясения с максимальным классом ($K_s=6.7$) зарегистрированы в постройке вулкана 27 июня в 07^h22^m ($h=-0.4$ км) и 4 июля в 12^h07^m ($h=-1.0$ км) [9, 10].

На протяжении исследуемого периода по спутниковым данным наблюдалась термальная аномалия на растущем куполе, свидетельствующая о присутствии на поверхности горячего магматического материала. По видеонаблюдениям фиксировалась парогазовая эмиссия с пеплом, а в темное время суток – свечение купола и сход раскаленных лавин. Высокий «оранжевый» код опасности на вулкане в период с 1 января по 15 октября выставлялся 135 раз, «желтый» – 100 раз.

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 [2].

В период с 1 января по 15 октября на Ключевском вулкане наблюдалась высокая сейсмическая активность. В радиусе 7 км от вулкана и диапазоне глубин от кратера до 40 км ниже уровня моря было лоцировано 4729 землетрясений с $\Sigma E \sim 0.36 \cdot 10^9$ Дж (рис. III.1, [9, 10]). Все землетрясения, как и в предыдущие годы, условно разделены по глубине на три слоя: поверхностные, лоцированные в диапазоне глубин от -5 до $+5$ км, промежуточные – от $+5$ до $+20$ км и глубокие – от $+20$ до $+35$ км. Практически вся сейсмичность в исследуемый период была сосредоточена в нижнем слое (4613 событий), что свидетельствует о притоке мантийных магм в промежуточный магматический очаг на глубине $h=20-35$ км. В верхнем слое было лоцировано 82 землетрясения, а в промежуточном – всего 34. Землетрясения с максимальным классом ($K_s=6.1$) произошли под постройкой вулкана на глубине $22.9 \leq h \leq 32.9$ км: 1 января в 13^h39^m; 4 января в 13^h47^m; 5 января в 05^h49^m; 18 февраля в 10^h57^m; 14 апреля в 00^h55^m, 21 апреля в 10^h44^m; 8 мая в 23^h21^m [9, 10].

Представительный класс и угол наклона графика повторяемости землетрясений для каждого слоя показаны в табл. III.1.

В течение исследуемого периода на Ключевском вулкане наблюдалась фоновая вулканическая активность. «Желтый» код опасности выставлялся всего десять раз: два – при регистрации термальной аномалии и восемь – при наличии в районе вулкана парогазовых шлейфов, содержащих ресуспендированный пепел.

Вулкан Безымянный. Ближайшая телеметрическая станция BZMR, расположенная в 7 км от кратера, позволяла регистрировать землетрясения с $K_s \geq 2.9$. В 2022 г. в период с 1 января по 15 октября на вулкане Безымянный регистрировалась высокая сейсмическая и вулканическая активность. В радиусе 6 км от вулкана было лоцировано 1810 землетрясений с классом $1.6 \leq K_s \leq 6.5$ в диапазоне глубин $(-2.5) \leq h \leq 13.7$ км [9, 10] с суммарной энергией $\Sigma E \sim 0.35 \cdot 10^8$ Дж. Землетрясение с максимальным классом ($K_s=6.5$) произошло 15 марта в 11^h16^m в постройке вулкана ($h=-1.0$ км) [9, 10]. Представительный класс и угол наклона графика повторяемости землетрясений получились равными 2.7 и 0.57 ± 0.04 (табл. III.1).

В исследуемый период на вулкане Безымянный произошли два эксплозивные извержения: 15 марта и 28 мая («красный» код опасности). Сейсмическая подготовка перед первым извержением проходила по обычному сценарию. В соответствии с алгоритмом прогноза [15], 5 марта в КФ РЭС было передано заключение о возможном извержении

вулкана с высотой пепловых выбросов от 6 до 15 км над уровнем моря в ближайшие 30 суток. Уточнение времени начала извержения на период с 11 по 18 марта было сделано 11 марта. Также была уточнена вероятность извержения с 71 до 90%.

Прогноз по методу «СОУС'09» [16] в КФ РЭС был передан 5 марта с формулировкой: «В настоящее время вероятность P извержения вулкана Безымянный повышена в 14 раз относительно среднемноголетней вероятности (и в 230 раз относительно вероятности извержения в отсутствие предвестника), что составляет на ближайшие семь дней $P=0.40$ ». 11 марта параметры прогноза были уточнены: «Вероятность P извержения вулкана Безымянный повышена в >23 раза относительно среднемноголетней вероятности (и в >370 раз относительно вероятности извержения в отсутствие предвестника), что составляет на ближайшие семь дней $P=90\%$ ».

По сейсмическим данным, пароксизмальная фаза извержения с высотой пепловых выбросов до 10 км над уровнем моря произошла 15 марта в 12^h50^m и продолжалась ~20 мин. По данным видеонаблюдений, высота пепловой колонны составила 10 км над уровнем моря. В своем заключении КФ РЭС дал следующую оценку прогнозам: «Извержение вулкана соответствует прогнозам по методике статистической оценки уровня сейсмичности («СОУС'09», В.А. Салтыков, прогноз от 05.03.2022 г., последнее уточнение 11.03.2022 г.), лаборатории исследований сейсмической и вулканической активности (ИСВА) КФ ФИЦ ЕГС РАН (С.Л. Сеньюков и др., прогноз от 05.03.2022 г., уточнение 11.03.2022 г.) и оценке динамики извержения (Заключение № 880 (1318) КФ РЭС от 15.03.2022 г.)».

Особенностью этого извержения стало то, что впервые за 23 года наблюдений после пароксизмальной фазы пепловая эмиссия не прекратилась [17]. В течение марта-апреля пепловые выбросы до ~4 км над уровнем моря по видеоданным наблюдались каждые 5–15 дней. В первой половине мая частота пепловых выбросов возросла, а с 19 мая пепловая эмиссия до высоты ~5 км над уровнем моря наблюдалась непрерывно до следующего пароксизма 28 мая (рис. III.6).



Рис. III.6. Фото эруптивной колонны высотой около 13 км н.у.м. на вулкане Безымянный (на заднем плане). На переднем плане – поселок Ключи и вулкан Ключевской. Извержение 28 мая 2022 г. Фото Ю.В. Демянчука

Наряду с ростом частоты пепловых выбросов наблюдалось увеличение сейсмической активности. Поэтому 27 мая в рамках еженедельного прогноза активности вулкана Безымянный сотрудниками лаборатории ИСВА в КФ РЭС было передано заключение о продолжении и усилении пепловой эмиссии. 28 мая на фоне непрерывной пепловой эмиссии до 6 км над уровнем моря было зафиксировано увеличение высоты пепловых выбросов до ~13 км в течение нескольких часов (рис. III.6). Периодическая эруптивная деятельность вулкана продолжалась до сентября.

Высокий «оранжевый» код опасности на вулкане в период с 1 января по 15 октября выставлялся 50 раз, «желтый» – 120.

Вулкан Плоский Толбачик. Ближайшая телеметрическая станция KMNR [2] расположена в 10 км от кратера вулкана. С 1 января по 15 октября в окружности радиусом 20 км, включающей вулкан Плоский Толбачик, Толбачинский дол и потухшие вулканы Большая Удина и Малая Удина, было лоцировано 608 землетрясений с $1.6 \leq K_s \leq 8.6$ в диапазоне глубин $(-2.8) \leq h \leq 31.0$ км [9, 10] с $\Sigma E \sim 5.36 \cdot 10^8$ Дж [9, 10]. Землетрясение с максимальным классом $K_s = 8.6$ произошло 21 июля в 00^h32^m на глубине 9 км в районе реки Толуд. Представительный класс и угол наклона графика повторяемости землетрясений получились равными 3.2 и 0.59 ± 0.07 (табл. III.1).

В течение года до 15 октября на вулкане Плоский Толбачик в основном наблюдалась фоновая сейсмическая и вулканическая активность. «Желтый» код опасности выставлялся 23 раза, когда в районе вулкана регистрировалась повышенная сейсмичность.

На вулканах **Крестовский и Ушковский** с 1 января по 15 октября наблюдалась фоновая сейсмичность. В радиусе 10.1 км от вулканов было лоцировано 57 землетрясений с $2.3 \leq K_s \leq 5.3$ ($\Sigma E \sim 0.74 \cdot 10^6$ Дж) в диапазоне глубин $(-1.7) \leq h \leq 33.7$ км [9, 10]. Максимальный класс $K_s = 5.3$ зарегистрирован 25 апреля в 05^h42^m на глубине $h = 26.3$ км под постройкой вулкана Крестовский.

Вулканы Корякский и Авачинский расположены в 25–30 км от городов Петропавловска-Камчатского и Елизово и поэтому представляют наибольшую потенциальную угрозу для населения. В 2022 г. в каталог Авачинской группы вулканов включены параметры 276 землетрясений с $1.6 \leq K_s \leq 5.4$, $(-2.8) \leq h \leq 24.4$ км, выделившаяся суммарная энергия которых составила $\Sigma E \sim 1.25 \cdot 10^6$ Дж [9, 11].

В радиусе 8 км от Авачинского вулкана (рис. III.2) было лоцировано 112 землетрясений с $1.6 \leq K_s \leq 5.4$ ($(-2.7) \leq h \leq 17.8$ км; $\Sigma E \sim 0.61 \cdot 10^6$ Дж). Максимальный класс $K_s = 5.4$ зарегистрирован 17 ноября в 10^h22^m под постройкой вулкана ($h = 0.8$ км) [9, 11]. Повышенный «желтый» код опасности для вулкана Авачинский выставлялся только один раз по сейсмическим данным.

В радиусе 9 км от Корякского вулкана в 2022 г. были определены кинематические и динамические характеристики для 164 землетрясений ($1.6 \leq K_s \leq 5.4$, $\Sigma E \sim 0.64 \cdot 10^6$ Дж). Землетрясение с $K_s = 5.4$ произошло 29 мая в 02^h05^m под постройкой вулкана ($h = 1.1$ км) [9, 11]. Представительный класс и угол наклона графика повторяемости землетрясений Авачинской группы вулканов показаны в табл. III.1. В течение всего исследуемого периода на Корякском вулкане наблюдалась фоновая сейсмическая и вулканическая активность. Повышенный «желтый» код опасности для вулкана Корякский выставлялся один раз по сейсмическим данным.

Вулканы Горелый и Мутновский расположены в 70 км к югу от Петропавловска-Камчатского. В районе Мутновско-Гореловской группы вулканов находятся Мутновская и Верхне-Мутновская геотермальные электростанции (МгеоЭС и ВМгеоЭС соответственно на рис. III.3). В 2022 г. в каталог Мутновско-Гореловской группы включены параметры 108 землетрясений $2.0 \leq K_s \leq 5.9$ с суммарной энергией $\Sigma E \sim 0.32 \cdot 10^7$ Дж. Землетрясение с максимальным классом ($K_s = 5.9$) произошло на глубине $h = 5.6$ км

вне зоны вулканов 14 августа в 22^h34^m [9, 12]. Ближайшая к Мутновскому вулкану сейсмическая станция МТВР [2] расположена в 3 км от активного кратера. В радиусе 8 км от вершины вулкана Мутновский было лоцировано 55 землетрясений ($2.0 \leq K_s \leq 5.8$) в диапазоне глубин $(-0.3) \leq h \leq 20.1$ км [9, 12]. Максимальный класс землетрясения ($K_s=5.8$) был зарегистрирован под постройкой вулкана ($h=20.1$ км) 13 июля в 10^h11^m [9, 12]. Представительный класс и угол наклона графика повторяемости землетрясений показаны в табл. III.1. В 2022 г. на Мутновском вулкане наблюдалась повышенная сейсмичность. В течение года станцией МТВР регистрировались спазматическое вулканическое дрожание и слабые локальные поверхностные сейсмические события от вулкана. «Желтый» код опасности для вулкана выставлялся 56 раз, из них только два – по спутниковым данным, остальные – при повышенной сейсмичности. «Белый» код выставлялся 103 раза, когда данные с РТСС не поступали.

Ближайшая к вулкану Горелый станция GRL [2] расположена в 4 км от кратера. В 2022 г. в радиусе 7 км от вершины вулкана Горелый было лоцировано всего восемь землетрясений [9, 12]. Землетрясение с максимальным классом ($K_s=4.6$) произошло 8 июля в 10^h12^m под постройкой вулкана ($h=35.4$ км). Для вулкана Горелый «желтый» код опасности выставлялся 319 раз из-за повышенного уровня сейсмичности, когда количество слабых локальных сейсмических событий превышало $N > 50$ в сутки.

Вулканическая активность Мутновско-Гореловской группы вулканов проявлялась только в виде fumarольной деятельности.

Вулкан Жупановский расположен в ~70 км к север–северо-востоку от Петропавловска-Камчатского. Вулкан относится к юго-восточному вулканическому поясу Камчатки. В 2022 г. сейсмический мониторинг проводился по удаленным станциям [2], ближайшие из которых (SDLR, KRER, KRX) расположены в районе Авачинской группы вулканов в 38–40 км от Жупановского вулкана (рис. III.4). Всего в исследуемый период в районе Жупановского вулкана ($\varphi=53.40-53.90^\circ\text{N}$, $\lambda=158.70-159.65^\circ\text{E}$) было лоцировано 12 землетрясений ($\Sigma E \sim 0.2 \cdot 10^7 \text{ Дж}$) с $3.6 \leq K_s \leq 6.8$ на глубинах $4.9 \leq h \leq 19.2$ км [8, 13], из них шесть – в радиусе 20 км от его вершины. Землетрясение с максимальным классом ($K_s=6.8$) произошло 30 декабря в 08^h52^m на глубине $h=19.2$ км в районе Жупановских Востряков [9, 13].

В 2022 г. из-за повышенной сейсмической активности вулкану один раз присваивался «желтый» код опасности, в остальное время наблюдалась фоновая сейсмичность. Вулканическая активность проявлялась только в виде fumarольной деятельности.

Вулкан Карымский в 2022 г. продолжал извергаться. Ближайшая станция КII расположена на юго-восточном склоне в 1.5 км от кратера [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 $K_s \geq 6.0$. В исследуемый период в районе Карымского вулкана ($\varphi=53.9-54.4^\circ\text{N}$, $\lambda=159.2-159.8^\circ\text{E}$) было лоцировано только одно землетрясение 28 апреля в 02^h09^m с $K_s=6.7$ на глубине $h=2.3$ км (<http://www.emsd.ru/ts/>). Все основные выводы о деятельности вулкана сделаны по данным одной станции КII.

В 2022 г. продолжалось умеренное, а временами сильное эксплозивное извержение в центральном кратере. На рис. III.7 показано количество зарегистрированных поверхностных сейсмических событий ($2 < K_s < 6$) в районе вулкана Карымский, большинство из которых – взрывы в кратере. Гистограмма наглядно показывает периоды усиления и спада активности вулкана. 13 июля произошло самое мощное за год извержение с максимальным газо-пепловым выбросом высотой ~12 км над уровнем моря, оценка высоты была сделана по спутниковым данным. После извержения РТСС КII перестала работать, ее засыпало пеплом. 13 августа по спутниковым данным было зарегистрировано еще одно извержение с пепловым выбросом до ~11–12 км над уровнем моря.

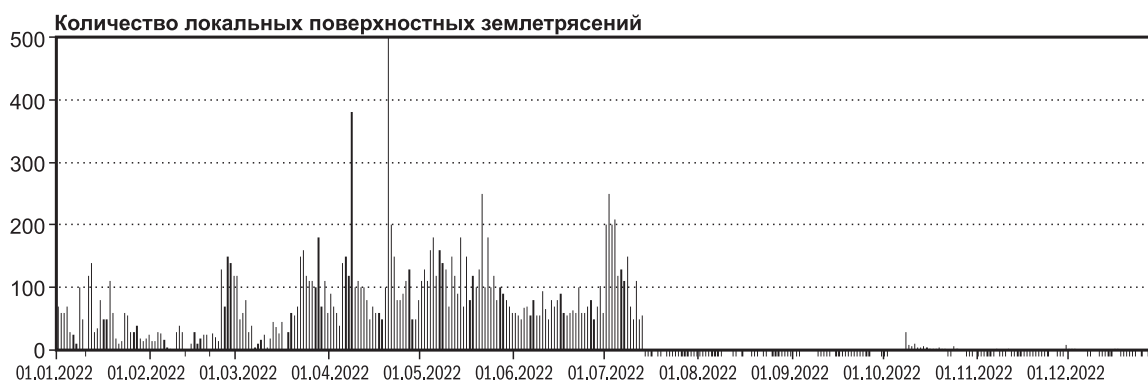


Рис. III.7. Сейсмичность вулкана Карымский в 2022 г. по данным сейсмостанции КИ.

Значение меньше «0» означает отсутствие данных

В 2022 г. для вулкана Карымский повышенные коды опасности выставлялись 179 раз: четыре раза – «красный», 66 – «оранжевый» и 109 – «желтый». При отсутствии данных 116 раз выставлялся «белый» код.

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) [2]. Из-за зашумленности каналов РТСС KZV в течение всего года слабые землетрясения лоцировать было невозможно. В 2022 г. в районе вулкана Кизимен ($\varphi=54.90-55.54^{\circ}\text{N}$, $\lambda=159.82-160.80^{\circ}\text{E}$) в диапазоне глубин $(-1.6)\leq h\leq 26.9$ км было лоцировано 390 землетрясений с $2.7\leq K_s\leq 7.1$ ($\Sigma E\sim 1.23\cdot 10^9$ Дж), из них в радиусе 15 км от вершины вулкана Кизимен – всего 32 события ($1.8\leq K_s\leq 7.1$) [9, 14]. Практически вся сейсмичность приурочена к району Щапинской гидротермальной системы. Максимальный класс землетрясения ($K_s=8.8$, $h=1.3$ км) зарегистрирован 27 апреля в 07^h33^m [9, 14].

В 2022 г. на вулкане Кизимен вулканическая активность проявлялась только в виде фумарольной деятельности.

Литература

1. Чебров Д.В., Тихонов С.А., Дрознин Д.В., Дрознина С.Я., Матвеев Е.А., Митюшкина С.В., Салтыков В.А., Сеньюков С.Л., Серафимова Ю.К., Сергеев В.А., Яцук В.В. Система сейсмического мониторинга и прогнозирования на Камчатке и ее развитие. Основные результаты наблюдений в 2016–2020 гг. // Российский сейсмологический журнал. – 2021. – Т. 3, № 3. – С. 28–49. – DOI: 10.35540/2686-7907.2021.3.02. – EDN: RUYRWU
2. Чебров Д.В., Дрознина С.Я., Сеньюков С.Л., Шевченко Ю.В., Митюшкина С.В. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2022 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024. – С. 79–90.
3. Сеньюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я., Кожевникова Т.Ю., Назарова З.А., Соболевская О.В. Предварительные результаты исследования сейсмичности в районе вулкана Шивелуч в 2022–2023 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов [Электронный ресурс]: Труды Девятой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Петропавловск-Камчатский, 24–30 сентября 2023 г. / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – С. 188–192. – URL: <https://emsd.ru/files/conf2023/collection2023.pdf>, свободный.
4. Дрознин Д.В., Дрознина С.Я. Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Сейсмические приборы. – М.: ИФЗ РАН, 2010. – Т. 46, № 3. – С. 22–34. – EDN: NEAXOZ

5. Сенюков С.Л. Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений в 2000–2004 гг. // Вулканология и сейсмология. – 2006. – № 3. – С. 68–78. – EDN: HTUGWF
6. Чеброва А.Ю., Чемарёв А.С., Матвеев Е.А., Чебров Д.В. Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН: принципы организации, основные элементы, ключевые функции // Геофизические исследования. – 2020. – Т. 21, № 3. – С. 66–91. – DOI: 10.21455/gr2020.3-5. – EDN: QQHRZU
7. Wiemer S. A software package to analyze seismicity: ZMAP // Seismological Research Letters. – 2001. – V. 72, N 3. – P. 373–382. – DOI: 10.1785/gssrl.72.3.373
8. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. – М.: Наука, 1972. – 117 с.
9. 2022-ER_App20_Volcano-regions-of-Kamchatka.xlsx [Электронный ресурс]: Список приложений для ежегодника «Землетрясения России в 2022 году» // Землетрясения России [сайт]. – [Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024]. Систем. требования: MS Excel, Open Office. – URL: http://www.gsras.ru/zr/app_22.html, свободный.
10. Нуждина И.Н. (отв. сост.); Должикова А.Н., Алехина Т.М., Соболевская О.В., Кожевникова Т.Ю., Назарова З.А. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Северная группа вулканов // Землетрясения России в 2022 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024. – С. 189–190.
11. Нуждина И.Н. (отв. сост.); Кожевникова Т.Ю., Назарова З.А., Соболевская О.В. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Авачинская группа вулканов // Землетрясения России в 2022 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024. – С. 190.
12. Нуждина И.Н. (отв. сост.); Кожевникова Т.Ю., Назарова З.А. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Мутновско-Гореловская группа вулканов // Землетрясения России в 2022 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024. – С. 191.
13. Нуждина И.Н. (отв. сост.); Назарова З.А., Соболевская О.В., Дрознина С.Я. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Вулкан Жупановский // Землетрясения России в 2022 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024. – С. 191–192.
14. Нуждина И.Н. (отв. сост.); Кожевникова Т.Ю., Назарова З.А., Толокнова С.Л., Соболевская О.В. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Вулкан Кизимен // Землетрясения России в 2022 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2024. – С. 192.
15. Сенюков С.Л. Прогноз извержений вулканов Ключевской и Безымянный на Камчатке. – Saarbrücken: LAP LAMBERTS Academic Publishing, 2013. – 144 с.
16. Saltykov V.A. A statistical estimate of seismicity level: The method and results of application to Kamchatka // Journal of Volcanology and Seismology. – 2011. – V. 5, N 2. – P. 123–128. – DOI: 10.1134/S0742046311020060. – EDN: ОНТІХN
17. Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я., Кожевникова Т.Ю., Назарова З.А., Соболевская О.В. Особенности сейсмичности вулкана Безымянный в 2022–2023 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов [Электронный ресурс]: Труды Девятой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. Петропавловск-Камчатский, 24–30 сентября 2023 г. / Отв. ред. Д.В. Чебров. – Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2023. – С. 183–187. – URL: <https://emsd.ru/files/conf2023/collection2023.pdf>, свободный.