

### III. Результаты детального сейсмического мониторинга

#### Непрерывные наблюдения

#### Вулканы Камчатки

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

Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский

В 2015 г. радиотелеметрическая сеть сейсмических станций Камчатского филиала (КФ) ФИЦ ЕГС РАН [1, 2] не изменилась по сравнению с 2014 г. [3] и 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 вулканов Жупановский (рис. III.4) и Кизимен (рис. III.5). В табл. III.1 приведены сведения о вулканах, для которых проводился сейсмический мониторинг.

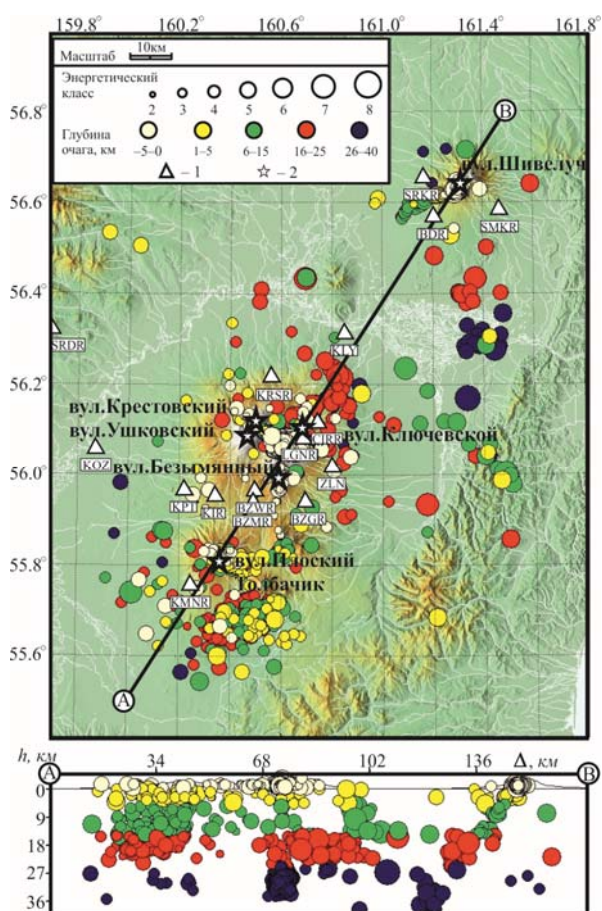


Рис. III.1. Карта эпицентров землетрясений в районе Северной группы вулканов в 2015 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А-В: 1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан

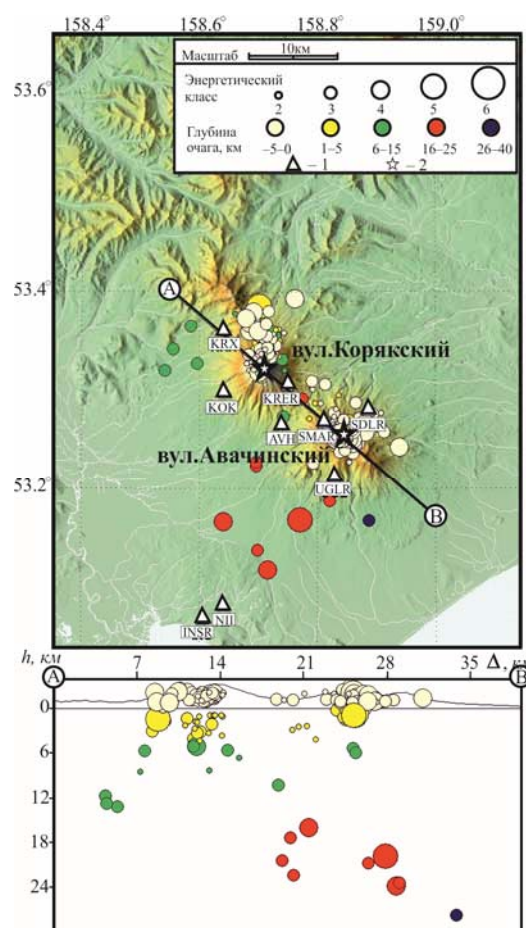


Рис. III.2. Карта эпицентров землетрясений в районе Авачинской группы вулканов в 2015 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А-В: 1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан

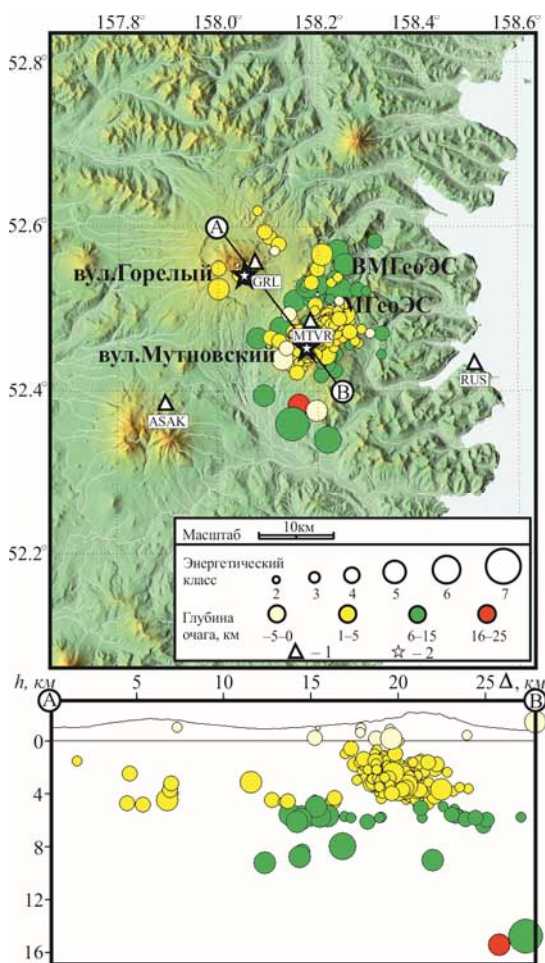


Рис. III.3. Карта эпицентров землетрясений в районе Мутновско-Гореловской группы вулканов в 2015 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А-В:  
1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан

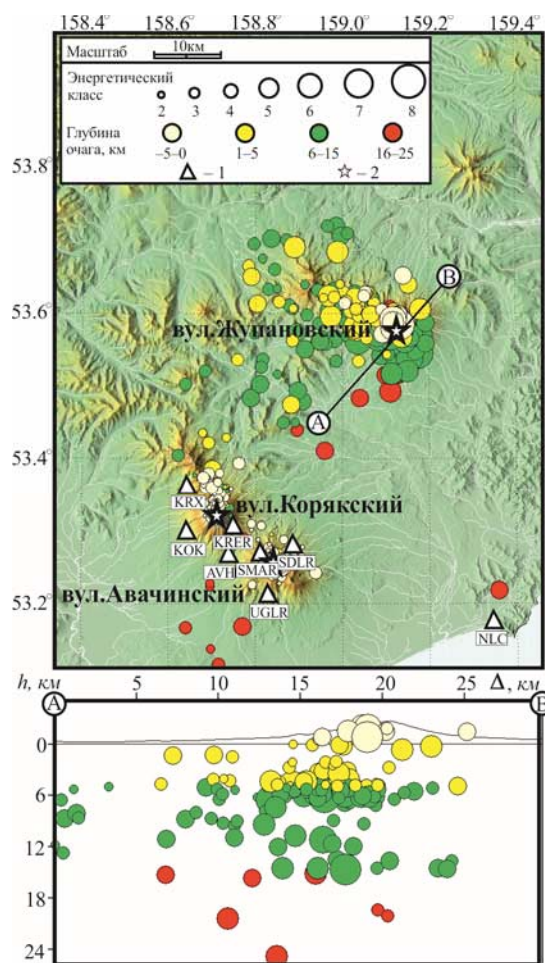
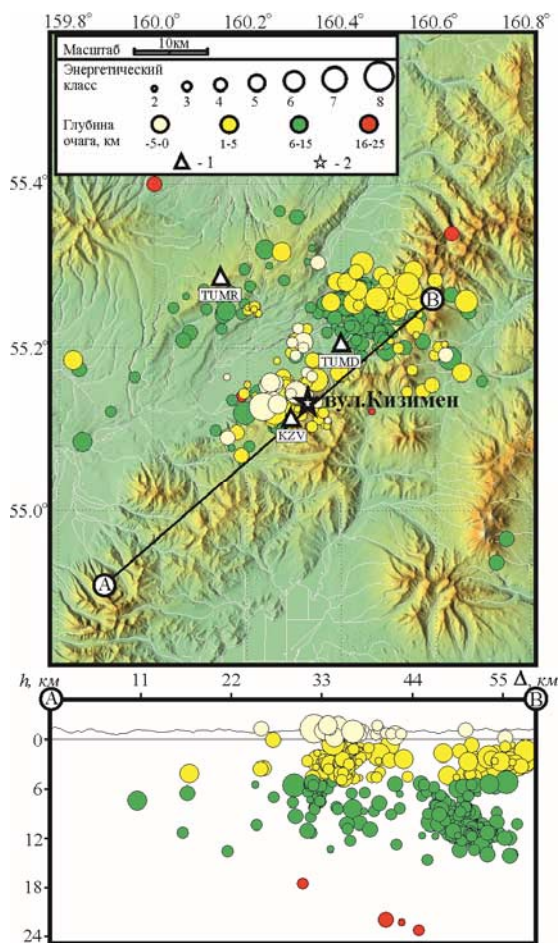


Рис. III.4. Карта эпицентров землетрясений в районе вулкана Жупановский в 2015 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А-В:  
1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан

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 2015 г. и проекция очагов на вертикальный разрез А–В:**  
1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан

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 и 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 наличие термальных аномалий по спутниковым данным. Когда на вулкане сейсмическая и вулканическая активность не превышала фоновый уровень, выставлялся «зеленый» код.

В 2015 г. в каталог Северной группы вулканов включено (рис. III.1, [8]) 5388 землетрясений, суммарная высвобожденная энергия которых составила  $\Sigma E \sim 5.073 \cdot 10^8 \text{ Дж}$ , в каталог Авачинской группы (рис. III.2, [8]) – 304 ( $\Sigma E \sim 1.667 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ ), Мутновско-Гореловской группы (рис. III.3, [8]) – 293 ( $\Sigma E \sim 1.23 \cdot 10^7 \text{ Дж}$ ). Каталоги землетрясений для районов вулканов Жупановский (рис. III.4, [8]) и Кизимен (рис. III.5, [8]) содержат 163 ( $\Sigma E \sim 3.975 \cdot 10^8 \text{ Дж}$ ) и 463 ( $\Sigma E \sim 1.995 \cdot 10^8 \text{ Дж}$ ) землетрясения соответственно.

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

Расчет параметров вулканических событий в 2015 г. (координаты эпицентра, глубина, энергия) проводился по программе «DIMAS» [4]. Для локализации сейсмических событий Северной и Авачинской групп вулканов использовались локальные годографы [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

В печатные варианты каталогов землетрясений вулканических районов Камчатки помещено: Северная группа вулканов – 22 землетрясения с  $ML^1 \geq 2.3$  [9]; Авачинская группа вулканов – 18 землетрясений с  $ML \geq 1.3$  [10]; Мутновско-Гореловская группа вулканов – 36 землетрясений с  $ML \geq 1.3$  [11]; вулкан Жупановский – 37 землетрясений с  $ML \geq 1.8$  [12]; вулкан Кизимен – 83 землетрясения с  $ML \geq 1.8$  [13].

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

**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 2015 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 2015 г. выставлялся 15 раз, «оранжевый» – 204 и «желтый» – 96 раз.

В 2015 г. в радиусе 12 км от вулкана и диапазоне глубин от вершины нового купола до 14 км ниже уровня моря было локализовано 1786 землетрясений, высвобождено сейсмической энергии  $\Sigma E \sim 0.681 \cdot 10^8$  Дж. Землетрясение с максимальным классом ( $K_s = 6.2$ ) произошло 28 февраля в 01<sup>h</sup>00<sup>m</sup> в постройке вулкана. Представительный класс землетрясений, определенный с помощью автоматической процедуры программы ZMAP, получился равным  $K_{\text{пред}} = 4.0$  при угле наклона графика повторяемости  $\gamma = 0.986 \pm 0.05$ .

**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]. В 2015 г. на Ключевском вулкане с 5 января по 27 апреля наблюдалось вершинное эксплозивно-эффузивное извержение. Извержение сопровождалось пепловыми выбросами с максимальной высотой 8 км над уровнем моря и лавовым потоком. В 2015 г. для вулкана Ключевской выставлялся повышенный код опасности: 4 раза – «красный»; 58 – «оранжевый»; 137 – «желтый». В исследуемый период в радиусе 7 км от вулкана Ключевской и диапазоне глубин от кратера до 40 км ниже уровня моря было локализовано 3113 землетрясений (рис. III.1, [8]) с  $\Sigma E \sim 1.62 \cdot 10^8$  Дж. Надо отметить, что в период извержения станции, расположенные в районе Северной группы вулканов, регистрировали сильное вулканическое дрожание ( $A/T_{\text{max}} \sim 13$  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 и глубокие – от +20 до +35 км. В 2015 г. практически вся сейсмичность была сосредоточена в нижнем и верхнем слоях. С помощью программы ZMAP были определены  $K_{\text{пред}}$  и  $\gamma$  для событий в каждом слое. Для поверхностных (823 события)  $K_{\text{пред}} = 4.8$  при  $\gamma = 1.59 \pm 0.08$ . Для глубоких землетрясений (2280 событий) в 2015 г. представительный класс и угол наклона графика повторяемости рассчитаны для двух периодов. Во время извержения вулкана  $K_{\text{пред}} = 4.9$  при  $\gamma = 2.03 \pm 0.03$ , для периода покоя –  $K_{\text{пред}} = 3.7$  при  $\gamma = 0.63 \pm 0.03$ . Большие значения угла наклона связаны с магматическими процессами. В промежуточном слое было локализовано всего 24 землетрясения.

На вулкане **Безымянный** в 2015 г. наблюдалась слабая сейсмичность и извержений не зафиксировано. В радиусе 6 км от вулкана было локализовано всего 24 землетрясения с  $1.8 \leq K_s \leq 4.7$ , выделившаяся суммарная энергия которых составила  $\Sigma E \sim 0.12 \cdot 10^6$  Дж. Во время извержения вулкана Ключевской (январь-апрель) корректный мониторинг вулкана Безымянный был невозможен.

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

**Вулкан Плоский Толбачик.** Ближайшая телеметрическая станция KMNR [1, 2] расположена в 10 км от кратера вулкана. В 2015 г. в окружности радиусом 20 км, включающей вышеупомянутый вулкан и Толбачинский дол, было локализовано 257 землетрясений, диапазон глубин – от кратера до 35.5 км ниже уровня моря. Землетрясение с максимальным классом  $K_S=6.5$  произошло 12 июня в 02<sup>h</sup>11<sup>m</sup> на глубине 14.8 км. Выделившаяся в очагах сейсмических событий энергия в 2015 г. составила  $\Sigma E \sim 1.64 \cdot 10^7$  Дж,  $K_{\text{пред}}=3.6$ ,  $\gamma=0.7 \pm 0.02$  (близок к значению для региональных тектонических землетрясений).

Из-за повышенной сейсмичности на Ключевском вулкане корректный сейсмический мониторинг Плоского Толбачика был невозможен с января по март 2015 года. В течение года на вулкане Плоский Толбачик в основном наблюдалась «фоновая» сейсмическая и вулканическая активность. И только девять раз, когда на вулкане регистрировалась повышенная сейсмичность, выставлялся «желтый» код.

На вулканах **Крестовский и Ушковский** в 2015 г. наблюдалась «нормальная, фоновая» сейсмичность. В радиусе 10.1 км от вулканов было локализовано всего 21 землетрясение с  $3.1 \leq K_S \leq 5.4$  ( $\Sigma E \sim 0.67 \cdot 10^6$  Дж), диапазон глубин  $-1.4 \leq h \leq 27.6$  км.

**Вулканы Корякский и Авачинский** расположены в 25–30 км от городов Петропавловска-Камчатского и Елизово и поэтому представляют наибольшую потенциальную угрозу для населения. В 2015 г. вулканы были спокойны, и их сейсмичность не превышала обычный «нормальный, фоновый» уровень.

В радиусе 8 км от Авачинского вулкана и диапазоне глубин от кратера до 23.4 км (рис. III.2) было локализовано 169 землетрясений ( $\Sigma E \sim 1.5 \cdot 10^6$  Дж), для которых  $K_{\text{пред}}=2.2$ ,  $\gamma=0.55 \pm 0.03$ . Максимальный класс  $K_S=5.7$  зарегистрирован 3 января в 10<sup>h</sup>05<sup>m</sup> в постройке вулкана.

В радиусе 9 км от Корякского вулкана были определены кинематические и динамические характеристики для 121 землетрясения ( $1.7 \leq K_S \leq 4.5$ ,  $-2.9 \leq h \leq 20.4$  км),  $\Sigma E \sim 0.1 \cdot 10^6$  Дж,  $K_{\text{пред}}=2.2$  при  $\gamma=0.86 \pm 0.03$ .

**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 MTVR [1, 2] расположена в 3 км от активного кратера. В 2015 г. практически вся сейсмичность Мутновско-Гореловской группы была сосредоточена в районе вулкана Мутновский. В радиусе 8 км от его вершины было локализовано 237 землетрясений в диапазоне глубин  $-0.8 \leq h \leq 15.5$  км,  $\Sigma E \sim 0.14 \cdot 10^7$  Дж,  $K_{\text{пред}}=3.3$ ,  $\gamma=0.95 \pm 0.04$ .

Ближайшая к вулкану Горелый станция GRL [1, 2] расположена в 4 км от кратера. В радиусе 7 км от вулкана Горелый было локализовано всего восемь землетрясений с  $3.0 \leq K_S \leq 5.3$ .

Землетрясение с максимальным классом ( $K_S=6.8$ ) из района Мутновско-Гореловской группы произошло 9 ноября 10<sup>h</sup>04<sup>m</sup> на глубине 14.8 км вне зоны этих вулканов.

В 2015 г. из-за повышенной сейсмичности «желтый» код выставлялся на вулкане Горелый 112 дней, на вулкане Мутновский – 138 дней. 28 марта 2015 г. по станции MTVR были зарегистрированы поверхностные сейсмические события продолжительностью 3–4 мин., возможно сопровождавшие фреатические взрывы в кратере вулкана Мутновский, и был присвоен «оранжевый» код опасности. По данным туристов, в этот день был слышен гул от взрывов со стороны вулкана Мутновский, при этом визуально он был закрыт облачностью.

В 2015 г. вулканическая активность Мутновско-Гореловской группы вулканов наблюдалась 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.

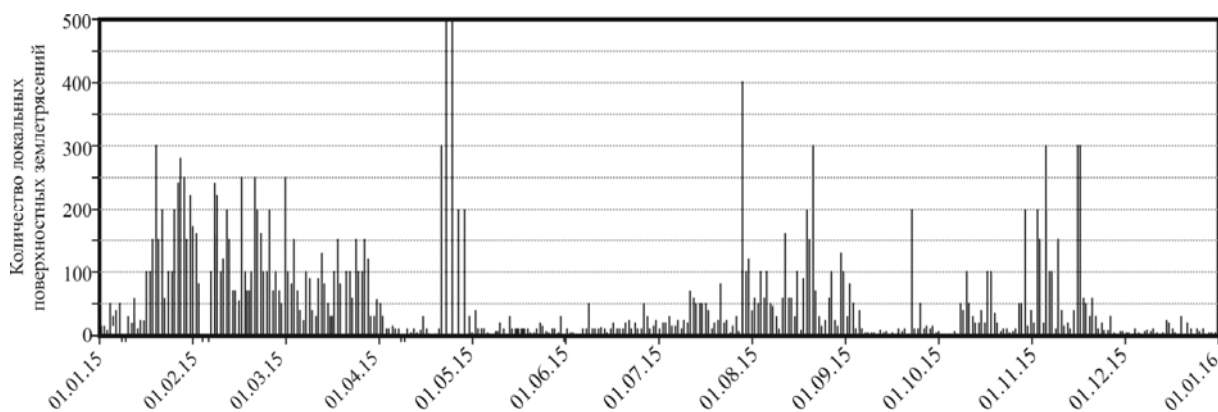
В 2015 г. сейсмический мониторинг проводился по удаленным станциям [1, 2], ближайшие из которых (SDL, KRE, KRX) расположены от него в 38–40 км в районе Авачинской группы вулканов (рис. III.4.). Всего в исследуемый период в районе Жупановского вулкана было локализовано 163 землетрясения ( $2.5 \leq K_s \leq 8.4$ ) в диапазоне глубин 2.1–24.9 км, из них 134 – в радиусе 20 км от вершины вулкана. Выделенная в очагах суммарная сейсмическая энергия составила  $\Sigma E \sim 3.97 \cdot 10^8$  Дж. Землетрясение с максимальным классом ( $K_s = 8.4$ ) произошло 20 февраля в 20<sup>h</sup>21<sup>m</sup> на глубине 14.7 км под постройкой вулкана. Для района Жупановского вулкана в 2015 г.  $K_{\text{пред}} = 3.7$  при  $\gamma = 0.41 \pm 0.06$ .

В 2015 г. продолжалось извержение Жупановского вулкана, сопровождавшееся пепловыми выбросами, пирокластическими и селевыми потоками. Самый высокий «красный» код опасности в исследуемый период присваивался вулкану шесть раз, «оранжевый» – 27 дней. 13 мая 2015 г. на станции NLC была установлена система видео наблюдений, что значительно облегчило сбор информации об активности вулкана Жупановский. Все извержения, зарегистрированные по сейсмическим данным, подтверждены спутниковыми и (или) видео наблюдениями.

12 июля в 06<sup>h</sup>26<sup>m</sup> в постройке Жупановского вулкана ( $h = -1.8$  км) были зарегистрированы землетрясение с  $K_s = 7.8$  и следующая за ним серия поверхностных событий, сопровождавших мощное эксплозивное извержение продолжительностью ~12 мин. В результате эксплозивной активности произошел обвал южного сектора конуса Приемыш и сход селевых потоков [15].

**Вулкан Карымский** в 2015 г. продолжал извергаться. Ближайшая станция КII 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 два землетрясения. Поэтому все основные выводы о деятельности вулкана сделаны по данным одной станции – КII.

На рис. III.6 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 4300 м над кратером.



**Рис. III.6. Сейсмичность вулкана Карымский в 2015 г. по данным сейсмостанции КII.**  
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 2015 г. в районе вулкана Кизимен было локализовано 463 землетрясения [8], суммарная энергия которых составила  $\Sigma E \sim 4.69 \cdot 10^8 \text{ Дж}$ , из них большая часть – вне зоны вулкана ( $N=258$ ) в районе Щапинской гидротермальной системы. Землетрясение с максимальным классом  $K_s=8.3$  произошло в постройке вулкана ( $h=-1.2 \text{ км}$ ) 18 октября в  $13^{\text{h}}49^{\text{m}}$ . Для землетрясений ( $N=205$ ), локализованных в радиусе 15 км от вулкана, были определены представительный класс  $K_{\text{пред}}=3.7$  и угол наклона  $\gamma=0.48 \pm 0.01$ . При регистрации повышенной сейсмичности в 2015 г. «желтый» код присваивался вулкану 22 раза.

В 2015 г. на вулкане Кизимен наблюдалась вулканическая активность только в виде фумарольной деятельности.

## Литература

1. Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Кугаенко Ю.А., Левина В.И., Сеньюков С.Л., Сергеев В.А., Шевченко Ю.В., Яцук 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., Сеньюков 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.
3. Чебров В.Н., Дроздина С.Я., Сеньюков С.Л. Результаты сейсмического мониторинга различных регионов России. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России в 2014 году. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 60–66.
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. Сеньюков 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-2015.12\_Volcano-regions-of-Kamchatka\_2015.xls // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD-ROM.
9. Нуждина И.Н. (отв. сост.), Напылова О.А., Напылова Н.А., Демянчук М.В., Соболевская О.В. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Северная группа вулканов // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 165.
10. Нуждина И.Н. (отв. сост.), Кожевникова Т.Ю., Толочкова С.Л., Назарова З.А., Соболевская О.В. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Авачинская группа вулканов // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 166.
11. Нуждина И.Н. (отв. сост.), Кожевникова Т.Ю., Толочкова С.Л., Назарова З.А., Соболевская О.В. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Мутновско-Гореловская группа вулканов // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 167.
12. Нуждина И.Н. (отв. сост.), Кожевникова Т.Ю., Толочкова С.Л., Назарова З.А., Соболевская О.В. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Вулкан Жупановский // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 168.
13. Нуждина И.Н. (отв. сост.), Кожевникова Т.Ю., Толочкова С.Л., Назарова З.А., Соболевская О.В. Каталоги землетрясений по различным регионам России. Вулканические районы Камчатки. Вулкан Кизимен // Землетрясения России в 2015 году. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 169–170.
14. Гусев А.А., Мельникова В.Н. Связь между магнитудами – среднемировые и для Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 1990. – № 6. – С. 55–63.
15. Горбач Н.В., Самойленко С.Б., Плечова А.А., Мельников Д.В. Обвал на вулкане Жупановский (Камчатка) в июле 2015 г.: первые данные и наблюдения // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. – 2015. – № 3, вып. 27. – С. 5–11.