

IV. СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВУЛКАНОВ

УДК 550.348.438(517.66)

ВУЛКАНЫ КАМЧАТКИ

С.Л. Сеньков, И.Н. Нурждина, С.Я. Дроздина

Камчатский филиал ГС РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ssl@emsd.ru

В 2007 г. был продолжен мониторинг активных вулканов Камчатки. Положение активных вулканов, описание различных видов наблюдений, с помощью которых проводился мониторинг, его цели и задачи, описаны в [1–13]. Информация о сейсмических станциях приведена в [14–17]. Для сейсмического мониторинга вулканов использовались станции радиотелеметрической сети (РТСС) Камчатки. Наиболее детальные наблюдения были возможны для Авачинской (влк. Авачинский и Корякский) и Северной (влк. Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Плоский Толбачик, Ушковский и Крестовский) групп вулканов. В 2007 г. сеть была дополнена новыми станциями – 22 августа в районе влк. Безымянный введены в действие станции «Безымянный-Запад» (BZWR) и «Безымянный-Грива» (BZGR) [17], что улучшило возможности сейсмических наблюдений для Северной группы.

В 2007 г. применялись те же методы обработки сейсмических данных, что и в предыдущие годы [12, 13, 18]. Ниже приведены данные о сейсмической активности Северной и Авачинской групп вулканов.

Северная группа вулканов. Каталог землетрясений Северной группы вулканов за 2007 г. [19] содержит 13332 землетрясения I–III типов [20]. Распределение землетрясений по вулканам и по энергетическим классам [21] представлено в табл. 1. Кроме землетрясений, происходящих вблизи вулканов, в каталог также включены события, зафиксированные сетью во всем изучаемом районе. Карта эпицентров землетрясений и условные зоны сейсмичности рассматриваемых вулканов показаны на рис. 1.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений и количества высвобожденной сейсмической энергии по вулканам и по энергетическим классам K_S в 2007 г.

Название вулкана	$R_{\text{зоны}},$ км	K_S						N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^8 Дж	
		2	3	4	5	6	7			8
Безымянный	6	2	69	156	29	5			261	0.073
Ключевской	7		22	1549	1010	630	265		3476	29.485
Плоский Толбачик	20			33	19	4	4	1	61	2.014
Шивелуч	12		15	5135	4002	266	4	1	9423	7.487
Крестовский и Ушковский	10		3	11	2				16	0.002
Вне вулканов			3	31	36	17	8		95	0.793
Всего		2	112	6915	5098	922	281	2	13332	39.85

Из анализа табл. 1 следует, что в 2007 г. наиболее активной по числу землетрясений была зона влк. Шивелуч с $R=12$ км. Здесь произошло 70.7% землетрясений от общего числа событий, вошедших в каталог. Несмотря на это, количество высвобожденной ими суммарной сейсмической энергии оказалось в 3.9 раз меньше, чем в зоне влк. Ключевской с $R=7$ км.

Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в очагах вулканических землетрясений района Северной группы вулканов, составила $\Sigma E=39.9 \cdot 10^8$ Дж, что примерно в 1.4 раза меньше, чем в 2006 г. ($\Sigma E=2.93 \cdot 10^9$ Дж) [12].

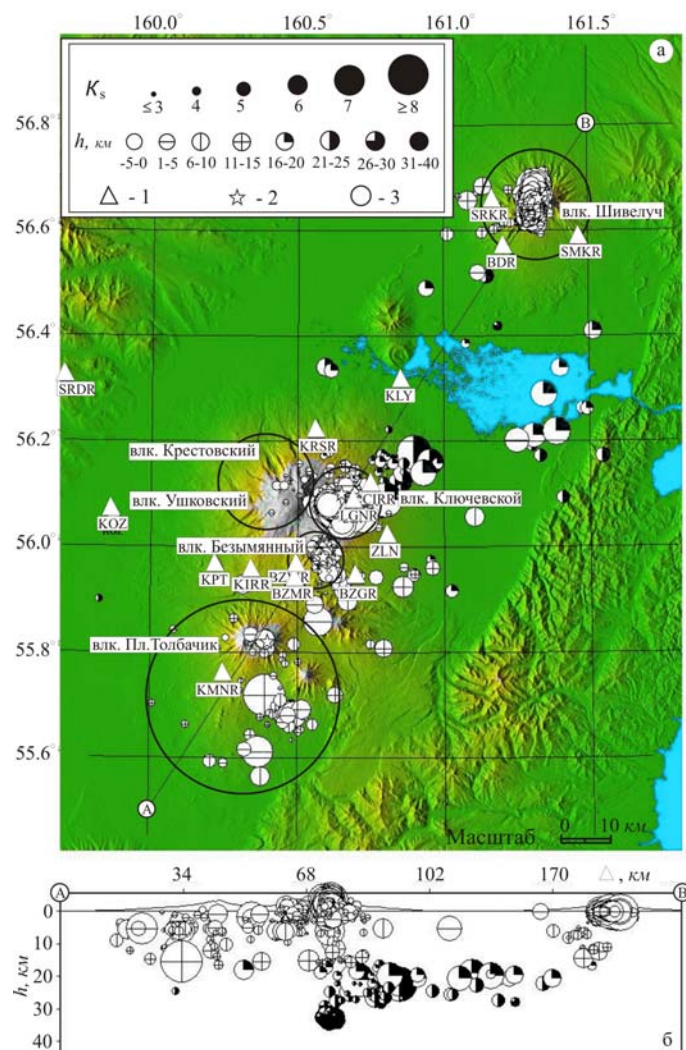


Рис. 1. Карта эпицентров (а) землетрясений Северной группы вулканов за 2007 г. и проекция гипоцентров (б) на вертикальную плоскость, проходящую через линию А–В

1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан; 3 – окружность, огибающая область выборки землетрясений, принадлежащих вулкану; радиусы областей для разных вулканов равны: Шивелуч – 12 км, Ключевской – 7 км, Крестовский и Ушковский – 10.1 км, Безымянный – 6 км, Плоский Толбачик – 20 км.

Уровень надежной регистрации землетрясений определен по графику повторяемости (рис. 2). Для построения графика и определения угла наклона использовался пакет программ ZMAP [22]. Из графика следует, что представительными для Северной группы вулканов являются землетрясения с $K_{\min}=4.5$. Следует отметить, что уровень K_{\min} изменчив даже на протяжении года, т.к. он зависит от событий, происходящих на вулканах. Например, при регистрации сильного непрерывного вулканического дрожания обрабатывать слабые землетрясения невозможно, в этом случае значение K_{\min} повышается. Для землетрясений в диапазоне $K_S=4.5-8.0$ наклон графика повторяемости $\gamma=0.67\pm 0.06$, что близко к среднему значению $\gamma=0.88$, определенному по данным 2000–2006 гг. [6–12]. В 2006 г. величина γ была равна 1.06 [12].

Ниже приводится описание активности шести вулканов Северной группы по инструментальным и визуальным наблюдениям.

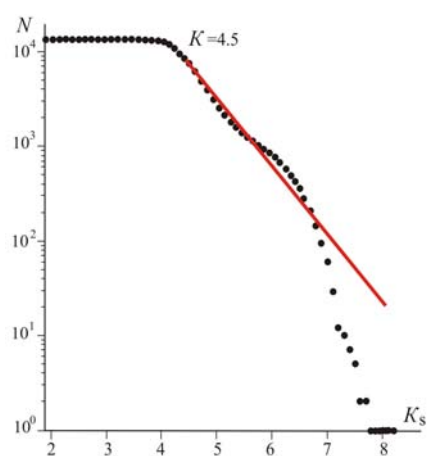


Рис. 2. График повторяемости землетрясений Северной группы вулканов в 2007 г.

Вулкан Шивелуч. Сеть станций позволяет регистрировать без пропусков землетрясения из района влк. Шивелуч, начиная со значения $K_{\min}=4.0$ [12].

В 2007 г. в диапазоне глубин $h=0-15$ км было локализовано 9423 землетрясения (рис. 3 а, б), высвобожденная энергия (табл. 1) которых \sim в 33 раза больше, чем величина таковой в 2006 г. ($\Sigma E=0.023 \cdot 10^9$ Дж) [12]. Представительный класс, рассчитанный по программе ZMAP, составил $K_{\min}=4.5$. График повторяемости с $\gamma=1.16 \pm 0.01$ круче, чем в 2006 г. ($\gamma=0.8 \pm 0.05$). Возможно, это связано с деятельностью приповерхностного магматического очага, который в 2007 г. был активнее, чем в 2006 г. Землетрясение с максимальным классом $K_S=7.7$ произошло 13 августа в $16^{\text{h}}34^{\text{m}}$ на глубине $h=0.4$ км.

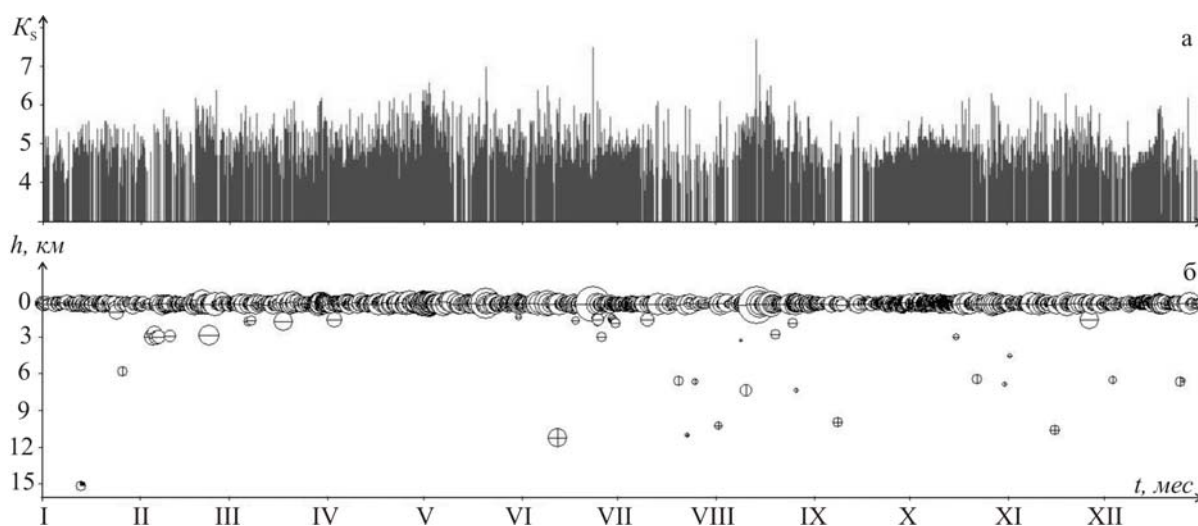


Рис. 3. Изменение во времени энергетического класса K_S (а) и глубины гипоцентров h (б) вулканических землетрясений, произошедших в радиусе 12 км от влк. Шивелуч в 2007 г.

В исследуемый период продолжалось извержение влк. Шивелуч, начавшееся 4 декабря 2006 г. после почти годовичного затишья. Высокая сейсмическая и вулканическая деятельность связана с интенсивным ростом нового купола, во время которого его постройка достигает таких критических размеров, что даже незначительные эксплозивные извержения вызывают его обрушение, обнажая горячий магматический материал. Выход на поверхность горячего магматического материала из-за резкого сброса давления вызывает новое сильное извержение, которое сопровождается мощными пепловыми выбросами (рис. 4 б) и сходом пирокластических потоков.

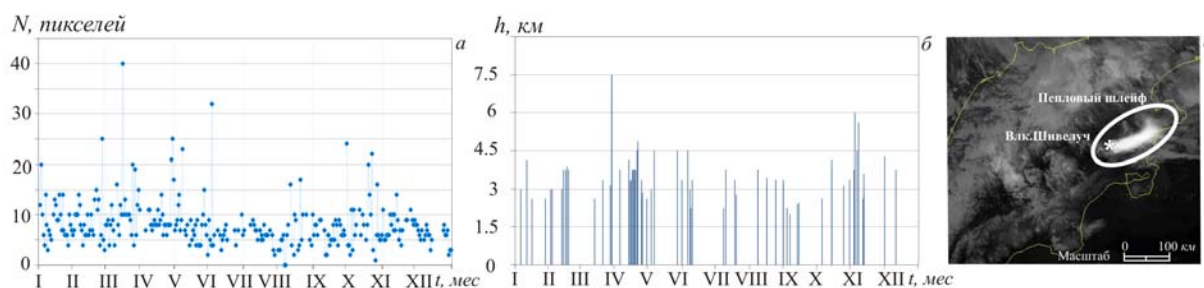


Рис. 4. Изменение во времени размера термальной аномалии на влк. Шивелуч по данным спутников NOAA16 и NOAA17 (а); высота газо-пепловых выбросов над куполом по видеоданным и визуальным наблюдениям сотрудников сейсмической станции «Ключи» (б); спутниковый снимок с пепловым шлейфом от извержения 29 марта $02^{\text{h}}15^{\text{m}}$ UTC (в)

В течение всего года наблюдалась термальная аномалия на растущем куполе, свидетельствующая о присутствии на поверхности горячего магматического материала.

Максимального размера (10–40 пикселей) аномалия достигала в период схода пирокластических потоков (рис. 4 а). Первый всплеск активности наблюдался 29 марта, когда высота пепловых выбросов достигала 7.5 км над куполом. По спутниковым данным, пепловый шлейф

от извержения протягивался на расстояние свыше 100 км в северо-восточном направлении (рис. 4 в).

Вулкан Ключевской. Существующая сеть станций (рис. 1) позволяет локализовать при благоприятных условиях землетрясения, начиная с $K_S \geq 4.0$ [12]. Ближайшая телеметрическая станция «Логоинов», регистрирующая землетрясения с $K_S \geq 2.2$, расположена в 4 км от кратера. В 2007 г. в радиусе 7 км от вулкана и диапазоне глубин $h = -4.5-40$ км было локализовано 3476 землетрясений [19]. Карта их эпицентров и проекция гипоцентров на вертикальный разрез представлены на рис. 1, а графики изменения во времени параметров сейсмической активности вулкана – на рис. 5. Землетрясения с максимальным классом $K_S = 7.5$ зарегистрированы 15 января в 07^h30^m и 6 мая в 12^h09^m на глубине $h = 19-20$ км под северо-восточным склоном вулкана. Характер сейсмичности вулкана Ключевской связан с притоком мантийных магм в промежуточный магматический очаг на глубинах $h = 20-35$ км и дальнейшим их подъемом в постройку вулкана при вершинном извержении [23–26]. Поэтому все землетрясения в 2007 г., как и в предыдущие годы, были разделены по трем слоям:

(I →: $-5.0 \leq h \leq 5.0$ км; II → $5.1 \leq h \leq 20.0$ км; III → $20 < h < 40.0$ км) [10–12].

В 2007 г. по-прежнему наблюдалась высокая сейсмическая активность вулкана, начавшаяся в середине декабря 2006 г. График распределения глубины очагов во времени (рис. 5 б) наглядно демонстрирует, что в начале года основная часть землетрясений происходила в нижнем (III) слое. Здесь генерируется множество глубоких длиннопериодных землетрясений, в образовании которых активную роль играет магматический расплав [27]. В 2007 г. были определены параметры для 432 таких землетрясений, максимальное число которых ($N = 63$) зафиксировано 17 февраля (рис. 5 в).

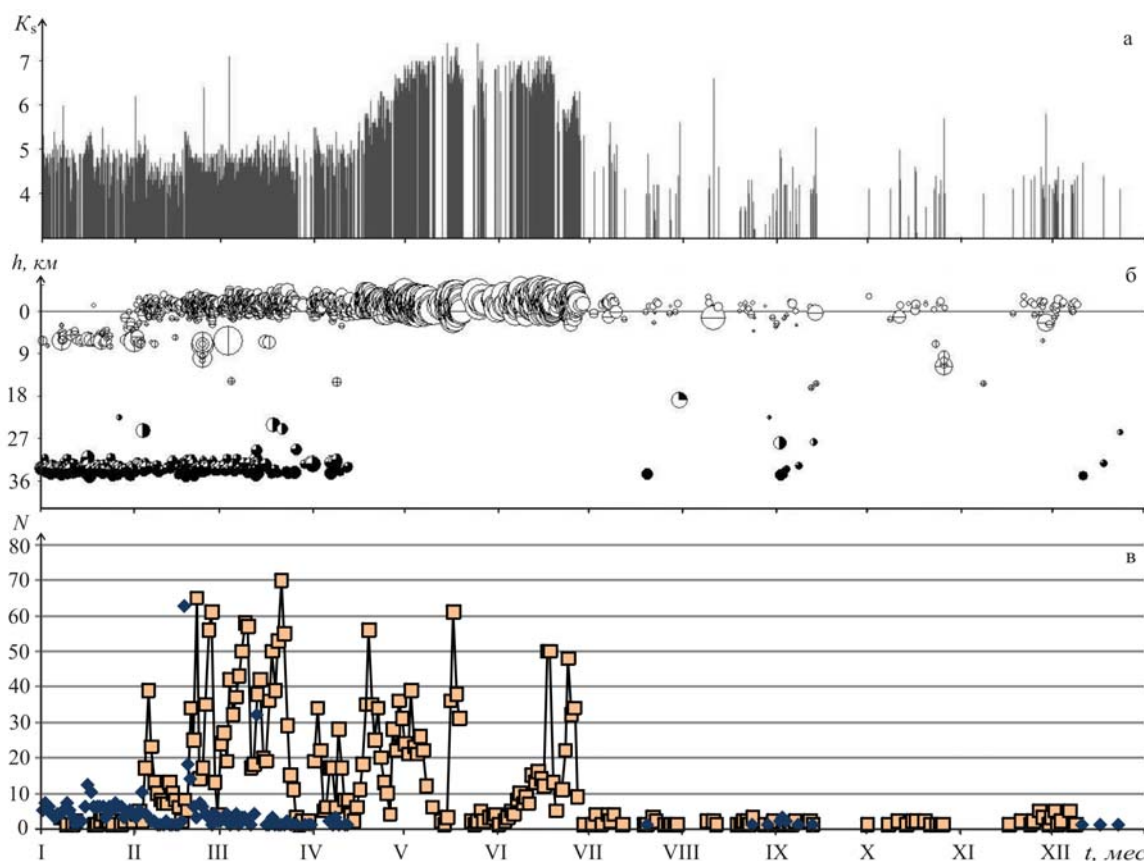


Рис. 5. Изменение во времени энергетического класса K_S (а), глубины гипоцентров h вулканических землетрясений (б); ежесуточного числа поверхностных (квадрат) и глубоких (ромб) землетрясений (в), произошедших в радиусе 7 км от влк. Ключевской в 2007 г.

В верхних слоях I ($h = -5-5$ км) и II ($h = 5.1-20$ км) происходят, главным образом, вулканотектонические землетрясения, которые возникают в твердой среде в результате хрупкого

разрушения пород под действием сдвиговых и растягивающих напряжений, создаваемых активными магматическими процессами и распределенных в достаточно большом объеме, окружающем магматические каналы и очаги [24]. Появление землетрясений в верхнем слое (рис. 5 б, в) и дальнейший рост их числа свидетельствовали о поступлении магмы в постройку вулкана и скором вершинном извержении, которое началось 15 февраля. В слое II было локализовано 38 землетрясений, максимальное число которых ($N=14$) произошло 23 февраля. Во время вершинного извержения вся сейсмичность сосредоточена в верхнем слое (I) (рис. 5 б, в). В этом диапазоне глубин были определены параметры для 213 землетрясений. Максимальное их число ($N=70$) было зафиксировано 23 марта (рис. 5).

С помощью пакета программ ZMAP [22] были определены значения K_{\min} и угол наклона графика повторяемости для землетрясений в каждом слое. Для поверхностного слоя определены два уровня K_{\min} в зависимости от состояния сейсмической и вулканической активности. Для периода, когда регистрируется слабое вулканическое дрожание или оно совсем отсутствует, представительный класс получился равным $K_{\min}=4.3$, что незначительно выше, чем значение, полученное в 2006 г. ($K_{\min}=4.0$), но ниже, по сравнению с таковым в 2005 г. ($K_{\min}=4.6$) [11, 12]. Во время сильного непрерывного вулканического дрожания (рис. 6 а) число локализованных слабых землетрясений резко уменьшается в связи с трудностями их выделения на фоне дрожания и значение представительного класса повышается. Для этого периода уровень надежной регистрации составил $K_{\min}=6.2$. График повторяемости для поверхностных землетрясений в 2007 г. более пологий ($\gamma=0.40\pm 0.01$), по сравнению с таковым в 2005–2006 гг. ($\gamma=0.85$). Для глубоких землетрясений с $h=20\text{--}40$ км представительный класс оказался равным $K_{\min}=4.8$, при угле наклона $\gamma=2.0\pm 0.1$. Такая крутизна графика повторяемости зафиксирована впервые за 9 лет наблюдений, начиная с 1999 г. В 2006 г. его величина составляла $\gamma=1.39$, а среднее значение за период 2003–2006 гг. получилось равным $\gamma=1.04$. Для землетрясений слоя II с $h=5.1\text{--}20$ км представительный класс в 2007 г. равен $K_{\min}=4.0$. Угол наклона имеет стабильное значение на протяжении многих лет и равен $\gamma=0.54\pm 0.08$.

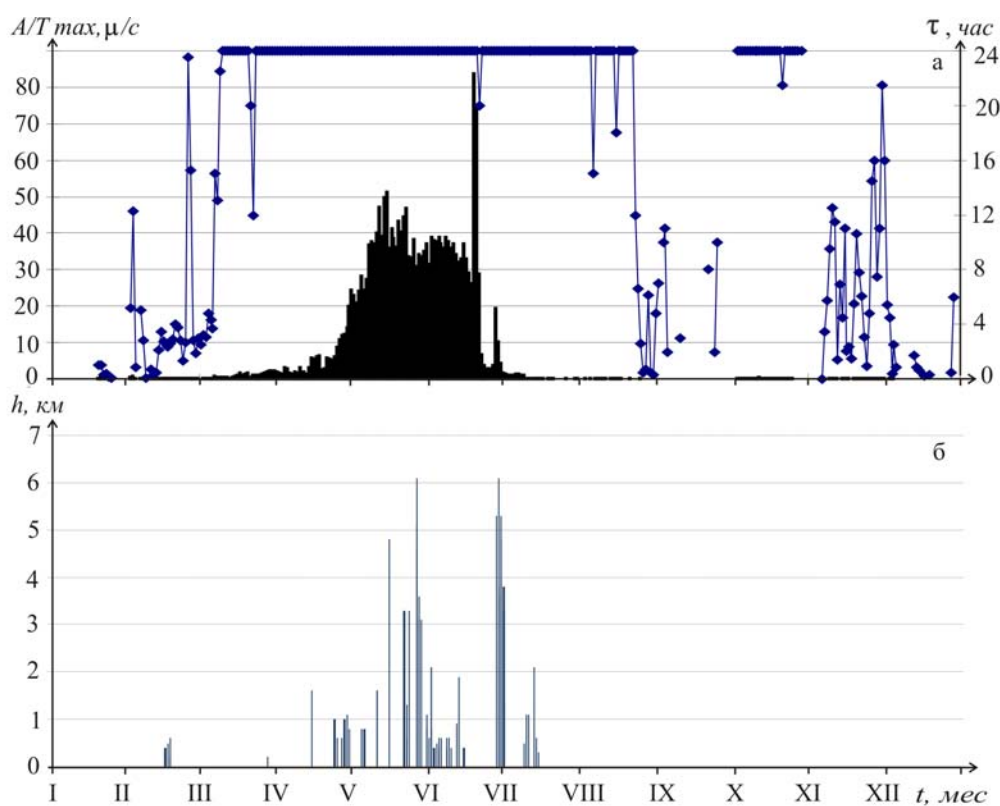


Рис. 6. Изменение во времени максимальной амплитуды скорости вулканического дрожания на влк. Ключевской и ее продолжительность по данным сейсмической станции «Цирк» (а); высота газо-пепловых выбросов над кратером по видеоданным и визуальным наблюдениям сотрудников станции «Ключи» (б)

В 2007 г. наблюдалось мощное вершинное извержение вулкана Ключевской. Первые слабые пепловые выбросы и свечение над кратером были отмечены 15 февраля. Максимальная фаза извержения с высотой пепловых выбросов до 10 км над уровнем моря (рис. 6 б) и излиянием трех лавовых потоков наблюдалась в течение мая–июня. Затем извержение постепенно ослабевало и к концу июля прекратилось. На протяжении всего года по спутниковым данным на вулкане наблюдалась термальная аномалия. Максимальные размеры ее были зарегистрированы в апреле–июне, когда происходило излияние лавовых потоков. Во второй половине года на вулкане Ключевской наблюдалась фоновая сейсмическая и вулканическая активность.

Вулкан Безымянный. Ближайшая телеметрическая станция «Безымянный» (BZMR), расположенная в 7 км от кратера, позволяет регистрировать землетрясения с $K_S \geq 2.9$. Сейсмический режим вулкана за последние годы не менялся. После периода покоя наблюдается сейсмическая активизация, обычно заканчивающаяся извержением.

В 2007 г. произошло два извержения влк. Безымянный: 11 мая и 14–15 октября (рис. 7). Сейсмическую подготовку весеннего извержения зафиксировать не удалось из-за сильного вулканического дрожания, сопровождавшего мощное извержение влк. Ключевской (рис. 7 а). Основанием для краткосрочного прогноза извержения влк. Безымянный [28] послужило резкое повышение температуры термальной аномалии 10 мая по спутниковым данным (рис. 8 а). По сейсмическим данным максимальная фаза извержения произошла, возможно, 11 мая с 14^h45^m до 15^h10^m. В дальнейшем до конца года наблюдалось еще два всплеска сейсмической активизации: июль–август и конец сентября–октябрь. Во время первой активизации было локализовано 68 землетрясений с $K_S=3.1-5.6$, высвобожденная суммарная энергия которых составила $\Sigma E=1.6 \cdot 10^6$ Дж. Вторая активизация закончилась извержением. По сейсмическим данным пароксизмальные фазы извержения произошли 14 октября с 14^h27^m до 16^h30^m и 15 октября с 02^h23^m до 14^h00^m. Высота пепловых выбросов по визуальным данным достигала 9 км над уровнем моря. По спутниковым данным был зафиксирован сход пирокластического потока.

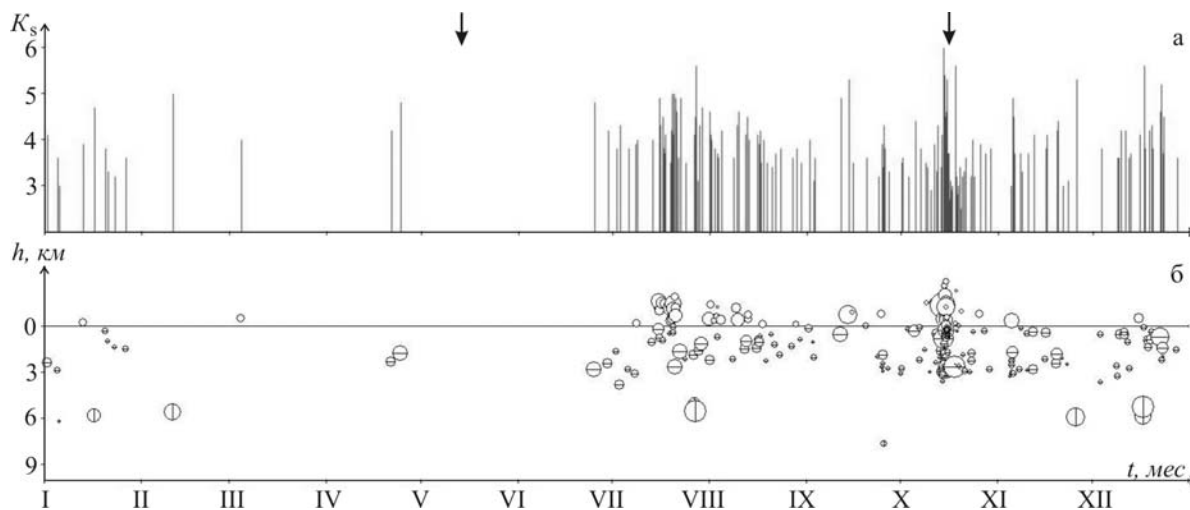


Рис. 7. Изменение во времени энергетического класса K_S (а) и глубины гипоцентров h (б) вулканических землетрясений, произошедших в радиусе 6 км от влк. Безымянный в 2007 г. (стрелками обозначены моменты эксплозивных извержений вулкана)

В исследуемый период в радиусе 6 км от вулкана и диапазоне глубин от вершины до 10 км было локализовано 261 землетрясение [19]. Землетрясение с максимальным классом $K_S=6.0$ произошло 14 октября в 15^h04^m в постройке вулкана ($h = -1.3$ км). Уровень надежной регистрации, рассчитанный по программе ZMAP, соответствует классу $K_{\min}=3.8$. К сожалению, из-за извержения влк. Ключевской, установленные новые станции «Безымянный-Запад» (BZWR) и «Безымянный-Грива» (BZGR) к юго-западу и юго-востоку от вулкана, не повысили уровень надежной регистрации, по сравнению с таковым в 2006 г. с $K_{\min}=3.6$. Угол наклона графика повторяемости $\gamma=0.82 \pm 0.06$ стал немного выше, по сравнению со значением, полученным в 2005 г. ($\gamma=0.63$) [11] и 2006 г. ($\gamma=0.65$) [12].

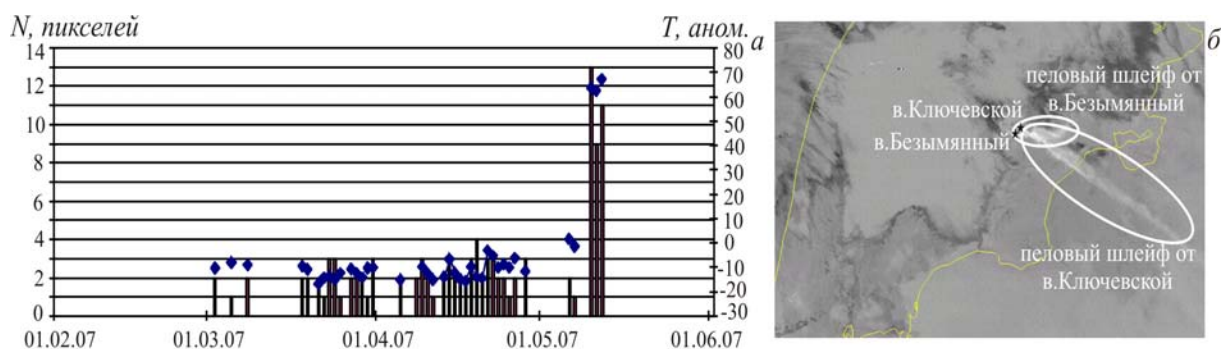


Рис. 8. Изменение во времени размера и температуры термальной аномалии для влк. Безымянный по данным спутников NOAA16 и NOAA17 в период подготовки и извержения весной 2007 г. (а); спутниковый снимок с пепловыми шлейфами от извержений вулканов Безымянный и Ключевской 11 мая 10^h08^m (б)

Вулкан Плоский Толбачик. Ближайшая телеметрическая станция «Каменистая» расположена в 10 км от кратера вулкана и регистрирует землетрясения с $K_S \geq 3.3$. В 2007 г. в радиусе 20 км от вулкана было локализовано 61 землетрясение в диапазоне глубин $h = -2.0 - 17.9$ км [19]. Уровень K_{min} , рассчитанный по программе ZMAP, соответствует классу $K_{min} = 4.3$, угол наклона графика повторяемости $\gamma = 0.48 \pm 0.08$. Наклон графика не меняется на протяжении многих лет и совпадает со значением ($\gamma = 0.5$) для региональных тектонических землетрясений [16, 29] за 2000–2006 гг. Событие с максимальным классом $K_S = 8.2$ произошло 21 декабря в 01^h21^m на глубине $h = 12.5$ км. На рис. 1 представлена карта эпицентров и проекция гипоцентров на вертикальный разрез. На протяжении 2007 г. в районе влк. Плоский Толбачик наблюдалась «обычная, фоновая» сейсмичность. По данным инфракрасных снимков со спутников NOAA16 и NOAA17 в 2007 г. продолжала наблюдаться термальная аномалия в районе лавового потока второго конуса северного прорыва большого трещинного толбачинского извержения 1975 года.

Вулканы Ушковский и Крестовский. Сеть сейсмических станций позволяет локализовать землетрясения с занесением в каталог, начиная с $K_{min} = 4.0$. Ближайшие телеметрические станции «Крестовский» и «Логоинов» расположены в 12 км от вершины влк. Крестовский и регистрируют землетрясения с $K_S \geq 3.5$. В 2007 г. в пределах окружности радиусом 10.1 км, включающей оба вулкана, было локализовано всего 16 землетрясений (рис. 1) на глубинах $h = -1.2 - 16.0$ км [19]. Для определения представительного класса и угла наклона графика повторяемости этого числа событий недостаточно. Событие с максимальным классом $K_S = 4.7$ произошло 8 июля в 00^h17^m на глубине $h = -0.1$ км в постройке влк. Крестовский. Карта эпицентров и проекция гипоцентров на вертикальный разрез представлены на рис. 1.

В 2007 г. сейсмичность района влк. Крестовский и Ушковский была фоновой и никаких проявлений вулканической активности, а также термальных аномалий на снимках из космоса отмечено не было.

Авачинская группа вулканов. В Авачинскую группу вулканов входят два действующих вулкана: Авачинский и Корякский. Из всех вулканов они представляют наибольшую потенциальную опасность, т.к. расположены в 30 км от наиболее густонаселенных городов Камчатки – Петропавловск-Камчатского и Елизово.

Координаты гипоцентров для Корякского и Авачинского вулканов рассчитывались, как и в предшествующие годы, по программе Ю.Ю. Мельникова [18] с использованием двух разных одномерных скоростных моделей среды [13]. Для сейсмических событий, расположенных вне этих вулканов, приблизительно по изолинии 400 м, использовался в расчетах обычный региональный годограф [30].

Карта эпицентров и проекция гипоцентров на вертикальный разрез представлены на рис. 9. В 2007 г., как и в 2006 г., наибольшее число событий произошло в районе влк. Авачинский, где было локализовано примерно в 5 раз больше землетрясений, чем на влк. Корякский (табл. 2). Минимальный регистрируемый класс не изменился, по сравнению с таковым в 2006 г., и составил $K_{min} = 3.0$ (рис. 10). Угол наклона графика повторяемости в

2007 г. получился равным $\gamma=0.47\pm 0.06$, это немного меньше долговременного значения ($\gamma=0.59$) по данным за 2000–2006 гг. и существенно ниже такового в 2006 г. ($\gamma=0.74$).

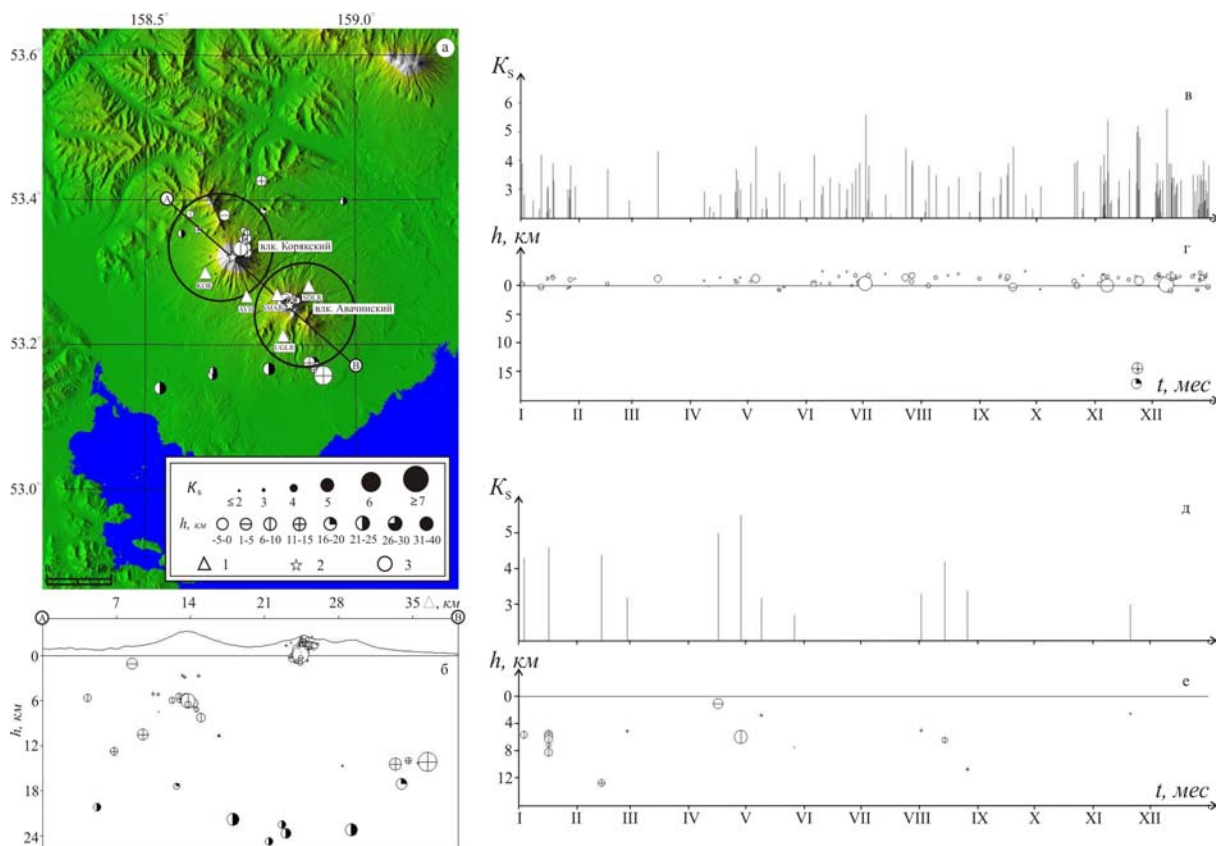


Рис. 9. Карта эпицентров (а) и проекция гипоцентров на вертикальный разрез вдоль линии А–В (б) для землетрясений района № 2, а также изменение во времени энергетического класса K_s (в, д) и глубины гипоцентров h (г, е) вулканических землетрясений, произошедших в радиусе 8 км от вулканов Авачинский и Корякский, соответственно

1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан; 3 – окружность, оконтуривающая область выборки землетрясений вокруг Авачинского и Корякского вулканов.

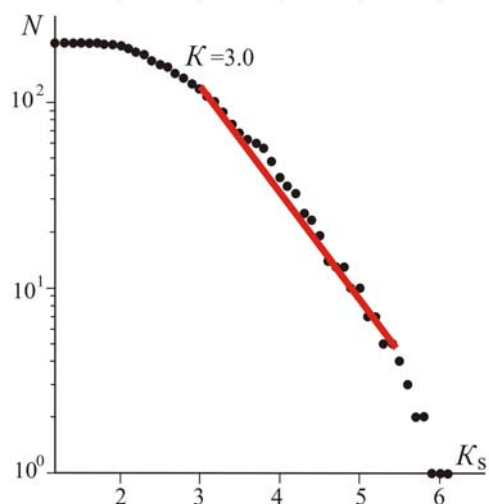


Рис. 10. График повторяемости землетрясений Авачинской группы вулканов за 2007 г.

Каталог землетрясений Авачинской группы за 2007 г. [31] содержит параметры 212 землетрясений с $K_s=1.8-6.1$. Землетрясение с максимальным классом $K_s=6.1$ произошло 29 ноября в 22^h38^m на глубине $h=14.1$ км и находилось вне зоны вулканических построек. На рис. 9 также представлены распределения во времени значений энергетического класса K_s (в, д) и глубины для каждого вулкана (г, е). Как следует из рис. 9 г, е, на протяжении всего года землетрясения на влк. Авачинский происходили в постройке вулкана, в то время как очаги землетрясений, принадлежащих Корякскому вулкану, носили более заглубленный характер. Суммарная энергия всех землетрясений, включенных в каталог, составила $\Sigma E=5.25 \cdot 10^6$ Дж. Распределение землетрясений по вулканам и по классам представлено в табл. 2.

В 2007 г. на влк. Авачинский и Корякский наблюдалась фоновая сейсмичность. По визуальным данным и по спутниковым наблюдениям никаких проявлений вулканической активности отмечено не было.

Таблица 2. Распределение землетрясений в районе № 2 по энергетическим классам K_S в 2007 г.

Название вулкана	$R_{зоны},$ км	K_S					N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^6 Дж
		2	3	4	5	6		
Авачинский	8	51	85	32	4	2	174	2.033
Корякский	8		7	12	3		22	0.700
Вне вулканов			2	7	5	2	16	2.517
Всего		51	94	51	12	4	212	5.25

Л и т е р а т у р а

1. Действующие вулканы Камчатки / Под ред. Федотова С.А., Масуренкова Ю.П. – М.: Наука, 1991. – 1. – С. 5–11.
2. Кирьянов В.Ю. Вулканические пеплы Камчатки как источник потенциальной вулканической опасности для пассажирских авиалиний // Вулканология и сейсмология. – 1992. – № 3. – С. 16–36.
3. Кирьянов В.Ю., Чубарова О.С., Сениюков С.Л., Евдокимова О.А., Гарбузова В.Т. Группа по обеспечению безопасности полетов от вулканических пеплов (КВЕРТ): 8 лет деятельности // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. – Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. – С. 408–423
4. Neal C., Girina O., Senyukov S., Rybin A., Osiensky J., Izbekov P., Ferguson G. Russian eruption warning system for aviation // Nat. Hazards. – 2009. – 51. – P. 245–262.
5. Сениюков С.Л., Чебров В.Н., Гарбузова В.Т., Дрознина С.Я., Нуждина И.Н., Кожевникова Т.Ю., Толочнова С.Л. Сейсмический мониторинг вулканов Камчатки // Землетрясения Северной Евразии в 1999 году. – Обнинск: ГС РАН, 2005. – С. 253–273.
6. Сениюков С.Л., Гарбузова В.Т., Дрознина С.Я., Нуждина И.Н., Кожевникова Т.Ю., Толочнова С.Л. Сейсмический мониторинг вулканов Камчатки // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 321–336.
7. Сениюков С.Л., Гарбузова В.Т., Дрознина С.Я., Нуждина И.Н., Кожевникова Т.Ю., Толочнова С.Л. Сейсмический мониторинг вулканов Камчатки // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 360–376.
8. Сениюков С.Л., Гарбузова В.Т., Дрознина С.Я., Нуждина И.Н., Кожевникова Т.Ю., Толочнова С.Л. Сейсмический мониторинг вулканов Камчатки // Землетрясения Северной Евразии, 2002 год. – Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 380–394.
9. Сениюков С.Л., Гарбузова В.Т., Дрознина С.Я., Нуждина И.Н., Кожевникова Т.Ю., Толочнова С.Л. Сейсмический мониторинг вулканов Камчатки // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 382–395.
10. Сениюков С.Л., Гарбузова В.Т., Дрознина С.Я., Нуждина И.Н., Кожевникова Т.Ю., Толочнова С.Л. Сейсмический мониторинг вулканов Камчатки // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 395–408.
11. Сениюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я., Гарбузова В.Т. Сейсмический мониторинг вулканов Камчатки // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 419–431.
12. Сениюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я. Сейсмический мониторинг вулканов Камчатки // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 449–460.
13. Сениюков С.Л. Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений в 2000–2004 гг. // Вулканология и сейсмология. – 2006. – № 3. – С. 68–78.
14. Старовойт О.Е., Мишаткин В.Н. Сейсмические станции Российской академии наук (состояние на 2001 г.). – М. – Обнинск: ГС РАН, 2001. – 86 с.
15. Левина В.И., Иванова Е.И., Гусева Е.И. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии в 2001 году. – Обнинск: ГС РАН, 2007. – С. 213–222.

16. Матвеевко Е.А., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Ландер А.В., Чеброва А.Ю., Левина В.И., Чебров В.Н., Гусева Е.М. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 195–213.
17. Чебров В.Н., Матвеевко Е.А., Митюшкина С.В., Иванова Е.И., Левина В.И., Ландер А.В., Шевченко С.А., Гусева Е.М. Камчатка и Командорские острова. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
18. Мельников Ю.Ю. Пакет программ для определения координат гипоцентров землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. – 1990. – № 5. – С. 103–112.
19. Нуждина И.Н. (отв. сост.), Дрознина С.Я., Кожевникова Т.Ю., Толочнова С.Л. Каталог землетрясений Северной группы вулканов за 2007 г. ($N=13332$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
20. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. – М.: Наука, 1981. – 164 с.
21. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. – М.: Наука, 1972. – 117 с.
22. Weimer S. A software package to analyze seismicity: ZMAP // Seism. Res. Lett. – 2001. – 72. – N 2. – P. 374–383.
23. Федотов С.А., Жаринов Н.А., Гонтовая Л.И. Магматическая питающая система Ключевской группы вулканов (Камчатка) по данным об ее извержениях, землетрясениях, деформациях и глубинном строении // Вулканология и сейсмология. 2010. – № 1. – С. 3–35.
24. Федотов С.А., Жаринов Н.А., Горельчик В.И. Деформации и землетрясения Ключевского вулкана, модель его деятельности // Вулканология и сейсмология. – 1988. – № 2. – С. 3–42.
25. Сеньюков С.Л., Нуждина И.Н. Пространственно-временной анализ землетрясений вулкана Ключевской за 1999–2007 гг. // Труды региональной научно-технической конференции 11–17 ноября 2007 г. «Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России». Т. 1. – Петропавловск-Камчатский, 2008. – С. 120–125.
26. Сеньюков С.Л., Дрознина С.Я., Нуждина И.Н., Гарбузова В.Т., Кожевникова Т.Ю. Исследования активности вулкана Ключевской дистанционными методами с 01.01.2001 г. по 31.07.2005 г. // Вулканология и сейсмология. – 2009. – № 3. – С. 50–59.
27. Горельчик В.И., Сторчеус А.В. Глубокие длиннопериодные землетрясения под Ключевским вулканом, Камчатка // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы. – Петропавловск-Камчатский: ИВГиГ ДВО РАН, 2001. – С. 373–389.
28. Сеньюков С.Л. Результаты применения алгоритма прогноза извержений вулкана Безымянный в 2004–2007 гг. в режиме реального времени // Труды региональной научно-технической конференции «Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России». – Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2008. – С. 59–63.
29. Салтыков В.А., Кравченко Н.М. Комплексный анализ сейсмичности Камчатки 2005–2007 гг. на основе регионального каталога // Вулканология и сейсмология. – 2009. – № 4. – С. 53–63.
30. Кузин Т.П. Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки. – М.: Наука, 1974. – 132 с.
31. Нуждина И.Н. (отв. сост.), Дрознина С.Я., Кожевникова Т.Ю., Толочнова С.Л. Каталог землетрясений Авачинской группы вулканов за 2007 г. ($N=212$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).