

СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ

С.Л. Сениюков, И.Н. Нурждина

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

В 2008 г. был продолжен мониторинг активных вулканов Камчатки. Положение вулканов, описание различных видов наблюдений, с помощью которых проводился мониторинг, его цели и задачи представлены в [1]. Информация о сейсмических станциях приведена в [2–4]. 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. Летом 2008 г. в районе Мутновско-Гореловской группы вулканов были установлены две новые радиотелеметрические станции: «Мутновский» (MTVR) и «Асача» (ASAK) [5]. Совместно со станциями «Горелый» (GRL) и «Русская» (RUS) они образовали локальную сеть для детального сейсмического мониторинга этого района. К сожалению, данные этих станций были введены в оперативную обработку только в конце декабря.

В 2008 г. применялись те же методы обработки сейсмических данных, что и в предыдущие годы [1, 6–8]. Ниже приведены данные о сейсмической активности Северной и Авачинской групп вулканов.

Северная группа вулканов. Каталог землетрясений Северной группы вулканов за 2008 г. [9] содержит 9353 землетрясения I–III типов [10]. Распределение землетрясений по вулканам и по энергетическим классам K_S [11] представлено в табл. 1. Кроме землетрясений, происходящих вблизи вулканов, в каталог также включены события, зафиксированные сетью во всем изучаемом районе в пределах координат $\varphi=55.52\text{--}56.80^\circ\text{N}$, $\lambda=159.89\text{--}161.70^\circ\text{E}$ [9]. Карта эпицентров землетрясений и условные зоны сейсмичности рассматриваемых вулканов показаны на рис. 1.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K_S и суммарная сейсмическая энергия землетрясений вблизи Северной группы вулканов в 2008 г.

Название вулкана	$R_{\text{зоны}},$ км	K_S							N_Σ	$\Sigma E,$ 10^8 Дж
		3	4	5	6	7	8	9		
Безымянный	6	36	65	11					112	0.015
Ключевской	7	12	1463	590	347	88	1	1	2502	19.47
Плоский Толбачик	20	1	23	23	11	5	1		64	1.677
Шивелуч	12	1	2929	3510	78	5	1		6524	4.73
Крестовский и Ушковский	10.1	2	25	4	1				32	0.015
Вне вулканов		2	36	50	26	4	1		119	1.482
Всего		54	4541	4188	463	102	4	1	9353	27.389

Из анализа табл. 1 следует, что в 2008 г. соотношение числа землетрясений и высвобожденной ими энергии по зонам, по сравнению с таковыми величинами в 2007 г., практически не изменилось [7]. Наиболее активной по числу землетрясений с $N=6524$ осталась зона влк. Шивелуч с $R=12$ км. Здесь произошло 69.8 % землетрясений от общего числа событий, вошедших в каталог [9]. Количество же высвобожденной ими сейсмической энергии в 4 раза меньше, чем в зоне Ключевского вулкана с $R=7$ км. Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в очагах вулканических землетрясений района Северной группы вулканов, составила $\Sigma E=27.39 \cdot 10^8 \text{ Дж}$, что примерно в 1.5 раза меньше, чем в 2007 г. ($\Sigma E=39.85 \cdot 10^9 \text{ Дж}$) [7].

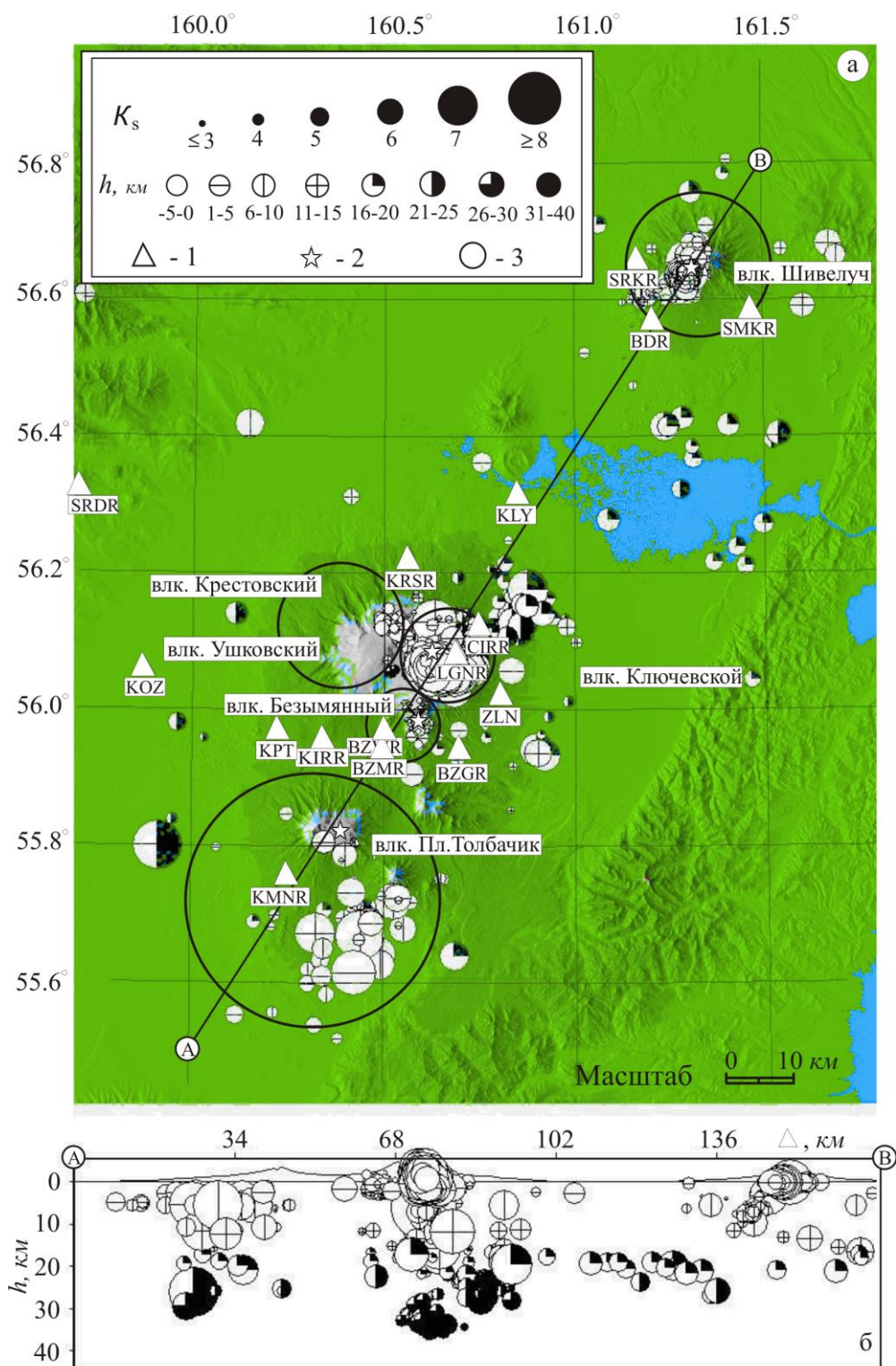


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Северной группы вулканов за 2008 г. (а) и проекция гипоцентров на вертикальную плоскость, проходящую через линию А–В (б)

1 – сейсмическая станция; 2 – активный вулкан; 3 – окружность, ооконтуривающая область выборки землетрясений возле вулкана. 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 его наклона использовался пакет программ ZMAP [12]. Из графика следует, что представительными для Северной группы вулканов являются землетрясения с $K_{\min}=4.5$, хотя уровень K_{\min} изменчив на протяжении года.

Например, при регистрации сильного непрерывного вулканического дрожания обрабатывать слабые землетрясения невозможно и в таких случаях значение K_{\min} повышается. Именно этим объясняется нарушение линейности графика в диапазоне классов $K_S=5.5-6.5$, что будет рассмотрено более детально при описании сейсмичности влк. Ключевской. Для землетрясений в диапазоне $K_S=4.5-8.8$ угол наклона графика повторяемости равен $\gamma=0.95\pm 0.02$, что больше такового в 2007 г. ($\gamma=0.67$), но ближе к среднему $\gamma=0.78$, определенному по данным за 2000–2007 гг. [6, 7].

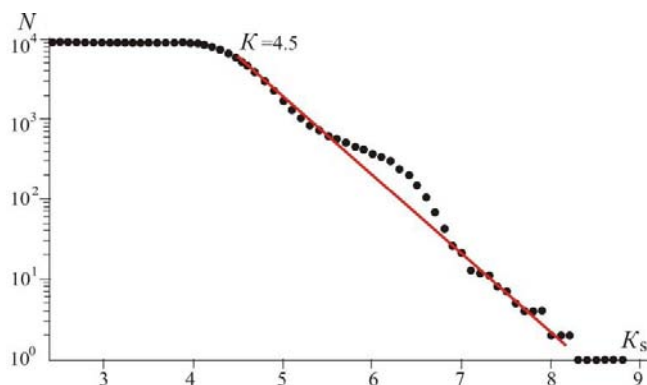


Рис. 2. График повторяемости землетрясений Северной группы вулканов в 2008 г.

Ниже приводится описание сейсмической активности вокруг шести вулканов Северной группы по данным инструментальных и визуальных наблюдений.

Вулкан Шивелуч. По теоретическим расчетам в [6] сеть сейсмических станций должна регистрировать землетрясения из района влк. Шивелуч, начиная с $K_{\min}=4.0$. Здесь по-прежнему наблюдалась высокая сейсмическая активность вулкана, хотя число локализованных землетрясений и высвобожденная ими энергия в 1.5 раза меньше, чем в 2007 г. ($\Sigma E=7.487\cdot 10^8$ Дж). В радиусе 12 км от вулкана было локализовано 6524 землетрясения, диапазон глубин $h=0-13$ км (рис. 3 а, б) (табл. 1). Представительный класс, рассчитанный по программе ZMAP, составил $K_{\min}=4.7$. График повторяемости с $\gamma=1.55\pm 0.03$ стал еще круче, чем в 2006 ($\gamma=0.8\pm 0.05$ [6]) и в 2007 гг. ($\gamma=1.16\pm 0.01$ [7]) соответственно. Возможно, это является следствием увеличения числа землетрясений в связи с активизацией в приповерхностном магматическом очаге во второй половине года (рис. 3). Землетрясение с максимальным классом $K_S=7.6$ произошло 12 мая в 08^h22^m на глубине $h=0.3\pm 0.5$ км [9].

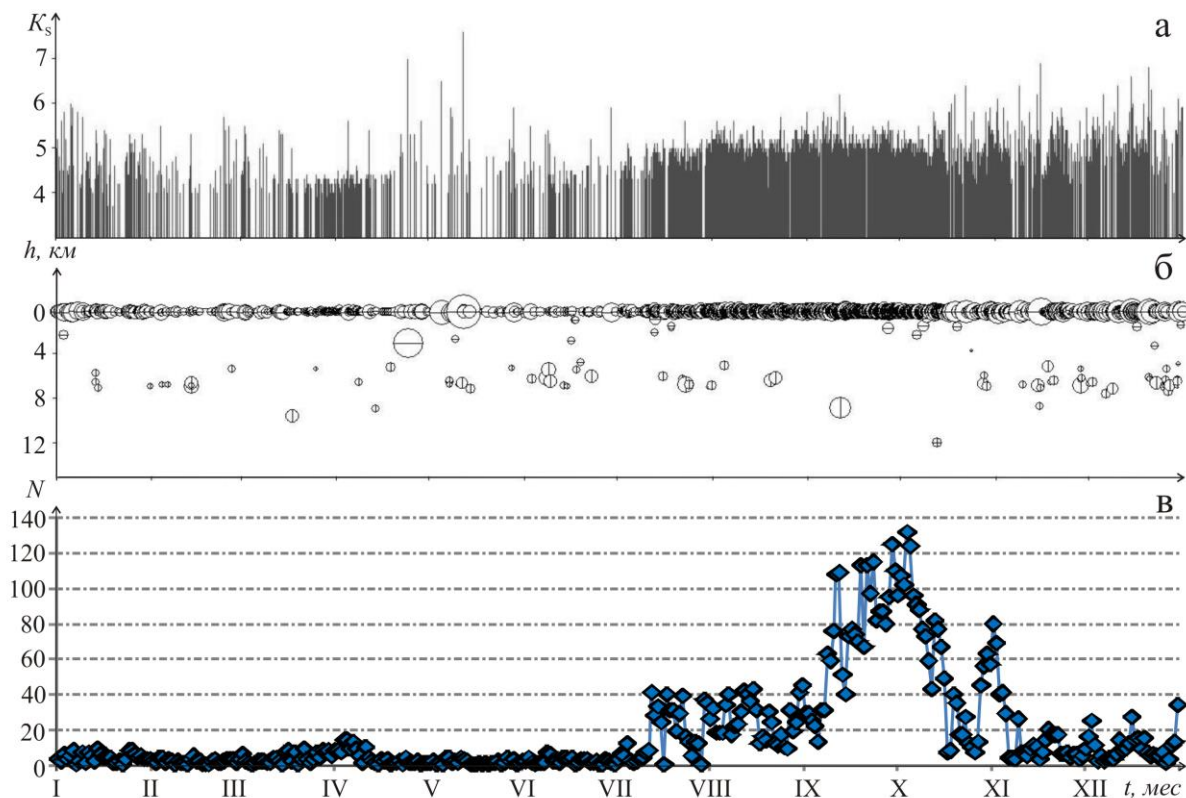


Рис. 3. Изменение во времени энергетического класса K_S (а), глубины гипоцентров h (б) и числа N (в) вулканических землетрясений, произошедших в радиусе 12 км от влк. Шивелуч в 2008 г.

В исследуемый период продолжалось извержение влк. Шивелуч, начавшееся еще в декабре 2006 г. [6]. Сейсмическая активизация, связанная с интенсивным ростом нового купола, началась в середине июля и продолжалась до ноября (рис. 3 в). Максимальное число ($N=132$) землетрясений было локализовано 4 октября [9].

По-прежнему в течение всего года на спутниковых снимках регистрировалась термальная аномалия (рис. 4 а), свидетельствующая о присутствии на поверхности горячего материала. Выход на поверхность магматического материала из-за резкого сброса давления вызывал новые извержения, сопровождавшиеся пепловыми выбросами и сходом пирокластических потоков. По визуальным данным газо-пепловый выброс с максимальной высотой 3.3 км над куполом был зафиксирован 14 мая (рис. 4 б). При плохих погодных условиях или в темное время суток оценка высоты возможной эксплозии проводилась по сейсмическим данным по методике [13]. На рис. 4 в представлен спутниковый снимок с пепловым шлейфом в 30 км от вулкана, подтверждающий эксплозивное извержение 18 октября в 23^h19^m по сейсмическим данным. Поверхностное сейсмическое событие, возможно сопровождавшее максимальный в 2008 г. пепловый выброс высотой до 6 км над куполом, было зарегистрировано также 20 декабря в 20^h01^m, но в каталоге [9] его нет, т.к. из-за плохих вступлений локализовать не удалось.

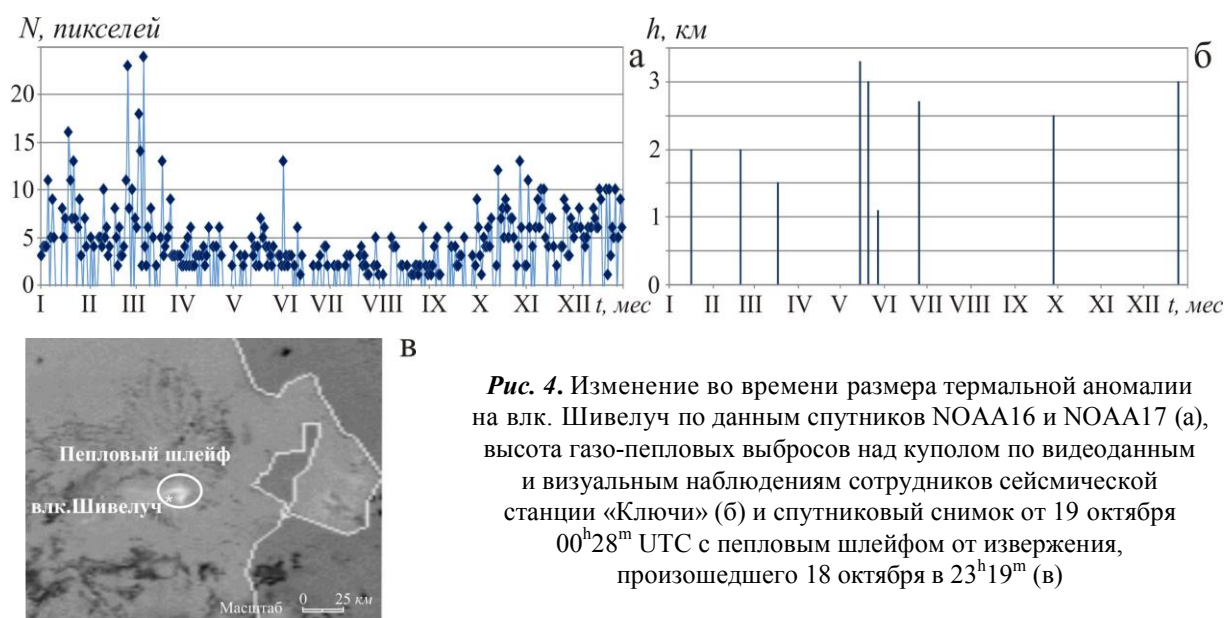


Рис. 4. Изменение во времени размера термальной аномалии на влк. Шивелуч по данным спутников NOAA16 и NOAA17 (а), высота газо-пепловых выбросов над куполом по видеоданным и визуальным наблюдениям сотрудников сейсмической станции «Ключи» (б) и спутниковый снимок от 19 октября 00^h28^m UTC с пепловым шлейфом от извержения, произошедшего 18 октября в 23^h19^m (в)

Вулкан Ключевской. Существующая сеть станций (рис. 1) позволяет локализовать при благоприятных условиях землетрясения, начиная с $K_S \geq 4.0$. Ближайшая телеметрическая станция «Логоинов» (LGNR), регистрирующая землетрясения с $K_S \geq 2.2$, расположена в 4 км от кратера. В 2008 г. в радиусе 7 км от вулкана и диапазоне глубин $h = -4.5 - 40$ км было локализовано 2502 землетрясения [9]. Карта этих эпицентров и проекция гипоцентров на вертикальный разрез представлены на рис. 1, а графики изменения во времени параметров сейсмической активности вулкана – на рис. 5. Максимальное ($K_S=8.8$) землетрясение зарегистрировано 29 августа в 06^h27^m на глубине $h=5.7 \pm 5.0$ км под постройкой вулкана. Характер сейсмичности Ключевского вулкана, как и ранее [14], 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 [15–17]. Все землетрясения в 2008 г., как и в предыдущие годы, были разделены по трем слоям: I → $-5.0 \leq h \leq 5.0$ км, II → $5.0 < h \leq 20.0$ км, III → $20 < h < 40.0$ км [6, 7, 16].

В 2008 г. по-прежнему наблюдалась высокая сейсмическая активность вблизи ($R \leq 7$ км) вулкана. График распределения глубины очагов во времени (рис. 5 б) наглядно демонстрирует, что основная часть землетрясений происходит в верхнем («поверхностном») и нижнем («глубоком») горизонтах, а в промежуточном слое сейсмичность практически отсутствует. В первой половине года основная сейсмичность сосредоточена в III слое, где генерируется множество глубоких длиннопериодных землетрясений, в образовании которых активную роль играет маг-

матический расплав [18]. В 2008 г. были определены параметры для 1086 таких землетрясений, в том числе 4 июня зафиксировано максимальное их число ($N=71$) в сутки (рис. 5 в). Во второй половине года, наоборот, – основная сейсмичность сосредоточена в верхнем слое I, всего 956 землетрясений. Во II слое было локализовано 458 землетрясений.

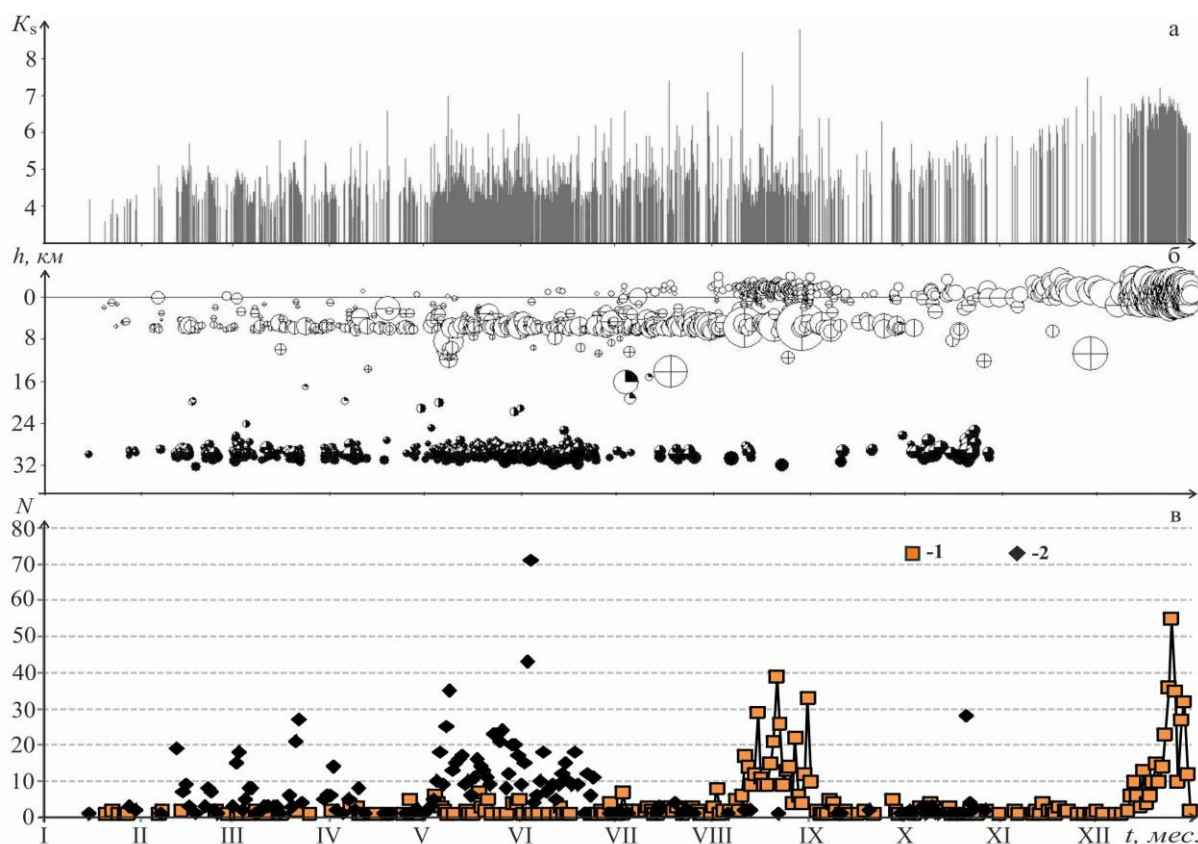


Рис. 5. Изменение во времени энергетического класса K_s (а), глубины гипоцентров h (б) и ежесуточных чисел землетрясений I и III слоев (в), произошедших в радиусе 7 км от влк. Ключевской за 2008 г.

1, 2 – землетрясения в I и III слоях соответственно.

В верхнем (I) и промежуточном (II) слоях происходят главным образом вулканотектонические землетрясения. Возникают они 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 [15]. Появление в конце июня землетрясений в верхнем слое (рис. 5 б, в) и дальнейший рост их числа свидетельствовали о поступлении магмы в постройку вулкана и скором вершинном извержении. 1 июля 2008 г. в Камчатский филиал Российского экспертного совета (КФ РЭС) был передан среднесрочный прогноз развития активизации влк. Ключевской, об ожидаемом времени начала извержения и его масштабах, который впоследствии оправдался [19]. Извержение стромболианского типа началось 8 октября с появления свечения в кратере, 21 ноября зарегистрировано начало излияния лавового потока, а первые пепловые выбросы зафиксированы 4 декабря. Извержение продолжалось до января 2009 г. Во время вершинного извержения вся сейсмичность была сосредоточена в верхнем слое (I) (рис. 5 б, в).

С помощью пакета программ ZMAP [12] 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 активности. Для периода, когда регистрируется слабое вулканическое дрожание или оно отсутствует, представительный класс получился равным $K_{\min}=4.1$ при значении $\gamma=0.68\pm 0.05$. Величина угла наклона близка к среднему значению $\bar{\gamma}=0.63$ за 2005–2007 гг. [6, 7], представительный класс немного снизился, по

сравнению с таковым ($K_{\min}=4.3$) в 2007 г. [7]. В ноябре-декабре 2008 г. на влк. Ключевской регистрировалось сильное вулканическое дрожание, максимальное значение ($A/T_{\text{сред.}}=21.9 \mu\text{с}$) по станции «Цирк» было зарегистрировано 5 декабря. На фоне такого дрожания выделить и локализовать слабые землетрясения довольно сложно, поэтому значение K_{\min} повысилось до $K_{\min}=6.4$. Для этого периода в 2008 г. график повторяемости получился очень крутой ($\gamma=1.95\pm 0.1$). Такие большие значения угла наклона связаны с землетрясениями, происходящими в магматических очагах [20, 21]. Уровень надежной регистрации оказался равным $K_{\min}=6.4$. Для глубоких ($h=20\text{--}40 \text{ км}$) землетрясений представительный класс получился равным $K_{\min}=4.2$, а угол наклона $\gamma=1.5\pm 0.09$. Угол наклона равен среднему значению $\gamma=1.5$ за период 2003–2007 гг., но, по сравнению с величиной $\gamma=2.0$ в 2007 г. [7], график повторяемости стал более пологим. Для землетрясений II слоя представительный класс в 2008 г. равен $K_{\min}=4.1$. В этом слое угол наклона графика повторяемости имеет стабильное значение на протяжении многих лет и равен $\gamma=0.54\pm 0.02$.

Вулкан Безымянный. Ближайшая телеметрическая станция «Безымянный» (BZMR), расположенная в 7 км от кратера, позволяет регистрировать землетрясения с $K_{\min}\geq 2.9$. Сейсмический режим вулкана, выражающийся в чередовании периодов покоя и сейсмической активизации, заканчивающейся извержением, сохранился и в 2008 г. (рис. 6 а). Единственное извержение в 2008 г. было отмечено 19 августа.

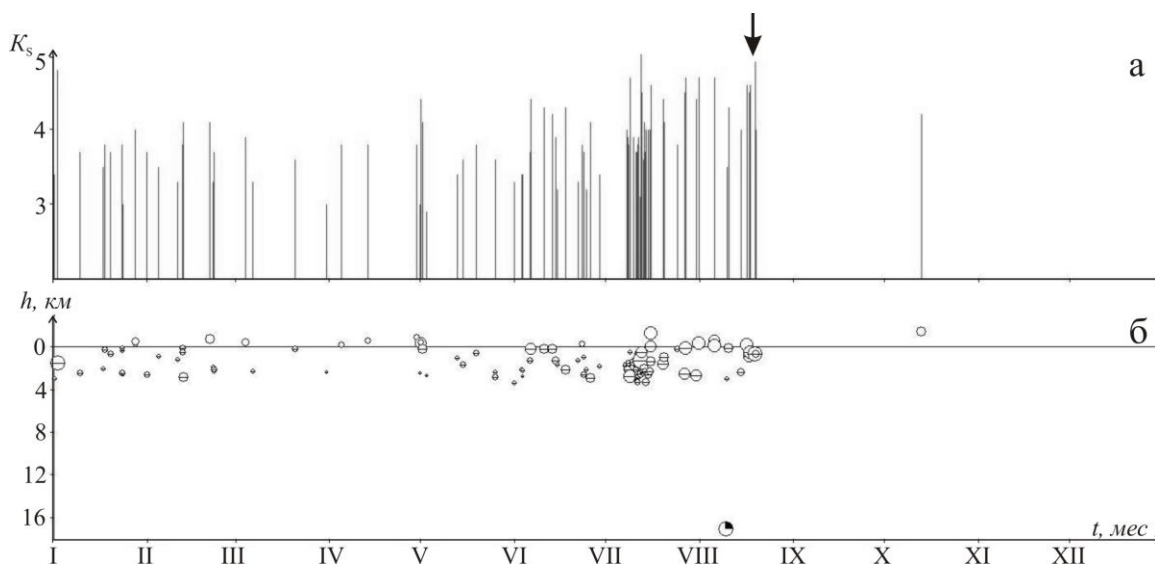


Рис. 6. Изменение во времени энергетического класса K_s (а) и глубины гипоцентров h (б) вулканических землетрясений, произошедших в радиусе 6 км от влк. Безымянный в 2008 г. (стрелкой обозначен момент эксплозивного извержения вулкана)

Сейсмическая подготовка извержения началась в начале июля. Во время активизации было локализовано 70 землетрясений с $K_s=3.1\text{--}5.0$, суммарная энергия которых составила $\Sigma E=1.2\cdot 10^6 \text{ Дж}$. Решающим основанием для успешного краткосрочного прогноза извержения влк. Безымянный стало резкое повышение температуры термальной аномалии [19]. Прогноз был заявлен в КФ РЭС 12 августа, а уже 19 августа, согласно сейсмическим данным, произошла пароксизмальная фаза извержения, – с $10^{\text{h}}30^{\text{m}}$ до $11^{\text{h}}15^{\text{m}}$ (в это время вулкан был закрыт облачностью и визуальные наблюдения были невозможны). Высота пеплового выброса, определенная по спутниковым данным, составила $\sim 7 \text{ км}$ над уровнем моря.

С 21 октября корректный сейсмический мониторинг вулкана стал невозможен из-за сильного вулканического дрожания, регистрируемого на влк. Ключевской (рис. 6 а). Всего в 2008 г. в радиусе 6 км от влк. Безымянный было локализовано 112 землетрясений в диапазоне глубин $h= -1.4\text{--}17.1 \text{ км}$ [9]. Максимальное ($K_s=5.0$) землетрясение отмечено 12 июля в $17^{\text{h}}10^{\text{m}}$ подстройкой вулкана с $h=1.3\pm 3.5 \text{ км}$. Уровень надежной регистрации и угол наклона графика повторяемости в исследуемый период не изменились, по сравнению с таковыми в 2007 г., и составили $K_{\min}=3.8$, $\gamma=0.8\pm 0.01$.

Вулкан Плоский Толбачик. На протяжении 2008 г. в районе влк. Плоский Толбачик наблюдалась «обычная, фоновая» сейсмичность. Ближайшая телеметрическая станция «Каменистая» (KMNR), расположенная в 10 км от кратера вулкана, регистрировала землетрясения с $K_S \geq 3.3$. В 2008 г. в радиусе 20 км от вулкана было локализовано 64 землетрясения (табл. 1) с $h=0.8-22.6$ км [9]. Уровень K_{min} , рассчитанный по программе ZMAP, равен $K_{min}=4.3$, угол γ наклона графика повторяемости – $\gamma=0.42 \pm 0.05$. Наклон графика практически не меняется на протяжении многих лет и близок к значению $\gamma=0.5$ для региональных тектонических землетрясений [22]. Максимальное ($K_S=7.9$) событие произошло 20 ноября в 02^h25^m на глубине $h=5.1 \pm 5.0$ км [9].

Вулканы Ушковский и Крестовский. В 2008 г. сейсмичность района влк. Крестовский и Ушковский была фоновой и никаких проявлений вулканической активности не отмечено. Сеть сейсмических станций позволяет локализовать землетрясения с занесением в каталог, начиная с $K_{min}=4.0$. Ближайшие телеметрические станции – «Крестовский» и «Логинов» – расположены в 12 км от вершины влк. Крестовского и регистрируют землетрясения с $K_S \geq 3.5$. В 2008 г. в пределах окружности радиусом 10.1 км, включающей оба вулкана, было локализовано всего 32 землетрясения (рис. 1) с $h=-2.6-10.9$ км [9]. Для определения представительного класса и угла наклона графика повторяемости этого числа событий недостаточно. Максимальное ($K_S=5.9$) событие реализовалось 16 апреля в 21^h21^m на глубине $h=2.8 \pm 2.5$ км под постройкой влк. Крестовский.

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-Камчатский и Елизово.

Координаты гипоцентров землетрясений в пределах Корякского и Авачинского вулканов рассчитывались, как и в предшествующие годы [6, 7], по программе Ю.Ю. Мельникова [8] с использованием двух разных одномерных скоростных моделей среды [1]. Для сейсмических событий, расположенных вне этих вулканов, приблизительно по изолинии 400 м, в расчетах использовался обычный региональный годограф [23].

В 2008 г. в районе Авачинской группы вулканов было локализовано 1015 землетрясений с $K_S=1.8-7.8$ (табл. 2), что ~ в 5 раз больше, чем в 2007 г. [7]. Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в очагах вулканических землетрясений, в 34 раза превысила таковое значение в 2007 г. и в 11 раз суммарную энергию, высвобожденную за период 2006–2007 гг. [6, 7]. Максимальное ($K_S=7.8$) землетрясение возникло 25 марта в 14^h28^m на глубине $h=7.8 \pm 7.0$ км под постройкой Корякского вулкана [24]. Карта эпицентров и проекция гипоцентров на вертикальный разрез представлены на рис. 7.

Таблица 2. Распределение землетрясений в районе № 2 по энергетическим классам K_S в 2008 г.

Название вулкана	$R_{зоны},$ км	K_S							N_{Σ}	$\Sigma E,$ 10^7 Дж
		2	3	4	5	6	7	8		
Авачинский	8	69	127	46	13	3			258	0.496
Корякский	9	5	199	363	98	27	6	1	699	16.541
Вне вулканов		1	29	23	5				58	0.813
Всего		75	355	432	116	30	6	1	1015	17.850

Представительный класс, рассчитанный по программе ZMAP, составил $K_{min}=3.8$ (рис. 8), что почти на целый класс хуже среднего значения ($K_{min}=3.0$), рассчитанного по материалам 2005–2007 гг. Ухудшение уровня надежной регистрации в 2008 г., возможно, связано с активизацией влк. Корякский, в районе которого была локализована большая часть землетрясений (табл. 2), представительный класс которых получился $K_{min}=4.0$. Следует отметить, что в 2008 г. сейсмическая сеть наблюдений была односторонней по отношению к влк. Корякский (рис. 7 а), поэтому точность определения координат очагов хуже, чем для землетрясений Авачинского вулкана.

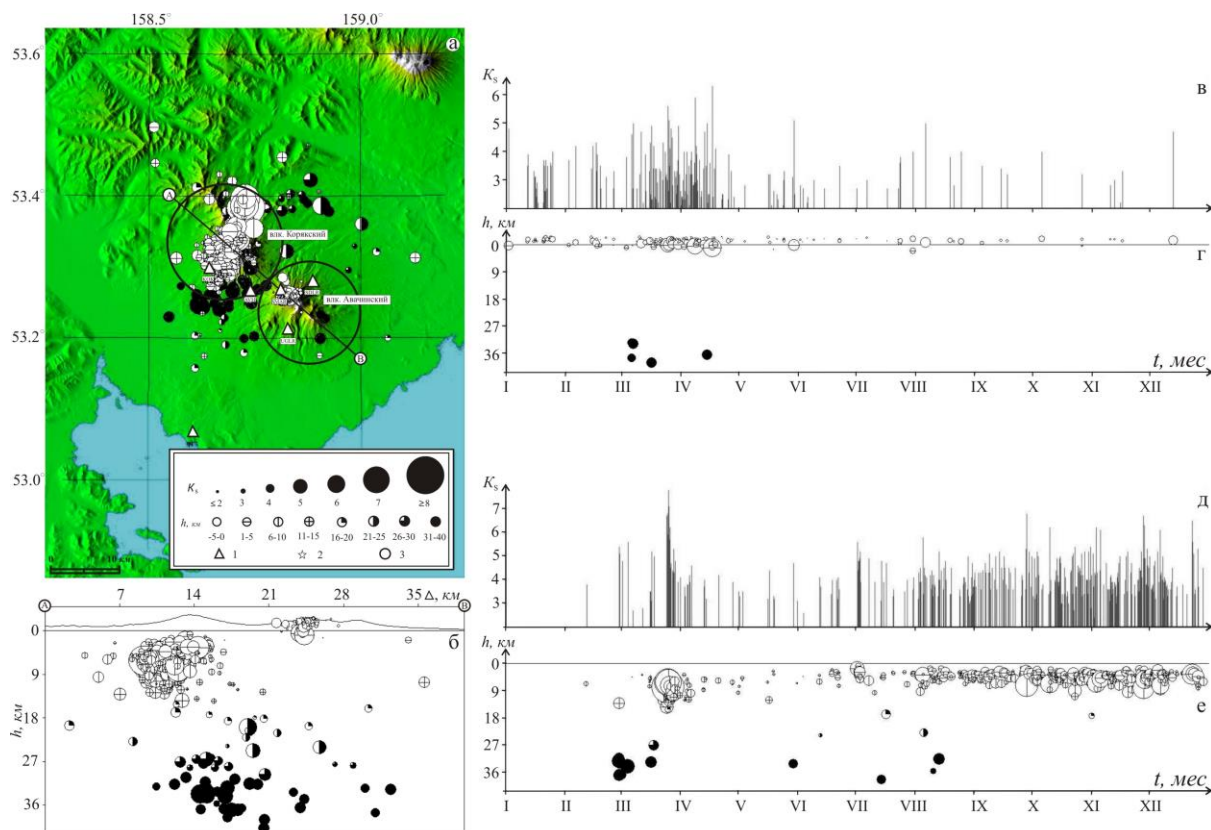


Рис. 7. Карта эпицентров (а) и проекция гипоцентров на вертикальный разрез вдоль линии А–В (б) для землетрясений района Авачинской группы вулканов, а также изменение во времени энергетического класса K_S (в, д) и глубины гипоцентров h (г, е) вулканических землетрясений, произошедших в радиусе 8 км от Авачинского и 9 км от Корякского вулканов соответственно

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

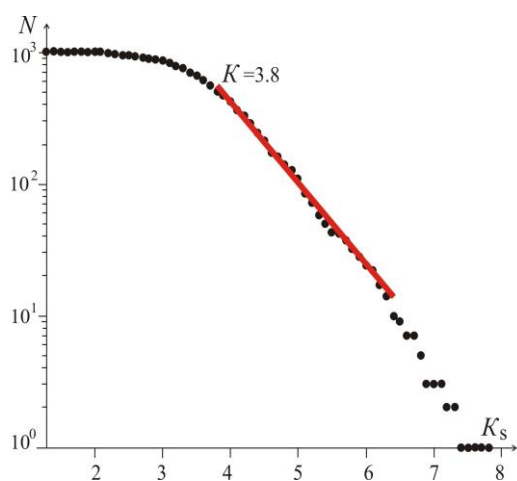


Рис. 8. График повторяемости землетрясений Авачинской группы вулканов за 2008 г.

На рис. 7 в–д представлены распределения во времени значений энергетического класса K_S и глубины для землетрясений каждого вулкана. В 2008 г. на влк. Авачинский в марте–апреле наблюдалась небольшая сейсмическая активизация. В этот период было локализовано 164 землетрясения с $K_S=1.8–6.3$ в диапазоне глубин $h=-2.7–39.1$ км [24]. Максимальное ($K_S=6.3$) землетрясение произошло 17 апреля в 06^h54^m под постройкой вулкана на глубине $h=0.9\pm 2.0$ км.

Сейсмическая активизация влк. Корякский началась в марте [24, 25]. В период 24–30 марта было локализовано 108 землетрясений с $K_S=3.0–7.8$. Очаги землетрясений располагались к северу от вершины на глубинах $h=5.9–15.2$ км. После некоторого перерыва в начале июля сейсмическая активность вновь возросла, но уже под постройкой вулкана в диапазоне глубин $h=3.0–10.0$ км (рис. 7 е). Вместе с повышением сейсмической активности к концу года заметно усилилась и вулканическая деятельность влк. Корякский. Парогазовые выбросы высотой до 1 км, содержащие пепел, были зафиксированы здесь визуальными наблюдениями 24, 26 и 27 декабря. За период детальных сейсмологических наблюдений повышение сейсмической активности в районе влк. Корякский до 2008 г. было зарегистрировано дважды – в августе 1966 г. (Аагский рой землетрясений) [26] и весной 1994 г. [27].

Подводя итоги, можно констатировать, что в 2008 г. на Камчатке были активны вулканы Шивелуч, Ключевской, Безымянный и Корякский. На влк. Шивелуч продолжалось эксплозивное извержение с высотой пепловых выбросов до 8 км над уровнем моря, связанное с интенсивным ростом нового купола. В кратере влк. Ключевской с 8 октября 2008 г. и до января 2009 г. наблюдалось эффузивно-эксплозивное извержение, которое было успешно предсказано в рамках среднесрочного прогноза. Умеренное эксплозивное извержение влк. Безымянный произошло 19 августа. Для этого события успешный краткосрочный прогноз был сделан по росту температуры термальной аномалии по спутниковым данным. Сейсмическая активизация влк. Корякский началась в марте. Повышение сейсмической активности к концу года привело в итоге к усилению вулканической деятельности. Парогазовые выбросы над влк. Корякский высотой до 1 км, содержащие пепел, были зафиксированы визуальными наблюдениями 24, 26 и 27 декабря.

Л и т е р а т у р а

1. Сеньюков С.Л. Мониторинг активности вулканов Камчатки дистанционными средствами наблюдений в 2000–2004 гг. // Вулканология и сейсмология. – 2006. – № 3. – С. 68–78.
2. Старовойт О.Е., Мишаткин В.Н. Сейсмические станции Российской академии наук (состояние на 2001 г.). – М. – Обнинск: ГС РАН, 2001. – 86 с.
3. 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.
4. Дрознина С.Я., Левина В.И., Чебров В.Н., Ландер А.В., Сеньюков С.Л. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 41–48.
5. Чебров В.Н., Сеньюков С.Л., Дрознина С.Я. Камчатка и Командорские острова // Землетрясения России, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 51–56.
6. Сеньюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я. Сейсмический мониторинг вулканов Камчатки // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 449–460.
7. Сеньюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я. Сейсмический мониторинг вулканов Камчатки // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 448–457.
8. Мельников Ю.Ю. Пакет программ для определения координат гипоцентров землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. – 1990. – № 5. – С. 103–112.
9. Нуждина И.Н. (отв. сост.), Дрознина С.Я., Кожевникова Т.Ю., Толочкова С.Л. Каталог землетрясений Северной группы вулканов за 2008 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
10. Токарев П.И. Вулканические землетрясения Камчатки. – М.: Наука, 1981. – 164 с.
11. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. – М.: Наука, 1972. – 117 с.
12. Weimer S. A software package to analyze seismicity: ZMAP // Seism. Res. Lett. – 2001. – 72. – N 2. – P. 374–383.
13. Сеньюков С.Л., Дрознина С.Я., Дрознин Д.В. Опыт выделения пепловых выбросов и оценка их высоты по сейсмическим данным на примере вулкана Шивелуч (Камчатка) // Комплексные сейсмологические и геофизические наблюдения на Камчатке. – Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2004. – С. 292–300.
14. 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.
15. 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.
16. 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. I. – Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2008. – С. 120–125.
17. 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.

18. **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.
19. **Сенюков С.Л.** Мониторинг и прогноз активности вулканов Камчатки по сейсмологическим данным в 2000–2010 гг. // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 1. – С. 96–108.
20. **Murru M., Montuori C.** The locations of magma chambers at Mt. Etna, Italy, mapped by *b*-values // Geophysical research letters. – 1999. – 26. – N 16. – P. 2553–2556.
21. **Wiemer Stefan, McNutt Stephen R.** Variations in the frequency-magnitude distribution with depth in two volcanic areas: Mount St. Helens, Washington, and Mt. Spurr, Alaska // Geophysical research letters. – 1997. – 24. – N 2. – P. 2553–2556.
22. **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.
23. **Кузин И.П.** Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки. – М.: Наука, 1974. – 132 с.
24. **Нуждина И.Н. (отв. сост.), Дрознина С.Я., Кожевникова Т.Ю., Толочнова С.Л.** Каталог землетрясений Авачинской группы вулканов за 2008 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
25. **Сенюков С.Л., Нуждина И.Н.** Сейсмичность вулкана Корякский в 1966–2009 гг. // Труды Второй региональной научно-технической конференции 11–18 октября 2009 г. «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». – Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2010. – С. 91–95.
26. **Горельчик В.И.** О рое землетрясений в районе вулкана Ааг // Бюллетень вулканологических станций. – 1969. – № 45. – С. 32–38.
27. **Гордеев Е.И., Сенюков С.Л.** Сейсмическая активизация вулкана Корякский в 1994 г.: гибридные сейсмические события и их применение для оценки вулканической опасности // Вулканология и сейсмология. – 1998. – № 4–5. – С. 112–126.