

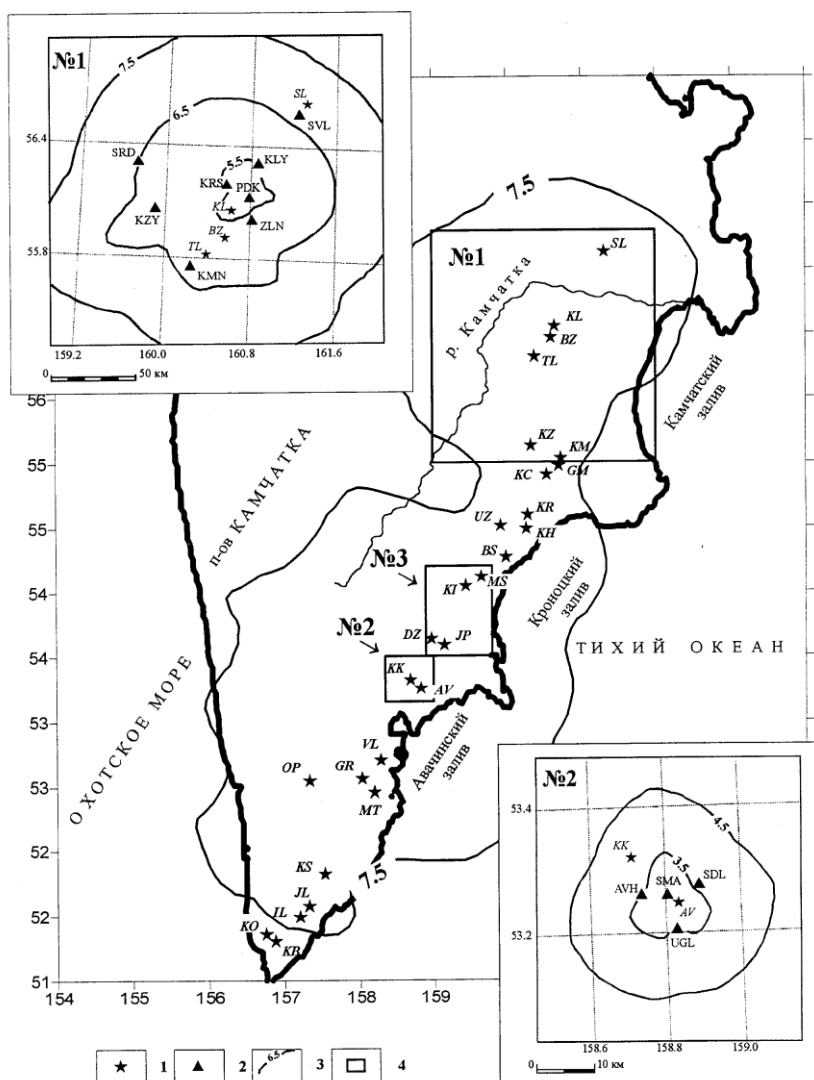
УДК 550.348.438(517.66)

**ВУЛКАНИЧЕСКИЕ РАЙОНЫ КАМЧАТКИ**

**О.С. Чубарова\*, В.И. Левина\*\*, С.Л. Сеньюков\*\***

(\* – Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН, \*\* – Камчатская ОМСП ГС РАН)

Сейсмичность континентальной части Камчатки проявляется в основном в виде роевых последовательностей землетрясений, приуроченных, как правило, к активным вулканам (рис. 1). В 1995 г. сейсмическая активность наблюдалась в районах **Северной** (район №1), **Авачинско-Корякской** (район №2) групп вулканов и **Карымского вулканического центра** (район №3) в границах, околонтуренных на рис. 1. На двух врезках представлены расчетные карты энергетической представительности землетрясений  $K_{Smin}$  для первых двух районов (здесь и далее  $K_S = K_{S1,2}^{Ф68}$  по [1]), для третьего района дана изолиния с  $K_{Smin} = 7.5$  в соответствии с картой  $K_{min}$  на основном рисунке. Характеристика параметров сейсмических станций, показанных на картах-врезках, дана в [2].



**Рис. 1.** Карта активных вулканов Камчатки. На врезках показаны карты энергетической представительности землетрясений  $K_{Smin}$  в районах Северной группы вулканов (район №1) и Авачинско-Корякской группы вулканов (район №2).

1 – вулкан; 2 – сейсмическая станция; 3 – изолиния  $K_{Smin}$ ; 4 – контур района.

Код и название вулкана: KB – Камбальный, КО – Кошелевский, IL – Ильинский, JL – Желтовский, KS – Ксудач, MT – Мутновский, GR – Горелый, OP – Опала, VL – Вилучинский, KK – Корякский, AV – Авачинский, DZ – Дзензур, JP – Жупановский, KI – Карымский, MS – Малый Семлячик, BS – Большой Семлячик, KH – Кихпинич, UZ – Узон, KR – Крашенинникова, KC – Кроноцкий, GM – Гамчен, KM – Комарова, KZ – Кизимен, BZ – Безымянный, TL – Плоский Толбачик, KL – Ключевской, SL – Шивелуч;  
 Код и название сейсмической станции в районе №1: SVL – Шивелуч, KLY – Ключи, KRS – Крестовский, SRD – Срединный, KZY – Козыревск, PDK – Подкова, ZLN – Зеленая, KMN – Каменистая; в районе №2: AVH – Авача, SMA – Сомма, SDL – Седловина, UGL – Угловая;

Методика обработки материалов наблюдений **Северной группы вулканов** (район №1) изложена в

[3-5]. При определении координат очагов землетрясений использовалась шестислойная модель земной коры [6], построенная с учетом данных глубинного сейсмического зондирования [7]. При существующей сети наблюдений определение местоположения эпицентров землетрясений в значительной степени зависит от конфигурации сети сейсмических станций, отказ даже одной из них может привести к смещению эпицентра. Именно поэтому при анализе взаимосвязи сейсмичности с вулканической деятельностью использовались данные визуальных наблюдений состояния вулканов, а также привлекались сведения бюллетеней отдельных сейсмических станций, позволяющие учитывать особенности записи сейсмического сигнала и дополняющие каталог землетрясений, зарегистрированных сетью станций. При этом учитывались результаты долговременных сейсмологических наблюдений на активных вулканах Северной группы [3,5,6,8-11]

Рассматриваемый район №1 поделен на 11 зон; девять из них оконтурены, три зоны, расположенные вдоль подводных хребтов Срединного, Кумроч и часть территории севернее второй зоны – без контуров (рис. 2). Необходимо подчеркнуть, что границы сейсмоактивных зон на рис. 2 являются в достаточной степени формальными.

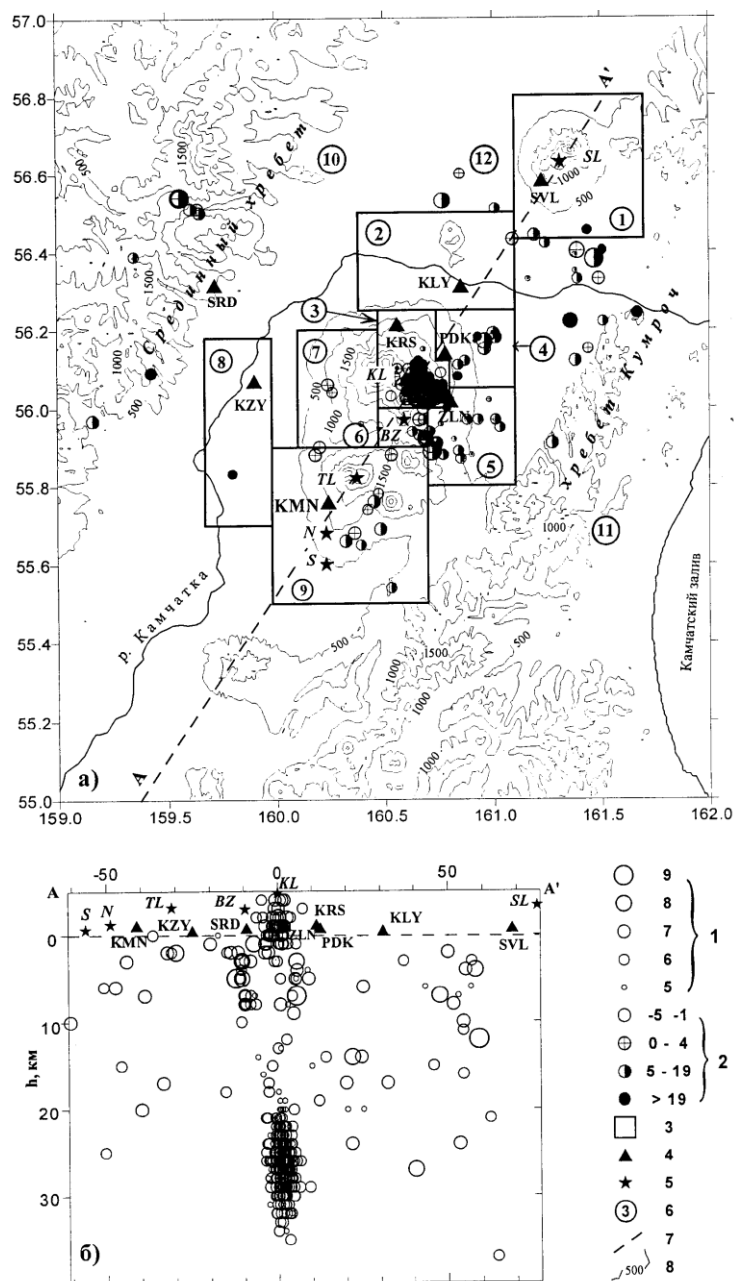


Рис. 2. Карта эпицентров (а) и вертикальный разрез по линии А-А' (б) землетрясений района №1

1 – энергетический класс  $K_s$ ; 2 – глубина гипоцентра  $h$ , км; 3 – сейсмоактивная зона; 4 – сейсмическая станция; 5 – активный вулкан; 6 – номер зоны; 7 – линия разреза; 8 – изолиния рельефа местности.

В 1995 г. в районе №1 были определены гипоцентры 649 землетрясений с  $K_s=4-9^1$ . Наиболее сильные ( $K_s \geq 9$ ) землетрясения произошли в зоне Апахончич и в пределах хребтов Срединный и Кумроч.

<sup>1</sup> Обработка первичных материалов и составление каталога Северной группы вулканов производились сотрудником КОМСП ГС РАН С. Л. Толокновой под руководством В.Т. Гарбузовой.

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_s$ , глубине  $h$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  по сейсмоактивным зонам района №1

№	Зона	$K_s$					Всего	$N_{\Sigma}$		$\Sigma E \cdot 10^8$ , Дж
		5	6	7	8	9		$h < 5 \text{ км}$	$h \geq 5 \text{ км}$	
1	Вулкан Шивелуч	-	1	1	-	-	2	-	2	0.06
2	Ключи	-	-	1	-	-	1	1	-	0.13
3	Центральная	202	331	27	-	-	560	67	493	6.34
4	Подкова	2	4	3	1	-	10	-	10	1.21
5	Апахончич	6	16	2	-	-	24	5	20	6.74
6	Вулкан Безымянный	-	6	2	2	-	10	5	5	2.01
7	Восточная Козыревская	-	-	-	-	-	-	3	-	0.23
8	Западная Козыревская	-	1	-	-	-	1	-	1	0.01
9	Вулкан Плоский Толбачик	-	4	7	-	-	11	6	5	1.11
10	Хребет Срединный	-	1	5	1	1	8	-	-	5.08
11	Хребет Кумроч	3	5	4	2	1	15	-	-	7.85
12	Севернее зоны 2	-	2	-	1	-	3	1	2	2.52
	Всего	213	371	52	7	2	645	93	556	33.28

Самая большая активность наблюдалась в сейсмоактивной области вокруг Ключевского вулкана (зоны 4-6). Состояние вулкана в январе-мае по данным наблюдателей из Ключей и Козыревска (устное сообщение) характеризовалось, в основном, интенсивными паро-газовыми выбросами на высоту от 100 до 2000-4000 м над кратером вулкана. В некоторых случаях наблюдатели отмечали выбросы с примесью пепла, взрывы в кратере, пеплопад в Ключах (17 марта). Вторая половина года характеризовалась, в основном, умеренной и слабой парогазовой деятельностью. По другим данным [12,13], после окончания пароксизмального извержения Ключевского вулкана 2 октября 1994 г. в его кратере начал формироваться провал, что свидетельствует об опустошении магматического очага и является признаком перехода вулкана в спокойное состояние. Согласно [12] процесс образования провала в кратере сопровождается обвалами, которые иногда ошибочно принимаются за пепловые выбросы.

В пределах этой сейсмоактивной области наибольшее число землетрясений, как и в 1994 г. [10], зарегистрировано в зоне Центральная, в пределах постройки Ключевского вулкана (табл. 1, рис. 2). Происходившие здесь землетрясения образуют две группы на глубинах  $h=4-1$  км и  $h=20-30$  км, для которых на рис. 3,б представлены суточные значения числа землетрясений, максимального энергетического класса, а также накопленной во времени сейсмической энергии. Землетрясения с промежуточными ( $h=2-19$  км) глубинами очагов на этом рисунке не показаны из-за их малочисленности (всего 14 событий). Землетрясения с  $h \geq 20$  км более многочисленны (483 из 649) и представляют собой длиннопериодные землетрясения в локальном объеме под вулканом. Особенности этих землетрясений описаны ранее [14]. Со 2 октября 1994 г. и до 17 января 1995 г. глубокие длиннопериодные (ГДП) землетрясения не регистрировались. В период с 17 января по конец мая ГДП-землетрясения происходили почти ежедневно (рис. 3,а), особенно много (104) – в марте, но по выделению сейсмической энергии процесс можно считать равномерным. В апреле число ГДП-землетрясений резко сократилось, продолжая уменьшаться в дальнейшем до конца года. В декабре было зарегистрировано только два землетрясения. Что касается поверхностных ( $h \leq 1$  км) землетрясений, то достаточно много их произошло в конце апреля и в мае (рис. 3,б) с абсолютным максимумом 24 мая, после чего их активность резко уменьшилась. Особо следует отметить синхронность спада скорости выделения энергии в очагах поверхностных и ГДП-землетрясений.

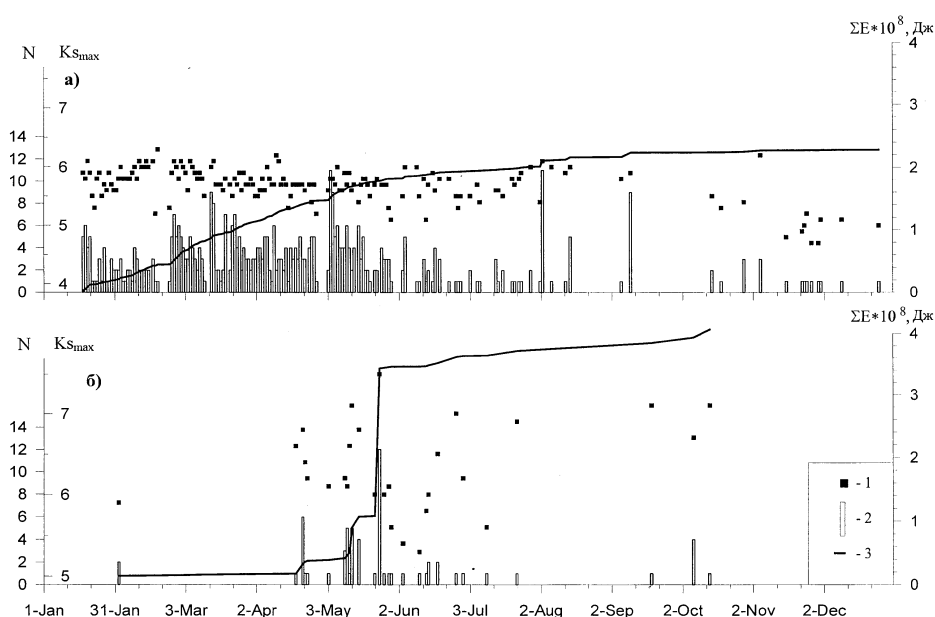


Рис. 3. Графики распределения суточных значений числа  $N$  землетрясений, максимального энергетического класса  $K_{Smax}$  и суммарной сейсмической энергии  $\Sigma E$  глубоких длиннопериодных (а) и поверхностных (б) землетрясений Центральной зоны.

1 – максимальный энергетический класс; 2 – суточное количество землетрясений; 3 – суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$ .

В зоне Апахончич (табл. 1, рис. 2), расположенной к юго-востоку от центрального кратера

Ключевского вулкана, в конце апреля и в мае зарегистрирован рой землетрясений. Рои землетрясений в этой зоне происходили неоднократно и связаны, по-видимому, с тектоническими нарушениями. Менее интенсивной была сейсмичность зоны Подкова (табл. 1, рис. 2).

Сейсмическая активность вулкана Шивелуч (табл. 1, рис. 2) в 1995 г. была незначительной. Гипоцентры двух зарегистрированных здесь землетрясений непосредственно с вулканической деятельностью не связаны. В то же время в течение года происходили поверхностные, в основном, низкочастотные сейсмические события, связанные с активностью на экструзивном куполе, но они записаны лишь на одной станции "Шивелуч" (SVL), ближайшей к вулкану. По устному сообщению наблюдателей г. Ключи на вулкане наблюдалась паро-газовая деятельность на высоту, в основном, 100-400 м над куполом. 31 марта 1995 г. высота паро-газового столба с небольшой примесью пепла достигла высоты 1500 м над куполом. По данным Е.Ю Ждановой и Ю.В. Демянчука(устное сообщение) в октябре купол был холодным и роста его не наблюдалось.

В районе вулкана Безымянный (табл. 1, рис. 2) определены гипоцентры очагов 10 землетрясений. Связать их непосредственно с активностью вулкана не представляется возможным. Все эти землетрясения можно отнести к вулкано-тектоническим и рассматривать как часть роя землетрясений в конце апреля-мае в зоне Апахончич. 6-8 октября 1995 г. произошло эксплозивное извержение вулкана Безымянный. Высота пеплового столба достигала 8000 м над уровнем моря. В г. Ключи, расположенном в 40 км от вулкана, наблюдался пеплопад. Состояние вулкана до начала извержения описано в [15], ход извержения и особенности сопровождающей сейсмичности изложены в [16]. Сейсмические события, связанные с активизацией вулкана, были слабые, поэтому их гипоцентры определить не удалось. Ближайшая к вулкану сейсмическая станция "Зеленая" (ZLN) не работала с середины августа до 29 сентября. В это время уже происходили лишь слабые сейсмические сигналы, связанные, по-видимому, с процессами обрушения на экструзивном куполе вулкана. По данным бюллетеня станции "Зеленая" слабые поверхностные землетрясения, а также сейсмические сигналы, обусловленные обрушениями на куполе, продолжали регистрироваться до конца октября.

Сейсмическая активность, наблюдавшаяся в течение года в районе вулкана Плоский Толбачек (табл. 1, рис. 1), была примерно на том же уровне, что и в 1994 г. [14]. Происходили групповые и отдельные землетрясения и в остальных зонах (табл. 1, рис. 2).

В районе **Авачинско-Коряжской группы вулканов** (район №2) сеть сейсмических станций по сравнению с таковой в 1994 г. [14] не изменилась. По-прежнему работали четыре телеметрические сейсмические станции "Авача" (AVH), "Сомма" (SMA), "Седловина" (SDL), "Угловая" (UGL) [2], которые позволяли регистрировать землетрясения с  $K_s \geq 3.5$  (рис. 1). Координаты гипоцентров для Коряжского и Авачинского вулканов рассчитывались по программе [17], по методике, изложенной в [14], с использованием двух скоростных моделей среды [18] (табл. 2).

**Таблица 2.** Скоростные разрезы для определения гипоцентров: а) – старый Авачинский и Коряжский (применялся скоростной разрез из [6] с корректировкой скоростей для Авачинско-Коряжской гупы вулканов); б) – новый Авачинский; в) – новый Коряжский

№	h, км	а		б				в					
		$v_p$	$v_s$	$v_{p1}$	$v_{s1}$	$v_{p2}$	$v_{s2}$	$v_{p1}$	$v_{s1}$	$v_{p2}$	$v_{s2}$		
0	Выше уровня моря*	2.0	1.2	3.0	1.85	-	-	1.7	1.0	-	-		
1	0	4.6	2.56	3.5	2.0	3.0	1.85	2.1	1.0	1.7	1.0		
2	1.5							4.0	2.0	4.0	2.0		
3	4.0							5.0	2.8	5.0	2.8		
4	4.5	5.1	2.95	5.0	2.89	5.0	2.89	5.05	2.8	5.05	2.8		
5	6.0							6.0	3.5	6.0	3.5		
6	7.0												
7	8.0	5.6	3.24	7.0	4.05	7.0	4.05	5.6	3.24	5.1	2.85		
8	12.0			7.1	4.1	7.1	4.1	7.1	4.10	7.1	4.1	5.6	3.24
9	15.0			7.1	4.1	7.2	4.15	7.20	4.15	7.1	4.1	7.1	4.1
10	30.0	7.1	4.1	7.2	4.15	7.20	4.15	7.1	4.1	7.1	4.1		

Примечание. \*) В программе по определению гипоцентров землетрясений области возможных решений выше уровня моря задаются в виде конусов с высотой 3000 м для Авачинского и 3500 м для Коряжского вулкана.

$v_p$  – скорость продольной волны постоянна для диапазона глубин, от указанного до нижеследующего; если скорость продольной волны в слое изменяется по линейной зависимости, то  $v_{p1}$  – это скорость у верхней границы слоя, а  $v_{p2}$  – скорость у нижней границы слоя. Аналогично для  $v_s$  – скорости поперечной волны.

Таблица в [14] была составлена с ошибками.

В 1995 г. землетрясения происходили только в постройке Авачинского вулкана редкими одиночными событиями. В табл. 3 приведено распределение землетрясений района №2 по энергетическим классам.

**Таблица 3.** Распределение землетрясений Авачинско-Коряжской группы вулканов по энергетическим классам  $K_s$

$K_s$	$\leq 4$ ( $4.0 \leq K_s \leq 5.5$ )	5 ( $5.6 \leq K_s \leq 6.5$ )
N	11	1

Общая карта эпицентров землетрясений района и вертикальные разрезы по двум взаимно перпендикулярным направлениям представлены на рис. 4. Сейсмичность можно рассматривать как фоновую. Активности на вулканах отмечено не было.

**Карымский вулканический центр** (район №3) находится в центральной части восточного вулканического пояса Камчатки в 30 км от ее побережья (рис. 1). Четвертичные вулканы здесь расположены в пределах крупного прогиба и приурочены к купольно-кольцевым структурам, образующим цепочку, вытянутую в северо-восточном направлении (рис. 5). Вдоль осевой линии этой цепочки проходит глубинный разлом, который многие исследователи [19,20] определяют как магмоподводящий. Сейсмичность района по наблюдениям за 1962-1994 гг. (рис. 6) реализуется как одиночными землетрясениями, так и роями, происходящими, как правило, к югу от вулкана Карымский, и приуроченными к глубинному магмоподводящему разлому (рис. 5). Наиболее мощный рой землетрясений был зарегистрирован в январе 1978 г., когда произошло 16 землетрясений с  $K_s \geq 7.6$ , максимальное из которых с  $K_s=12.7$  (MLH=5.4) реализовалось 29 января в 21<sup>h</sup>51<sup>m</sup> и имело координаты 53.86°N 159.47°E [21,22].

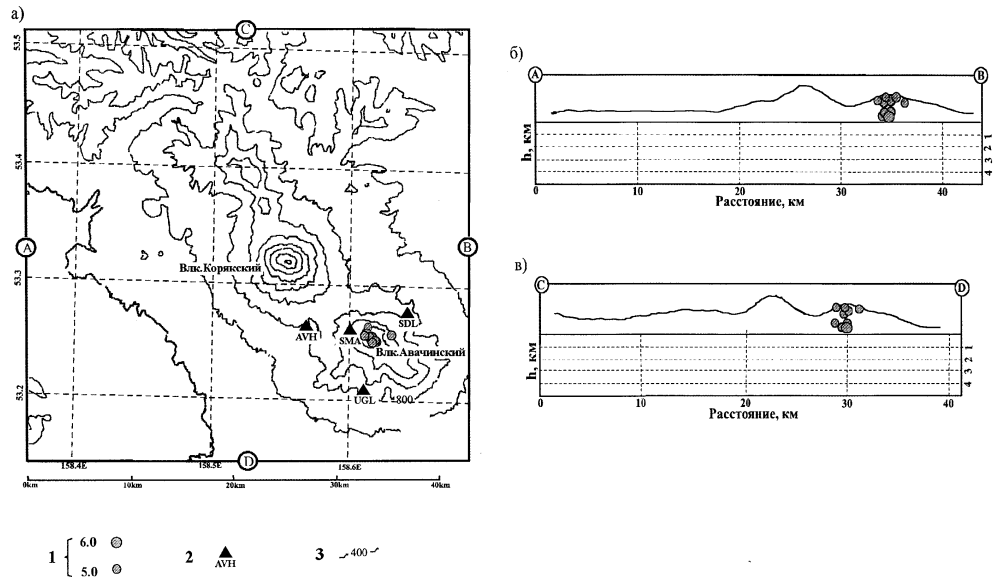


Рис. 4. Карта эпицентров (а) и вертикальные разрезы по линиям А-В (б) и С-Д (в) для землетрясений района №2  
1 – энергетический класс  $K_S$ ; 2 – сейсмическая станция; 3 – изолиния рельефа местности.

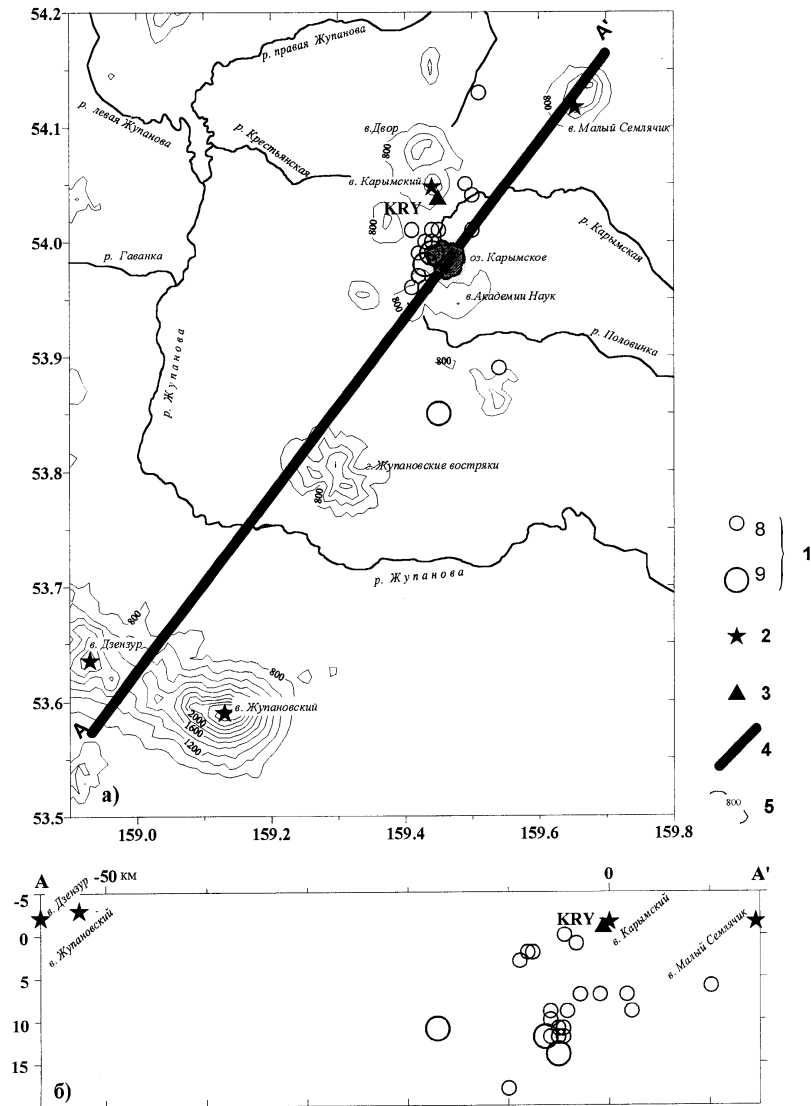


Рис. 5. Карта эпицентров (а) и вертикальный разрез (б) вдоль линии разлома А-А' для землетрясений района №3  
1 – энергетический класс  $K_S$ ; 2 – вулкан; 3 – сейсмическая станция; 4 – осевая линия глубинного магноподводящего разлома; 5 – изолиния рельефа местности.

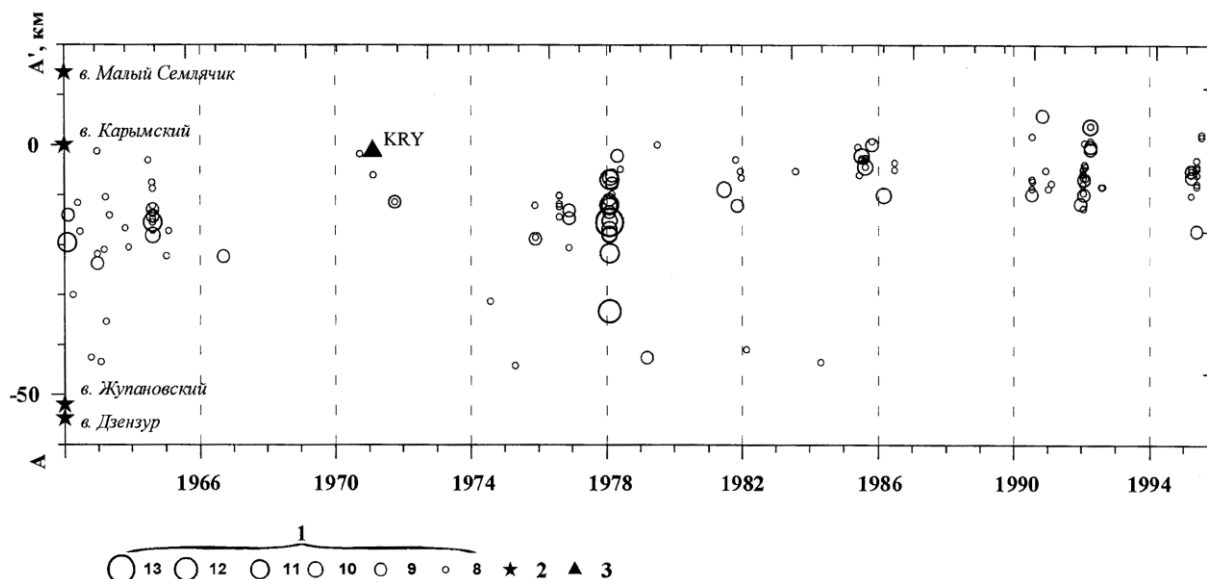


Рис. 6. Пространственно-временное распределение эпицентров землетрясений Карымского вулканического центра за 1962-1995 гг. Ось ординат – проекция эпицентров землетрясений на осевую линию магмоподводящего разлома.

1 – энергетический класс  $K_s$ ; 2 – вулкан; 3 – сейсмическая станция.

В 1995 г., после трехлетнего молчания, 27-28 марта и 26-31 мая в Карымском вулканическом районе были зарегистрированы рои слабых землетрясений. Общее число зарегистрированных землетрясений<sup>2</sup> составило  $N=33$  (табл. 4). Карта эпицентров землетрясений и вертикальный разрез представлены на рис. 5. Видимой активизации вулкана не наблюдалось.

Методика определения координат землетрясений в районе Карымского вулканического центра такая же, как и при составлении основного регионального каталога Камчатки и Командорских островов и изложена в работах [23,24].

#### Л и т е р а т у р а

1. Федотов С.А. 1972. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука. 116 С.
2. Гордеев Е.И., Левина В.И., Чебров В.Н., Иванова Е.И., Шевченко Ю.В., Степанов В.В. 1999. Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. М.: Изд-во НИИ-Природа. С. 102-114.
3. Чубарова О.С., Гарбузова В.Т., Горельчик В.И. 1999. Землетрясения района Северной группы вулканов Камчатки // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. М.: Изд-во НИИ-Природа. С. 115-117.
4. Сургучев П.И., Горельчик В.И., Левина В.И., Мячкин В.И. 1992. Массовое определение гипоцентров землетрясений на ЭВМ в районе Северной группы вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. №2. С. 50-63.
5. Горельчик В.И., Чубарова О.С., Гарбузова В.Т. 1988. Сейсмичность района Северной группы вулканов Камчатки, 1971-1983 гг. // Вулканология и сейсмология. №1. С. 90-100.
6. Горельчик В.И., Степанов В.В. 1976. Сейсмичность района Северной группы вулканов Камчатки в 1971-1972 гг. // Глубинное строение, сейсмичность и современная деятельность Ключевской группы вулканов. Владивосток: РИО ДВНЦ АН СССР. С. 108-118.
7. Балеста С.Т., Иванов Б.В., Утасин В.К., Аносов Г.И. 1976. Строение земной коры района Ключевской группы вулканов, особенности тектоники и вулканизма // Глубинное строение, сейсмичность и современная деятельность Ключевской группы вулканов. Владивосток: РИО ДВНЦ АН СССР. С. 7-16.
8. Токарев П.И. 1966. Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. М.: Наука. 107 с.
9. Чубарова О.С., Горельчик В.И., Гарбузова В.Т. 1983. Сейсмический режим вулкана Безымянный 1975-1979 гг. // Вулканология и сейсмология. №3. С. 58-69.
10. Горельчик В.И., Гарбузова В.Т., Дрознин, Д.В., Левина В.И., Фирстов П.П., Чубарова О.С., Широков В.А. 1995. Вулкан Шивелуч: глубинное строение и прогноз извержения по данным детальной сейсмичности 1962-1994 гг. // Вулканология и сейсмология. №4-5. С. 54-75
11. Федотов С.А., Жаринов Н.А., Горельчик В.И. 1988. Деформации и землетрясения Ключевского вулкана, модель его деятельности // Вулканология и сейсмология. №3. С. 3-42.

<sup>2</sup> Ответственная за обработку землетрясений Карымской группы вулканов – Лепская Т.С.

12. **Двигало В.Н., И.В. Мелекесцев 2000.** Крупные обвалы на конусе вулкана Ключевской (по результатам ревизии последствий событий 1944-1945 и 1984-1985гг. // Вулканология и сейсмология. №1. С. 3-17. **Двигало В.Н. 2000.** Морфологические предвестники (первые признаки) активизации некоторых вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология. №4. С. 3-16.
13. **Чубарова О.С., Сеньюков С.Л., Левина В.И. 2000.** Вулканические районы Камчатки // Землетрясения Северной Евразии в 1994 году. М.: Изд-во ОИФЗ РАН. С. 103-110.
14. **Белоусов А.Б., Фирстов П.П., Жданова Е.Ю. 1998.** Извержения вулкана Безымянный в 1993-1995 гг. // Вулканология и сейсмология. №3. С. 60-70.
15. **Озеров А.Ю., Демянчук Ю.В., Сторчеус А.В., Карпов Г.А. 1996.** Извержения вулкана Безымянный 6-8 октября 1995 г. // Вулканология и сейсмология. №3. С. 107-110.
16. **Мельников Ю.Ю. 1990.** Пакет программ для определения координат гипоцентров землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. №5. С.103-112.
17. **Балеста С.Т. 1966.** О скоростном разрезе вулканогенных образований Авачинского вулкана // Вулканизм и геохимия его продуктов. М.: Наука. С. 112-115.
18. **Масуренков Ю.П. 1991.** Тектоническое положение и краткая история развития вулканов Восточной Камчатки // Действующие вулканы Камчатки. Т.2. М.: Наука. С. 8-13.
19. **Гордеев Е.И., Дрознин Д.В., Касахара М., Левина В.И., Леонов В.Л., Миямачи Х., Окаяма М., Салтыков В.А., Синицын В.И., Чебров В.Н. 1998.** Сейсмические явления, связанные с извержениями вулканов в Карымском вулканическом центре в 1996 г. // Вулканология и сейсмология. №2. С. 28 – 48.
20. **Федотов С.А., Симбирева И.Г. (отв. сост.), Лепская Т.С., Богатова Л.И., Борисова З.А., Березовская И.И., Ерохина Ж.В., Миндина Т.В., Пасечко Н.И., Попкова Е.В., Прибывало Л.И., Феофилактов В.Д. 1982.** Региональный каталог землетрясений Камчатки // Землетрясения в СССР в 1978 году. М.: Наука. С. 196-203.
21. **Зобин В.М., Фирстов П.П., Иванова Е.И. 1983.** Рой землетрясений в районе вулкана Карымский в январе-феврале 1978 года // Вулканология и сейсмология. №5. С. 64-73
22. **Федотов С.А., Зобин В.М., Гордеев Е.И., Иванова Е.И., Лепская Т.С., Митякин В.П., Синельникова Л.Г., Чиркова В.Н. 1988.** Землетрясения Камчатки и Командорских островов // Землетрясения в СССР в 1985 году. М.: Наука. С. 155-169.
23. **Гусев А.А. 1979.** Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулканология и сейсмология. №1. С. 74-81.