

**ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ БАЛТИЙСКОГО ШИТА**

**А.С. Коломиец, С.В. Баранов**

Параметры землетрясений 1999 г. определены, как и прежде [1–5], на основе материалов наблюдений сейсмических станций Кольского регионального сейсмологического центра (КРСЦ) ГС РАН [6] и с привлечением данных сейсмических станций, расположенных на территории Финляндии, Норвегии и Швеции. При этом для большей части близких слабых землетрясений координаты эпицентров и магнитуды определены по данным цифровой регистрации на станциях КРСЦ «Апатиты» и «Апатитский ARRAY», а параметры землетрясений (кроме магнитуд), зарегистрированных также и зарубежными станциями, взяты из [7, 8]. Координаты землетрясений, произошедших в Ловозерском горном массиве, определены по сейсмограммам одной сейсмической станции «Ловозеро» ГС РАН [6].

Значения энергетических классов  $K$  для всех землетрясений расчетные. Они вычислены по магнитудам  $M_L$  Ч.Ф. Рихтера [9], определяемым по максимальным амплитудам смещений почвы в группах  $S$ -волн, зарегистрированных сеймостанциями на расстояниях до 600 км. Для перехода от значений магнитуд к энергии землетрясений использовалось уравнение, предложенное М. Ботом [10]:

$$\lg E \text{ (Дж)} = 5.24 + 1.44 M_s, \quad (1)$$

откуда 
$$K = \lg E \text{ (Дж)}. \quad (2)$$

Преобразование  $M_L$  в  $M_s$  выполнено по уравнению Б. Гутенберга [11]:

$$m_b = 1.7 + 0.8 M_L - 0.01 M_L^2 \quad (3)$$

и уравнению из [12]:

$$m_b = 2.9 + 0.56 M_s. \quad (4)$$

Пример определения магнитуды  $M_L$  и перехода к энергетическим классам  $K$  приведен в [4].

Итоговый каталог содержит 67 землетрясений с энергетическим классом  $K=4.2-12.0$  [13]. Карта их эпицентров изображена на рис. 1.

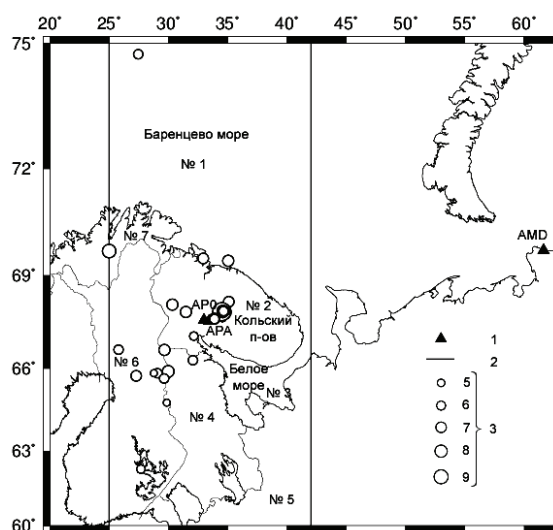


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Восточной части Балтийского щита за 1999 г.

1 – сейсмическая станция; 2 – граница региона; 3 – энергетический класс  $K$ .

В табл. 1 приводится распределение землетрясений по энергетическим классам  $K$  в каждом из семи районов, введенных с 1998 г. [5]. Как видим, эпицентры землетрясений распределены на территории региона неравномерно. Наибольшее их число зарегистрировано в районе № 2 (на Кольском полуострове). По одному землетрясению отмечено в Карелии (№ 4), Норвегии (№ 7), в Баренцовом (№ 1) и Белом морях (№ 3). Юго-восток региона (№ 5) характеризуется отсутствием землетрясений с  $K \geq 4$ .

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  по районам

№	Район	$K$										$N_{\Sigma}$	$\Sigma E \cdot 10^9$ , Дж
		4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Баренцево море	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	1	0.00146
2	Кольский полуостров	1	29	13	6	3	1	–	–	1	54	1020.95641	
3	Белое море	–	–	1	–	–	–	–	–	–	1	0.00146	
4	Карелия	–	–	1	–	–	–	–	–	–	1	0.00146	
5	Юго-восток региона	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
6	Финляндия	–	2	4	2	1	–	–	–	–	9	0.08971	
7	Норвегия	–	–	–	–	–	1	–	–	–	1	1.090	
Всего		1	31	20	8	4	2	–	–	1	67	1022.14	

Сравнение сводных результатов за год в целом с аналогичными данными за 1998 г. (табл. 2) указывает на высокий уровень сейсмической активности Восточной части Балтийского щита в 1999 г. как по числу зарегистрированных землетрясений (увеличение почти в 2 раза), так и по высвобожденной в их очагах энергии, возросшей более чем в 450 раз. Такая разница в энергии обусловлена землетрясением с  $K=12.0$ .

Таблица 2. Суммарное число  $N$  землетрясений разных классов  $K$  и величина высвобожденной сейсмической энергии  $\Sigma E$  за два года

Год	$K$										$N_{\Sigma}$	$\Sigma E \cdot 10^9$ , Дж
	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1998		14	8	8	7	1	–	–	–	–	35	2.2462
1999	1	31	20	8	4	2	–	–	1	–	67	1022.1405

Оно произошло 17 августа в 04<sup>h</sup>44<sup>m</sup> в Ловозерском горном массиве на Кольском полуострове (район № 2). По инструментальным данным, очаг землетрясения располагался в недрах северо-западной части массива на глубине 4–7 км, в непосредственной близости к руднику «Умбозеро» ОАО «Севрелмет». Высвобожденная в его очаге энергия  $E=1.02 \cdot 10^{12}$  Дж и магнитуда  $M_L=5.1$  ( $M_S=4.7$ ) оказались самыми большими для Ловозерского массива за весь период инструментальных наблюдений на Кольском полуострове с 1956 г. Землетрясение зарегистрировано почти 50-ю сейсмическими станциями мира и обработано в нескольких мировых агентствах (табл. 3).

Таблица 3. Основные параметры землетрясения 17 августа по данным КРСЦ в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\delta t_0$ , с	Эпицентр			$h$ , км	$\delta h$ , км	Магнитуды	Источник
			$\varphi^\circ$ , N	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ$ , E				
КРСЦ	04 44 35.7	0.02	67.88		34.50		4–7	$ML=5.1, Ms=4.7, K=12.0$	[13]
ISC	04 44 34.2	0.25	67.81	0.03	34.50	0.09	0	$Ms=4.3/1, m_b=4.5/146$	[14]
NEIC	04 44 36.0	0.33	67.86		34.38		10	$m_b=4.6/32$	[14]
EIDC	04 44 36.4	0.62	67.87		34.43		0	$Ms=4.4/1, Mb=4.2/14$	[14]
HEL	04 44 36.2	0.4	67.84	0.01	34.56	0.05	4	$ML=4.3, Md=4.1$	
BER	04 44 39.1	4.1	67.82	0.06	34.23	0.70	0	$Mb=5.9, ML=4.7$ , возможно взрыв	[14]
BJI	04 44 33.9		67.76		34.38			$Ms=4.9, Mb=4.6$	[14]
LDG	04 44 37.6	0.24	67.88		34.57		33	$Mb=4.7/23$	[14]

Полученные решения изображены на рис. 2, из которого видно, что к региональному эпицентру наиболее близки решения EIDC, NEIC, LDG, HEL, хотя и остальные расположились не далее 15 км, что в общем находится в пределах средних ошибок локации землетрясений.

Землетрясение 17 августа сопровождалось заметной серией афтершоков до конца года ( $N=27$ ), из которых 18 реализовались в течение первых суток после главного события. Оно предвварялось серией из 17 форшоков, последний из которых отмечен 13 августа в  $19^{\text{h}}53^{\text{m}}$  с  $K=5.0$  (табл. 4). Список фор- и афтершоков приведен в табл. 4, а карта их эпицентров представлена на рис. 3а,б. Как видим форшоки расположены достаточно компактной группой, в то время как афтершоки рассредоточены на большей площади.

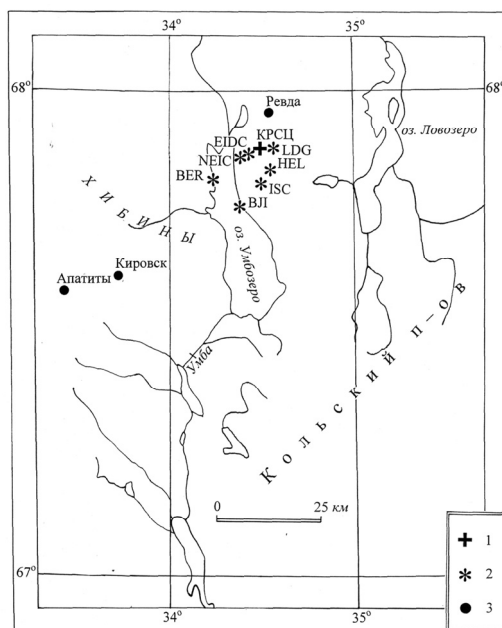


Рис. 2. Сопоставление решения эпицентра землетрясения 17 августа по данным сети сейсмических станций КРСЦ с решениями других агентств

1 – региональный эпицентр; 2 – эпицентры землетрясения по данным семи мировых агентств; 3 – населенный пункт.

Таблица 4. Основные параметры форшоков и афтершоков землетрясения 17 августа на Кольском полуострове с  $K=12$

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	MPVA	$K_p$
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$			
<b>Форшоки</b>							
1	08.01	21 38 18.1	67.88	34.62		1.6	5.4
2	26.01	18 37 18	67.86	34.62		1.8	5.8
3	16.02	19 37 01	67.91	34.55		1.7	5.6
4	09.03	10 25 08.9	67.94	34.48		1.8	5.8
5	10.03	02 18 31.5	67.89	34.54		1.3	4.8
6	19.03	04 20 14.1	67.86	34.56		1.6	5.4
7	10.04	12 35 38.3	67.68	34.53		1.6	5.4
8	13.04	11 28 23	67.92	34.65		2.0	6.2
9	09.05	16 04 25.3	67.87	34.60		1.0	4.2
10	14.05	08 09 27.0	67.89	34.60		2.6	7.3
11	03.07	18 42 13	67.88	34.63		1.3	4.8
12	04.07	23 32 46.1	67.86	34.71		3.4	8.8
13	05.07	00 23 16.8	67.88	34.59		1.6	5.4
14	09.07	00 20 00.4	67.92	34.56		2.7	7.5
15	28.07	23 38 34.9	67.90	34.56		2.0	6.2
<b>Основной толчок</b>							
	<b>17.08</b>	<b>04 44 35.7</b>	<b>67.88</b>	<b>34.50</b>	<b>7.4</b>	<b>5.1</b>	<b>12.0</b>
<b>Афтершоки</b>							
1	17.08	05 01 29	67.81	34.60		1.3	4.8
2	17.08	05 10 24.1	67.90	34.59		1.6	5.4
3	17.08	05 35 16.3	67.90	34.64		1.6	5.4
4	17.08	05 46 53.9	67.90	34.59	3.1	2.8	7.7
5	17.08	05 52 10	67.89	34.62	2.6	1.6	5.4
6	17.08	05 54 12.8	67.81	34.58		1.6	5.4
7	17.08	06 44 03.0	67.88	34.56	2.9	1.3	4.8
8	17.08	08 02 19.1	67.90	34.55	2.1	1.5	5.2
9	17.08	08 09 22	67.88	34.50		1.4	5.0
10	17.08	08 12 30	67.88	34.51	2.1	1.9	6.0
11	17.08	09 01 04.4	67.89	34.58	2.8	1.6	5.4

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	MPVA	$K_p$
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E			
12	17.08	10 53 04	67.91	34.47	3.1	1.7	5.6
13	17.08	11 02 01.6	67.87	31.46		2.7	7.5
14	17.08	11 10 51.1	67.90	34.55	3.5	1.6	5.4
15	17.08	11 23 48.8	67.89	34.83	3.2	1.4	5.0
	17.08	11 33 10.3	67.91	34.57	3.0	2.0	6.2
	17.08	12 45 17.8	67.90	34.59	1.5	5.2	
	18.08	15 58 54	67.88	34.54		1.5	5.2
	24.08	03 01 00.7	67.88	34.68	3.7	1.5	5.2

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	MPVA	$K_p$
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E			
	25.08	07 48 55.1	67.87	34.61	3.8	1.6	5.4
	28.08	21 45 41	67.87	34.64		1.2	4.6
	28.08	21 48 13	67.86	34.61		1.2	4.6
	28.08	23 07 11.9	67.89	34.63		1.3	4.8
	05.09	10 09 34.3	67.88	34.67	3.3	1.4	5.0
	06.09	17 43 45.2	67.91	34.55	2.8	1.6	5.4
	09.11	16 23 21.4	67.92	34.58		1.3	4.8
	12.11	13 17 44.2	67.90	34.65	0.3	1.9	6.0

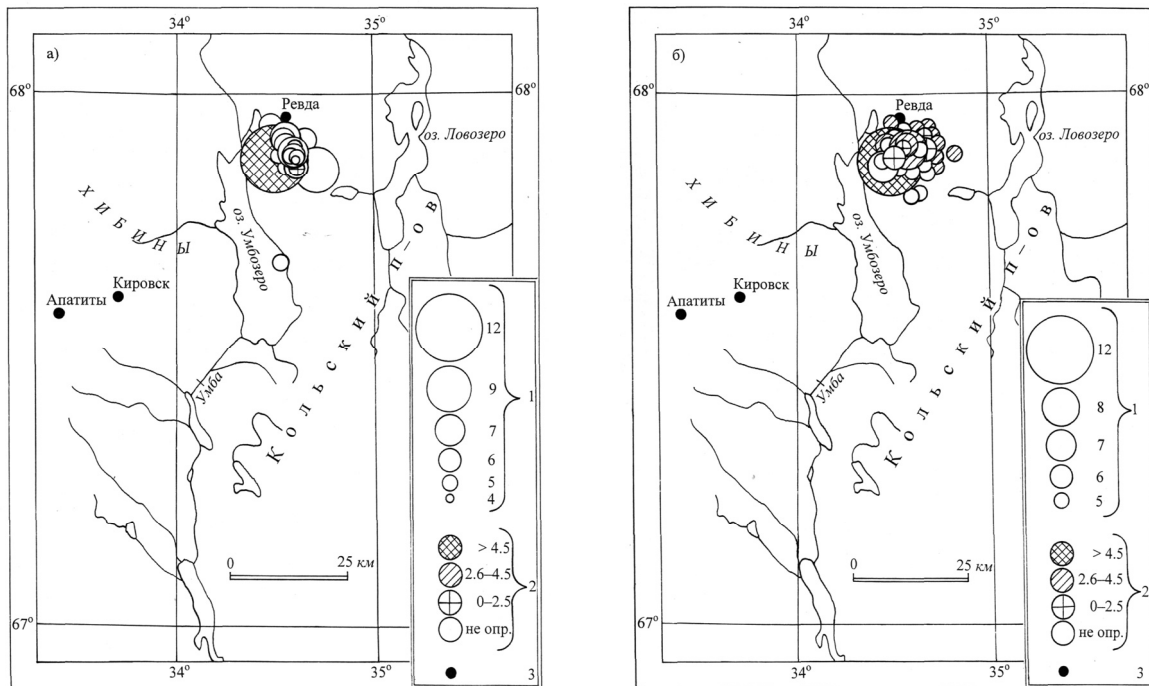


Рис. 3. Карта эпицентров форшоков (а) и афтершоков (б) землетрясения 17 августа в 04<sup>h</sup>44<sup>m</sup> с  $K_p=12.0$ ,  $M_L=5.1$

1 – энергетический класс  $K$ ; 2 – глубина  $h$  гипоцентра, км; 3 – населенный пункт.

Из табл. 4 следует, что максимальные форшок и афтершок имели  $K=8.8$  и  $7.7$  соответственно. Тогда величина энергетической ступени между главным толчком и максимальным афтершоком составляет примерно три порядка,  $\Delta K_\phi=3.2$ , и еще большая разница для максимального афтершока:  $\Delta K_a=4.3$ .

Главный толчок вызвал ощутимые сотрясения: в эпицентральной зоне – около 7 баллов; в ближайшем пос. Ревда (10–12 км от эпицентра) – 5–6 баллов, в г. Кировск (40–45 км) – 4 балла, в г. Апатиты (60 км) – 3 балла, а также значительные разрушения в подземных горных выработках, причинив руднику «Умбозеро» большой экономический ущерб.

### Л и т е р а т у р а

1. Коломиец А.С., Асминг В.Э., Кременецкая Е.О. Землетрясения Восточной части Балтийского щита // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. – М.: НИИ-Природа, 1999. – С. 125–128.
2. Коломиец А.С., Петров С.И. Восточная часть Балтийского щита // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ОИФЗ РАН, 2001. – С. 140–142.
3. Коломиец А.С., Асминг В.Э. Восточная часть Балтийского щита // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – С. 155–157.

4. **Коломиец А.С., Баранов С.В.** Восточная часть Балтийского щита // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ФОП, 2003. – С. 168–171.
5. **Коломиец А.С., Баранов С.В.** Восточная часть Балтийского щита // Землетрясения Северной Евразии в 1998 году. – Обнинск: ФОП, 2004. – С. 185–187.
6. **Старовойт О.Е., Мишаткин В.Н.** Сейсмические станции Российской академии наук (состояние на 2001 г.). – Москва – Обнинск: ГС РАН, 2001. – 86 с.
7. **Uski M., Pelkonen E., Mustila L., Franssila M., Raime M., Karilas M.** Seismic events in Northern Europe, January, ..., Decembre 1999.– Helsinki: Helsinki University Press, Report R-142 – R-153, 2000.
8. **Uski M., Pelkonen E.** Earthquakes in Northern Europe in 1999. – Helsinki: Helsinki University Press, Report R-154, 2000. – P. 99.
9. **Рихтер Ч.Ф.** Инструментальная шкала для магнитуд землетрясений // Слабые землетрясения. – М.: ИЛ, 1961. – С. 13–44.
10. **Bath M.** Introduction to seismology. – Basel and Stuttgart: Birkhauser Verlag, 1973. – 275 с.
11. **Рихтер К.Ф.** Элементарная сейсмология. – М.: ИЛ, 1963. – 670 с.
12. **Рекомендации по вопросам определения магнитуды и энергетической классификации землетрясений** // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. – М.: ИФЗ АН СССР, 1974. – Т. II. – С. 217.
13. Коломиец А.С., **Нахшина Л.П. (отв. сост.).** Восточная часть Балтийского щита. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
14. **Bulletin of the International Seismological Centre for 1999.** – Berkshire: ISC, 2001.
15. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага).** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.