

ВОСТОЧНАЯ ЧАСТЬ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА

А.С. Коломиец, С.В. Баранов

В 1997 г. сеть наблюдений по сравнению с таковой в [1,2] по составу не изменилась и включала две аналоговые станции ("Апатиты" (АРА), "Полярный круг" (PLQ)), и "Апатитский ARRAY" (АРО). Однако из-за проблем с приобретением осциллографной фотобумаги вновь сокращен объем гальванометрической регистрации на сейсмической станции "Апатиты": 20 марта сняты с регистрации горизонтальные компоненты приборов СКМ-3 (N,E). Определение параметров землетрясений 1997 г. было выполнено на основе материалов указанных сейсмических станций Кольского регионального сейсмологического центра (КРСЦ) ГС РАН с привлечением данных наблюдений некоторых сейсмических станций сопредельных территорий Финляндии, Норвегии и Швеции. При этом для большей части землетрясений координаты эпицентров землетрясений на исследуемой территории определены по двум станциям КРСЦ: "Апатиты" и "Апатитский ARRAY", оснащенных аппаратурой с цифровой регистрацией [1]. Эпицентры четырех землетрясений, происшедших на территории Финляндии и Карелии, зарегистрированных большим числом станций Финляндии, взяты из [3]. Итоговый каталог [4] содержит 46 землетрясений с энергетическим классом $K=5.2-9.4$. Карта их эпицентров изображена на рис. 1.

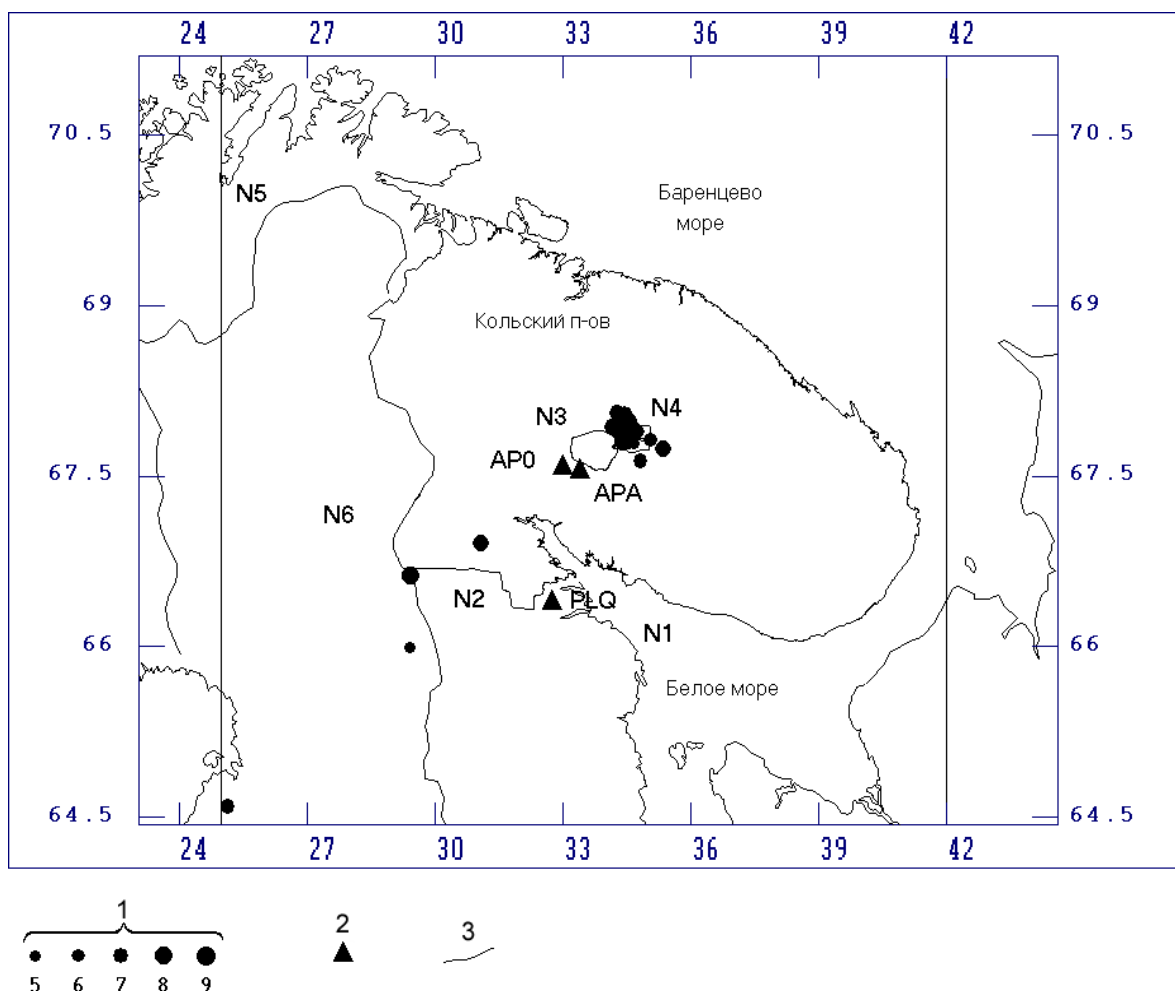


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Восточной части Балтийского щита за 1997 г.

1 – энергетический класс; 2 – сейсмическая станция; 3 – граница района.

Значения энергетических классов $K = \lg E$ (Дж) для всех землетрясений расчетные. Они вычислены по магнитудам M_L , определяемым по максимальным амплитудам смещений почвы в группах S-волн, зарегистрированных станциями на расстояниях до 600 км (метод Рихтера [5]). Пример определения магнитуды M_L приведен в табл. 1, где даны коды станций, эпицентральные расстояния, амплитуды максимальных смещений S-волн и соответствующие им магнитуды M_L , вычисленные по методу Рихтера без станционных поправок. Среднее из семи определений магнитуды равно $2.79 \approx 2.8$. Отклонение от среднего, даже без учета станционных поправок, не превышает 0.2. Хорошее согласие значений магнитуды в широком интервале расстояний, полученное, как по амплитудам записи на станциях КРСЦ, так и по амплитудам, измеренным на других станциях в [3], подтверждает ранее сделанный в [1] вывод о пригодности шкалы магнитуд Рихтера для определения магнитуд слабых землетрясений Восточной части Балтийского щита. Сравнение нашего результата $M_L = 2.8$ со значением $M_L(HEL) = 2.2$ для этого же землетрясения в [3] показывает, что эти две шкалы не согласуются.

Таблица 1. Определение магнитуды M_L землетрясения 10 октября 1997 г. в $02^h 14^m 18.6^s$

Станция, код	АРО	АРА	КТК1	SUF	ВАF	КАF	FIАO
Расстояние, км	194.5	207.0	371.5	460.2	508.3	523.0	598.2
Амплитуда, нм	67.2	47.3	15.7	4.6	3.6	3.6	2.4
Магнитуда, M_L	2.78	2.69	2.99	2.75	2.76	2.78	2.77

Примечание. Коды станций и их названия: АРО – "Апатитский ARRAY", АРА – "Апатиты", КТК1 – "Kautokeino", SUF – "Sumiainen", ВАF – "Ylistaro", КАF – "Kangasniemi", FIАO – "Finessarray".

Для перехода от значений магнитуд к энергии землетрясений использовалось уравнение, предложенное М. Ботом [6]:

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

Преобразование M_L в M_s выполнено по уравнению Гутенберга [7]:

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

и уравнению из [8]:

$$m_b = 2.9 + 0.56 M_s \quad (3)$$

Следует особо подчеркнуть, что эти уравнения получены в результате взаимного согласования шкал магнитуд M_L , m_b и M_s , которые в международной практике принято использовать в качестве основных. В случае использования иных магнитуд, определяемых по региональным не согласующимся между собой шкалам $M_L(HEL)$, $M_L(UPP)$, $M_L(P)$ и др., должны существовать или должны быть найдены соответствующие соотношения с основными шкалами магнитуд.

В табл. 2 дано распределение землетрясений по энергетическим классам K . Как видим, в 1997 г. землетрясения зарегистрированы лишь в трех районах из шести. Суммарная высвобожденная в очагах землетрясений энергия составила $5.16 \cdot 10^9$ Дж – в 25 раз больше таковой в 1996 г. [2].

Таблица 2. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам K и суммарная сейсмическая энергия ΣE по районам

№	Район	K					N_{Σ}	$\Sigma E \cdot 10^8$, Дж
		5	6	7	8	9		
1	Кандалакшский залив	-	-	-	-	-	-	-
2	Северная Карелия	-	-	1	-	-	1	0.056
3	Хибинский массив	-	-	-	-	-	-	-
4	Ловозерский массив	13	12	11	5	1	42	51.041
5	Северная Норвегия	-	-	-	-	-	-	-
6	Центральная Финляндия	1	1	-	1	-	3	0.540
	Всего	14	13	12	6	1	46	51.637

Прирост энергии произошел, в основном, за счет аномального всплеска сейсмической активности в Ловозерском массиве (№4), тенденция роста которой началась в 1996 г. Эпицентры происшедших здесь землетрясений (42-х слабых толчков, внесенных в каталог, а также большого

числа очень слабых толчков (или микроземлетрясений), не внесенных в каталог) сконцентрированы в пределах контура массива. В последовательности зарегистрированных событий ни одному из них не может быть отведена роль главного землетрясения. Можно лишь, как и прежде в [2], полагать, что все гипоцентры находятся в одной очаговой области и обусловлены смещениями в ослабленных зонах массива, нарушенных тектоническими разрывами, трещинами и горными выработками, под действием нарастающих напряжений. Последовательный рост числа слабых толчков может быть признаком того, что в недрах массива в настоящее время происходят процессы накопления упругого напряжения и подготовки вероятного в обозримом будущем достаточно сильного землетрясения.

Прогнозная оценка магнитуды потенциально возможного тектонического землетрясения может быть выполнена с учетом дополнительных данных о геологическом строении и физико-механических свойствах пород массива. Ловозерский горный массив, согласно литературным сведениям [9-11], является крупной интрузией нефелиновых сиенитов центрального типа, образовавшейся на пересечении зон глубинных разломов разных направлений. Массив разбит на блоки неправильной формы системой радиальных, конических и кольцевых разломов. В плане он имеет округлую форму, слегка вытянутую в северо-восточном направлении, и рассечен многочисленными ущельями и речными долинами. Средний поперечный размер массива около 32 км. По геоморфологическим данным [9] в послеледниковый период массив поднимается над окружающей местностью со скоростью 1.2 мм/год. В северо-западной части массива расположены два рудника ("Карнасурт" и "Умбозеро"), на которых ведется длительная (десятилетия) подземная разработка редкоземельного месторождения. По результатам инструментальных исследований (методом разгрузки) и по наблюдениям за проявлениями горного давления в рудничных выработках и разведочных скважинах установлено в [11], что Ловозерский массив находится в тектонически напряженном состоянии. Горизонтальные (тектонические) напряжения в горных породах на руднике "Карнасурт" на глубине 400-500 м от дневной поверхности в 4 раза, а на руднике "Умбозеро" на глубине 200-400 м в 6 раз превышают вертикальные (гравитационные) напряжения, которые удовлетворительно соответствуют весу пород с учетом гористого рельефа. Величина максимальных горизонтальных сжимающих напряжений в пунктах измерений: на руднике "Карнасурт" достигает 40-60 МПа, а на руднике "Умбозеро" – 50-70 МПа. Прочность пород при сжатии находится в пределах – 150-330 МПа [11].

Таким образом, блочное строение массива показывает, что в истории его геологического развития существенная роль принадлежала разрывным тектоническим движениям. Высокий уровень сжимающих горизонтальных напряжений свидетельствует о значительной современной активности тектонических процессов и возможном росте упругих деформаций в породах массива. Из опыта сейсмологических наблюдений известно, что тектонические землетрясения связаны с высвобождением энергии, накопившейся в форме упругого напряжения, в больших, но ограниченных объемах горных пород. При этом освобождающаяся энергия и магнитуда зависят, в основном, от размеров очага. Поэтому, если допустить что проекция очаговой области, определяемая по эпицентрам слабых землетрясений, соответствует контурам массива, то можно вычислить магнитуду максимально возможного землетрясения. Эмпирическая зависимость максимальной зарегистрированной магнитуды от длины сейсмоактивной зоны выражается уравнением из [12]:

$$M_{\max} = 2.4 \lg L + 1.0, \quad (4)$$

где M_{\max} – магнитуда, определяемая по поверхностным волнам, L – длина сейсмоактивной зоны в км. Подставляя в уравнение среднее значение поперечного размера Ловозерского массива, равное 32 км, получим $M_{\max} = 4.6$. Такова магнитуда потенциального тектонического землетрясения в Ловозерском массиве.

Л и т е р а т у р а

1. Коломиец А.С., Петров С.И. 2001. Восточная часть Балтийского щита // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. М.: Изд-во ОИФЗ РАН. С. 140-142.
2. Коломиец А.С., Асминг В.Э. 2002. Восточная часть Балтийского щита // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. М.: Изд-во ОИФЗ РАН. С. 155-157.
3. Uski M., Pelkonen E. (отв. сост.). 1998. Earthquakes in Northern Europe in 1997. Helsinki: Изд-во University of Helsinki Institute of Seismology. P. 80.

4. **Коломиец А.С., Нахшина Л.П. (отв. сост.).** Восточная часть Балтийского щита. См. раздел III в наст. сб. (на CD).
5. **Рихтер Ч.Ф. 1961.** Инструментальная шкала для магнитуд землетрясений // Слабые землетрясения. М.: Изд-во ИЛ. С. 13-44.
6. **Bath M. 1973.** Introduction to seismology. Basel and Stuttgart: Birkhauser Verlag.
7. **Рихтер К.Ф. 1963.** Элементарная сейсмология. М.: Изд-во ИЛ. 670 с.
8. **Рекомендации по вопросам определения магнитуды и энергетической классификации землетрясений. 1974.** // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. Т. II. М.: Изд-во ИФЗ АН СССР. С. 217.
9. **Граве М.К., Евзеров В.Я. 1963.** Новейшие и современные тектонические движения в центральной части Кольского полуострова // Современные движения земной коры. Вып. 1. М.: Изд-во АН СССР. С. 326-333.
10. **Атлас Мурманской области. 1971.** М.: Изд-во ГУГК СМ СССР. 33 с.
11. **Козырев А.А., Панин В.И., Иванов В.И. и др. 1996.** Управление горным давлением в тектонически напряженных массивах. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН. Ч. I. 159 с.
12. **Шебалин Н.В. 1968.** Методы использования инженерно-сейсмических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука. С. 95-111.