

УДК 550.348 (551.242.3+481.922.1)

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО ЩИТА

А.С. Коломиец, В.Э. Асминг, Е.О. Кременецкая

С 1992 г. в Кольском региональном сейсмологическом центре (КРСЦ) начался ввод в эксплуатацию цифровых сейсмических станций [1]. В 1993 г. начали работать широкополосная трехкомпонентная цифровая станция в Апатитах и сейсмическая группа Апатитский ARRAY (апертура около 1 км), расположенная в 17 км от г. Апатиты.

Основными задачами наших исследований являются мониторинг сейсмической активности Хибинского массива, в особенности, техногенной, а также наблюдение за сейсмичностью региона Баренцова моря в целом. Кроме этого, появилась возможность доступа к данным станций сейсмической сети Скандинавии и сетей IDA и IRIS через INTERNET. Расположение сейсмических станций изображено на рис. 1, а краткие сведения об их параметрах - в табл. 1,2. Таким образом, были созданы предпосылки для обнаружения и корректной локации сейсмических событий, что является абсолютно необходимым условием для изучения сейсмической активности, в особенности, связанной с горными работами.

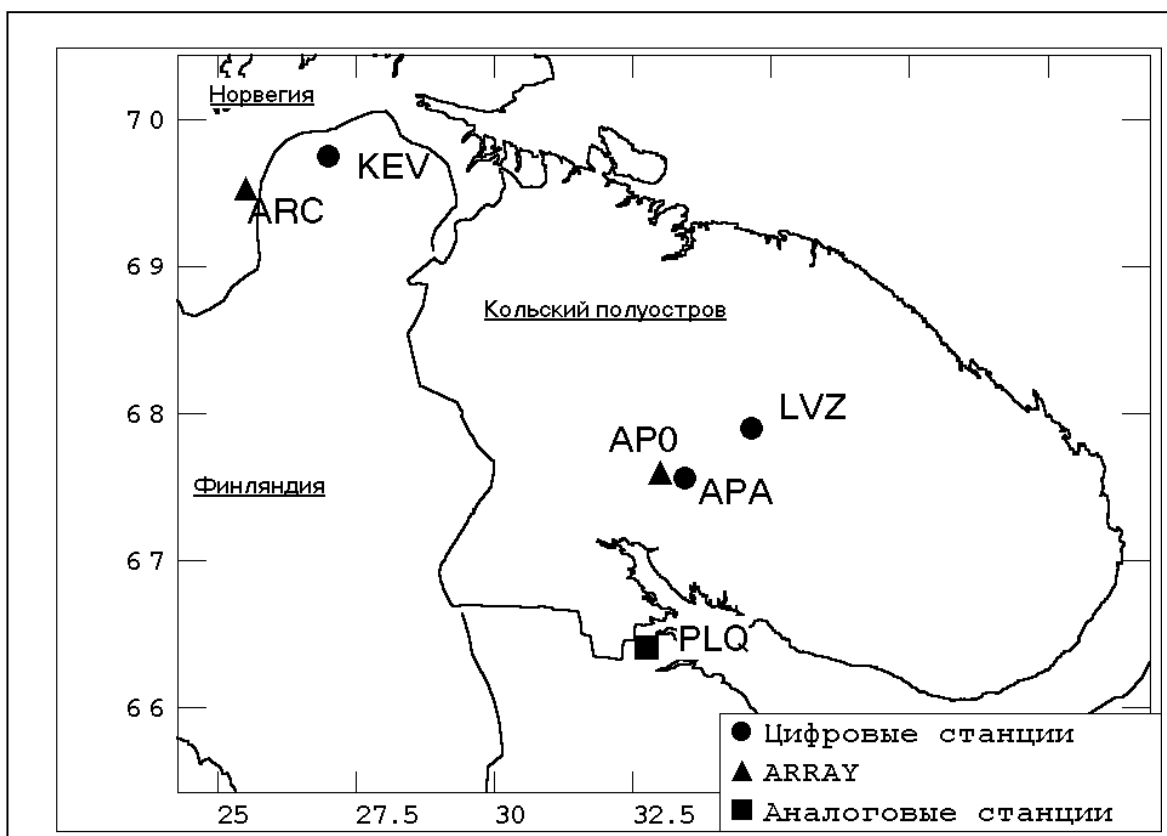


Рис. 1. Сейсмические станции, используемые для локации событий в регионе.

Для обработки записей цифровых сейсмических станций в КРСЦ был создан программный комплекс EL, включающий в себя следующие возможности:

- просмотр волновых форм;

- ручную локацию сейсмических событий в диалоговом режиме совместно с просмотром волновых форм и отображением на карте результатов локации и областей ошибок;
- привлечение к локации данных аналоговых сейсмических станций;
- анализ и предварительная обработка волновых форм, такие как цифровая фильтрация, построение спектров и сонограмм, анализ поляризации сейсмических волн по данным трехкомпонентных станций, анализ азимутов и кажущихся скоростей волн по данным сейсмических групп;
- анализ и уточнение годографов сейсмических волн.

Таблица 1. Сведения о сейсмических станциях КРСЦ в 1993 г.

№	Станция			Год открытия	Координаты			Аппаратура			
	Название	Код			φ°, N	λ°, E	h _y , м	Тип прибора	Комп- нента	V _{max}	ΔT _{max} , с
		Межд.	Per.								
1	Апатиты	APA	APA	1956	67.56	33.44	182	СКМ-3	N,E,Z	50000	
				1992				цифров., с широкоп. датчиком Guralp	N,E,Z		
2	Апатитский ARRAY		APO	1992	67.60	32.99	240	цифров, с короткоп. датчиком S-500	N,E,Z		
							180-245	12 цифров. датчиков в разнесенных точках	Z		
3	Полярный круг		PLQ	1985	66.41	32.75	120	СКМ-3	N,E,Z	50000	

Таблица 2. Прочие сейсмические станции, используемые КРСЦ в 1993 г.

№	Станция		Координаты		Аппаратура	
	Название	Код	φ°, N	λ° E,	Тип прибора	Компонента
1	Ловозеро	LVZ	67.90	34.65	цифровая	N,E,Z
2	Аркесс	ARC	69.53	25.51	цифровая	N,E,Z
3	Кево	KEV	69.75	27.01	цифровая	N,E,Z

Локация в системе EL реализована при помощи формализованного метода засечек, отличающегося большой наглядностью. Когда пользователь в режиме просмотра данных устанавливает на каналы разделители, соответствующие временам прихода P, S или R_g-волн, то на карте, видимой одновременно с записями (или глобусе, если лоцируется далекое событие), немедленно появляются соответствующие дуги засечек. Дополнительно пользователь может задать времена вступлений на те сейсмические станции, для которых нет записей. Они обрабатываются совместно с временами, помеченными разделителями. Если для события был рассчитан азимут по сейсмической группе, он также отображается на карте.

Анализ результатов локации взрывов в Хибинах в 1991-1993 гг. показал, что ошибки пользователя нередко вносили большой вклад в погрешность локации. Это связано с тем, что использовавшиеся в то время в КРСЦ программы просмотра сейсмических записей и локации функционировали отдельно - интерпретатор должен был снять с записи времена вступлений волн, внести их в отдельную программу локации, которая уже и выдавала координаты события. Главной причиной ошибок здесь являлось отсутствие обратной связи между оператором и программой.

Как показала практика, такая простая технологическая идея, как объединение картографической подсистемы с просмотром записей, привела к существенному повышению точности локации. Работа оператора стала интерактивной, ошибки стали немедленно видимы.

Район Хибинского и Ловозерского массивов отличается существенной неоднородностью скоростей распространения сейсмических волн. Кажущиеся скорости, рассчитанные по приходам волн от Хибинских взрывов, существенно выше, чем для сейсмических событий в Ловозерском массиве. Так, например, для локации землетрясения 20.01.1993 г. в Ловозерском массиве (φ=67.87° N, λ=34.45° E, M_L=2.4), была использована скоростная модель с v_p=5.9 км/с и v_s=3.4 км/с, которая была подобрана экспериментально по регистрациям взрывов станцией Ловозеро.

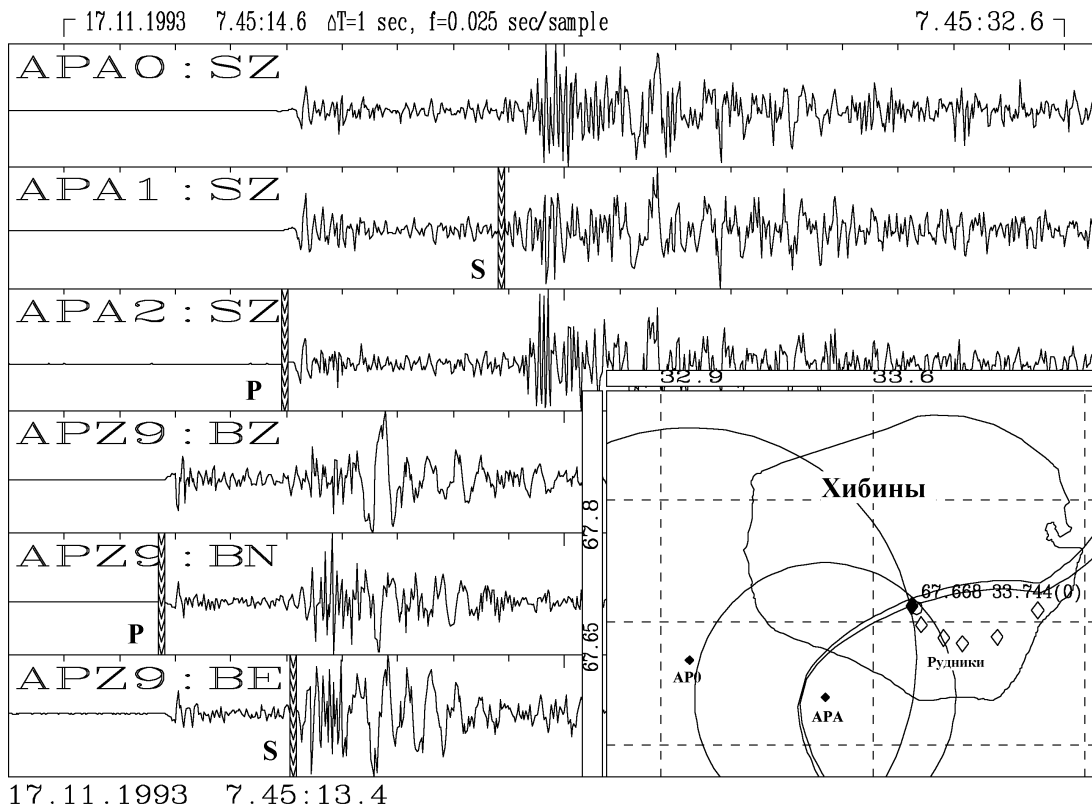


Рис. 2. Пример локации события (ML=2.6) в районе Кировского рудника. Пользователем помечены времена вступления P и S-волн на станции Апатиты и Апатитский ARRAY, пересечение линий P-P и P-S дает результат локации.

С другой стороны, по результатам регистрации станциями Апатиты и Апатитский ARRAY большого количества взрывов на шести Хибинских рудниках была получена совсем другая скоростная модель со скоростями, зависящими от расстояния до источника:

$$v_p = 1/(0.1791-0.0005394 \cdot R),$$

$$v_s = 1/(0.3175-0.001027 \cdot R).$$

Данная модель применяется нами для локации событий в Хибинском массиве, то есть, для расстояний не более 60 км.

Вопрос согласования этих моделей требует серьезного изучения скоростных неоднородностей данного района и, по-видимому, создания трехмерной скоростной модели.

В 1993 г. на Кольском полуострове было зарегистрировано большое количество сейсмических событий. Ввиду того, что данный регион отличается большим объемом горных работ, оказывается сложным достоверно классифицировать то или иное сейсмическое событие как взрыв или землетрясение [2]. Только два события 1993 г. мы можем с определенностью отнести к разряду землетрясений - упомянутое выше событие 17 ноября в районе Кировского рудника и землетрясение в Ловозерском массиве 20 января, локация которого приведена на рис. 3.

Кроме того, в Хибинском и Ловозерском массивах зарегистрирован ряд слабых событий, которые нам не удалось локализовать [3].

Магнитуды ML событий рассчитывались по формулам из [1]:

$$ML(P) = \lg A + 1.61 \lg \Delta - 1.9,$$

$$ML(S) = \lg A + 1.61 \lg \Delta - 2.6.$$

где A - максимальная амплитуда волны в мм, Δ - расстояние в км. Практически, все ML определяются по P-волне. Формула для ML(S), то есть, магнитуда по S-волне, используется только тогда, когда P-волна слишком слаба или не видна вообще. При этом шкалы ML(P) и ML(S) подобраны так, чтобы в среднем магнитуды совпадали.

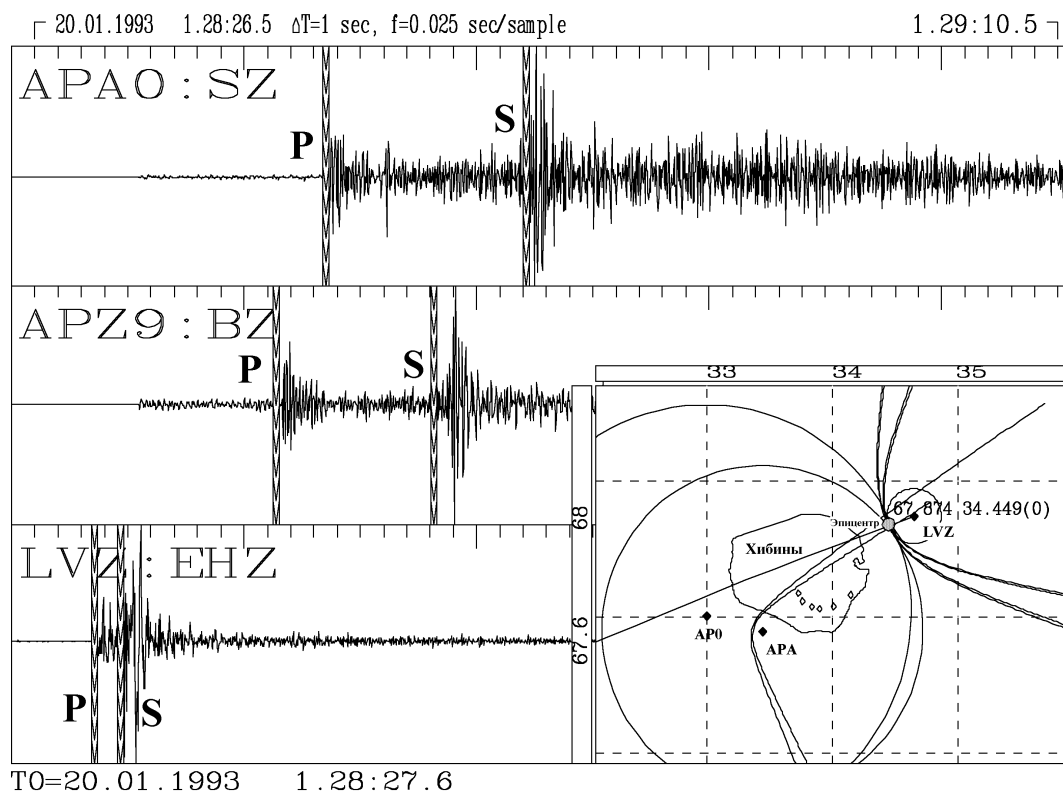


Рис. 3. Локация землетрясения в Ловозерском массиве

Л и т е р а т у р а

1. Кременецкая Е.О., Кузьмин И.А., Асминг В.Э. 1997. Землетрясения восточной части Балтийского щита // Землетрясения Северной Евразии в 1992 году. М.: Геоинформмарк. С. 110-112.
2. Годзиковская А.А. 1995. Местные взрывы и землетрясения. М.: Гидропроект. 98 с.
3. Кузьмин И.А., Кременецкая Е.О., Тряпицын В.М., Федоренко Ю.В., Бекетова Е.Б., Нахшина Л.П. 1994. Землетрясения в Хибинах в ноябре-декабре 1993 г. Апатиты: КНЦ. 9 с.
4. Кременецкая Е.О., Кузьмин И.А., Асминг В.Э. 1997. Землетрясения восточной части Балтийского щита // Землетрясения Северной Евразии в 1992 году. М.: Геоинформмарк. С. 110-112.