

СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ТЕРРИТОРИИ ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС-2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАЛОАПЕРТУРНОЙ ГРУППЫ

***С.Б. Кишкина, Г.Г. Кочарян, Д.Н. Локтев, И.А. Санина, С.Г. Волосов,
Н.Л. Константиновская, М.А. Нестеркина, О.Н. Черных***

С целью сейсмического мониторинга ближнего района строящейся площадки Ленинградской АЭС-2 в октябре–ноябре 2009 года ИДГ РАН были проведены режимные сейсмические наблюдения в заданном районе. Впервые на территории России для этой цели использовалась малоапертурная сейсмическая группа. Основная цель работы – контроль сейсмического режима ближнего района размещения АС. Для проведения регистрации на берегу Финского залива была установлена и в течение месяца функционировала малоапертурная сейсмическая группа. Среди событий, не попадающих в категорию техногенных, было зарегистрировано три, относящихся к ближнему району размещения ЛАЭС-2. Магнитуда одного из событий оценивается величиной 1,01, у двух других – около 0.

Введение

Оценка возможного проявления сейсмических и геодинамических процессов на территории размещения атомных станций (АС) – одна из важнейших проблем безопасности АС, решение которой не может быть полностью унифицировано и которая должна решаться с достоверным научным обоснованием для каждого конкретного объекта.

С целью сейсмического контроля стабильности геосреды в ближнем районе строящейся площадки Ленинградской АЭС-2 (ЛАЭС-2) были проведены режимные сейсмические наблюдения в заданном районе. Основные задачи работ по сейсмическому мониторингу – контроль стабильности состояния и свойств геологической среды в период эксплуатации АС в пределах ближнего района; контроль сейсмического режима ближнего района размещения АС.

Локальный мониторинг сейсмического режима в ближнем районе площадки ЛАЭС-2 предполагает не только контроль основных параметров микросейсмического шума, но и, в первую очередь, регистрацию и локацию местных и региональных эндогенных сейсмических событий.

Опираясь на данные проведенных ранее работ по сейсмическому микрорайонированию [Уломов, Шумилина, 1998; Степанов, Прибылова, 2001], были сделаны оценки основных параметров ожидаемых событий [Бугаев, Кишкина, 2009]. Частотный диапазон сигналов, которые должны регистрироваться системой сейсмического мониторинга, – от 0,5–1 до 20–30 Гц, поскольку аппаратура должна регистрировать как высокочастотные местные, так и более длиннопериодные телесеизмические и региональные события. Что касается местных сигналов, то наиболее вероятными для контролируемой территории предполагаются события с магнитудой от нуля (таких событий ожидается около шести в год) до минус единицы (63 события в год).

Необходимость регистрировать и с максимально возможной точностью определять источник слабых сигналов накладывает серьезные требования на аппаратуру и методику, с помощью которой ведется сейсмический мониторинг.

До сегодняшнего дня для целей сейсмического мониторинга атомных станций используются локальные сети, состоящие из отдельных станций.

Опираясь на успешный опыт работы сейсмической группы «Михнево», установленной в похожих условиях преобладания осадочных пород [Санина и др., 2009], впервые на территории России для сейсмического мониторинга АС нами была использована малоапертурная сейсмическая группа.

Малоапертурная сейсмическая группа

Уже с начала 60-х годов прошлого столетия сейсмическое группирование как новый для того времени тип сейсмической регистрации помогает повысить соотношение сигнал/шум и улучшить качество определения типа сигналов (землетрясение-взрыв). Мировая практика показала, что по соотношению цена-качество (в данном случае «качество» – это точность полученных оценок сигналов и их детерминация) гораздо выгоднее увеличивать число пунктов наблюдений, чем усложнять систему обработки одиночных станций.

Группирование предполагает площадную расстановку N сейсмических датчиков, положение которых задается в прямоугольной системе координат. Повышенная чувствительность сейсмических групп достигается за счет пространственной

обработки всех сигналов, регистрируемых имеющимся набором сейсμοприемников. В основе такой обработки и анализа данных лежит гипотеза о том, что в пределах линейных размеров площадной системы регистрации сигнал является плоской когерентной волной, а на небольших интервалах времени сигнал является стационарным процессом в пространстве. Шум при этом считается некогерентным. Основная процедура обработки заключается в суммировании сейсмических записей, получаемых на N датчиках. Суммирование осуществляется с такими временными задержками, которые позволяют совместить обнаруженные на отдельных каналах регистрации сигналы. При таком суммировании (поскольку сигнал когерентен, а шум нет) за счет подавления шума сигнал становится более выраженным, соотношение сигнал/шум возрастает в несколько раз. По теоретическим оценкам – в $\sqrt{N}$ раз.

По принципу действия сейсмическая группа очень похожа на радиолокационную антенну, откуда и пошло распространенное наименование «сейсмическая антенна».

Пространственные и аппаратурные характеристики группы, выбираемые при ее проектировании – это число датчиков и амплитудно-частотные характеристики каналов регистрации, геометрия расположения датчиков, расстояния между ними – зависят от поставленных целей и задач (в первую очередь – на обнаружение каких сигналов должна быть настроена группа: региональных или телсейсмических), от уровня и характера микросейсмических колебаний в месте установки, от геологического и структурного строения среды в радиусе установки.

Проблема выбора конфигурации группы или геометрии распределения ее индивидуальных датчиков по площади наблюдений ориентирована на построении рациональной характеристики направленности группы, которая позволила бы благодаря подавлению микросейсмических шумов и равномерному пространственному опросу выделять слабые сейсмические сигналы, а также с достаточно высокой точностью оценивать их основные характеристики.



Рис. 1. Район установки малоапертурной группы «Сосновый Бор». Кругжками обозначены места установки аппаратуры

Работа группы на ЛАЭС-2

Выбор параметров регистрирующей аппаратуры и мест ее установки требует данных о геодинамических и сеймотектонических условий площадки. С этой целью была проведена работа по анализу уже имеющихся [Отчет ИФЗ, 2008] для этого района инженерно-геологических и геофизических данных. Сделано дешифрование космо- и аэрофотоснимков с целью выделения разломной тектоники и подтверждения установленных разломов, распознавания и оконтуривания экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений [Иванченко, 2010].

На базе составленных [Иванченко, 2010] карт линеаментов различного ранга и карт иерархически соподчиненных блоков для территории АС и ближнего района было выбрано место установки сейсмической группы – участок побережья Финского залива в районе города Сосновый Бор. Группа вела регистрацию в течение месяца (октябрь–ноябрь 2009 г.). Район установки малоапертурной группы «Сосновый Бор» и схема ее конфигурации приведены на рис. 1.

Группа состоит из семи трехкомпонентных пунктов регистрации, установленных в шурфах на глубине 1 м. Пункты расположены на двух концентрических окружностях; на каждом кольце расположены по три датчика и один в центре группы. Использовались регистраторы Reftek-130, датчики CM3-KB и OYO GEOSPACE, один широкополосный RefTek-151 (0,0083–50 Гц). Установлена частота опроса 100 Гц. Частотный диапазон от 0,5 до 40–50 Гц, динамический диапазон сейсмических каналов составляет 120–140 дБ. Апертура группы (600 метров) обусловлена морфологическими особенностями выбранного участка.

Район расположения группы отличается большим количеством событий техногенного происхождения, кроме того, акватория Финского залива генерирует постоянные колебания в частотном диапазоне около 1–2 Гц (рис. 2). Это осложняло регистрацию полезного сигнала.

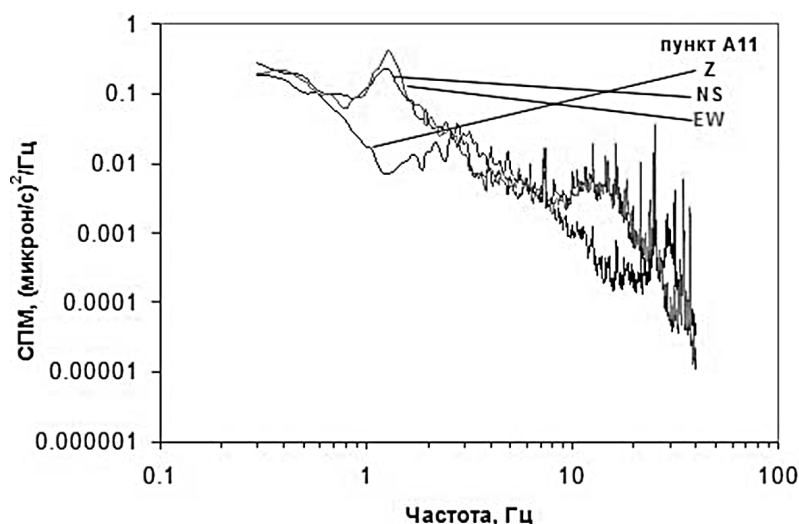


Рис. 2. Пример спектральной характеристики микросейсмического фона в ночное время для трех компонент.

Пункт регистрации A11. На горизонтальных компонентах отчетливо выделяется влияние прибора (1–2 Гц) и узкие пики, присущие техногенным сигналам (8,33, 12,5, 25 Гц и т.д.)

Известно, что техногенным сигналам присуща наполненность высокими (>10 Гц) частотами и большая часть так называемых «техногенных» пиков, традиционно связываемых с работой машин и механизмов, линий электропередач, генераторов, турбин и другие, также лежит в области высоких частот. При этом в достаточно широком диапазоне частот (ориентировочно 2–15 Гц) могут присутствовать как местные эндогенные сигналы, так и сигналы от автотранспорта, сигналы, генерируемые работой АС, сигналы, вызванные карьерными взрывами. Если от помех, вызванных приборными колебаниями или работой постоянного оборудования, достаточно просто было избавиться с использованием простой полосовой или, соответственно, режекторной фильтрации, то для уверенной идентификации автомобильного транспорта велся дневник визуальных наблюдений проходящих машин, с помощью которого были выбраны основные параметры, присущие характерным сигналам, вызванным прохождением легковой машины–грузовика–крупногабаритного транспорта. При этом одним из самых характерных детерминационных признаков сигнала, вызванного движением автотранспорта, являлись временные метки его появления на определенных каналах группы, соответствующие геометрии взаиморасположения трассы и датчиков (см. рис. 3).

Идентификация каждого сигнала, прошедшего первый этап разделения на явно техногенные и сигналы неясной природы (визуальный анализ, сравнение с полученными характерными образами сигналов автомобилей, фильтрация), проводилась индивидуально. В результате такого отбора осталось около 100 сигналов. Проведенная локация оставшихся сигналов показала, что источниками части из них являются, предположительно, карьерные взрывы. Первое предположение основано на оценке направления на источник и расстояния до него (в месте предположительных источников сигналов имеются карьеры). По имеющимся у нас данным, на территории Ленинградской области постоянно работает до 16 карьеров. В результате анализа было выделено несколько типичных волновых форм, формирующихся от событий в определенном интервале эпицентральных расстояний и азимутов.

На следующем этапе обработки подключался анализ основных амплитудных и спектральных параметров сигнала. Детерминация проводилась исходя из того, что подрывы на каждом карьере ведутся по определенной схеме, так что производится определенная форма и продолжительность сигнала; а также из наличия характерной модулированной формы спектра, присущей сигналам от массовых карьерных взрывов (рис. 4).

Абсолютному большинству зарегистрированных сигналов присущи следующие особенности: нестабильность волновой формы в пределах апертуры группы, наиболее отчетливо выделяется волна S, волна Р идентифицируется недостаточно четко. В некоторых случаях выделение волны Р практически невозможно даже при условии многоканальной обработки и наличии двух широкополосных точек регистрации (наличие такой аппаратуры позволяет достаточно уверенно идентифицировать вступление Р-волны в большинстве случаев). С другой стороны, на некоторых записях выделяется несколько групп отраженных волн, что подтверждает сложность геологического строения данной территории. Этот вывод находится в качественном согласии с имеющимися данными о повышенном поглощении и обменоспособности среды непосредственно в районе регистрации. [Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы, 2007].

1.11.2009 9.23:41.2

9.26:11.2

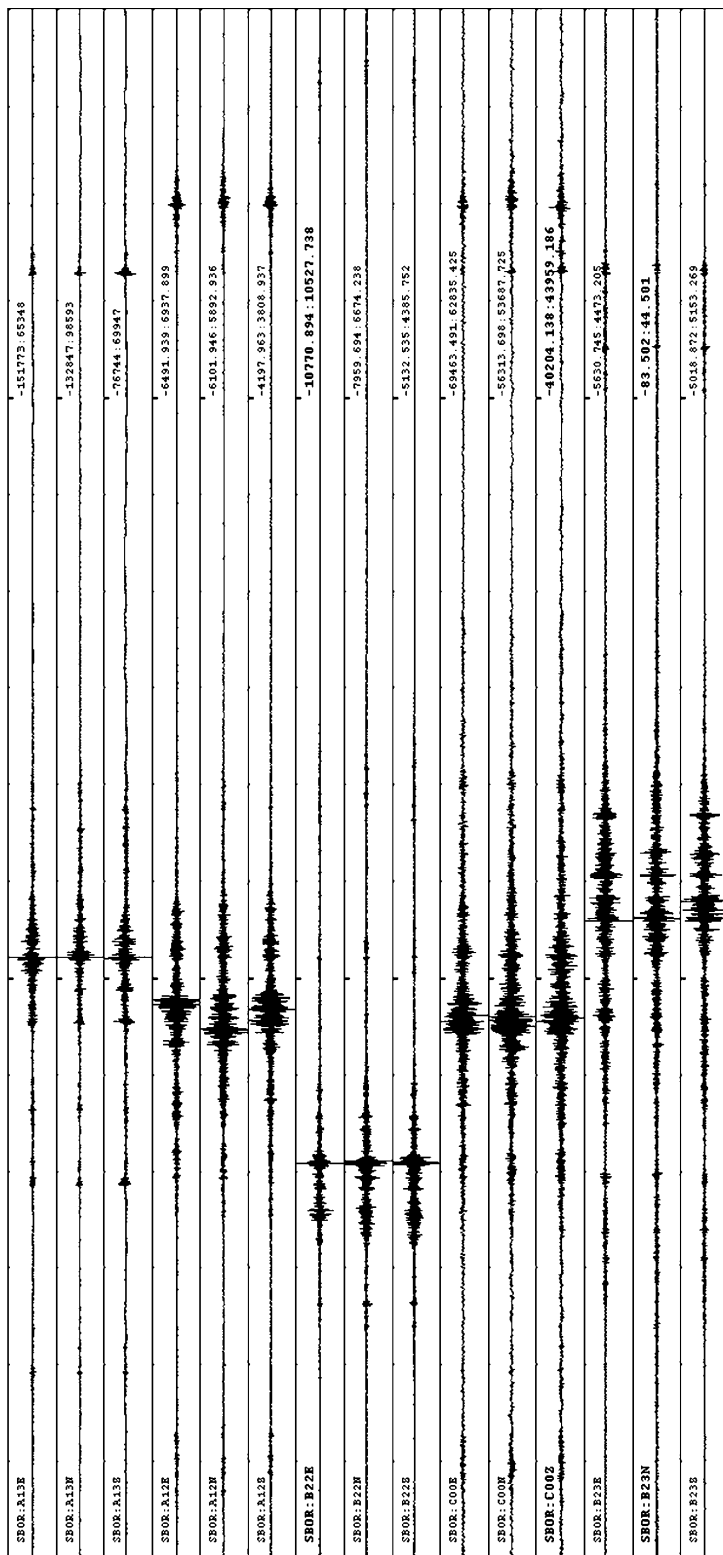


Рис. 3. Пример регистрации малоамплитудной группой движения автомашины

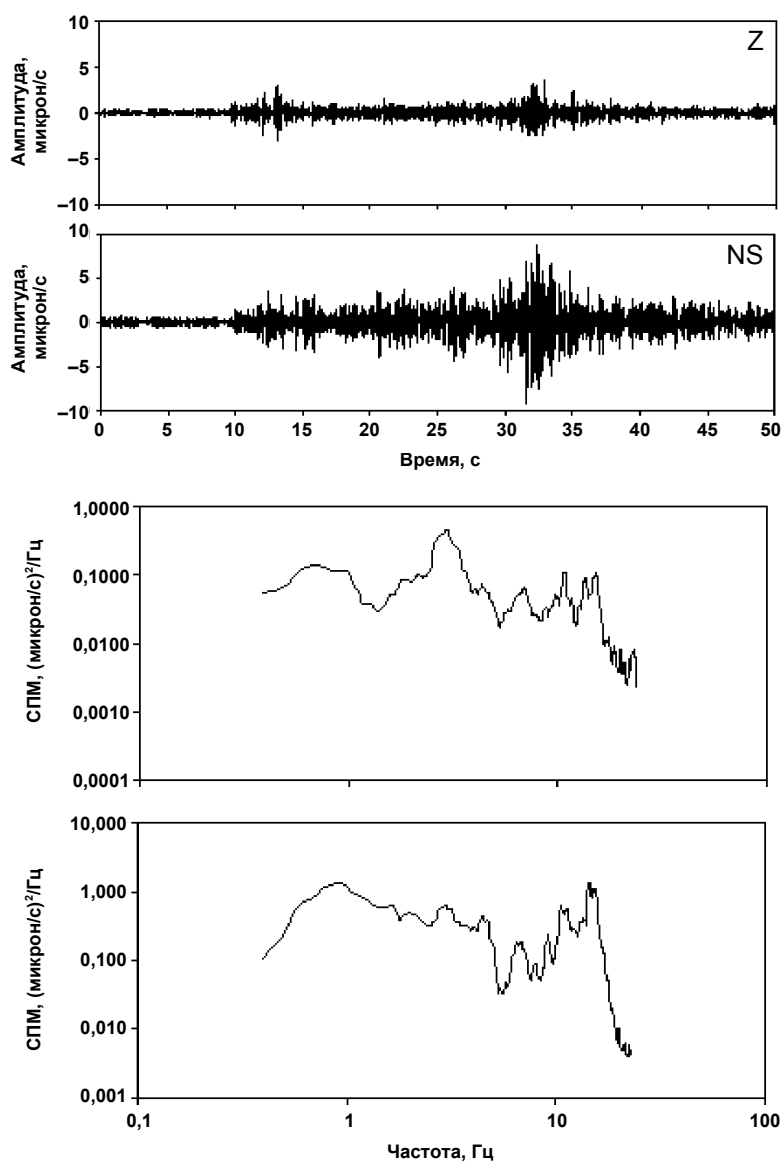


Рис. 4. Пример сигнала, зарегистрированного малоапертурной группой 20.10.2009. Предположительно: карьерный взрыв (направление на источник, форма и продолжительность сигнала, характерная модулированная форма спектра). Пункт регистрации А11. 07.10.2009 10:31:01 (местное время)

Оценочная схема расположения источников зарегистрированных событий приведена на рис. 5. Эпицентры событий, зарегистрированных за период наблюдений, в основном, находятся в пределах 60–160 км. Полученные данные о сейсмических событиях были сопоставлены с данными бюллетеня Норвежской группы NORSAR; несколько событий, зарегистрированных малоапертурной группой «Сосновый Бор», были отмечены в Бюллетене Норвежской группы. Пример реги-

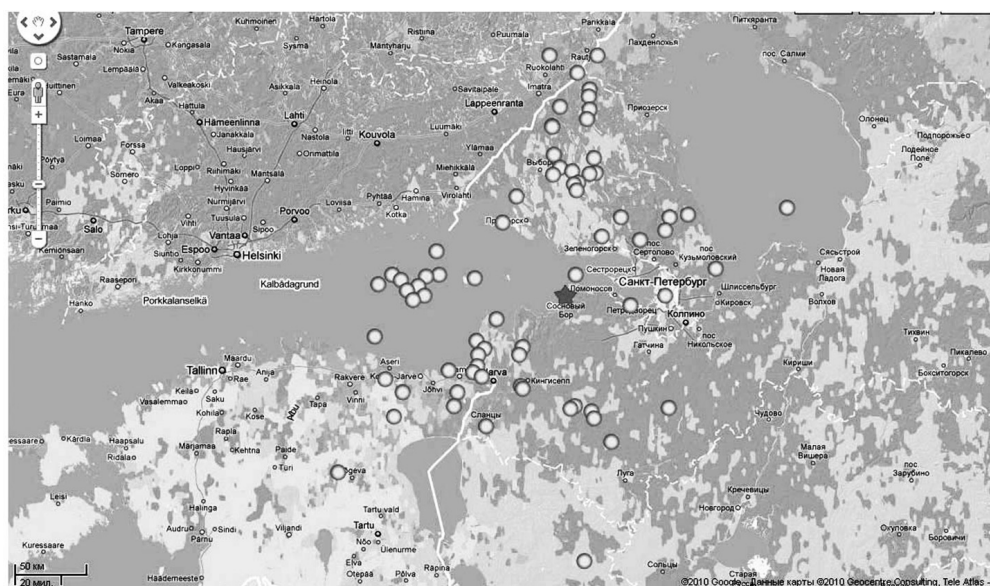


Рис. 5. Оценочная схема расположения источников событий, зарегистрированных малоапертурной сейсмической группой «Сосновый Бор» с 07.10 по 04.11.2009. Место расположения группы обозначено звездочкой

онального события, зарегистрированного малоапертурной группой «Сосновый Бор», приведен на рис. 6.

Поскольку за время регистрации не произошло ни одного достаточно мощного местного события, которое могло бы послужить калибровочным, для оценки точности определения координат были проведены сравнительные локации одних и тех же событий с использованием двух разных скоростных моделей: IASPEI – основная модель, применяемая при определении координат сейсмических событий, и ВЕП – модель для коры и верхней мантии Европейской части РФ, построенная по данным [Юдахин, Макаров, Щукин, 2000]. В таблице приведены результаты проведенной локации взрывов на карьерах «Кузнечное» и г. Кингисепп.

Таблица

Пример результата локации источника, связываемого с карьерными взрывами

Дата	Время (мест-е)	Расстояние		Координаты					
		ВЕП	IASPEI	ВЕП		IASPEI		Реальные	
16.10.2009	10:04:48	153	189	61,32	28,88	61,64	28,81	61,13	29,82
16.10.2009	10:22:44	63	75	59,43	28,56	59,33	28,46	59,24	28,26

К сожалению, эпицентральные расстояния, полученные при использовании обеих моделей, расходятся с известными координатами карьеров на 20–30 км, в зависимости от азимута.



T0= 9.10.2009 8.04:21.1(0.06) A4=178

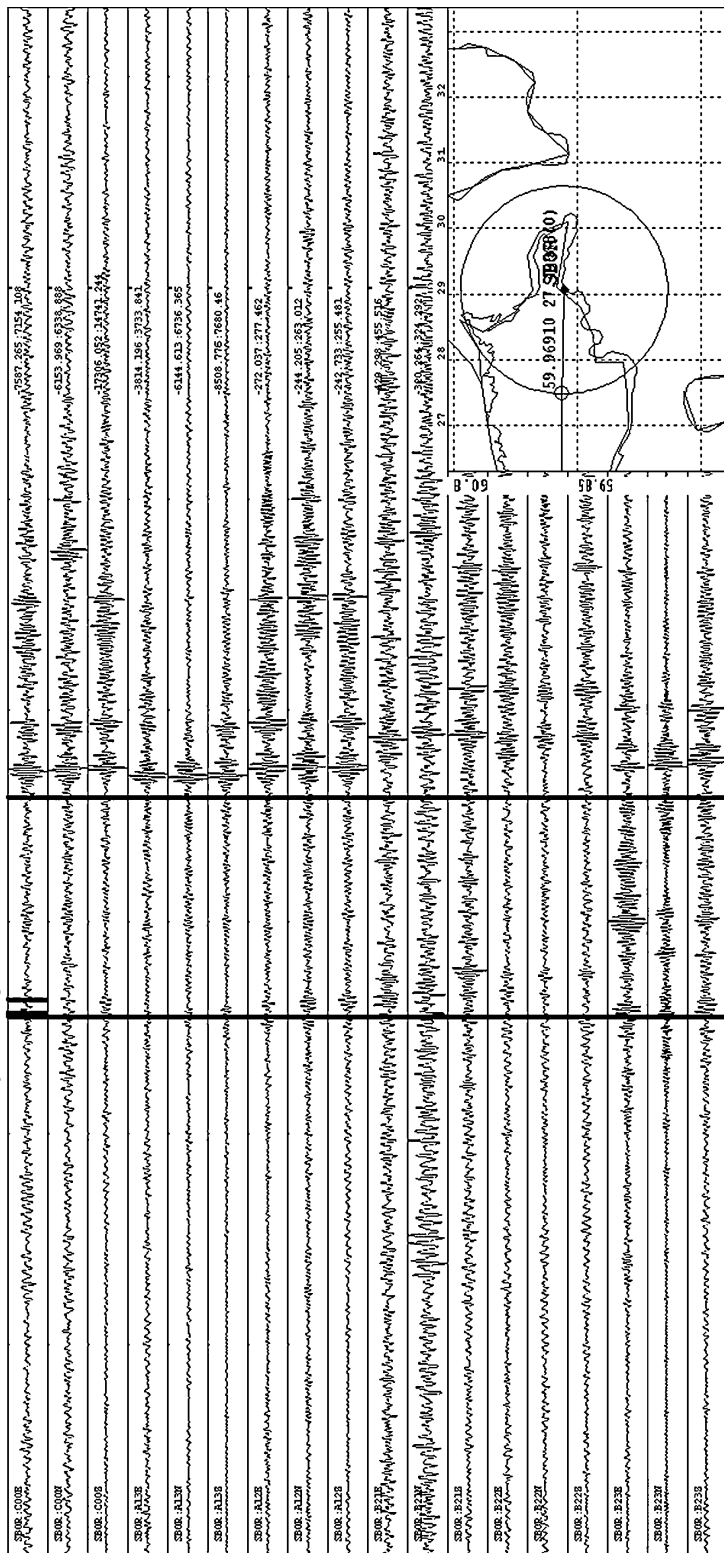


Рис. 6. Пример записи события из акватории Финского залива 9 октября 2009 г. (18 каналов группы).

Длинные вертикальные линии указывают на времена вступлений продольных и поперечных волн. Короткие – на первом канале – участок записи, по которому определяется азимут на эпицентр. В правом нижнем углу – результат локации

Выводы

Из всех зарегистрированных событий, не попадающих в категорию техногенных, три относятся к ближнему району размещения ЛАЭС-2, причем все три попадают в зоны, выделяемые (как нашим автоматическим дешифрированием, так и предшественниками) как потенциально сейсмогенные. Магнитуда одного из событий оценивается величиной 1,01, у двух других – около 0.

Точность определения характеристик сигналов может быть значительно улучшена, если в дальнейшем группа будет продолжать регистрацию в заданном районе и будет зарегистрировано достаточно сильное местное событие, которое сможет послужить калибровочным. Кроме того, данные будут уточнены, когда появится возможность использовать региональный годограф. Все это повлияет и на повышение качества детерминации сигналов.

Литература

Бугаев Е.Г., Кишкина С.Б. Метод сейсмического мониторинга территории объектов атомной энергетики на Восточно-европейской платформе // Проблемы взаимодействующих геосфер: сборник научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС. 2009. С. 147–155.

Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы кн. 1 / под редакцией Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Щукина. Петрозаводск, 2007, с. 207–217.

Иванченко Г.Н. Морфотектонический и линеаментный анализ территории, прилегающей к Ленинградской АЭС. Настоящий сборник.

Окончательный технический отчет. Сводный отчет. Уточнение геодинамических и сейсмических условий площадки ЛАЭС-2 // ИФЗ РАН, Москва, 2008, ФГУП «СПбА-ЭП», Арх.№ Ф-20611/1, Ф-20611/2, 20611/3.

Санина И.А., Черных О.А., Ризниченко О.Ю., Волосов С.Г. Малоапертурная сейсмическая антенна «Михнево»: новые возможности изучения сейсмичности Восточно-Европейской платформы // Доклады Академии Наук. Т. 428, № 7, 2009, с. 536–542.

Степанов В.В., Прибылова Н.Е. Анализ закономерностей распределения сейсмической активности Фенноскандии. Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов. // Материалы международной конференции, Воронеж, Воронежский гос. Университет, 2001. С. 181–183.

Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект новых карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации // Сейсмостойкое строительство. № 4, 1998, с. 30–34.