

УДК 550.34.034

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОАПЕРТУРНОЙ ГРУППЫ
СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Сотников Д.С., Чугаевич В.Я.

*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта
г. Калининград*

Научный руководитель к.г.-м.н. Аносов Г.И.

В работе описывается пример создания и результаты кратковременной эксплуатации малоапертурной 7 элементной сейсмической группы. Приводятся сравнение полученных данных с моделью шумов Петерсона. Рассмотрен вопрос о распределении пространственной корреляции шумов и на основании этого представлена геометрия группы.

Ключевые слова: малоапертурная сейсмическая группа, уровень шумов, геометрия малоапертурной сейсмической группы.

ВВЕДЕНИЕ

Серия землетрясений, произошедших в Калининградской области 21 сентября 2004г, стала неожиданностью для большей части сейсмологов. До этих событий, указанный регион отсутствовал на карте общего сейсмического районирования ОСР-97. После проведения Институтом физики Земли РАН детального районирования в 2007-2008гг, Калининградская область была переведена в районы с наличием сейсмической опасности в условиях малой активности, при этом уровень ожидаемой сотрясаемости прогнозируется до 7-ми баллов по шкале MMSK-64. Существуют предположения, что события, подобные событиям 2004г, могут являться предвестником дальнейших землетрясений.

В связи с этим, начиная с 2005г, на территории Калининградской области Российской Академией наук при участии БФУ имени И.Канта создаётся сейсмологическая сеть. К настоящему времени Геофизической службой РАН установлена широкополосная сейсмическая станция типа SDAS, а университетом развернуты две короткопериодные станции типа Угра-3.

Однако развертывание местной сейсмологической сети осложнено локальными особенностями.

Известно, что при регистрации сейсмических колебаний грунта датчики стараются устанавливать на выходах коренных пород, т.к. наиболее выгодной – особенно с точки зрения обнаружения слабых сейсмических сигналов, - является установка первичных преобразователей на крепких горных породах. Однако на территории Калининградской области, находящейся на западной оконечности Восточно-Европейской платформы (ВЕП) такие участки найти крайне сложно. Приходится работать в условиях мощных отложений рыхлых осадочных пород: существенно вырастает уровень высокочастотных микросейсмических шумов, существенно изменяется форма сигнала от датчика к датчику. При этом практически вся территория ВЕП (в т.ч. Калининградской области) густо населена, что резко повышает число антропогенных помех: авто и железные дороги, промышленные предприятия и т.д. Одним из принятых способов увеличения соотношения сигнал/шум является организация сейсмических групп.

В настоящей работе приведен опыт создания и кратковременной эксплуатации группы в густонаселенном районе.

РЕКОГНОСЦИРОВОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

В качестве места размещения локальной сейсмической группы был выбран район н.п. Лунино (рис. 1), расположенный в Неманском районе Калининградской области, примерно в 100 км к восток-северо-востоку от г. Калининград.

Данная территория привлекательна в плане установки группы в силу удаленности от действующих железной и магистральных автомобильных дорог, а также от промышленных объектов. С целью оценки интенсивности микросейсмических шумов, а также для определения геометрии группы в июле-октябре 2011 г. здесь были проведены специальные измерения.

Для первоначальной стадии работ использовались три трехкомпонентные сейсмостанции «Угра-3» (Калининградская) [2] и комплект к каждой из трех приемников СМ-3 (вертикальная и две горизонтальных компоненты). Сейсмоприемники расставлялись в профильные линии с шагом порядка 80 м. Регистрация показаний производилась с частотой оцифровки

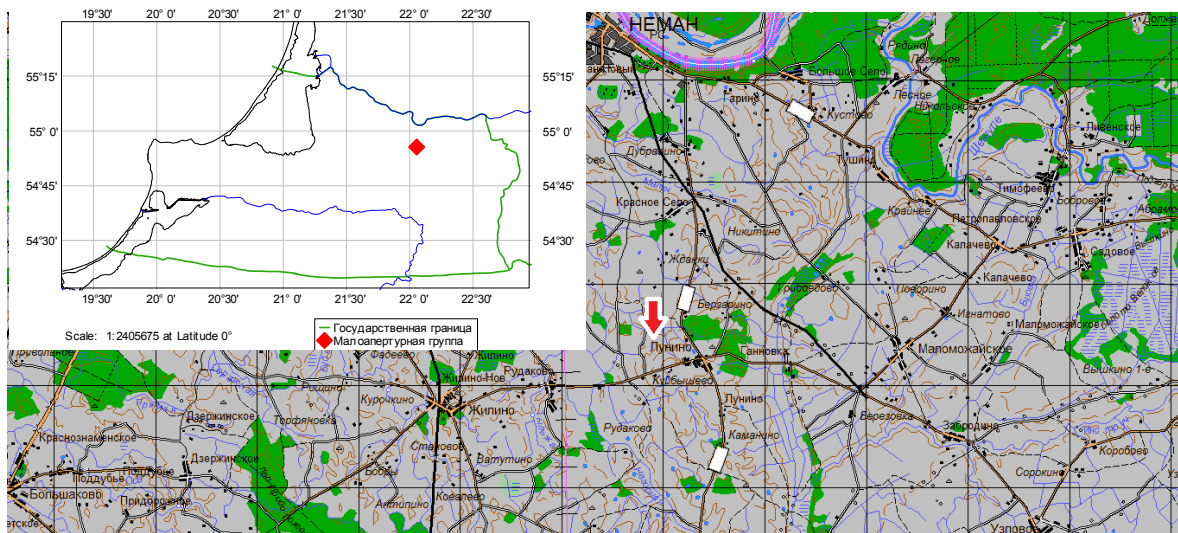


Рис. 1. Район размещения малоапертурной группы.

200 Гц с длительностью не менее 1 часа. Подобным образом были проведены наблюдения на радиальной сетке профилей, на основании которых рассчитывались показатели пространственной корреляции микросейсм $\rho(r)$. [4, 5].

На рис. 2-3 показаны полученные по радиальным профилям коэффициенты корреляции и построенная по ним осредненная зависимость $\rho(r)$ для различных частотных диапазонов. В отличие от других реализаций малоапертурных групп, в Лунино, отсутствие корреляции для нефильТРованных микросейсм можно наблюдать с дистанции 160 м между сейсмоприемниками (Рис. 2). В диапазоне 2-4 Гц микросейсмические шумы имеют нулевую когерентность на расстоянии 90-100 м и дальше отмечается отрицательный коэффициент корреляции. В диапазоне 4-8 Гц микросейсм перестают быть когерентными для расстояний между сейсмоприемниками, больших 100 м (рис. 3).

Полученные результаты показывают, что минимальные коэффициенты корреляции для регистрируемых микросейсм отвечают удалениям 90, 190, 240 метров и далее.

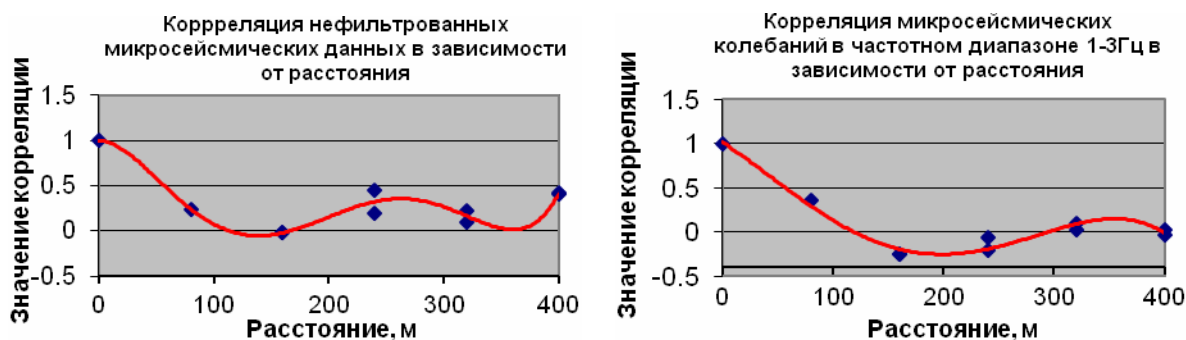


Рис. 2. Коэффициенты корреляции записей микросейсм на базовой станции с таковыми на удалениях 0–80–160–240–320–400 метров, в заданных частотных диапазонах: на открытом канале (слева) и в полосе частот 1–3 Гц (справа).

Эти значения близко соответствуют зависимости для компоновки группы с размещением сейсмометров Z - компоненты на концентрических окружностях с радиусами:

$$R_i = R_{\min} \cdot 2.15^i, \quad i = 0, 1, \dots,$$

и с центральной трехкомпонентной регистрацией; при этом $R_{\min} = 90$ м, далее – 195 м, 420 м и т.д. для частотного диапазона 1-8 Гц.

Полученные данные по пространственной корреляции микросейсмических колебаний показывают, что с удалением друг от друга точек регистрации она падает, и в интересующем нас частотном диапазоне расстояние между сейсмоприемниками может быть выбрано порядка 200 м для низкочастотной области спектра, и практически любой, большей 90 м для области спектра 4-8 Гц.

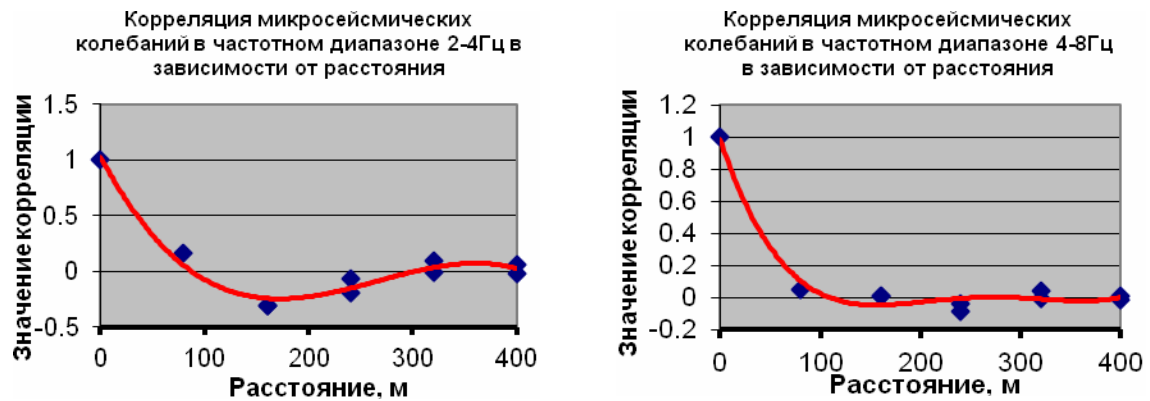


Рис. 3. Коэффициенты корреляции записей микросейсм на базовой станции с таковыми на удалениях 0–80–160–240–320–400 метров, в заданных частотных диапазонах в полосе частот 2–4 Гц (слева) и в полосе частот 4–8 Гц (справа).

Для анализа уровня микросейсмических шумов была выполнена оценка спектра мощности полученных сейсмических записей.

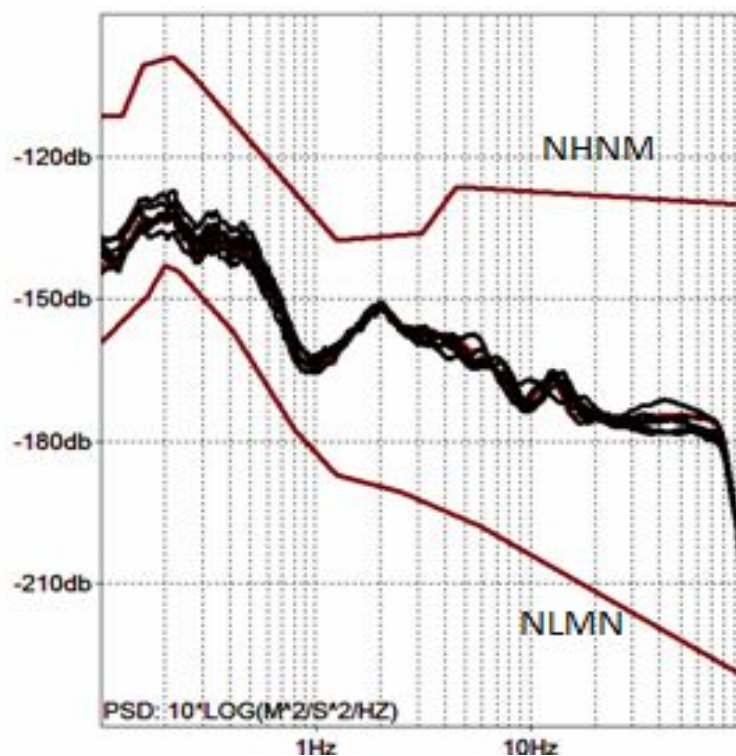


Рис. 4. Уровень микросейсмического шума ((м²/с²)/Гц) на месте расположения малоапертурной группы

На рис. 7 представлена осредненная кривая спектра мощности, согласно показаниям всех сейсмоприемников обеих расстановок. Как видно, шумы характеризуются небольшой вариацией как во времени, так и в пространстве (в пределах расстановок). Для сопоставления, на рис. 4 также

приведены модельные кривые высокого и низкого уровня шумов (NHNМ и NLNM), полученные в результате обобщения данных сейсмических станций мира [6].

На основании изложенной информации, была задана следующая геометрия группы (рис. 5). Группа состоит из шести вертикальных сейсмометров, расположенных на двух concentрических окружностях радиусом 90 и 168 м. Центральный датчик является трехкомпонентным. По техническим причинам датчик А12 вынесен на расстояние меньше заданного – 71.4м.

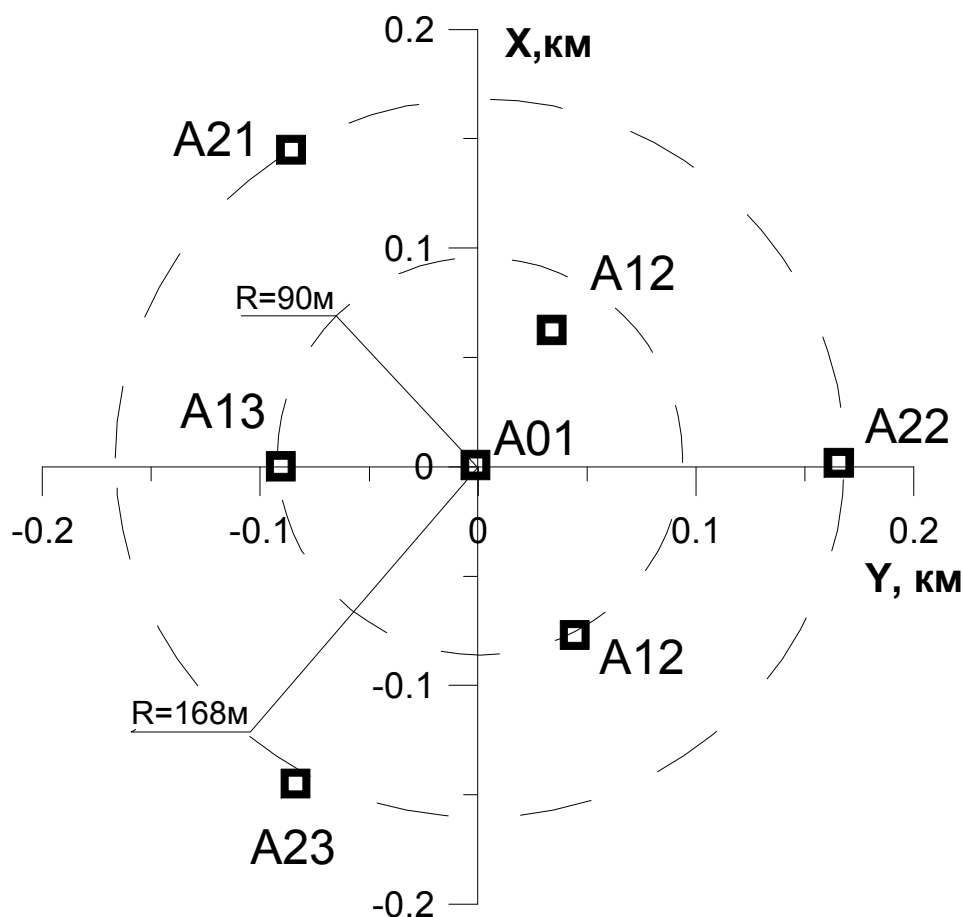


Рис. 5. Схема конфигурации сейсмических датчиков, входящих в малоапертурную группу. Датчик А01 – трехкомпонентный, датчики А11,12,13,21,22,23 – вертикальные.

Из рисунка б(а) видно, что даже такая усеченная, без третьего кольца датчиков, группа обеспечивает достаточно плотный и круговой охват на

дистанциях 90-180м, для которых предполагается высокая когерентность сигнала от локальных событий (диапазон 4-8 Гц). На рис. 6(б) приведён рельеф карты изолиний другой важнейшей характеристики конфигурации сейсмической группы - энергетической характеристики направленности группы. Характеристика направленности группы в (k_x, k_y) -плоскости группы имеет чётко выраженный центральный максимум, незначительно вытянутый в северо-северо-восточном направлении (здесь (k_x, k_y) - компоненты волнового вектора в плоскости установки). Такая форма связана с небольшим смещением точки расположения прибора А11 относительно геометрического центра группы.

Ширина главного максимума показывает возможность эффективной обработки сигналов с волновыми числами более 2 км^{-1} , что соответствует предполагаемому диапазону волновых чисел для сигналов от локальных источников сейсмических колебаний. При диапазоне частот 4-8 Гц и характерных кажущихся скоростях локальных сигналов 1-2 км/с получаем диапазон волновых чисел $15-25 \text{ км}^{-1}$.

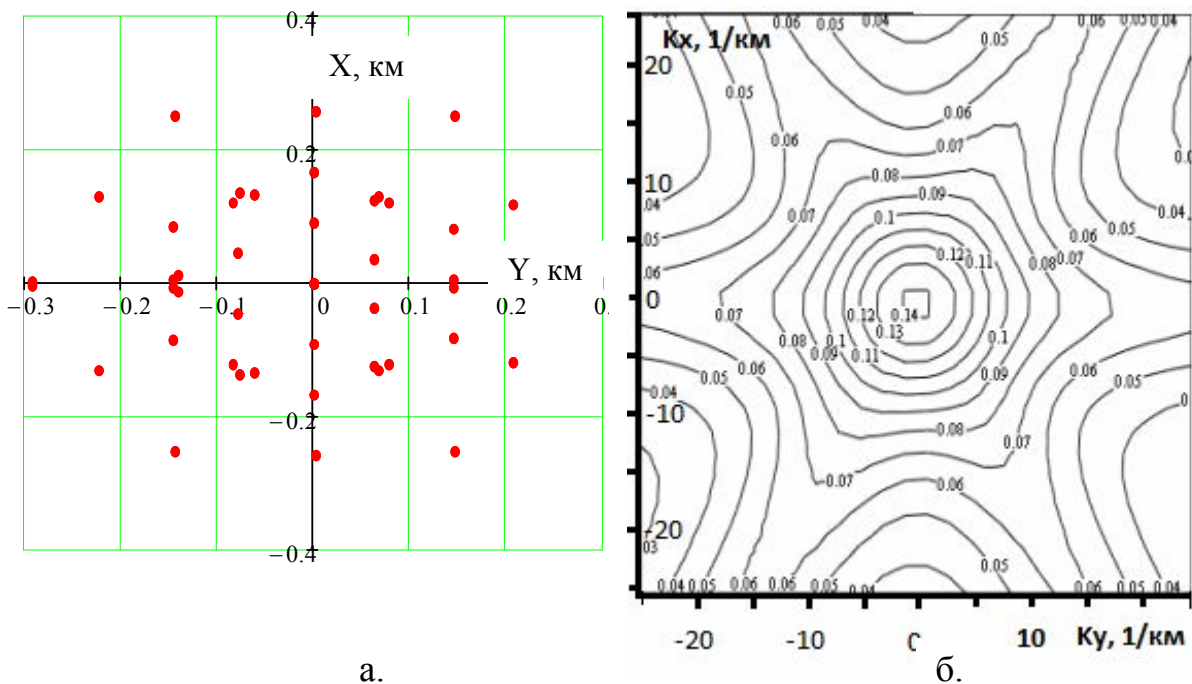


Рис. 6. Характеристика пространственного опроса (а) и передаточная функция малоапертурной группы (б).

КОНФИГУРАЦИЯ ГРУППЫ

Сейсмические каналы малоапертурной сейсмической группы “Лунино” собраны на базе короткопериодных сейсмометров GS-1 производства ООО Geospace. Амплитудно-частотная характеристика сейсмометров по скоростям смещений имеет уровень более 0,7 величины плато в полосе частот 1 - 40,0 Гц, плато характеристики лежит в полосе 2 до 30 Гц. На рис. 7 приведена амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) одного из датчиков группы.

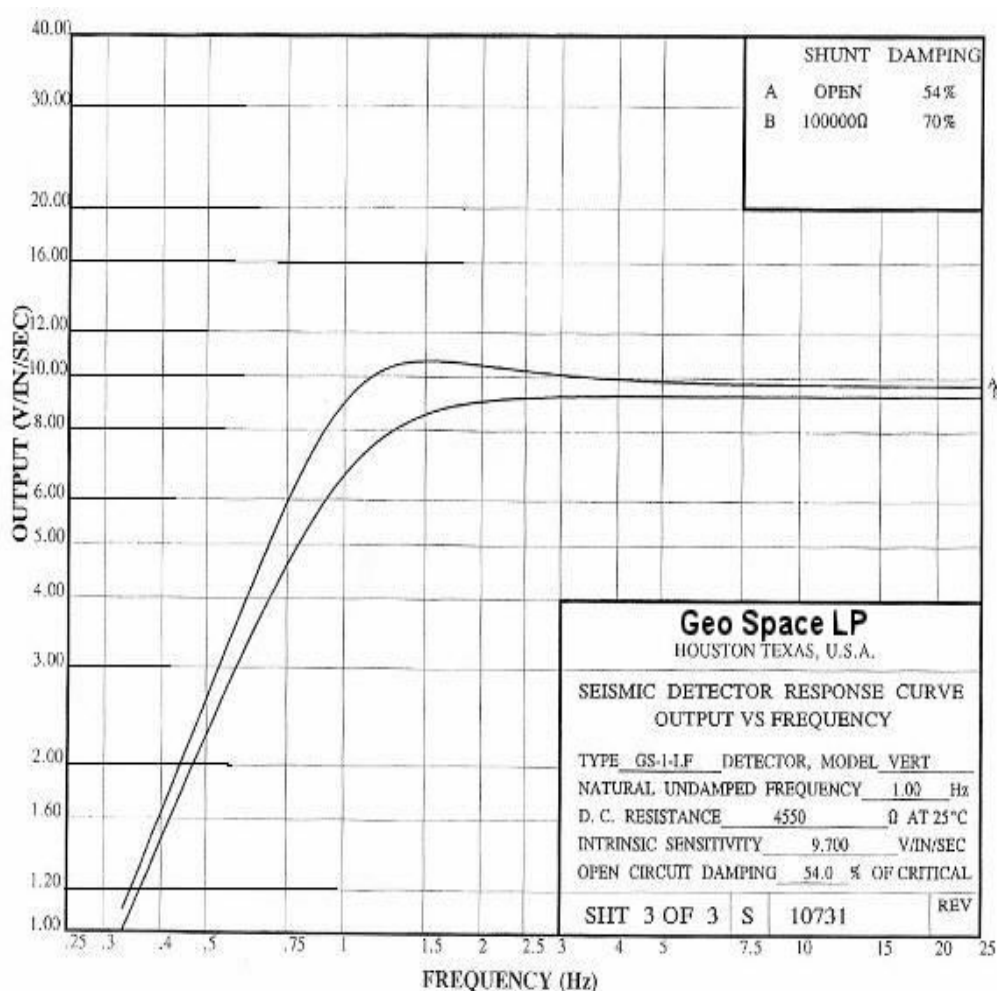


Рис. 7. Паспортная калибровочная кривая одного из сенсоров GS-1.

Датчики группы связаны с центром сбора сейсмической информации 2-жильными экранированными кабелями STP с моножильным исполнением провода, медь 0.5мм². В центре сбора информация преобразуется с по-

мощью 24-разрядного АЦП REFTEK, модель 130-01 с частотой опроса $f = 200$ Гц. В целом динамический диапазон сейсмического канала “Лунино” составляет 96 дБ. Объём регистрируемых данных составляет ~174 Мб в сутки (со сжатием).

Привязка по времени – посредством GPS фирмы “Garmin”. Относительная точность привязки между каналами составляет 5 мс, точность привязки к UTC не хуже 10 мс. Для избежания значительного дрейфа по времени, все кольцевые датчики заводились на один регистратор. Второй регистратор обслуживал центральную точку.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ЕГО ВОЗМОЖНОСТИ ПО ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ.

Обработка записанных группой цифровых данных осуществляется при помощи набора программных средств DIMAS [1] и Windows Seismic Grapher (WSG - разработка А. Акимова ОМЭ Геофизической службы РАН). Важной особенностью указанного программного обеспечения является интерфейс для ручной обработки, позволяющий существенно снизить вероятность ошибки оператора-обработчика.

Выделение подозрительных участков сейсмограммы производится вручную оператором с использованием встроенных процедур среды DIMAS. Выделенные фрагменты сохраняются в формате CSS 3.0, а затем просматриваются и анализируются вручную оператором-обработчиком с использованием пакета WSG. При наличии визуально различимых вступлений осуществляется локация событий: по разности времён вступлений между ними (например, фазами P_n и S_n – для региональных событий) определяется эпицентральное расстояние, f_k -анализ этих вступлений позволяет определить азимут на событие.

Для более детального анализа цифровой сейсмической информации используются реализованные в среде DIMAS рутины, позволяющие осуществлять спектральный и корреляционный анализ сигналов, все виды

частотной фильтрации. Суммирование сигналов с временными задержками, то есть ПФЛ осуществляется с помощью внешних модулей пакета WSG, разработки ГС РАН.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Уровень и спектральный состав микросейсмических шумов традиционно исследуется в сейсмологии для оценки условий регистрации полезных сейсмических сигналов. Создание сейсмических групп с высокой эффективностью выделения слабых сейсмических событий требует изучения пространственно-временных корреляционных свойств микросейсмических шумов.

Таблица 1.
Уровень спектральной плотности микросейсмических колебаний
(данные пп 1-6 даны по [3])

№ п/п	Группа	Район	Тип горных пород (с исключением тонкого слоя почвы и осадков)	Спектральная плотность шума, $\text{нм}^2/\text{Гц}$	
				1	10
1	GERESS	Баварский кристаллический массив (Баварский Лес, Германия)	Граниты, гнейсы	< 1.0	$2 \cdot 10^{-4}$
2	NORESS	Скандинавский щит (Южная Норвегия)	Граниты, гнейсы докембрийского фундамента	10	$7 \cdot 10^{-5}$
3	ARCESS	Скандинавский щит (Северная Норвегия)	Габбро докембрийского фундамента	10	$< 5 \cdot 10^{-5}$
4	GRF	Герцинский горный массив (Южная Германия)	Метаморфические горные породы герцинского возраста	5.0	$(2-4) \cdot 10^{-4}$
5	DMD (Домодедово)	Русская платформа (Московская обл., Россия)	Известняки карбона	20	$5 \cdot 10^{-2}$
6	MHV (Михнево)	Русская платформа (Московская обл., Россия)	Известняки карбона с прослоями глины и мергеля	2-3	$2 \cdot 10^{-4}$
7	LUN (Лунино)	Балтийская синеклиза – ВЕП (Калининградская обл., Россия)	Суглинки	1-3	$(2-4) \cdot 10^{-2}$

Как уже упоминалось, для района установки группы “Лунино”, как и для многих других районов Восточно-Европейской платформы, характерно наличие мощного (1.5 – 2.0 км) чехла осадочных отложений, что часто приводит к возникновению довольно высокого уровня фона микросейсмических шумов. В таблице 1 приведены сведения об уровне микросейсмических шумов для стационарных и экспериментальных малоапертурных групп.

Данные по группе “Лунино” получены при осреднении спектров мощности по реализациям шума длительностью 8 мин, которые записывались ежедневно в 01:00 по Гринвичу в октябре 2011 г.

Как оказалось, группа отлично улавливает и далекие землетрясения. Запись волновых форм Иранского землетрясения и энергетические спектры первого вступления и шума показаны на рис. 8-9.

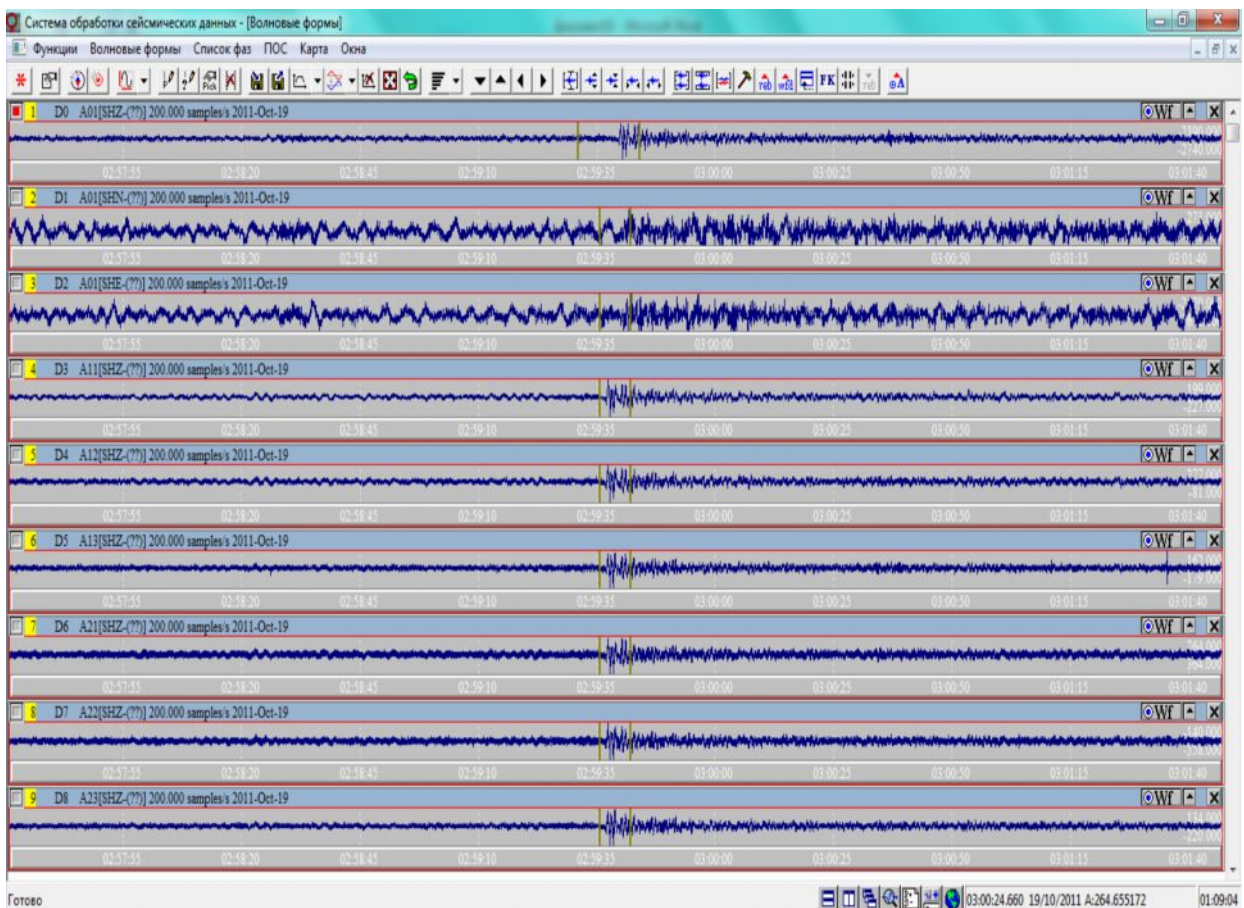


Рис. 8. Запись волновых форм Иранского землетрясения 19.10.2011 ($M = 5.5$)

Указанное событие характеризуется следующими параметрами (EMSC):

Magnitude	mb 5.5
Region	SOUTHERN IRAN
Date time	2011-10-19 02:52:40.0 UTC
Location	28.09 N ; 54.31 E
Depth	12 km
Distances	89 km SE Jahrom (pop 107,902 ; local time 06:22:40.2 2011-10-19) 46 km N Lar (pop 71,739 ; local time 06:22:40.2 2011-10-19)

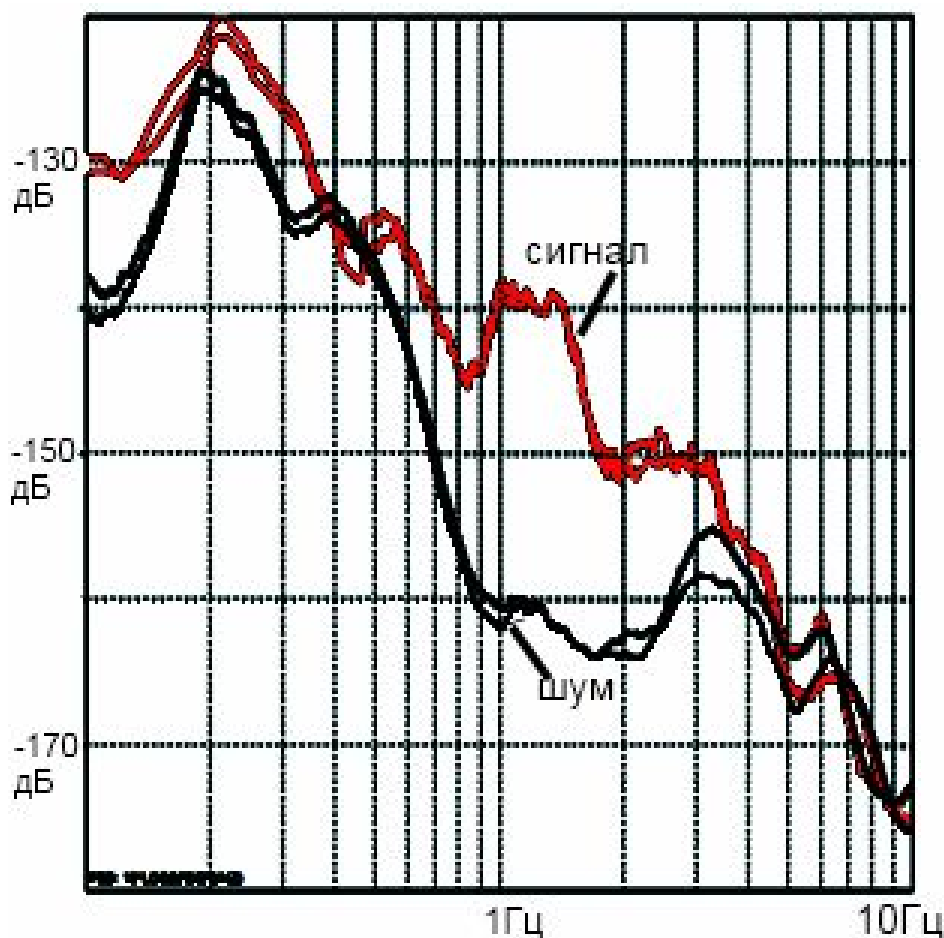


Рис. 9. Спектр $((\text{м}^2/\text{с}^2)/\text{Гц})$ первого вступления землетрясения в Южном Иране 19 октября 2011г черная линия – шум, красная линия – сигнал.

Таким образом, микрогруппа «Лунино» оказалась сопоставима по уровню шумов на частоте 1 Гц с другими группами, расположенными на Восточно-Европейской платформе. Уровень шумов на частоте 10 Гц был завышен за счет высокого техногенного воздействия и сопоставим с уров-

нем шумов группы «Домодедово», расположенной вблизи мощного техногенного источника шумов.

Тем не менее, предварительный анализ условий наблюдений на малоапертурной сейсмической группе «Лунино» показал, что конфигурация группы позволяет вести прием не только локальных событий, что вселяет уверенность, что с ее помощью окажется возможным осуществлять эффективный мониторинг слабой сейсмичности западной части ВЕП и юго-западной Балтики, как тектонической, так и техногенной.

Авторы выражают признательность Д.В. Дрознину за предоставленный экземпляр программы DIMAS и д.ф.-м.н. Б.С. Каррыеву за помощь в организации проведения работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дрознин Д.В., С.Я. Дрознина.* Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России. - Петропавловск-Камчатский, 2008. - Т.2. - С. 117-121.
2. *Мехрюшев Д.Ю.* Аппаратурные разработки Геофизической Службы РАН // НАЦИОНАЛЬНЫЙ ОТЧЕТ Международной ассоциации сейсмологии и физики недр Земли Международного геодезического и геофизического Союза 2003 – 2006. Москва, 2007 с.15-17.
3. *Санина И.А., С.Г.Волосов, О.А.Черных, В.Э.Асминг, А.М.Солдатенков, О.Ю.Ризниченко.* Синтез и опыт экспериментального применения двухмерной малоапертурной сейсмической антенны “Михнево” // Сейсмические приборы. 2008. Том 44, № 1, с.5-20
4. *Bormann P.* IASPEI new manual of seismological observatory practice. – Potsdam: GeoForschungsZentrum, 2002.
5. *Harjes H.-P.* Design and siting of a new regional array in Central Europe // Bull. Seismol. Soc. Am., v.80, 1990. – pp. 1801-1817.
6. *Peterson J.* Observation and modeling of seismic background noise // U.S. Department of Interior, Geological Survey. Open-File Report 93-322, 1993. – 91 p.

EXPERIENCE OF SMALL APERTURE SEISMIC ARRAY USING
IN CONDITIONS OF EASTERN EUROPE PLATE.***D.S. Sotnikov, V.Y. Chugaevich****Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia**Scientific adviser G.I. Anosov*

In the paper, the example of creation and results of short-term maintenance small aperture 7-element seismic array are described. The comparison of obtained seismic resulted comparing of luchen th data with New High and Low Noise model are given. The question on allocation about noise spatial correlations is considered and on the basis of it the geometry array is presented.

Keywords: small aperture seismic group, noise level, geometry of small aperture seismic array.