

СТАТЬИ

УДК 621.039.58

ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РАЙОНОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НА ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЕ

Бугаев Е.Г., д.т.н. (ФБУ «НТЦ ЯРБ»), Кишкина С.Б., к.ф.-м.н., Санина И.А., д.ф.-м.н. (ИДГ РАН)

В статье рассмотрены особенности ведения сейсмологического мониторинга особо ответственных объектов в платформенных районах. Приведены некоторые оценки преимущества и примеры использования методологии малоапертурной сейсмической группы для оценки сейсмических и геодинамических условий района размещения и площадки АС.

Ключевые слова: сейсмологический мониторинг, малоапертурная группа, атомная станция, слабая сейсмичность.

SEISMIC MONITORING PECULIARITY OF ATOMIC ENERGY FACILITIES AT EAST EUROPEAN PLATFORM

Bugaev E.G., Kishkina S. B., Sanina I.A.

The article describes the features of seismological monitoring especially responsible objects in the platform areas. Presents some estimates of the benefits and examples of using the methodology of small aperture seismic array to assess seismic and geodynamic conditions of the local areas around the nuclear power plants.

Key words: seismological monitoring, small aperture seismic array, nuclear power plant (NPP), weak signals, nano-seismicity.

Введение. Необходимость ведения сейсмологического мониторинга, его цели и задачи

Проектирование и строительство большинства российских объектов атомной энергетики проводилось в соответствии со СНиП II-7-81 и Картой сейсмического районирования территории СССР (СР-78). Происходившие сильные землетрясения, интенсивность которых на 2–3 балла превышала указанную на СР-78, приводили к неоднократным ее пересмотрам в сторону увеличения сейсмической опасности в зонах проявления сильнейших землетрясений. Новые данные о землетрясениях и развитие новых теоретических представлений о процессе сеймотектогенеза послужили основой для разработки карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-97). Согласно ОСР-97 [1], сейсмическая опасность значительных территорий существенно повысилась, в том числе и для платформы, ранее считавшейся пассивной и безопасной. Это определило актуальность ужесточения требований к обеспечению сейсмостойкости АС, наблюдениям за сейсми-

ческим режимом при инженерных изысканиях для выбора пункта/площадки и разработки проекта, а также к сейсмологическому мониторингу для контроля стабильности параметров проектной основы при сооружении, эксплуатации и выводе АС из эксплуатации.

Нормы проектирования сейсмостойких АС (1987 г.) предусматривали проведение инструментальной трехкомпонентной регистрации землетрясений сетью из 4–5 станций обычного типа или системой из 5–10 станций типа «Земля» или «Черепаша» в комплексе с одной опорной станцией обычного типа в районах с интенсивностью более 6 баллов по карте СР-78. В районах с более низким уровнем сейсмичности допускалось исключать инструментальные сейсмологические наблюдения из состава инженерных изысканий. В разные годы в районах размещения действующих АС (Балаковская, Курская, Ростовская, Нововоронежская и др.) выполнялись кратковременные (из-за ограниченности сроков изысканий и финансирования) инструментальные сейсмологические наблюдения в радиусе до 30–40 км от площадки, которые обеспечивали

регистрацию сейсмических событий с минимальной магнитудой $M_{\min}=1,5 - 2,0$ и более. Эти краткосрочные локальные наблюдения, как правило, позволяли, в лучшем случае, регистрировать единичные микроземлетрясения и не решали задачи уточнения положения зон вероятных очагов землетрясений (ВОЗ), оценки параметров сейсмического режима и определения параметров проектного землетрясения (ПЗ) и максимального расчетного землетрясения (МРЗ). Исключение составляет впервые полученная на основе совместного анализа данных локальных и региональных инструментальных наблюдений и каталога исторических землетрясений оценка параметров сейсмического режима и параметров ПЗ и МРЗ для района размещения и площадки Нововоронежской АЭС [2]. Тем не менее, опыт проведения локальных сейсмологических наблюдений свелся к оценке минимальной продолжительности сейсмического мониторинга: от нескольких лет для регионов с высокой сейсмичностью до нескольких десятков лет для слабосейсмичных районов [3], что не противоречит срокам, рассмотренным в руководстве по безопасности МАГАТЭ № SSG-9 [4]. В настоящее время безопасность АС при сейсмических воздействиях обеспечивается: обоснованием отсутствия на площадке активных разломов, учетом при обеспечении сейсмостойкости ПЗ и МРЗ и контролем стабильности параметров, принятых в проектной основе, при сооружении, эксплуатации и выводе АС из эксплуатации. Важная роль в обеспечении сейсмической безопасности АС отводится режимным инструментальным сейсмологическим наблюдениям, выполняемым в составе инженерных изысканий для обоснования выбора пункта/площадки, определения параметров ПЗ и МРЗ, а также сейсмологическому мониторингу с целью контроля стабильности параметров проектной основы на всех этапах жизненного цикла объектов [5 – 7]. Инструментальные сейсмологические наблюдения в районах размещения и на площадках проектируемых АС (Ленинградская, Балтийская, Северская, Тверская, Нижегородская и др.) с использованием традиционной аппаратуры и методики работ не продвинули вперед решение поставленных задач. Более того, в связи с тем, что в ходе краткосрочных инструментальных наблюдений не были зарегистрированы микроземлетрясения с $M \geq 1,7$, в материалах обоснования безопасности делается вывод об асейсмичности изучаемой территории. Согласиться с таким утверждением не представляется возможным, так как при обеспечении сейсмической

безопасности должны учитываться редкие события с повторяемостью 1 раз в 10000 лет, при этом период сейсмического затишья составляет порядка десятка, сотни и даже тысячи лет, а период локальных инструментальных сейсмологических наблюдений, как правило, не превышает 1–2 года. Срок начала и окончания затишья не известен, в связи с этим не вызывает сомнений актуальность контроля стабильности параметров сейсмического режима и проектной основы во времени и выдачи рекомендации на реализацию организационных и технических мероприятий по снижению радиационных последствий при катастрофическом событии и достижении контролируемыми параметрами критической величины.

Возможность практической реализации задач локальных сейсмологических наблюдений и сейсмологического мониторинга продемонстрирована результатами локальных инструментальных сейсмологических наблюдений, проведенных Институтом динамики геосфер РАН (ИДГ РАН) в районе размещения и на площадке Ленинградской АЭС-2 [8] и Нижегородской АЭС. Инструментальные сейсмологические наблюдения выполнены ИДГ РАН на основе методологии использования малоапертурной сейсмологической группы, что позволило при достаточно высоком фоне помех обеспечить $M_{\min} = -2$. Столь значительное снижение порога чувствительности системы наблюдений позволяет в короткие сроки установить структурную приуроченность микроземлетрясений, оценить параметры сейсмического режима и совместно с данными государственной сейсмической сети Центральной опытно-методической экспедиции геофизической службы РАН ($M_{\min} \geq 3,0$) контролировать стабильность параметров проектной основы (ПЗ и МРЗ) в районе размещения и на площадке АС.

В данной статье кратко рассмотрены основные особенности и некоторые результаты методологии использования малоапертурной сейсмической группы для оценки сейсмических и геодинамических условий района размещения и площадки АС.

Особенности сейсмологического мониторинга в платформенных условиях.

Зачем нужна регистрация слабых сигналов

В настоящее время для обеспечения ядерной и радиационной безопасности предусматривается сейсмостойкое проектирование даже «платформенных» АС с учетом МРЗ, имеющего средний период повторяемости сотрясений один раз в 10 000 лет.



Рассмотрим подробнее, что это означает на практике. Пример приведен на основании анализа данных о землетрясениях района размещения площадки Ленинградской АЭС-2. Для этого участка с учетом каталога исторических (за последние 200 лет) землетрясений, опубликованных данных о выявленных палеоземлетрясениях [9], а также параметров Калининградского землетрясения 2004 г. ($M = 4,9$) был построен кумулятивный график повторяемости магнитуд землетрясений, из которого, в свою очередь, получена зависимость [3]:

$$\lg N_{\text{сум}} = -1,04M + 0,76, \quad (1)$$

где M — магнитуда, $N_{\text{сум}}$ — количество землетрясений в год с $M_i > M$ для территории площадью 1000 км² (эта площадь приблизительно равна площади территории пункта размещения АС, т.е. территории в радиусе 30 км вокруг площадки АС).

Полученное соотношение (1) позволяет оценить ожидаемое количество землетрясений различной интенсивности для территории пункта размещения и в районе размещения площадки Ленинградской АЭС-2 (территория в радиусе 300 км вокруг площадки) в течение одного года (Таблица).

Таблица

Оценки ожидаемого количества землетрясений N в год в пункте и в районе размещения Ленинградской АЭС-2 при различных эффективных магнитудах [3]

Эффективная магнитуда	-1	0	1	2	3
Количество событий N в год (пункт; радиус 30 км)	63	6	1	–	–
Количество событий N в год (район; радиус 300 км)	–	–	–	13	1

Из таблицы видно, что на территории пункта размещения Ленинградской АЭС-2 — в радиусе примерно 30 км — в течение года может регистрироваться 63 события с $M = -1$ и только одно событие с $M = 1$.

Полученные результаты говорят о том, что для уверенного контроля территории система мониторинга должна обеспечивать регистрацию весьма слабых сейсмических событий (с $M < -1$ в нашем случае), поскольку появление именно таких событий на рассматриваемой территории наиболее вероятно. От подобных оценок можно отталкиваться при организации и проведении сейсмологического мониторинга в платформенных условиях: наглядно показано, что именно регистрация слабых сейсмических событий позволяет в обозримые сроки накопить представительную статистику для построения графика повторяемости и, соответственно, для оценки основных параметров проектных основ в пределах слабоактивных территорий.

Таким образом, одна из основных задач сейсмологического мониторинга в платформенных условиях сводится к регистрации и идентификации микроземлетрясений в непосредственной близости от площадки. С точки зрения обнаружения слабых сейсмических сигналов датчики выгоднее

всего устанавливать на выходах коренных пород, на крепких горных породах. В этом случае соотношение уровня регистрируемых сигналов и уровня микросейсмического шума позволяет зафиксировать достаточно слабые сейсмические сигналы. Однако на территории Восточно-Европейской платформы (ВЕП) такие участки найти крайне сложно: приходится устанавливать аппаратуру в условиях мощных отложений рыхлых осадочных пород.

При этом существенно вырастает уровень микросейсмических шумов, быстро изменяется форма сигнала. Для примера на рис. 1 приведена запись одного и того же сигнала, зарегистрированного на скальном грунте и в рыхлых отложениях приблизительно на одинаковом расстоянии от источника. Видно, что сигнал, зарегистрированный в рыхлых отложениях, сильно зашумлен и его форма искажена.

Не будем забывать также, что практически вся территория ВЕП густо населена. Сопутствующий фактор антропогенной насыщенности — резкое повышение числа помех: авто- и железные дороги, промышленные предприятия и т.д. В таких сложных для сейсмологических наблюдений условиях сеть одиночных станций не справляется с задачей обнаружения и локализации сигналов невысокой мощности.

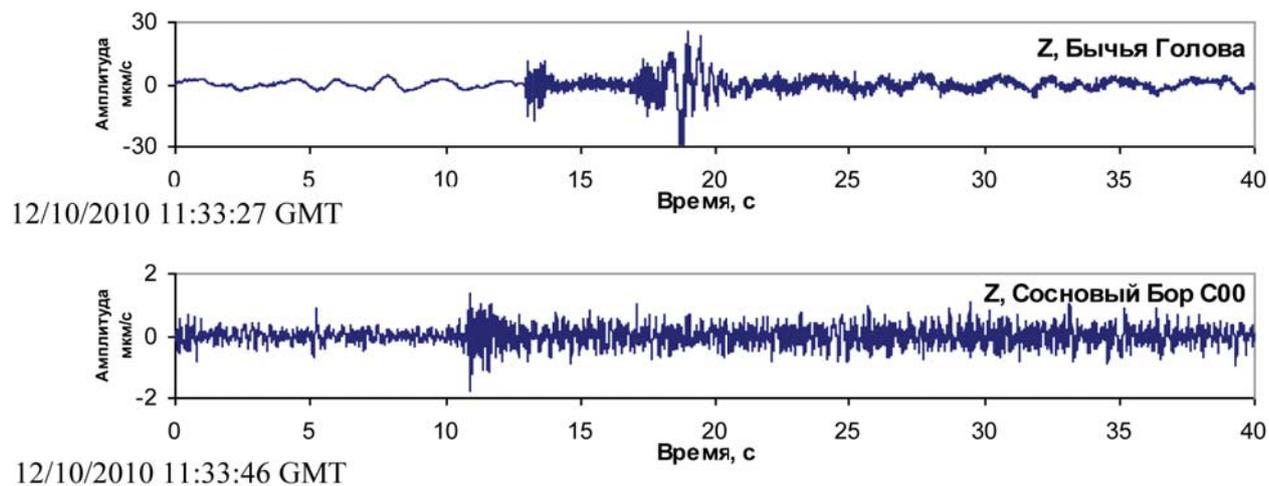


Рис. 1. Пример одного и того же сигнала, зарегистрированного на скальном грунте (верхний график) и в рыхлых отложениях (нижний график)

Что такое малоапертурная группа? Ее преимущества

Одним из наиболее эффективных методов, позволяющих существенно увеличить чувствительность сейсмических наблюдений, является группирование сейсмических датчиков (приемников). Группирование предполагает площадную расстановку n сейсмических датчиков, сейсмических пунктов регистрации; положение каждого пункта задается в прямоугольной системе координат. При этом аппаратура приема и система регистрации сейсмической информации однотипны для всех пунктов; средства анализа предполагают обработку всего ансамбля данных, а не отдельных каналов; сигнал времени является общим для всех приборов. Группу, линейные размеры которой не превышают нескольких километров, называют малоапертурной.

Начиная с 60-х гг. прошлого столетия сейсмическое группирование как новый для того времени тип сейсмической регистрации, помогает повысить соотношение сигнал/шум и улучшить качество определения типа сигналов (например «землетрясение» или «взрыв» [10 – 11]). Мировая практика показала, что при учете соотношения 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.

Во-первых, за счет процедуры суммирования сейсмическая группа может выделять на фоне микросейсмического шума такие вступления сейсмических волн, которые не могут быть выделены при регистрации одиночными станциями. Суммирование — одна из основных процедур обра-

ботки при группировании — заключается в суммировании сейсмических записей, получаемых на n датчиках, входящих в группу. 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; расстановка датчиков подбирается таким образом, чтобы шум, регистрируемый в каждой точке группы, был некогерентным по отношению к остальным точкам наблюдения. Суммирование осуществляется с такими временными задержками, которые позволяют совместить сигналы, обнаруженные на разных каналах регистрации. За счет подавления шума сигнал становится более выраженным; соотношение сигнал/шум возрастает в несколько раз. По теоретическим оценкам — в \sqrt{n} раз (здесь n — количество датчиков в группе).

Во-вторых, применение многоканальных методов обработки позволяет точнее определить типы и параметры регистрируемых сейсмических сигналов.

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

Организация малоапертурной сейсмической группы

Выбор места установки любой сейсмической аппаратуры, в том числе и малоапертурной группы, требует принимать во внимание данные о геодинамических и сейсмотектонических условиях площадки. С этой целью на первом этапе проводится работа по анализу уже имеющихся для заданного района инженерно-геологических и геофизических данных, в том числе дешифрование космо- и аэрофотоснимков: выделение разломной тектоники и подтверждение установленных разломов, распознавание и оконтуривание экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений.

На базе составленных карт линейментов различного ранга и карт иерархически соподчиненных блоков для территории АС и ближнего района выбирается несколько мест, подходящих для установки сейсмической группы. Однако выбрать места установки сейсмической аппаратуры исключительно по «бумажным» картографическим данным невозможно, так как на качество работы сейсмической аппаратуры (особенно установленной на поверхности, а не в шахте) сильно влияет антропогенная насыщенность района установки. Наличие оживленных автотрасс или железнодорожных путей, находящихся поблизости строительных работ, вероятность скопления большого количества народа в непосредственной близости от датчиков, возможность несанкционированного доступа к аппаратуре и т.д. — от всех этих факторов зависит выбор места для будущей установки аппаратуры. С другой стороны, должна существовать возможность доставки аппаратуры к месту регистрации, поскольку при полном отсутствии дорог будет затруднена установка группы. Не слишком далеко от предполагаемого места установки должна существовать возможность для подзарядки аккумуляторов, питающих сейсмические датчики и регистраторы. В противном случае будет затруднено обслуживание оборудования. Участок для установки малоапертурной группы занимает около 1 км² площади, перепады высот на участке должны быть незначительными по сравнению с расстояниями между датчиками.

В результате оценки всех перечисленных факторов выбирается место для организации малоапертурной сейсмической группы.

Одна из распространенных форм конфигурации малоапертурной группы — это точки наблюдений, расположенные на концентрических окружностях. Оснащение точек трехкомпонентными сейсмоме-

трами позволяет повысить точность локализации регистрируемых сигналов. Пример схемы конфигурации сейсмических датчиков для малоапертурной группы приведен на рис.2.

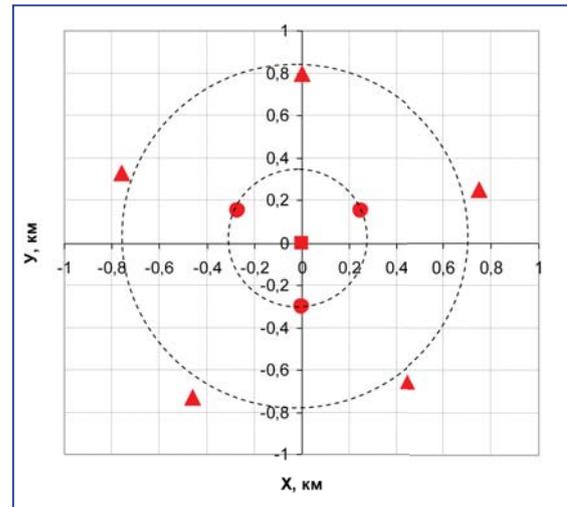


Рис. 2. Пример схемы конфигурации сейсмических датчиков малоапертурной сейсмической группы при мониторинге площадки Нижегородской АЭС в 2011 г.

В ходе выбора окончательных мест установки аппаратуры проводятся оценки пространственной корреляции микросейсмических колебаний: минимальное расстояние между датчиками должно превосходить радиус значимой корреляции микросейсмических шумов. В противном случае при суммировании записей вместо шумоподавления будет получен эффект увеличения уровня микросейсмических колебаний.

Опыт использования малоапертурных групп для сейсмического мониторинга площадок АЭС

Опираясь на успешный опыт работы малоапертурной сейсмической группы «Михнево», установленной в условиях преобладания осадочных пород (в Подмосковье на территории геодинамического полигона ИДГ РАН), в 2009 г. для сейсмического мониторинга площадки АС впервые на территории России была использована малоапертурная сейсмическая группа, которая работала в течение месяца. В 2010-2011 гг. были продолжены работы по сейсмическим наблюдениям методом малоапертурной группы с целью локального мониторинга сейсмического режима в ближнем районе площадок АС (Ленинградская АЭС-2, Нижегородская и Белоярская). Следует отметить, что эти наблюдения носили краткосрочный характер, в то время как контроль стабильности

сейсмического режима предполагает непрерывность наблюдений. Обеспечение непрерывности мониторинга требует решения вопроса финансирования и организации соответствующей инфраструктуры наблюдений для сбора информации, ее анализа и выдачи соответствующих рекомендаций по реализации организационных мероприятий обеспечения безопасности.

Как уже было отмечено, результаты работы малоапертурной сейсмической группы (как и любой сейсмической аппаратуры, особенно установленной на поверхности) зависят от района установки аппаратуры: геологических и геодинамических условий, а также антропогенной нагрузки выбранной площадки. Однако в среднем распределение количества зарегистрированных сейсмических событий демонстрирует, что такой сейсмический инструмент как «малоапертурная группа» в условиях платформы регистрирует и идентифицирует локальные сейсмические сигналы на расстояниях до 300 км (здесь не учитываются региональные телесеизмические сигналы от сильных землетрясений). Например, используемая конфигурация группы «Монаково» (площадка Нижегородской АЭС) продемонстрировала достаточно уверенную регистрацию сигналов от взрывных источников с $M \leq 2,5 - 2,7$ на расстояниях 280–300 км. Для источников событий с $M = 1,4 - 1,6$ диапазон регистрации заключался в радиусе 90 км. Максимальная магнитуда сигналов, источники которых определены на расстоянии до 10 км, оценивается как 0,2.

Алгоритм работы малоапертурной группы в ходе сейсмического мониторинга таков: путем обработки всего ансамбля данных решается основ-

ная задача — обнаружение и выделение сейсмических сигналов, фиксируемых большинством пунктов регистрации. Одновременно оцениваются основные амплитудные параметры сигналов и определяется местоположение их источников. Далее осуществляется дополнительная обработка всех выделенных сигналов различными методами: поляризационный и фазовый анализ, спектральный анализ сигналов и т.д.

Следует отметить, что в случае, когда сейсмическая аппаратура установлена на поверхности в населенных районах, большой объем работы по анализу данных занимает процесс выделения и отсеивания сигналов, природа которых определяется как техногенная, например это сигналы от проходящего автотранспорта. Однако при установке малоапертурной группы подобные сигналы достаточно хорошо выделяются благодаря компактной установке сейсмических датчиков. Сигналы от автомашин либо видны только на одной точке, либо имеют большое время задержки, соответствующее времени прохождения транспорта вдоль нескольких пунктов сейсмического наблюдения, входящих в группу. Пример подобного сигнала приведен на рис. 3. На примере записи сейсмической малоапертурной группой движения автомашины четко видна разница во временах вступления сигнала на разных пунктах регистрации. Эта разница определяется, в первую очередь, геометрией расположения трассы относительно места расположения группы. Запись сделана малоапертурной сейсмической группой «Сосновый Бор» в ходе работы по сейсмологическому мониторингу ближней зоны площадки Ленинградской АЭС-2 в 2009 г.

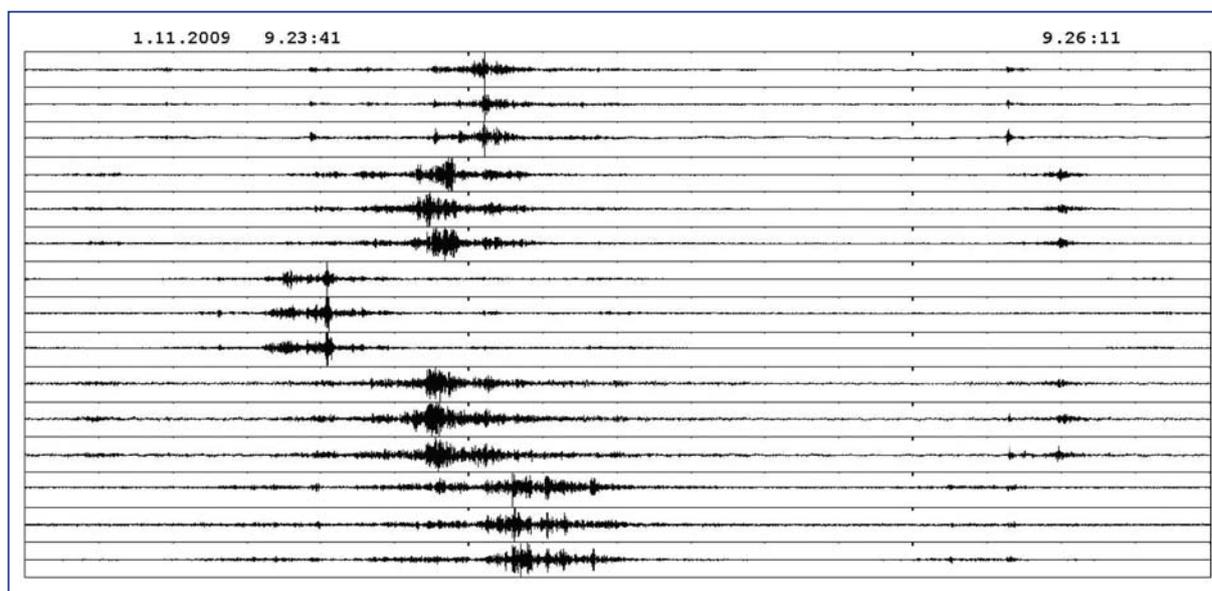


Рис. 3. Пример регистрации движения автомашины сейсмической малоапертурной группой

Еще один вид техногенных сигналов, обращающий на себя особое внимание при обработке и анализе сейсмических данных, — это сигналы, вызванные карьерными взрывами. Такой тип сигналов весьма распространен на Восточно-Европейской платформе, поскольку местность насыщена горнодобывающими карьерами разной мощности. При этом сигналы, вызванные карьерными взрывами, до сих пор достаточно часто проникают в сейсмические каталоги под видом землетрясений, так как до сих пор не имеют четко определенного детерминанта. Существует и обратная опасность: «выбросить» из анализа сигнал, вызванный природным эндогенным событием, посчитав по косвенным признакам, что это сигнал от взрыва. Для выявления сигналов от карьерных взрывов используется целый комплекс методик: от амплитудного и фазового анализа, позволяющего с достаточной точностью определить местоположение источника и, соответственно, убедиться, что он совпадает с местом проведения взрывных работ, до спектрального анализа, позволяющего во многих случаях выделить модулированную форму спектра, характерную для сигналов от короткозамедленных карьерных взрывов.

После такого всестороннего анализа можно построить распределение обнаруженных сигналов во времени, подобное построение — это дополнительный признак, который может подтвердить принадлежность сигнала к антропогенной группе. Например, сигналы от карьерных взрывов, как правило, укладываются в достаточно узкий временной интервал, так как взрывы обычно производят в одно и то же время (для каждого предприятия время свое, а для открытых карьеров это всегда день).

В качестве примера приведем распределение по времени суток моментов вступления зарегистрированных сигналов, источниками которых определены карьерные взрывы (рис.4). По кругу отмечено местное время (час), синим цветом выделены значения оси количества событий. Хорошо видно, что все события укладываются в достаточно узкий временной интервал, что является косвенным подтверждением правильного определения техногенной природы событий (рис.4 (а)). На врезке (рис.4 (б)) в правом верхнем углу показан увеличенный фрагмент этой же диаграммы, чтобы были видны единичные события, зарегистрированные в утренние часы (4 сигнала в 9 часов и 1 сигнал в 8 часов утра по местному времени). При этом следует отметить, что хотя диаграмма распределения времен вступления сигналов во времени и дает определенную уверенность, что высокая повторяемость

сигналов в одно и то же (особенно дневное) время свидетельствует о техногенной природе их источников, это не является окончательным диагностическим признаком, не может служить детерминантом. В дневные часы может произойти природное эндогенное событие (в частности, из разряда наведенных или инициированных сигналов), тогда как могут существовать техногенные процессы, которые станут источниками сейсмических сигналов в ночное время. Каждый сигнал должен подвергаться анализу.

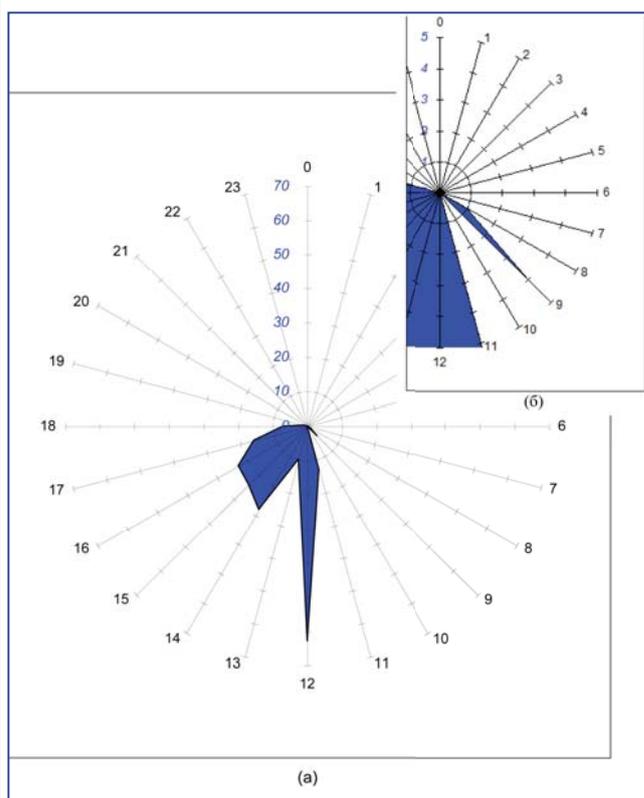


Рис. 4. Распределение по времени суток (время местное) моментов вступления зарегистрированных сигналов (а), источниками которых определены карьерные взрывы, и увеличенный фрагмент этой же диаграммы (б)

Здесь следует еще раз отметить, что возможности традиционной сейсмической сети по выделению локальных сигналов, в частности по определению карьерных взрывов, существенно беднее по сравнению с возможностями малоапертурной группы. Для сравнения приведем результаты работы традиционной сейсмической сети в районе площадки Нижегородской АЭС (в составе пяти пунктов наблюдения) за одиннадцать месяцев 2009 года: в ходе работы было зарегистрировано 535 сейсмических событий, из которых источники 100 определены как «с большой степенью вероятности

являющиеся карьерными взрывами» и только для двух (!) из этих 100 близких сейсмических событий определены эпицентры, при этом не было зарегистрировано ни одного близкого микроземлетрясения. К категории «близкие» отнесены сигналы, источники которых находятся в радиусе до 30 км от площадки АС и не относятся к антропогенным. Тогда как за два с половиной месяца работы малоапертурной группы в тех же условиях (2011 г., площадка Нижегородской АЭС) было выделено и проанализировано 598 сигналов (рис. 5). Среди них 189 сигналов, источниками которых явились взрывы; для 171 определены эпицентры; источники еще 18 сигналов оценены, но их местоположение не совпадает с известными нам карьерами – эти сигналы остаются открытыми для дальнейшего анализа; также зарегистрировано 16 близких эндогенных событий.

Регистрация и определение параметров сигналов, вызванных карьерными взрывами, может служить оценкой работоспособности используемой сейсмической аппаратуры, особенно в платформенных условиях, при достаточно низкой вероятности возникновения тектонических событий. Регистрация близких эндогенных сейсмических событий позволяет установить активизированные на современном этапе структуры, изучить особенности сейсмического режима участка размещения АС и использовать эти данные для оценки изменения параметров сейсмического режима во времени, выяснения природы этих изменений для разработки методов прогноза катастрофических событий.

Еще один факт, свидетельствующий об эффективности использования сейсмической группы для контроля стабильности параметров проектной основы в рамках требований [7], — это оценка $M_{MPЗ}=5,1$ для площадки Нижегородской АЭС, полученной по результатам регистрации близких микроземлетрясений при краткосрочных мониторинговых наблюдениях малоапертурной группой. Значение $M_{MPЗ}=5,1$, рассчитанное на основе учета зарегистрированных микрособытий (данные по результатам мониторинга площадки Нижегородской АЭС, 2011 г.), оказалось весьма близким к величине $M_{max}=5,0$, оцененной по геодинамическим данным.

Таким образом, опыт использования малоапертурной группы однозначно продемонстрировал возможность оценки параметров сейсмического режима и параметров проектной основы ПЗ и МРЗ даже по результатам краткосрочных наблюдений (1–2 мес.) в пределах слабоактивной территории Восточно-Европейской платформы. Согласно нормативной практике, контроль стабильности параметров проектной основы должен осуществляться на всех этапах жизненного цикла АС. Это предполагает организацию и проведение непрерывных мониторинговых сейсмологических наблюдений для определения долгосрочных параметров сейсмического режима с учетом исторических данных о землетрясениях и инструментальных данных государственной сейсмической сети, контроля стабильности параметров сейсмического режима во времени и изучения природы взаимосвязи тектонических, геодинамических и сейсмических процессов для прогноза катастрофических событий.

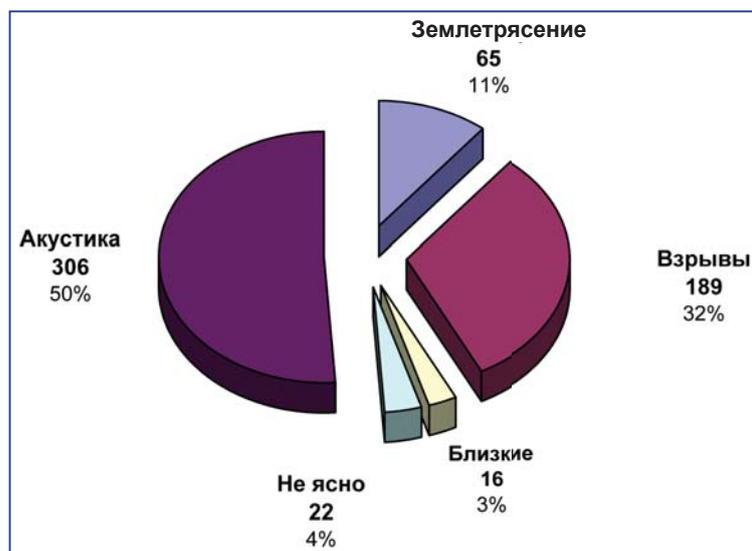


Рис. 5. Природа сигналов, зарегистрированных малоапертурной группой в ходе кратковременного сейсмологического мониторинга площадки Нижегородской АЭС

Выводы

Еще Григорий Александрович Гамбурцев отмечал, что «более частая встречаемость слабых толчков по сравнению с более сильными событиями намечает возможность более быстрого и точного решения некоторых важных вопросов сейсмического районирования, как, например, обнаружение сейсмически активных глубинных разрывов в земной коре» [12]. Развитие цифровой техники регистрации позволяет на слабоактивных платформенных территориях регистрировать сверхмалые

сейсмические события. Традиционно «малыми» в классической сейсмологии называют события с $M < 3$, тогда как при использовании малоапертурной группы мы оперируем $M \leq 0$. Это требует разработки методики оценки долговременных параметров сейсмического режима и построения графиков контролируемых параметров проектной основы по оценкам слабых событий с $M \leq 0$. Проведенные исследования демонстрируют, что данные, полученные с помощью малоапертурной группы, позволяют это сделать.

Литература

1. Уломов В.И., Шумилиа Л.С. Комплект новых карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации // Сейсмостойкое строительство. № 4, 1998.
2. Bougaev E.G., Topchiyan M.O. Data on historical earthquake in the area of the Novovoronezh NPP// Proceedings of the fifth international conference on seismic zonation, October 17-18-19, 1995, Nice, France, V.1, OUEST EDITIONS, Press Academiques.
3. 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.
4. IAEA Safety Standards Series No. SSG-9. Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. Specific Safety Guide. International Atomic Energy Agency. Vienna. 2010.
5. Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций. НП-031-01. – М.: НТЦ ЯРБ, 2001.
6. Размещение атомных станций. Основные критерии и требования по обеспечению безопасности. НП-032-01.-М.: НТЦ ЯРБ, 2001.
7. Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. НП-064-05. – М.: НТЦ ЯРБ, 2005.
8. Кишкина С.Б., Кочарян Г.Г., Локтев Д.Н., Санина И.А. и др. Сейсмический мониторинг территории Ленинградской АЭС-2 с использованием малоапертурной группы. Динамические процессы в геосферах. Сборник научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2010.
9. Никонов А.А., Мийдел А.М. Обнаружение сейсмогенных деформаций в послеледниковых отложениях на южном побережье Финского залива // Докл. РАН. 2003. Т. 390. № 6.
10. Санина И.А., Кишкина С.Б., Локтев Д.Н., Нестеркина М.А., Константиновская Н.Л., Волосов С.Г. Опыт сейсмического мониторинга площадок размещения АЭС на Восточно-Европейской платформе. Геодинамика № 2(11) 2011. Львов. Изд-во Львовский политех.
11. 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. Том 428, № 7, 2009.
12. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н.В.Шарова, А.А.Маловичко, Ю.К.Щукина. Кн. 1: Землетрясения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. М.: 2007.

