

УДК 550.34.06

15 ЛЕТ МАЛОАПЕРТУРНОЙ ГРУППЕ "МИХНЕВО" ИДГ РАН. РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Санина И.А., Ризниченко О.Ю., Волосов С.Г.

Институт динамики геосфер имени академика М.А. Садовского РАН, г. Москва, irina@idg.chph.ras.ru

Введение

В 2019 г. исполняется 15 лет со дня начала работы малоапертурной группы "Михнево" (МСГ), созданной в 2004 г. на базе сейсмической станции № 1 в Ступинском районе Московской области. МСГ является частью многофункциональной геофизической обсерватории "Михнево" ИДГ РАН. При организации группы была поставлена задача изучения современного уровня природной сейсмической активности Восточно-Европейской платформы (ВЕП) на фоне интенсивной техногенной сейсмичности. Опыт наблюдений на МСГ "Михнево" показал возможность установки групп малой апертуры на территориях с мощным осадочным слоем, что значительно расширяет возможности применения подобных систем наблюдений в сейсмологической практике [10, 11]. Накоплен огромный экспериментальный материал, который позволяет перейти от статистических оценок общего количества событий различной природы к решению фундаментальных задач, которые для территории центральной части ВЕП ранее не ставились: развитие методов дискриминации сейсмических событий; оценка диссипативных свойств среды; исследование структуры верхней мантии. Создание МСГ "Михнево" стимулировало разработку и реализацию методов многоканальной обработки сейсмических наблюдений, позволяющих выделять слабые сейсмические события даже ниже уровня микросейсмического фона. Наблюдения за слабой сейсмичностью на МСГ "Михнево" открыли возможность развития нового подхода к контролю за состоянием площадок размещения особо ответственных объектов. Данные о сейсмических событиях, зарегистрированных на МСГ "Михнево", начиная с 2005 г. публикуются в ежегодном издании ГС РАН "Землетрясения России". В 2014 г. МСГ "Михнево" включена в реестр Уникальных научных установок РФ.

Структура МСГ "Михнево" и приборное оснащение

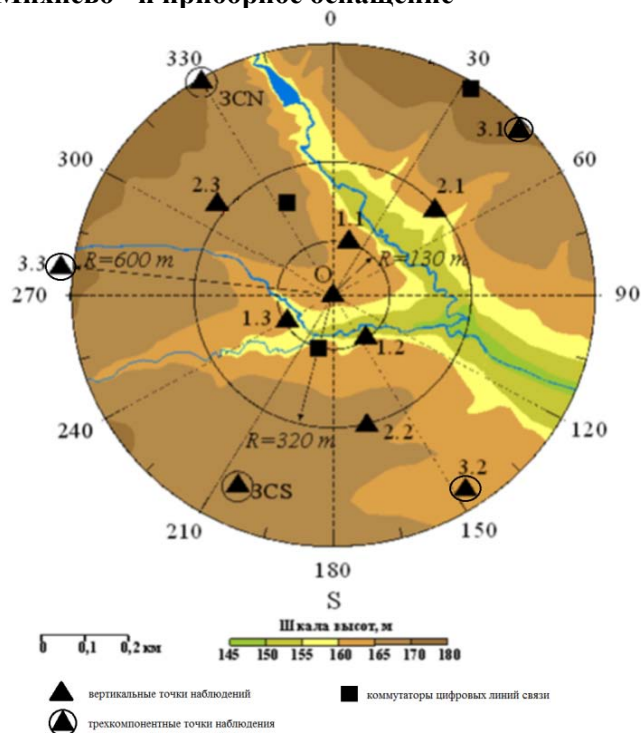


Рис. 1. Схема расположения сейсмических пунктов группы. Вертикальный датчик "0" расположен в центре группы, которая считается референсной точкой для расчета относительных времен задержек. Двенадцать пунктов наблюдения образуют концентрические окружности радиусом 130, 320 и 600 м. Внешний круг укомплектован трехкомпонентными датчиками.

В центре группы в штольне на глубине около 20 метров расположен центральный прибор, а остальные размещены в контейнерах на глубине около 0.5 м. Частота опроса на канал составляет 200 Гц и чувствительность 0.007 нм/с на отсчет. Для синхронизации данных создан программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий маркировку каждого отсчёта оцифрованных сейсмических данных признаком минутной метки непосредственно при регистрации отсчёта. Внедрённые технические решения защищены двумя патентами РФ. Приборное оснащение группы, система передачи данных и синхронизации подробно описаны в [4].

Результаты регистрации сейсмических событий и методика их идентификации

В соответствии с задачами, поставленными при создании группы, основное внимание уделяется лоцированию событий на локальных и региональных расстояниях. Для телесейсмических событий фиксируется время прихода первой волны. Локация этих событий не производится. Как уже неоднократно указывалось в наших публикациях [5, 9], основную массу событий на ВЕП представляют взрывы на различных карьерах по добыче полезных ископаемых с магнитудами от 1 до 3.2. Обработка записей ведется с использованием программного кода ELWIN [2]. Ввиду практически полного отсутствия природных событий на ВЕП критерии их идентификации не разрабатывались. Пятнадцатилетний период наблюдений за сейсмическими сигналами позволил собрать уникальную базу волновых форм от карьерных взрывов, показать высокую степень их подобия для каждого карьера и использовать сравнительно новый инструмент идентификации сейсмических событий – метод согласованного фильтра, то есть обнаружение известного сигнала в случайном процессе с помощью кросс корреляции. В настоящее время этот метод признается наиболее эффективным для обнаружения повторяющихся сигналов [13]. Высококачественные и наиболее представительные сигналы, ассоциированные с повторяющимся сейсмическим источником, в данном случае взрывом, могут служить в качестве известных (шаблонных) волновых форм или мастер-событий. Главным преимуществом согласованного фильтра при обнаружении шаблонного сигнала с помощью кросс корреляции является максимизация отношения сигнал/шум.

Методы, основанные на кросс-корреляции волновых форм (ККВФ), применимы к идентификации событий различной природы, в том числе афтершокам землетрясений и ядерных взрывов. Используя две сейсмические группы (AKASG и BRTR) и одну трехкомпонентную станцию (KBZ) Международной системы мониторинга, а также две станции группирования Института динамики геосфер РАН, включая МСГ «Михнево», нам удалось обнаружить 12 афтершоков землетрясения вблизи г. Мариуполь 7 августа 2016 г., произошедших в течение 5 суток после главного события (рис. 2). В качестве шаблонных использованы сигналы, зарегистрированные от главного события, которое выступало в роли единственного мастер-события для метода ККВФ [1, 7].

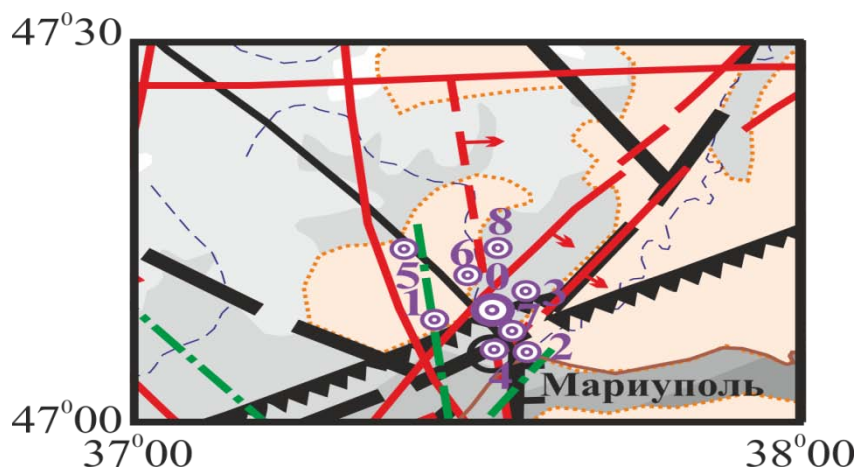


Рис. 2. Афтершоковая эмиссия Мариупольского землетрясения 07.08.2016. Релаксация напряжений реализована преимущественно вдоль разлома субмеридионального простирания, который согласуется с общей геодинамической обстановкой и геолого-структурными условиями региона.

При анализе взрывов в КНДР был предложен комплексный метод распознавания сейсмических источников, в основе которого лежит понятие «мультимастера», который состоит их множества похожих шаблонов отдельных событий, включая волновые формы всех взрывов и наиболее мощных афтершоков. Применение мультимастера к анализу данных двух региональных

станций группирования позволило установить продолжение афтершоковой активности в течение 10 месяцев после события 03.09.2017 и провести кластеризацию событий с различным механизмом источника.

Как показали более детальные исследования, волновые формы от взрывов на одном и том же карьере зависят не только от технологии проведения взрывных работ, но и последовательности подрываемых блоков. Это обстоятельство привело к необходимости создания обобщенных волновых форм, на основе вейвлет преобразования [8]. Именно эти обобщенные волновые формы в дальнейшем анализировались с использованием метода ККВФ. Идентификации событий осложняется еще и тем, что МСГ "Михнево", имея более высокие регистрационные возможности по сравнению с одиночной станцией, часто имеет уникальную запись события, не подтвержденную другими станциями, что накладывает дополнительные требования к объективности интерпретации.

Разработана методика многоканальной обработки данных реальных наблюдений и синтетических данных, не требующая визуального анализа сейсмограмм. Лежащий в ее основе алгоритм оценивания кажущейся медленности в ряде случаев позволяет идентифицировать сейсмические события со сложным механизмом, отличить помеху от локализованного в пространстве события. Эксперимент с синтетическими данными подтверждает ранее полученные результаты обработки полевых наблюдений.

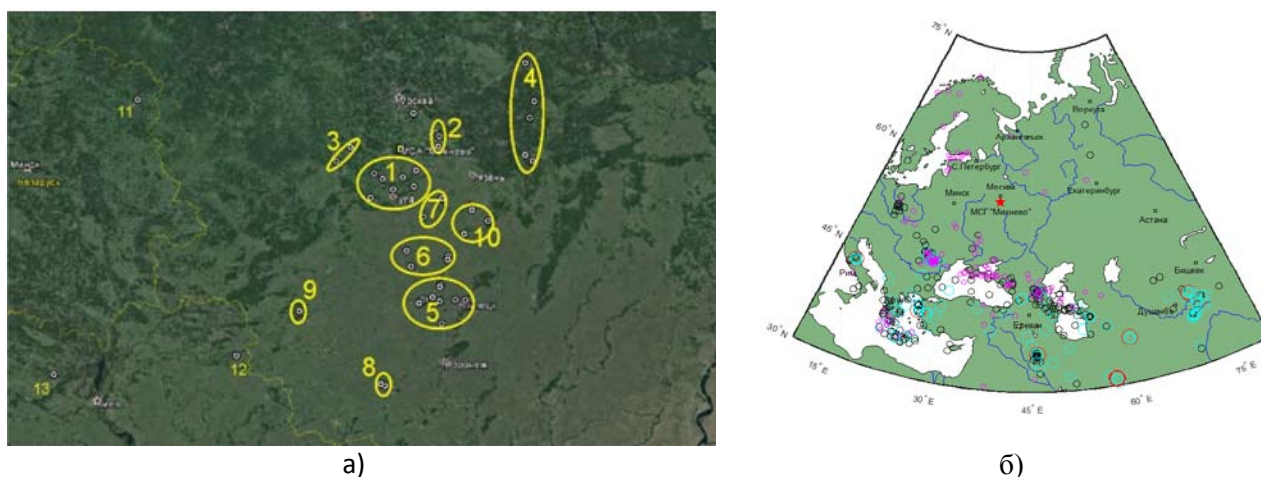


Рис. 3. а) Схема расположения групп действующих карьеров, взрывы на которых регистрируются группой «Михнево»: 1- Новогуровский, Парсуковский и другие в районе г. Венева, средняя магнитуда- 1.7; 2- Щуровской, Афанасьевский и др., средняя магнитуда - 1.5; 3- карьеры, расположенные в Калужской области, средняя магнитуда - 1.7; 4- карьеры Ковровского РУ, средняя магнитуда- 2.4; 5- Липецкая область, район г. Елец, средняя магнитуда 2.4; 6 – карьеры Данковский, Горный и карьер вблизи г. Ефремов, средняя магнитуда 2.0; 7 – карьер в районе г. Кимовск и карьер Михайлов-цемент, средняя магнитуда 1.9; 8– Лебединский и Стойленский ГОКи) средняя магнитуда -2.9; 9-карьеры Михайловского ГОКа, средняя магнитуда 3.0; 10 – карьеры Кораблинский, Поплевинский и др., средняя магнитуда 2.0; б) схема расположения зарегистрированных землетрясений.

Карта расположения карьеров и землетрясений, сведения о которых хранятся в нашей базе данных, представлена на рис. 3. Действующие карьеры объединены в группы в соответствии со средними значениями магнитуд производимых взрывов и по территориальному принципу. Всего было выделено 10 групп. Сейсмические наблюдения неоднократно указывали на возможность одновременного наложения сигналов от нескольких сейсмических источников, как природного, так и техногенного типа. Возникающее комбинированное сейсмическое воздействие может вызывать суммарный эффект, связанный с нарушением сплошности среды в локальной области, уже подвергнувшейся разрушению, при относительно слабых сейсмических событиях. Следствием этого может стать повышение прогнозируемой балльности территории. Эти эффекты необходимо учитывать, оценивая сейсмический риск при проектировании зданий и сооружений на конкретной территории. Сравнение данных карты с таблицей сопоставления пиковых скоростей сейсмических волн и интенсивности показывает, что сейсмическое воздействие промышленных взрывов на отдельных территориях может привести к увеличению макросейсмического эффекта на 1-2 балла в терминах интенсивности [9].

Изучение геодинамического режима Восточно-Европейской платформы

В настоящее время приоритетной геофизической задачей обсерватории «Михнево» является изучение геодинамического режима Восточно-Европейской платформы. МСГ расположена в южной части Московской синеклизы в зоне сочленения трех мегаблоков Восточно-Европейской платформы – Сарматского, Фенноскандского и Волго-Уральского. Первые результаты определения скоростного разреза литосферы до глубины 250-300 км методом функции приемника для продольных сейсмических волн в районе группы были получены в работе [12]. Новейшая аппаратурная разработка, отечественная цифровая широкополосная станция АЦСС-3, вошедшая в состав группы MHVAR, позволила получить высококачественные записи телесейсмических событий в диапазоне частот 0.02-10 Гц [3]. Главные особенности модели – два выраженных слоя пониженной скорости; в земной коре на глубинах от 10 до 20 км и в мантии на глубинах порядка 120-170 км. Особого внимания заслуживает ярко выраженная контрастная слоистость верхней осадочной толщи земной коры. Дополнительная граница в осадочной толще разреза по данным АДСС-3 была определена на основе оценки отношения горизонтальных и вертикальных компонент амплитудного спектра Фурье смещений почвы. Полученные спектры для приповерхностного слоя земной коры имеют выраженный резонансный пик на частоте 0.7 Гц, что соответствует толщине осадочного слоя порядка 380 м. Согласно геолого-гидрогеологическому профилю Москва-Протвино [6], на такой глубине находится граница нижнего карбона и нижняя граница зоны активного водообмена. Низкоскоростной слой в земной коре на глубине 10-20 км в районе МСГ «Михнево» был выделен впервые. Можно предположить, что выявленный низкоскоростной слой на глубине от 120 км до 170 в мантии обусловлен особым положением станции MHV в зоне коллизионно-аккреционного взаимодействия трех мегаблоков.

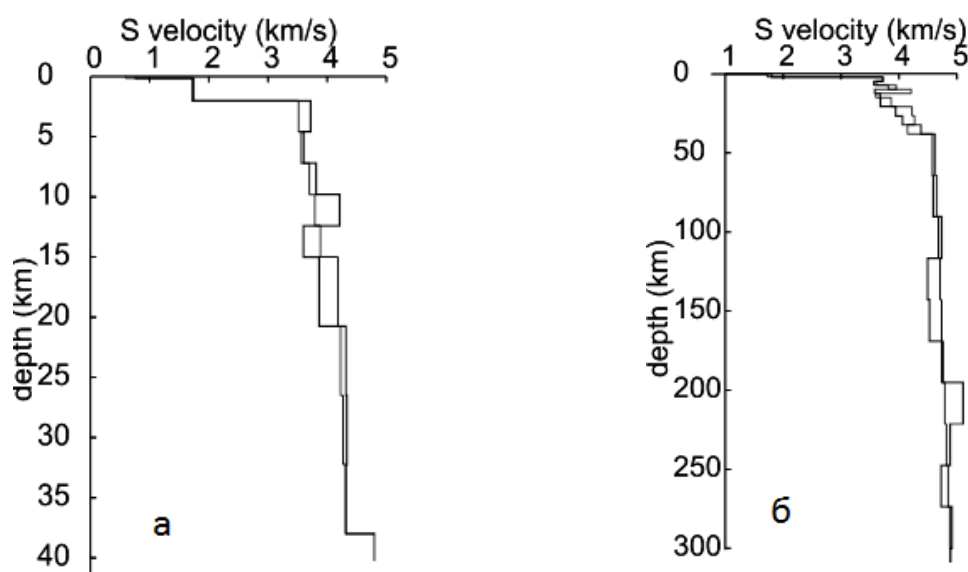


Рис. 4. Скоростные разрезы земной коры и мантии, полученные методом функции приемника при обработке данных в диапазоне частот а) 0.7-10 Гц и б) 0.02 - 0.7 Гц; сплошными тонкой и жирной линиями показаны начальное приближение и конечный скоростной разрезы соответственно.

Предварительные оценки параметров добротности верхней части земной коры центральной части ВЕП

Серия записей крупных промышленных взрывов на карьере Михайловский (группа 9 на рис.3а) была использована для определения параметров добротности по коде волны Lg по методу SSR [14, 16]. Записи обладают относительной стабильностью волновых форм и содержат интенсивные фазы волны Lg . Добротность представлена степенной зависимостью $Q(f)=Q_0 f^\eta$, где Q_0 добротность на частоте 1 Гц и η показатель степени. Исследована зависимость величины добротности от длительности коды, уровня сейсмического шума, частотного диапазона. Полученные значения Q и η варьируют в широких пределах, в зависимости от частотного диапазона, в котором определяется соотношение между Q_0 и η . В диапазоне 3-7 Гц получены средние значения Q_0 порядка

600, характеризующие пограничное состояние между стабильными территориями и районами умеренной тектонической активности. В широком смысле характер затухания волны L_g и, соответственно, величина добротности определяется свойствами коры, степенью ее неоднородности. В случае платформенных областей относительно пониженное значение добротности может свидетельствовать о значительной неоднородности коры в целом и, особенно, ее верхней части, связанное, в частности, с нарушением сплошности среды при проведении промышленных взрывов.

Заключение

В данной статье очень кратко приведены основные результаты, полученные по данным МСГ "Михнево"- единственной подобной системой наблюдений на территории центральной части ВЕП [15].

Работа выполнена при финансовой поддержке ФНИ № 01у46-2019-0004).

Список литературы

1. Адушкин В. В., Бобров Д. И., Китов И. О., Рожков М.А., Санина И.А. Дистанционное обнаружение афтершоковой эмиссии как новый метод сейсмического мониторинга // Докл. РАН. 2017. Т. 473. № 1. С. 83–87.
2. Асминг В.Э. Создание программного комплекса для автоматизации детектирования, локации и интерпретации сейсмических событий и его использование для изучения сейсмичности Северо-Западного региона: Дис. на соиск. уч. степ. канд. ф.-м. наук / ИДГ РАН. М.: 2004. 272 с.
3. Башилов И.П., Волосов С.Г., Королёв С.А., Косарев Г.Л., Ризниченко О.Ю., Санина И.А. Широкополосная автономная цифровая сейсмическая станция АЦСС-3 // Сейсмические приборы. 2013. Т. 49. № 3. С. 11–31.
4. Волосов С.Г., Королёв С.А., Солдатенков А.М. Система синхронизации записей станций малоапертурной сейсмической антенны «Михнево» // Сейсмические приборы. 2012. Т. 48. № 1. С. 26–34.
5. Взрывы и землетрясения на территории Европейской части России (под редакцией В.В.Адушкина и А.А.Маловичко) // Монография. М.: ГЕОС. 2013. 384 с.
6. Горбунова Э.М. Физические поля и динамика взаимодействующих геосфер. Сб. научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2007. С. 289–297.
7. Китов И.О., Санина И.А., Сергеев С.И., Нестеркина М.А., Константиновская Н.Л. Обнаружение, оценка магнитуды и относительная локация слабых афтершоков с помощью кросскорреляции волновых форм: землетрясение 7 августа 2016 года в Мариуполе // Сейсмические приборы. 2017. Т. 53. № 2. С. 58–80
8. Нестеркина М.А., Константиновская Н.Л., Чулков А.Б., Куликов В.И., Волосов С.Г. Проблемы, возникающие при идентификации источника сейсмического сигнала, связанные с вариациями волновых форм (на примере карьера "Афанасьевский"). В сборнике: Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных Материалы XIII Международной сейсмологической школы, 2018. С. 184–188.
9. Нестеркина М.А., Куликов В.И., Константиновская Н.Л., Санина И.А., Ризниченко О.Ю. Оценка уровня сейсмического воздействия промышленных взрывов центральной части ВЕП // Сейсмические приборы. 2018. Т. 54 № 2 С. 49–65.
10. Санина И. А., Волосов С.Г., Черных О.А., Асминг В. Э., Солдатенков А.М., Ризниченко О.Ю. Синтез и опыт экспериментального применения двухмерной малоапертурной сейсмической антенны "Михнево" // Сейсмические приборы. 2008. Т. 44. С. 3–18.
11. Санина И.А., Волосов С.Г., Черных О.А., Ризниченко О.Ю. Малоапертурная сейсмическая антенна "Михнево": новые возможности изучения сейсмичности Восточно-Европейской платформы // Доклады Академии наук. 2009. Т. 428. № 4. С. 536–541.
12. Санина И.А., Королёв С.А., Косарев Г.Л., Ризниченко О.Ю. Строение литосферы в зоне сочленения мегаблоков Восточно-Европейской платформы по данным функции приемника // ДАН. 2014. Т. 456. № 3. С. 338–341.
13. Bobrov D., I. Kitov, and L. Zerbo. Perspectives of Cross-Correlation in Seismic Monitoring at the International Data Centre // Pure and Applied Geophysics. 2014. V. 171. No. 3-5. P. 439–468.
14. Naghavi M., Shomali Z.H., Zare M. L_g Coda Variations in North-Central Iran // International Journal of Geophysics. 2012. V. 2012, Article ID 673506. p. 7.
15. Sanina I., Gabsatarova I., Chernykh O., Riznichenko O., Volosov S., Nesterkina M., Konstantinovskaya N. The Mikhnevo small aperture array enhances the resolution property of seismological observations on the East European Platform // Journal of Seismology. 2012. V. 15. P. 545–556.
16. Xie J., Nuttli O.W. Interpretation of high-frequency coda at large distances: Stochastic modeling and method of inversion // Geophys. J. 1988. V. 95. P. 579–595.