

Государственный комитет РФ по высшему  
образованию  
Нижегородский научно-исследовательский  
радиофизический институт

---

П Р Е П Р И Н Т N 401

ЗОНДИРОВАНИЕ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ  
ИМПУЛЬСНЫМ СЕЙСМИЧЕСКИМ ИСТОЧНИКОМ

Бубнов Е. Я. , Заславский Ю. М. , Рубцов С. Н.

Н. -Новгород  
1994

Бубнов Е. Я., Заславский Ю. М., Рубцов С. Н.

**ЗОНДИРОВАНИЕ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ  
ИМПУЛЬСНЫМ СЕЙСМИЧЕСКИМ ИСТОЧНИКОМ.**

-//Препринт N 400.

-Нижний Новгород:НИРФИ. -10с.

УДК 550.834

В работе описаны эксперименты по апробации метода эхолокации при обнаружении контрастной неоднородности, расположенной на метровой глубине под поверхностью земли с помощью короткоимпульсных сейсмических сигналов. Представлены результаты корреляционной обработки, подтверждающие принципиальную возможность применимости данного метода в поисковой сейсмоинженерной практике.

---

Подписано к печати 20.10.94 Формат 60x84/16  
Бумага писчая. Печать офсетная. Объем 0,62цпл.  
Заказ 5418. Тираж 50. Бесплатно

---

Настоящая работа посвящена решению проблемы поиска сейсмически контрастных подповерхностных неоднородностей, локализованных на глубинах 0,3–3 м и имеющих характерные размеры не менее 0,5 м, методами сейсмического зондирования. Практическая важность такой задачи связана с тем, что её решение другими методами: электромагнитным, акустико-импедансным, радиолокационным и т. д. не всегда может оказаться успешным. Так, применение высокочастотных поисковых комплексов, использующих методiku акустической дефектоскопии в ее традиционной форме в условиях сыпучей среды будет малоэффективным, ввиду сложной трансформации зондирующего сигнала при распространении. Для всех существующих зондирующих комплексов и методов регистрации (МОВ, МПВ) указанные глубины являются "мертвой" зоной и не попадают в поле зрения аппаратуры регистрации, поскольку диапазон частот, используемый ею, как правило, не превышает 200–300 Гц. Поэтому, постепенно выделяясь в самостоятельное направление, эта проблема предполагает применение специфических приёмов и методик, а также специальных технических средств.

Наряду с решением чисто прикладных, технических вопросов здесь столь же важны физические исследования влияния подпочвенных слоёв и локальных неоднородностей на характер и структуру ближних полей и, тем самым, на работу вибраторов.

Для сейсморазведки, проводимой на базе невзрывных источников колебаний, нетрадиционным по своей постановке является вопрос о "рассеянии ближнего поля" сейсмоисточника неоднородностью, расположенной в его "мёртвой" зоне. В качестве импульсного сейсмоисточника использовался экспериментальный образец "Шпак", чьи характеристики описаны в публикации [1], развитием которой является данная работа. В ней подробно обсуждались осциллограмма и спектр зондирующего сейсмического сигнала, а также сейсмических откликов, рассеянных назад границами раздела подповерхностных слоев, лежащих в пределах глубин от единиц до многих десятков метров. Детально исследовалось влияние ближайших к поверхности подпочвенных слоев на частотную зависимость амплитудного и фазового спектров зондирующего сигнала. Однако в ней не рассмотрен вопрос о влиянии локальных неоднородностей на пространственную и спектральную структуру его ближнего поля. Несмотря на обширные исследования ближних полей сейсмических и акустических излучателей, которые известны по ряду публикаций [2-4], поднимаемый вопрос, на наш взгляд, изучен мало. Так, влияние неоднородности на ближнее поле сейсмоисточника ранее исследовалось экспериментально только в условиях разнесения источника и неоднородности вдоль по поверхности земли на некоторое расстояние. Было установлено, что в результате возбуждения вторичных источников, локализованных в области, занятой поверхностной неоднородностью, возникает отражённый сигнал, переносимый поверхностной волной, который дает свой вклад во всю совокупность, составляющую импульсный сейсмический отклик [5, 6]. Это подтверждалось экспериментами, на которых зафиксировано связанное с этим явлением затягивание сигнала во времени за счет образования "хвостовой" части.

В экспериментах, описываемых далее, основное внимание обращено на объёмные волны, уходящие от поверхности вглубь среды. В качестве неоднородности использовался силовой электрический кабель, проложенный на глубине 0,8-1м по территории некоторого участка земной поверхности. Трасса с пунктами регистрации и излучения, которые в сейсмондирующем комплексе совмещены, располагалась на отрезке прямой, пересекающей линию кабеля по перпендикуляру, причём съём экспериментальных данных осуществлялся в измерительных точках, чередующихся с шагом 0,5м. Регистрация сейсмических откликов проводилась акселерометром ПАМТ 4 ВШ, устанавливаемым в грунте под центром рабочей пластины источника на глубине -1см. Для оптимального выделения сигнала на фоне помех производилась его фильтрация: в низкочастотной области срезалась полоса частот от 0 до 250Гц, а в высокочастотной - от 800Гц и выше. Целесообразность проведённой фильтрации подтверждается путём сравнения экспериментальных данных о спектре сейсмического сигнала на глубинах 1см и 70см под рабочей площадкой источника (рис. 1, кривые 1 и 2 соответственно). Срав-

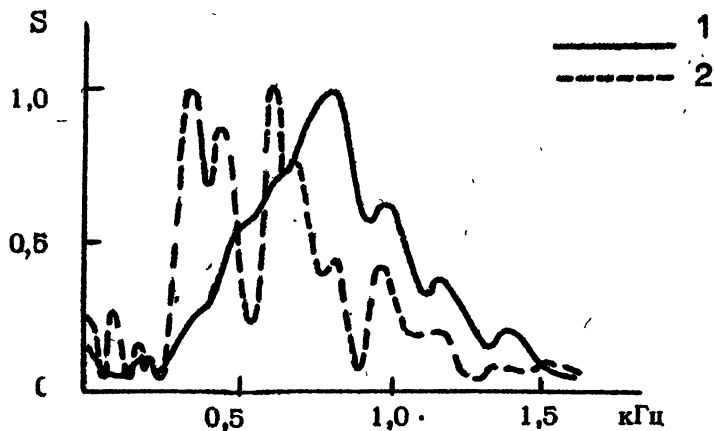


Рис. 1

Взгляд на два спектра показывает, что первоначально широкополосный сейсмический импульс, распространяясь вглубь, обужается по частотному составу за счёт диссипативных процессов и вследствие трансформации волновой структуры в области ближнего поля источника. Выбор центральной части рабочей площадки в качестве места установки акселерометра объясняется необходимостью сохранения максимальной ширины полосы у спектра сейсмодвижений, передающих волновые движения как в прямом, так и в обратном направлениях. Наглядной иллюстрацией этого может служить рис. 2, изображающий спектр сейсмосигнала, принятого тем же акселерометром при его размещении сразу за периферией рабочей площадки. Налицо резкое обу-

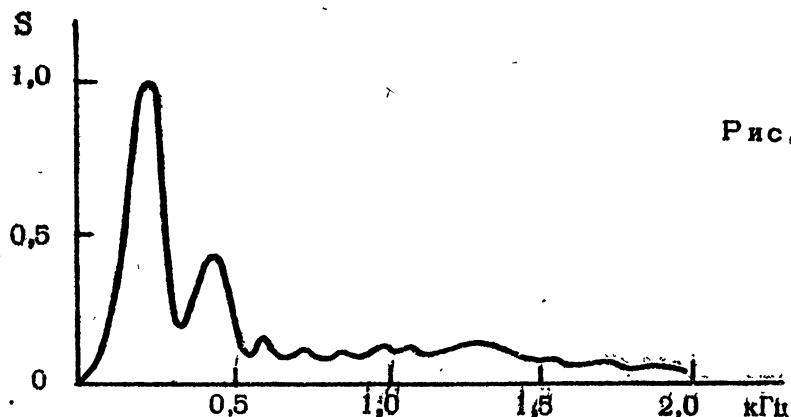


Рис. 2

вление полосы со стороны высоких частот. Постановка приёмника-акселерометра в центральную область под рабочей площадкой имеет и другую положительную сторону. Точки на поверхности грунта являясь центром максимально демпфированы за счёт прижатия рабочей пластиной, вследствие чего возникает "экранировка" от падающих на них паразитных поверхностных сейсмических волн, рассеянных близлежащими неоднородностями и возвращающихся назад к приёмнику. Из всей совокупности волн на-

илучшим образом экранируются те, длина волны которых близка к диаметру рабочей пластины, причём погашения рассеянных назад объёмных Р- и S- волн не должно происходить.

В ходе эксперимента осуществлялся замер скорости распространения Р-волн в верхнем почвенном слое грунта, который показал, что на исследуемом участке ее значение составляет  $C_p = 250 \dots 300$  м/с. Регистрация сейсмических сигналов производилась с использованием цифрового накопителя, причем на каждой измерительной точке осуществлялось синхронное накопление 20 реализаций, сумма которых фиксировалась на магнитный носитель. В процессе воспроизведения накопленный сигнал подвергался модифицированной корреляционной обработке, определённым образом отличающейся от стандартной. Спецификой корреляционной процедуры, производимой над сигналом, принятым из ближней зоны сейсмоисточника "Шпак", является то, что две "сворачиваемые" реализации не идентичны. Для выделения слабых отраженных волн исходная реализация, содержащая как зондирующий, так и отражённый сигналы, усиливалась настолько, что первичный цуг оказывался ограниченным. Заметим, что цифровое ограничение, не изменяя формы участков сигнала со значительным уровнем, уменьшает лишь коэффициент усиления на этих участках. Это приводит к "пересаживанию" указанных частей осциллограммы сигнала на примыкающем к началу развертки интервале на нулевой уровень, что придает дополнительную изрезанности форме кривой и расширяет спектральную полосу исходной реализации. Опорная реализация берётся значительно более короткой по длительности (-5мс вместо -20мс у исходной), поскольку включает в себя только зондирующий цуг неискаженной формы. В связи с выше указанными особенностями нормировка корреляционной функции в начале развертки отсутствует, максимум же её отклика приходится

на время вступления отражённых сигналов. На рис. 3а дается характерный вид модифицированной корреляционной функции сейсмического отклика при значительном удалении сейсмоисточника от неоднородности, на рис. 3б - в случае незначительного удаления источника, но по другую сторону от неё, а на рис. 3в - при работе непосредственно над её местом расположения. Из рис. 3а и 3в

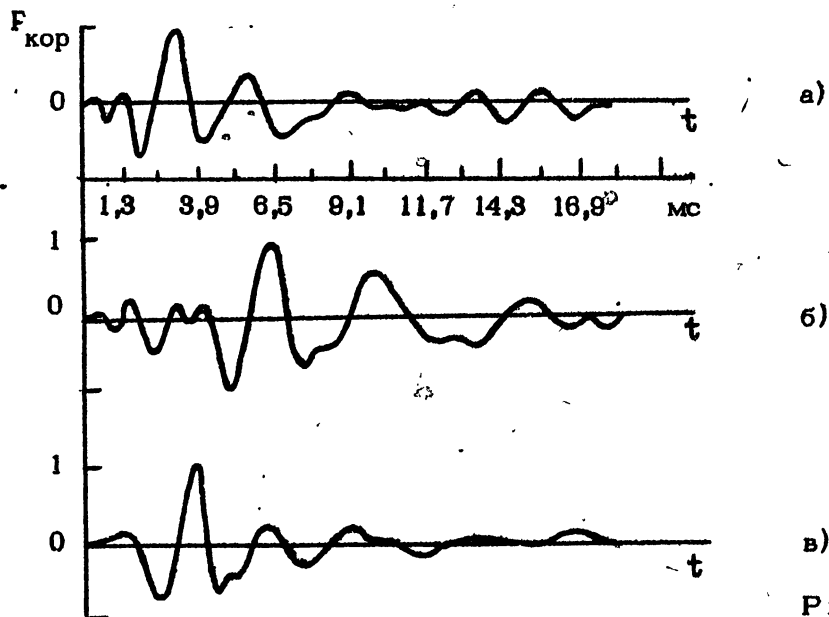


Рис. 3

легко видеть присутствие отклика на времена задержки 2-3мс, что свидетельствует о возможном наличии на обследуемом участке нерезкой границы перехода от почвенного слоя к суглинистому подпочвенному грунту. С учетом ранее указанного значения скорости распространения Р-волн можно заключить, что глубина её расположения лежит в интервале 0,4...0,6м. Из представленных выше только коррелограмма на рис. 3б показывает наличие отражённого цуга волн с временем задержки - 6мс, которое соответствует расположению препят-



ствия на глубине 0,9 м.

Обработка значительного количества аналогичных коррелограмм, помимо приведенных на данных рисунках, позволило, однако, установить возможные случаи маскировки локальной неоднородности регулярной границей перехода грунт-почва при сравнительно близких глубинах их залегания. Завершая краткий обзор полученных результатов, укажем на предельно достигнутые глубины обнаружения неоднородностей на базе сейсмоисточника "Шпак", стандартного акселерометра и примененной модифицированной корреляционной обработки. Такой случай иллюстрируется на ранее представленном рис. 3а, на котором нетрудно видеть волновой цуг с 15мс задержкой по времени вступления, что отвечает наличию границы раздела, пролегающей на глубине -2м. Точность фиксации глубины оценивается величиной -0,3м, что связано с выбором временного окна опорной реализации -5мс.

В заключении отметим, что описание результатов проведенного цикла экспериментов оставляет в стороне вопрос о статистическом характере полученных данных. Последний связан с наличием целого ряда факторов разброса: нерегулярности почвенной структуры, контакта источника и приемника с грунтом, разброса упругих, геометрических и структурных особенностей самой лоцируемой неоднородности. Поэтому представленные в работе материалы ограничены рамками немногочисленных замеров спектрально-корреляционных характеристик сейсмических сигналов. Вероятностные характеристики обнаружения неоднородностей должны будут составить предмет дальнейших исследований.