

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Горьковский ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский радиофизический институт (НИРФИ)

П р е п р и н т № 308

КОРТОККОИМПУЛЬСНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ГРУНТА

Н.Н.Дубров
Ю.М.Заславский
С.П.Мостовой
Б.В.Новиков

Горький 1990

Д у б р о в Н. Н., З а с л а в с к и й Ю. М.,
М о с т о в о й С. П., Н о в и к о в Б. В.

КОРОТКОИМПУЛЬСНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ГРУНТА // Преп -
ринт № 308. Горький: НИРФИ. - 1990. - 12 с.

УДК 550.34

В настоящей работе с целью выяснения природы и структуры поля упругих смещений на незначительных удалениях от искусственного источника колебаний проведена серия измерений на естественном грунте с использованием короткоимпульсного сейсмогенератора и восьми-канальной приемной линейной антенны. Дается интерпретация поверхностных волн, зарегистрированных на эксперименте, как волн, возбуждаемых резонансно в слоях грунта разной глубины. Представлены экспериментальные данные по регистрации поверхностной волны, рассеянной на естественной локальной неоднородности земной поверхности.

КОРОТКОИМПУЛЬСНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ГРУНТА

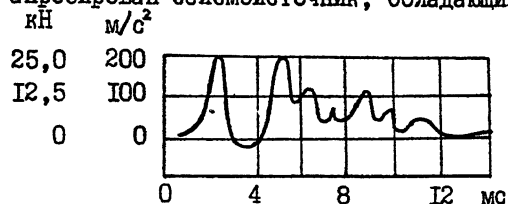
Подписано в печать 16.10.90 г. . Формат 60 x 84/16

Бумага писчая. Печать офсетная. Объем 0,65 усл.л.

Заказ 5112 . Тираж 120. Бесплатно.

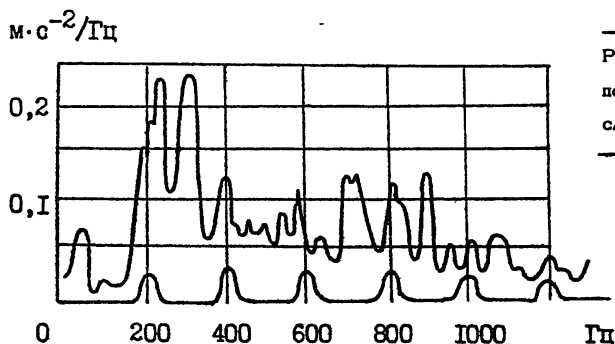
Отпечатано на ротапринтере НИРФИ

I. Сейсмическое зондирование грунта с помощью короткоимпульсного электродинамического сейсмозабудителя "Диана" (изделие Харьковского политехнического института - экспериментальный образец) проведено с целью выяснения возможности его применения в задачах малоглубинной инженерной сейсморазведки. Поскольку представляющие интерес локальные геологические образования в верхних горизонтах залегают на глубинах до одного-двух десятков метров, а их линейные размеры не превышают 1-3 м, при зондировании наиболее целесообразно использовать Р-волны в диапазоне длин волн, соответствующих минимальному из указанных масштабов, ввиду чего в работе был апробирован сейсмоисточник, обладающий следующими показателями.



Р и с. 1. Осциллограмма ускорений под плитой с/источника "Диана"

На рис. I представлена осциллограмма сигнала, зафиксированного с помощью акселерометра, установленного под центром рабочей площадки на глубине 1 см в грунте. Видно, что уровень воздействия источника массой 120-130 кг на грунт достигает 25 кН, величина перегрузки по пиковому значению - 200 м/с², а длительность имеет порядок - 3 мс. Соответствующий частотный спектр демонстрируется на рис.2,



Р и с. 2. Спектр ускорений под рабочей плитой с/источника "Диана"

из которого можно установить, что максимум спектральной плотности приходится на частоту - 300 Гц. Пересчет к длинам волн дает их оценку, лежащую как раз в районе 1-3 м.

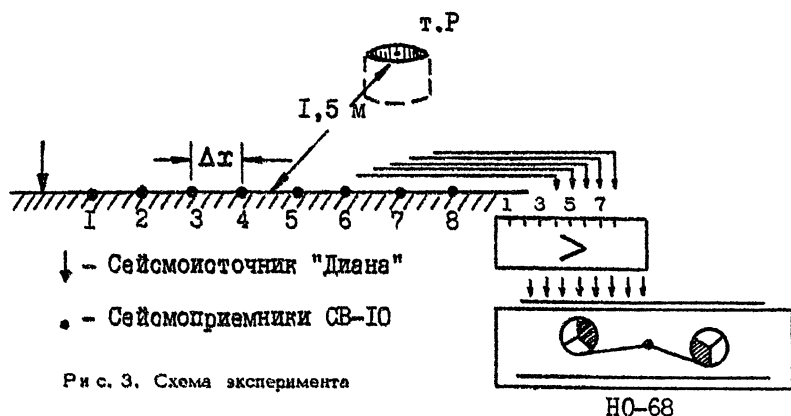
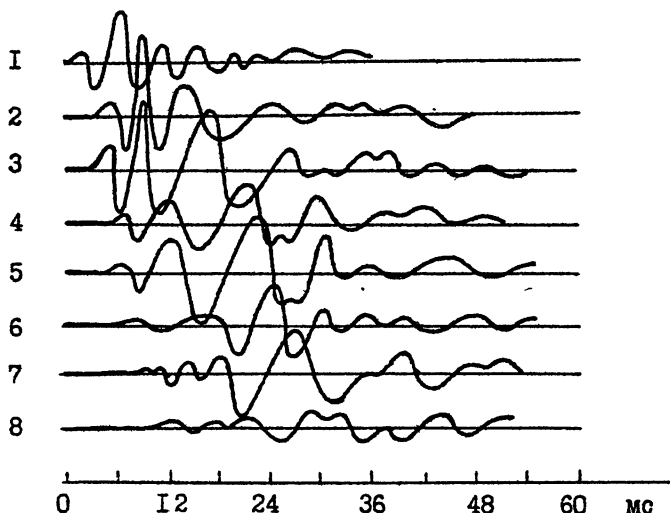


Рис. 3. Схема эксперимента

Схема эксперимента условно изображена на рис.3. Сейсмоисточник производил периодически повторяющееся вертикальное короткоимпульсное силовое воздействие на Грунт, возбуждая в нем целый спектр волновых движений. Одновременно с этим имела место восьми-канальная регистрация сейсмосигналов с помощью группы из восьми сфазированных приемников СВ-10, расположенных эквидистантно вдоль прямой линии, проходящей через источник. Проведена серия экспериментов, в которых применительно к первому из них шаг установки приемников в антенне составил - 0,5 м, применительно ко второму - 1 м и т.д. вплоть до - 4 м в последнем. Специально разработанные усилители обеспечивали эффективное подавление 50 Гц, сетевой электрической помехи и усиление сейсмосигналов до уровня, требуемого для регистрации на многоканальном магнитографе НО-68. В каждом эксперименте, соответствующем выбранному шагу расстановки, производилась синхронная запись - 40 сейсмоимпульсов. Воспроизводимые при обработке 40 реализаций сигнала суммировались на электронном накопителе и затем визуализировались на самописце Н-306. Суммирование в накопителе приводило к дополнительному подавлению электрической "наводки" ввиду несинхронного следования 50 Гц - сетевых пульсаций относительно синхронизированных сейсмоимпульсов. В процессе визуализации осциллограммы сигналов каждого кана-

ла записывались в виде "строчка под строчкой" так, чтобы воздействие эффекта поканального усреднения осциллограмм облегчалось построение годографа приходящих к антенне волн и определение на его основе их типа.

На рис. 4-6 представлены осциллограммы сейсмооткликов в виде серии реализаций, синхронно воспроизведенных с восьми каналов магнитного регистратора и соответствующих расстановке приемников с шагом - 0,5, 2 и 4 м. При расстановке с шагом 0,5 м (рис.4)



Р и с. 4. Сейсмограммы, зарегистрированные 8-канальной антенной
Шаг расстановки датчиков - $\Delta L = 0,5$ м

на ближайших к источнику датчиках зафиксирован сейсмоотклик в виде пуга колебаний, состоящих из нескольких периодов с преобладающей частотой $f = 130 - 140$ Гц. На более удаленных от источника приемниках с ростом номера точки регистрации отмечается постепенное разделение во времени вступления различных фаз сигнала: маломплитудной высокочастотной фазы, приходящей раньше, и преобладающей по энергии низкочастотной компоненты, вступающей несколько позже. По годографу, полученному путем соединения характерных точек вступления этой волны на множестве реализаций, отражающем

распределение волнового процесса у поверхности земли по координате и по времени, было установлено, что скорость ее распространения находится в интервале 175–220 м/с. По данным о скорости распространения и о преобладающей частоте волны следует сделать вывод о том, что в районе близких к источнику датчиков имеет место резонансное возбуждение поверхностных интерференционных волн в почвенном слое грунта толщиной 75–80 см. Процесс формирования резонансного цуга, вероятно, аналогичен ранее изученному Леккерисом эффекту возбуждения так называемой фазы Эйри у гидроволны, порождаемой взрывным источником в мелком море /1/. Частота сигнала в этой фазе легко оценивается, исходя из представления о поперечной структуре колебательных перемещений, близкой к полуволновому распределению поверхностной интерференционной волны основной моды в слое.

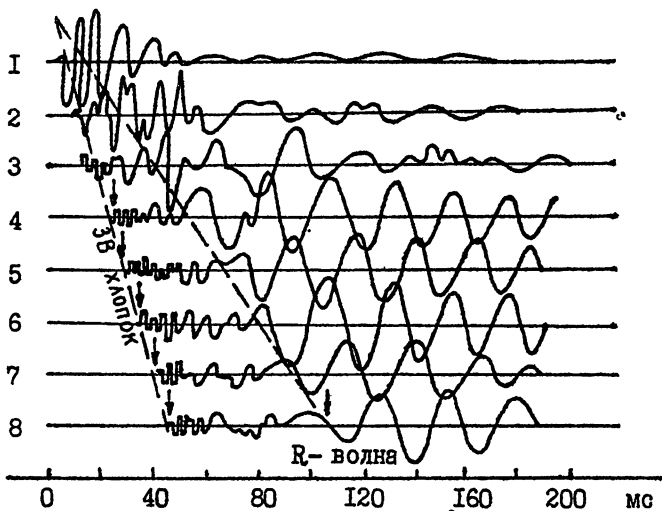
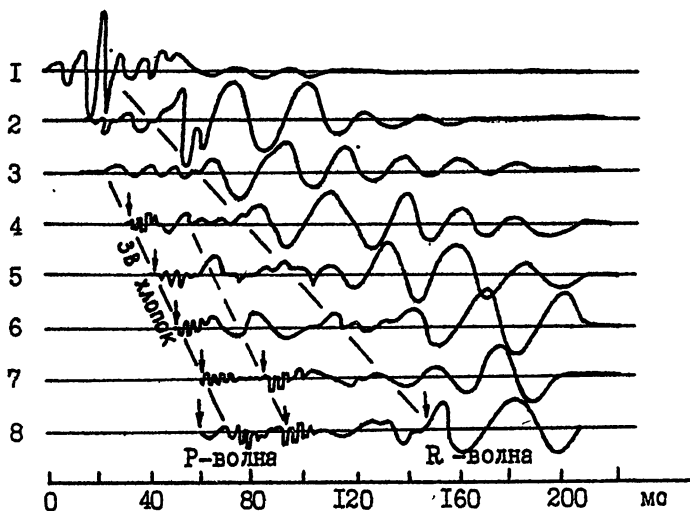


Рис. 5. Сейсмограммы, зарегистрированные 8-канальной антенной.
Шаг расстановки датчиков - $\Delta L = 2, \text{ м}$

При расстановке приемников в антенне с шагом 2 м (рис. 5) на удаленных от источника датчиках низкочастотная фаза претерпевает смену преобладающей частоты со 130–140 Гц до 30–40 Гц, а скорость распространения волны достигает - 240 м/с. Это свиде-

тальствует о смене доминирующего типа волны, преобладающего на этих дистанциях, и соответствующего резонансному возбуждению 3,0-4 метрового суглинистого верхнего слоя грунта. Следовательно, на расстоянии от источника, большем - 4 м, уже преобладает фаза Эйри поверхностной волны, локализованной в 4-х метровом слое грунта.



Р и с. 6. Сейсмограммы, зарегистрированные 8-канальной антенной.
Шаг расстановки датчиков - $\Delta L = 4$ м

При расстановке с шагом 4 м (рис.6) преобладающим по энергии в сейсмоотклике являются колебания на частотах 30-40 Гц, кроме того, происходит все более отчетливое разделение по времени прихода высокочастотной компоненты от низкочастотной. Здесь следует обратить внимание на присутствие малоинтенсивного цуга, состоящего из трех-четырех колебаний на частоте $f \approx 300$ Гц, вступающего на приемники раньше низкочастотной фазы и проявляющегося почти на всех каналах записи. Указанная частота - это частота установочного резонанса сейсмоприемников СВ-10 на грунте, а соответствующие ей цуги колебаний обнаруживались также на осциллограммах рис.5, хотя и менее отчетливо. Значение скорости распространения этой волны, как всегда, определяется по ее годографу и составляет по проведенным измерениям 360-370 м/с. Путем фильт-

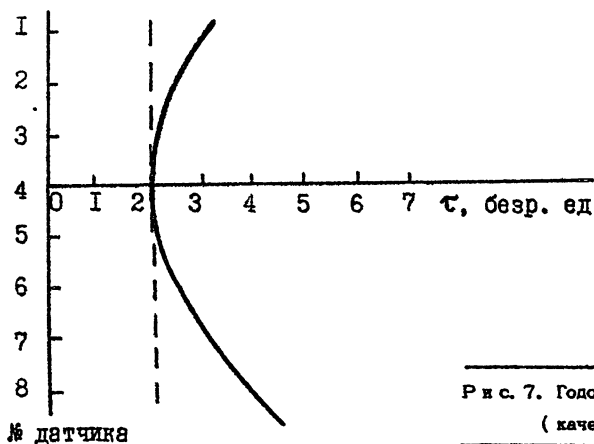
рации принятых сигналов с помощью фильтра высоких частот, имеющего частоту среза - 300 Гц, было установлено, что параллельно линии годографа этой волны с некоторой задержкой по времени проходит линия годографа другой волны с тем же наклоном, а следовательно и скоростью. Учитывая этот факт и то обстоятельство, что звуковые хлопья, сопровождающие работу источника, могут отражаться от близко расположенного строения (дистанция до стенки - препятствия - 5 м), а также принимая во внимание близость значения скорости этих двух волн со скоростью звука в атмосфере, можно объяснить их возникновение аэроакустическим эффектом распространения с последующим проникновением в грунт. Однако в осциллограмме сейсмоотклика самого дальнего приемника (8-я реализация на рис.6) при расстановке с максимальным шагом - 4 м нетрудно обнаружить приход волны в более ранний момент, чем у атмосферного звука. Ее скорость порядка 440 м/с, ввиду чего последнюю следует классифицировать как прямую Р-волну, идущую по поверхности земли. Отчетливое разрешение моментов вступления этих двух типов волн, позволяющее обнаружить их по отдельности, имеет место только на удалениях от источника, равных и больших - 32 м.

Проанализировав основные типы волновых движений, возбуждаемых указанным сейсмоисточником у земной поверхности, можно рассмотреть несколько более тонкие эффекты, связанные с наличием локальных неоднородностей, как правило присутствующих в приповерхностных слоях.

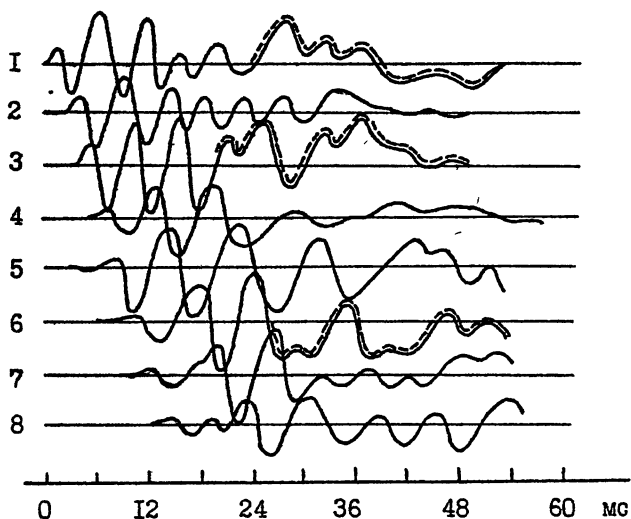
2. Такое распространенное явление, как рассеяние упругих, и в частности, сейсмических волн на неоднородностях вмещающей среды, лежит в основе методов инженерной сейсморазведки и разведки на нефть, газ, уголь, руду и т.д. Однако в обычной сейсморазведке рассеянными или отраженными являются, как правило, Р- или S-объемные волны, распространяющиеся в глубине обследуемых недр. Представляет интерес вопрос о рассеивающей способности неоднородностей среды, локализованных вблизи свободной земной поверхности, при падении на них поверхностных сейсмических волн. Вопросы рассеяния упругих и поверхностных волн на неоднородностях и дефектах, дислоцированных у свободной поверхности твердого тела, детально проработаны в применении к акустическим ПАВ в образцах /2, 3/. Вместе с тем в задачах малоглубинной инженерной сейсморазведки очень существенна специфика явлений рассеяния /4/, ввиду чего необходимы дополнител-

ные исследования по возможности использования интерференционных поверхностных волн. Так, все еще слабо изучен характер и степень "мутности" верхней зоны разреза "озвучиваемой" поверхности и волнами и, в частности, вопросы о рассеивающей способности строгительных конструкций, частично или полностью засыпанных грунтом. При этом для практики будет представлять интерес уже сама оциллограмма рассеянного сигнала, фиксируемого в совокупности с прямым падающим, поскольку раздельный прием того и другого в сейсмике поверхностных волн представляет собой известную проблему. Визуализация сигналов, возбуждаемых работой портативного сейсмоисточника, зарегистрированных в присутствии естественных приповерхностных рассеивателей и последующее сравнение с аналогичными оциллограммами, соответствующими случаю однородного грунта, позволит сделать вывод относительно вклада рассеянного поля в общий волновой процесс.

Приповерхностная неоднородность чаще всего на практике реализуется в виде бугра, либо ямки, поэтому на эксперименте исследовалось рассеяние на углублении размером 0,5 м и диаметром 0,4 м, которое располагалось на траверсной линии, в полутора метрах относительно цепочки приемников, пересекающей ее в районе 4 и 5 измерительных точек (рис. 3 т.Р). При этом в антенне использовался минимальный шаг расстановки приемников - 0,5 м. Из общих соображений ясно, что голограф волн, рассеянных неоднородностью, локализованной вблизи земной поверхности, на плоскости координата-время должен иметь вид отрезка гиперболы (см. рис.7).



Р и с. 7. Голограф отраженной волны
(качественный вид)



Р и с. 8. Сейсмограммы, зарегистрированные 8 - канальной антенной, расположенной вблизи естественной неоднородности

Обратившись далее к результатам регистрации рассеянных полей, можно видеть (рис.8), что на начальном участке всех реализаций имеется невозмущенный колебательный процесс, рассмотренный нами ранее и отвечающий возбуждению, формированию и распространению в почвенном слое интерференционных волн. Однако сравнение процессов на рис.4 и рис.8, относящихся к 1, 3, 6-му каналам регистрации, наиболее наглядно показывает существенное отличие в форме осциллограмм, начиная с 20+25мс -отметки текущего времени в случае отсутствия и наличия рассеивателя. Именно такой задержке соответствует время распространения интерференционной поверхности волны от источника до рассеивателя - 2,5 м и ее дальнейшего движения по нескольким различным направлениям, т.е. к приемникам № 1, 3, 6 (дополнительный путь длиной 1,5-2 м). Видно, что отклик, связанный с наличием рассеивателя, вызывает изменение формы записи только в хвостовой ее части, перекрываясь по времени с исходной падающей волной. Нетрудно оценить, что характерный временной масштаб рассеянного сигнала составляет 5-10 мс, а соответствующие характерные частоты лежат в диапазоне 100-200 Гц (длины волн - в ин-

тервале 0,9–1,75 м). Отсюда следует, что антенна располагалась в волновой зоне рассеивателя. Общее рассмотрение осциллограмм на рис. 8 указывает на отсутствие возможности поканального усреднения характерных вступлений рассеянного сигнала с последующим построением годографа ввиду того, что акт рассеяния наиболее четко обнаруживается только на нескольких каналах регистрации.

Перечислим факторы, вызывающие отсутствие рассеянного сигнала на остальных датчиках. К их числу следует отнести резкую анизотропию индикатриссы рассеяния при дифракции волн импульсного характера. Другой негативный фактор – это влияние местных флуктуаций и упругих параметров среды, создающих хаотический фон в хвостовой части общего волнового процесса. Наконец, по форме осциллограммы, где зафиксирован приход рассеянного сигнала, можно определить амплитудное соотношение прямого падающего и рассеянного под углом максимума индикатриссы сигналов. На расстоянии порядка длины волны от источника и от рассеивателя имеет место преобладание первого над вторым примерно на 10–12 дБ. Все указанные причины затрудняют прием, обработку и анализ характеристик рассеянных полей и переносимых ими сигналов.

В заключение сформулируем результаты изложенной работы.

1. На расстояниях, не превышающих 4 м от сейсмоисточника зарегистрировано резонансное возбуждение почвенного слоя толщиной 0,75–0,8 м на частотах 130–140 Гц.

2. На расстояниях более 4 м от источника зарегистрировано резонансное возбуждение суглинистого слоя грунта толщиной 3–4 м на частотах 30–40 Гц.

3. Как первый, так и второй сейсмоотклики представляют собой пуги основной моды интерференционной поверхностной волны со скоростью распространения в интервале 175–240 м/с.

4. Зарегистрирована прямая Р-волна со скоростью распространения вдоль поверхности земли – 440 м/с.

5. Зарегистрирован сейсмоотклик, соответствующий рассеянию в интерференционной поверхностной волны на естественной приповерхностной неоднородности грунта.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Pekeris, C.L.: Theory of Propagation of Explosive Sound in Shallow Water, Geol.Soc.Amer.Mem. 27, 1948.
2. Биряков С.В., Горышник Л.Л. Отражение рэлеевской волны от локальных неоднородностей поверхности при наклонном падении. - Акуст.ж., 1977. - Т.23, № 3. - С.461-462.
3. Заславский Ю.М. Энергетика рассеянных упругих полей, возникающих при дифракции волны Рэлея на поверхностном возмущении полуграниченной среды.//Препринт № 267, Горький.: НИРФИ, 1989.
4. Николаев А.В. Сейсмика неоднородных и мутных сред. - М.: Недра, 1979. - 174 с.

Дата поступления статьи
30 мая 1990 г.