Доклады Академии наук СССР
1955. Том 101, № 5

ГЕОФИЗИКА

Академик Г. А. ГАМБУРЦЕВ и И. С. БЕРЗОН

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ РАЗВЕДКА

За последние годы возникла задача разработки методики детальной сейсмической разведки небольших глубин — от нескольких метров до нескольких сотен метров. Решение этой задачи представляет особенно большой интерес в связи с поисками различных рудных и угольных месторождений, а также в связи с инженерно-геологическими изысканиями под крупные сооружения. При детальном изучении малых глубин подлежат исследованию тонкие слои и другие тела (линзы, жилы и т. д.) малого масштаба. Разрешающая способность сейсмических методов разведки, широко используемых в настоящее время при поисках различных полезных ископаемых, недостаточна для решения указанных задач, так как эти методы основаны на регистрации отраженных и преломленных волн со сравнительно низкими преобладающими частотами — от 25 до 70 гц ([1,2]). Для повышения разрешающей способности сейсмических методов Г. А. Гамбурцев предложил использовать для разведки малых глубин диапазон более высоких частот сейсмических волн. В 1946 г. в Геофизическом институте АН СССР был построен первый комплект высокочастотной сейсмической аппаратуры и начаты экспериментальные исследования по высокочастотной сейсмике. Эти исследования проводились с 1946 г. по 1954 г. в различных сейсмогеологических условиях*. В результате проведенных исследований разработан метод высокочастотной сейсмической разведки (ВЧС), который в настоящее время может успешно применяться как для решения различных разведочных задач, так и для экспериментального изучения вопросов физики распространения сейсмических волн в реальных средах.

Особенности аппаратуры. Основные отличия аппаратуры высокочастотных станций (ВЧ) от аппаратуры типовых среднечастотных станций (СЧ) следующие:

1. Максимум частотной характеристики канала аппаратуры ВЧ расположен на более высоких частотах ($f = 70 — 400$ гц), чем максимум частотных характеристик аппаратуры СЧ ($f = 25 — 70$ гц).

2. Характеристика аппаратуры ВЧ обладает большой логарифмической крутизной ($S = 5 — 6$) в области частот более низких, чем частота максимума, для подавления низкочастотных компонент волн, медленнее затухающих с расстоянием, чем высокочастотные компоненты.

3. Для получения достаточно интенсивной записи высокочастотных волн максимальная чувствительность аппаратуры ВЧ в 3—5 раз превосходит максимальную чувствительность аппаратуры СЧ.

* В этих работах участвовал большой коллектив сотрудников: А. М. Епинатьева, А. Я. Меламуд, Г. Н. Парийская, Н. И. Давыдова, С. П. Стародубровская, М. Я. Рац-Хизгия, И. С. Пархоменко, Ю. И. Васильев, Н. З. Шипилин, Н. Е. Федосеенко и др. Научным руководителем основных работ по высокочастотной сейсмике являлась И. С. Берзон.

4. Для повышения точности отсчета времен по сейсмограммам и для более полного использования динамических характеристик различных волн скорость движения бумаги в осциллографах станции ВЧ больше, чем в осциллографах среднечастотных станций. Маркировка времени производится через 0,005 сек.

Особенности методики работ по методу ВЧС. Методика работ по методу ВЧС в основных чертах такая же, как и при работах по методу СЧС. Особенности методики работ по ВЧС следующие:

1. При переходе на регистрацию высокочастотных компонент волн повышаются требования к условиям возбуждения колебаний. Для возбуждения высокочастотных компонент волн взрывы необходимо производить в плотных породах (в известняках, плотных глинах и др.), так как при взрывах в рыхлых породах в спектре волн преобладают низкочастотные компоненты.

2. В связи с тем, что высокочастотные волны сильнее затухают с расстоянием, чем среднечастотные, а также для обеспечения уверенной фазовой корреляции высокочастотных волн необходимо применять более детальную сеть профилей и более детальные системы наблюдений на каждом профиле (меньшие расстояния между сейсмографами и между пунктами взрыва), чем при регистрации среднечастотных волн.

Регистрируемые волны и их преобладающие частоты. Волны, регистрируемые при помощи аппаратуры ВЧ, представляют собой преимущественно продольные преломленные (головные) и отраженные волны. Преобладающие частоты высокочастотных волн изменяются в пределах от 80 до 500 гц в зависимости от условий возбуждения колебаний и от литологического состава и глубины залегания пород, по которым они распространяются. Более высокочастотные компоненты волн обычно не удается регистрировать из-за их сильного затухания с расстоянием.

Преломленные (головные) волны, зарегистрированные на записях ВЧ в различных сейсмогеологических условиях, соответствовали границам раздела, расположенным в диапазоне глубин от долей метра до 400—500 м. Для более глубоких границ раздела попытки регистрации высокочастотных преломленных волн до настоящего времени не предпринимались.

Высокочастотные преломленные волны, соответствующие слоям, залегающим на малых глубинах $H \leqslant 10$ м, из-за сильного их затухания с расстоянием обычно прослеживаются на расстояниях Δ от пункта взрыва, не превышающих нескольких десятков метров. Преломленные волны, соответствующие более глубоким границам раздела, часто прослеживаются на расстояниях порядка сотен метров или даже нескольких километров — вполне достаточных для получения полной корреляционной системы наблюдений.

Отраженные волны, зарегистрированные на записях ВЧ в различных районах, соответствовали диапазону глубин $H = 100 - 2000$ м. При применении метода отраженных волн в его среднечастотной модификации отражения от границ, расположенных на глубинах $H < 300—400$ м, обычно не удается выделить на записях. Приведенные данные показывают, что переход на регистрацию более высоких частот расширил диапазон глубин, исследуемых при помощи метода отраженных волн, в область меньших глубин.

Отраженные волны, соответствующие границам раздела, расположенным на небольших глубинах (порядка 100—300 м), характеризовались сравнительно высокими частотами $f = 200 - 300$ гц, в то время как волны, соответствующие границам раздела, расположенным на достаточно больших глубинах $H = 1500 - 2000$ м, характеризовались

более низкими частотами $f = 80 - 120$ гц. Однако и эти частоты в 1,5—2,0 раза превышают частоты волн, регистрируемых среднечастотной аппаратурой. Это показывает, что метод высокочастотной сейсмики применим не только для изучения малых глубин, для которых он предназначался в начальной стадии своей разработки, но и для изучения значительно больших глубин — порядка 1—2 км.

Разрешающая способность метода ВЧС. При регистрации высоких частот разрешающая способность сейсмических методов возрастает за счет уменьшения длительности колебаний каждой из волн на сейсмограмме (3). В связи с этим волны, соответствующие границам раздела с малой разностью глубин залегания, которые образуют на записях СЧ одно сложное интерференционное колебание, на записях ВЧ могут быть прослежены раздельно. Благодаря этому при использовании метода ВЧС в заданном интервале глубин можно выделить и исследовать большее число границ раздела, чем при применении метода СЧС. Так например, в одном из районов при регистрации преломленных волн с частотами порядка 200 гц можно было исследовать границы раздела, разность глубин между которыми равнялась всего лишь 5 м, в то время как при регистрации волн с частотами порядка 50—60 гц минимальная разность глубин границ раздела, при которой можно было раздельно прослеживать соответствующие им волны, составляла около 20 м.

Подавление волн-помех. При регистрации высокочастотных компонент выделение и прослеживание продольных отраженных и преломленных волн значительно облегчается за счет того, что аппаратура ВЧ отфильтровывает более низкочастотные поверхностные, обменные, поперечные волны, интерферирующие с продольными отраженными и преломленными волнами и поэтому мешающие их выделению. При работах по методу среднечастотной сейсмики преобладающие на записях частоты волн-помех и используемых отраженных и преломленных волн нередко близки. Поэтому волны-помехи, часто обладающие значительной интенсивностью, препятствуют выделению и прослеживанию среднечастотных отраженных и преломленных волн, соответствующих исследуемым границам раздела.

Об использовании динамических характеристик волн в методе ВЧС. В связи с тем, что высокочастотные волны значительно лучше разрешены на записи, чем среднечастотные волны, расширяются возможности изучения индивидуальных динамических характеристик волн (формы записи и амплитуд) даже в тех случаях, когда волны разделены небольшими интервалами времен прихода. Смены волн, связанные с различными неоднородностями среды, выражены на сейсмических записях тем резче, чем выше преобладающая частота волн. Нередко смены волн, сопровождающиеся слабыми изменениями динамических особенностей волн, практически не могут быть отмечаны на среднечастотных сейсмограммах, в то время как на высокочастотных записях они выражены достаточно отчетливо. В связи с этим в методе ВЧС открываются новые возможности использования динамических характеристик волн. Динамические характеристики волн могут быть использованы не только при корреляции, но и на следующих этапах интерпретациии наблюденных данных. В настоящее время разработаны методы качественной интерпретации динамических характеристик волн, основанные на корреляции и картировании однотипных динамических особенностей волн, зарегистрированных на различных системах профилей. При помощи этих методов можно решать задачи трассирования линий контактов различных пород, сбросов, тектонических нарушений, детального расчленения вертикально слоистых сред, состоящих из тонких слоев с различными скоростями, и др. Решение указанных задач при помощи методов геометрической сейсмики, а

также при использовании динамических характеристик среднечастотных волн в ряде случаев принципиально невозможно, например в случае слабой скоростной дифференциации среды или в случае малой горизонтальной мощности прослеживаемых вертикальных слоев.

В методе ВЧС можно также шире применять методы количественного определения параметров, характеризующих затухание волн с расстоянием ([4–7]), чем в методе СЧС. Это связано с тем, что амплитуды высокочастотных волн меньше искажены интерференцией с другими волнами, чем амплитуды среднечастотных волн. Использование при интерпретации параметров, характеризующих затухание волн с расстоянием, позволяет более детально изучить геологический разрез.

Разведочные возможности метода ВЧС. Метод ВЧС значительно расширил разведочные возможности сейсмических методов исследования и позволил решить ряд новых разведочных задач, которые принципиально недоступны методам среднечастотной сейсмики из-за их недостаточной разрешающей способности. К числу этих задач, в первую очередь, относятся задачи детального расчленения тонкослоистых сред (горизонтально-слоистых и вертикально-слоистых) и сред со слабой скоростной дифференциацией. Решение этих задач, в особенности задач, связанных с картированием и расчленением вертикально-слоистых сред и трассированием тектонически нарушенных зон, стало возможным только благодаря разработке методов интерпретации, основанных на использовании динамических характеристик сейсмических волн.

Важной областью применения метода высокочастотной сейсмики являются также параметрические измерения скоростей распространения упругих волн в горных породах в естественных условиях — на обнажениях, в скважинах и в шахтах.

Одновременно с возможностью решения новых задач метод ВЧС позволяет также существенно увеличить детальность и точность разведки при решении некоторых структурных задач, которые решаются методами среднечастотной сейсмики. Метод ВЧС позволяет выделить большее число границ раздела в слоистых средах и с большей точностью определить глубину и форму их залегания, чем метод среднечастотной сейсмики.

Разработка метода ВЧС открыла перед сейсмической разведкой новые области исследования — области рудной и инженерной геофизики. Вместе с тем и в области нефтяной разведки, где широко и успешно применяются методы среднечастотной сейсмики, метод ВЧС также может быть весьма полезен при решении задач, требующих большой точности и детальности. К числу таких задач относятся, например, изучение структур платформенного типа с малыми углами наклона слоев.

В заключение отметим, что, как показал опыт работ Геофизического института АН СССР, при решении ряда разведочных задач целесообразно сочетание в различных вариантах методов высокочастотной и среднечастотной сейсмики.

Поступило
4 II 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Г. А. Гамбурцев, Сейсмические методы разведки, ч. 2,1938. [2] Г. А. Гамбурцев и др., Корреляционный метод преломленных волн, Изд. АН СССР, М., 1952. [3] И. С. Берзон, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 1 (1954). [4] И. С. Берзон, там же, № 4 (1951). [5] Ю. И. Васильев, там же, № 4 (1951). [6] А. М. Епинатьева, там же, № 3 (1952). [7] Ю. В. Ризниченко, там же, № 1 (1954).