

УДК 550.340+550.834

ГЕОФИЗИКА

Е. И. ГАЛЬПЕРИН, И. Л. НЕРСЕСОВ, Р. М. ГАЛЬПЕРИНА

## К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ РЕЛЬЕФА ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА СТРУКТУРУ СЕЙСМОГРАММ

(Представлено академиком М. А. Садовским 20 VI 1973)

Эффективность всех сейсмических исследований во многом зависит от структуры сейсмограмм и возможности анализа волнового поля. В формировании волнового поля, помимо волн, прошедших через среду, могут участвовать также и волны, не связанные непосредственно с средой и существенно ограничивающие возможности исследований.

В последние годы Институт физики Земли АН СССР продолжил исследования с целью изучения природы волн от удаленных источников. В настоящей статье обсуждаются результаты изучения влияния рельефа дневной поверхности и верхней части разреза на структуру начальной части сейсмограмм. Особый интерес это представляет в методе обменных проходящих волн (МПОВ).

В МПОВ, как известно (<sup>1, 2, 5, 7</sup>), выделение обменных волн производится сопоставлением записей продольных и поперечных волн, зарегистрированных вертикальными и горизонтальными сейсмоприемниками. Для более объективного выделения обменных волн нами был развит способ полярной корреляции, основанный на изучении волн в зависимости от ориентировки в пространстве оси сейсмоприемника при наблюдениях в одной точке, предложенный Г. А. Гамбурцевым (<sup>3, 6</sup>). Полярная корреляция выполняется по многокомпонентным полярным сейсмограммам, представляющим собой совокупность записей, полученных в одной точке и определенным образом ориентированных в пространстве.

Для получения качественных материалов была полностью изменена технология полевых измерений. В частности, традиционные трехкомпонентные установки, состоящие из одного вертикального и двух взаимно перпендикулярных горизонтальных сейсмоприемников, были заменены симметричными установками, оси всех трех сейсмоприемников которых наклонены к горизонту под углом  $35^{\circ}25'$ , а азимуты осей соседних приборов отличаются на  $120^{\circ}$ . Преимуществом установок такого типа является возможность строгого контроля увеличения идентичности частотных характеристик каналов на всех этапах наблюдений — от полевых измерений до обработки материалов. В полевых условиях при подготовке наблюдений контроль достигается регистрацией сейсмоприемниками, установленными в одном азимуте. Оперативный контроль в процессе наблюдений осуществляется по первой волне, запись которой в связи с направлением подхода, близким к вертикали, должна быть идентична на всех каналах установки. Существенным преимуществом является также однотипность всех приборов симметричной установки.

Для получения полярных сейсмограмм был применен способ группирования первого рода (<sup>4</sup>). При воспроизведении, помимо записей трехкомпонентной симметричной установки на четырех фильтрациях (I — III на рис. 1, 2), при помощи специального анализатора получалась 23-х компонентная полярная сейсмограмма с составляющими, равномерно распо-

женными в пространстве (нижняя часть сейсмограмм рис. 1, 2). Шесть составляющих (трассы 1–6 полярной сейсмограммы) расположены в горизонтальной плоскости с разностью азимутов соседних приборов 30°, десять (трассы 7–16) – по конической поверхности с вертикальной осью и углом

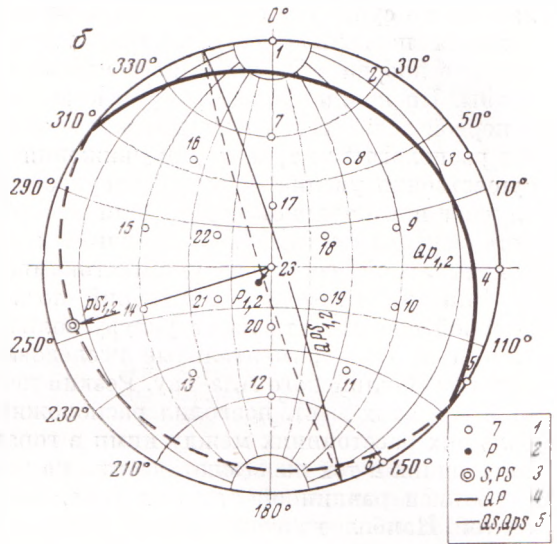
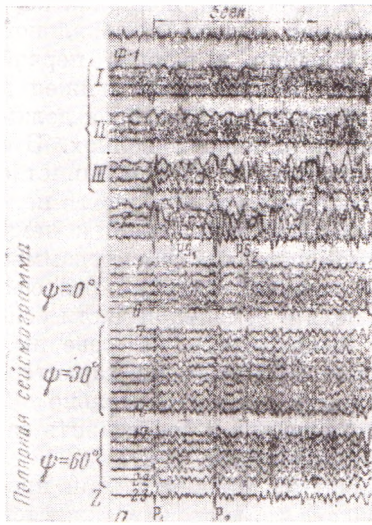


Рис. 1. а – начальная часть записей землетрясения 1 IX 1972 г. 11<sup>h</sup>39<sup>m</sup>, полученная равнинной станцией; б – направления движения частиц (стереографическая проекция). 1 – направления осей составляющих полярной сейсмограммы; 2, 3 – направления движения частиц в продольных (2) и поперечных (3) колебаниях; 4 – плоскость фронта волны P; 5 – плоскости нулевых смещений в поперечных колебаниях

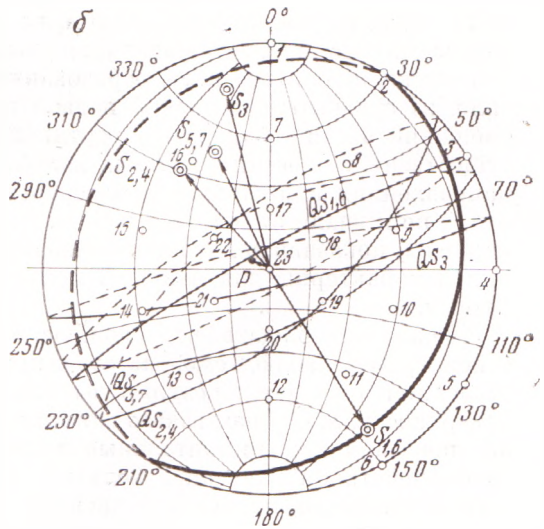
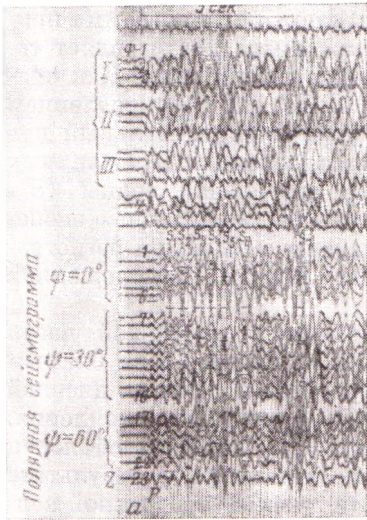


Рис. 2. То же, что на рис. 1 для горной станции

наклона образующей к горизонту 30°, шесть (трассы 17–22) – по конической поверхности, образующая которой наклонена к горизонту под углом 60°, и одна (трасса 23) – вертикальная составляющая. Для непрерывного контроля работы всех каналов, помимо регистрации трехкомпонентной установкой, одновременно велась запись также вертикальным сейсмо-

приемником на 4 фильтрациях ( $Z$  на рис. 1, 2). Идентичность записи  $Z$ -компоненты полярной сейсмограммы и  $Z$ -канала прямой регистрации непрерывно контролирует работу всей аппаратуры.

В отличие от обычной трехкомпонентной записи, когда две горизонтальные составляющие записи, ориентированные обычно по странам света, являются по существу случайными компонентами колебаний, полярная корреляция позволила изучать траектории движения частиц в локальной системе координат, связанной с плоскостями падения и фронта первой волны. По полярной сейсмограмме определяется направление движения в первой волне и строится плоскость фронта этой волны, в которой должны располагаться траектории движения частиц в обменных волнах. Это существенно увеличивает достоверность их выделения. В большинстве случаев при полярной корреляции вместо нахождения в пространстве полного вектора достаточно ограничиться определением ближайшей к нему (оптимальной) составляющей многокомпонентной полярной сейсмограммы.

Описанная методика измерений позволила выявить влияние рельефа дневной поверхности на структуру волнового поля в начальной части сейсмограмм. Экспериментальные исследования выполнялись на северных склонах Заилийского Ала-Тау. Резкий переход от гор к равнине, характерный для этих мест, позволил расположить станции при сравнительно небольших расстояниях между ними в горах и на равнине и сопоставить записи одних и тех же землетрясений на этих станциях (рис. 1, 2).

Записи равнинной станции (рис. 1а) отличаются сравнительной простотой. Наиболее интенсивными в начальной части сейсмограмм являются продольные волны, направления движения частиц в которых близки к вертикали (см. рис. 1б). На составляющих, близких к плоскости фронта продольной волны, обычно выделяются обменные волны. Например, на рис. 1а вслед за каждой интенсивной волной  $P$  с интервалом времени  $\Delta t = 1,0$  сек. уверенно выделяются обменные волны  $PS$ , связанные с кровлей палеозойского фундамента.

Анализ материалов длительных наблюдений на станции, расположенной в горах на высоте около 3000 м, показал (типичная сейсмограмма приведена на рис. 2а), что начальная часть сейсмограммы представляет собой сложное волновое поле, образованное большим числом волн. Как правило, за сравнительно слабой первой продольной волной с направлением смещения частиц, близким к вертикали, регистрируется длительный дуг существенно более интенсивных колебаний, поляризованных в различных направлениях и не только в плоскости фронта продольной волны ( $S_{1,6}$  и  $S_3$ ), но и вдали от нее ( $S_{2,4}$  и  $S_{5,7}$ ). Были выполнены специальные эксперименты, показавшие, что эти колебания не связаны с техникой регистрации и характерны для записей, полученных на станции, расположенной в горах.

Можно утверждать, что сложное волновое поле в начальной части сейсмограмм, наблюдаемое на станциях в горах, не связано с глубинным строением и является результатом влияния неровностей рельефа дневной поверхности. Механизм такого влияния, помимо отражения и преломления, как показали экспериментальные исследования<sup>(8)</sup>, может быть объяснен взаимодействием падающей волны с неровностями рельефа, в результате чего, в частности, происходит превращение части энергии продольной волны в энергию поверхностных волн. В этих условиях выделение обменных волн, как правило, не представляется возможным.

Аналогичное усложнение сейсмограмм может быть связано не только с рельефом дневной поверхности, но и с неоднородностями верхней части разреза в условиях сложного рельефа. Наблюдений в подобных условиях в сейсмологическом диапазоне частот пока нет. Поэтому мы ограничимся рассмотрением полярной сейсмограммы, полученной в Саратовском Заволжье в сейморазведочном диапазоне частот<sup>(3)</sup>. Структура сейсмограммы (рис. 3) практически не отличается от сейсмограмм, характерных для

горных условий. Вслед за слабой первой волной следует длительный и малоразрешенный дуг колебаний, поляризованных в горизонтальной поверхности.

Таким образом, полярная корреляция, основанная на изучении поляризации сейсмических волн, позволяет получить более объективные сведения о волновых полях. Особое значение это имеет при изучении волн, поляризованных в различных направлениях в пространстве.

Рельеф дневной поверхности оказывает сильное влияние на структуру сейсмограмм. Это влияние приводит к образованию в начальной части сейсмограмм интенсивных волн, поляризованных по типу обменных волн. Последнее существенно усложняет выделение обменных волн и в отдельных случаях делает его невозможным.

Сильное влияние на структуру начальной части сейсмограмм оказывают также и неоднородности верхней части разреза.

Разработанная технология трехкомпонентных полевых измерений и применение полярной корреляции для выделения обменных волн существенно улучшают качество полевых материалов и повышают достоверность геологической интерпретации наблюдений методом обменных проходящих волн.

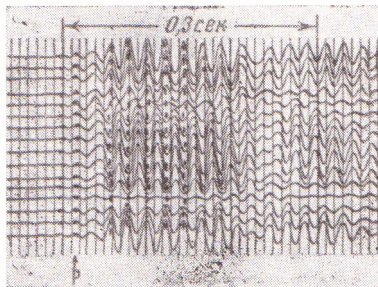


Рис. 3. Начальная часть сейсмограммы взрыва. Коническая азимутальная сейсмограмма,  $\psi=30^\circ$

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта  
Академии наук СССР  
Москва

Поступило  
17 V 1973

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> А. С. Алексеев, И. Л. Нерсесов, Г. М. Цибульчик, Физика Земли, № 8 (1972).  
<sup>2</sup> С. С. Андреев, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 1 (1957). <sup>3</sup> Е. И. Гальперин, Азимутальный метод сейсмических наблюдений, М., 1955. <sup>4</sup> Е. И. Гальперин, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 9 (1957). <sup>5</sup> Р. М. Гальперина, ДАН, т. 182, № 2 (1968).  
<sup>6</sup> Г. А. Гамбурцев, ДАН, т. 87, № 1 (1952). <sup>7</sup> Л. Г. Данциг, А. А. Дергачев и др., О возможности выделения обменных волн на записях удаленных землетрясений. Методика сейсмических исследований, «Наука», 1969.