

Член-корреспондент АН СССР Г. А. ГАМБУРЦЕВ

О НОВОМ ВИДЕ ФАЗОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Под корреляцией в сейсморазведке понимают операцию прослеживания волн (волновая корреляция) или фаз волн (фазовая корреляция) в функции положения точек наблюдений. Этот вид корреляции будем называть «позиционным» (1).

Применение корреляционных методов в сейсморазведке обеспечило успех методу отраженных и, в последнее время, методу преломленных волн (2). Геофизическим институтом АН СССР начаты также работы по внедрению корреляционных методов регистрации и анализа сейсмических волн в сейсмологию. При рассмотрении задач, стоящих в этой области, выяснилось, что, кроме позиционной корреляции, при регистрации землетрясений встречается необходимость введения некоторых других видов корреляции, особенно «азимутальной» корреляции.

Последняя состоит в прослеживании фаз сейсмических волн в функции азимута оси максимальной чувствительности горизонтального сейсмографа (сокращенно — азимута оси сейсмографа) при неизменном положении точки наблюдения.

Соответствующая данному виду корреляции многоканальная сейсмограмма должна представлять собой совокупность записей компонент горизонтального смещения почвы в различных азимутах, причем записи должны быть расположены в порядке возрастания (или убывания) азимута; разность азимутов для соседних записей должна быть тем меньше, чем сложнее форма колебаний.

Получить такую n -канальную сейсмограмму ($n > 2$) можно двояким путем: а) при помощи n идентичных горизонтальных сейсмографов, расположенных в соответствующих азимутах, и б) расчетным путем, исходя из записи двух компонент горизонтального смещения почвы. Есть основания полагать, что первый способ проще и практически точнее.

Кроме азимутальной корреляции, может идти речь о корреляции в функции угла наклона оси сейсмографа, в функции направления подхода сейсмических волн, а также о некоторых комбинированных методах корреляции, например об одновременном осуществлении позиционной и азимутальной корреляции.

Ниже будут приведены соображения в обоснование лишь азимутальной корреляции сейсмических волн, а также будут указаны основные ее особенности.

Корреляция простых волн. В случае простых объемных волн, т. е. при отсутствии явлений интерференции двух или нескольких объемных волн, оси синфазности на многоканальной азимутальной сейсмограмме должны быть «вертикальными», т. е. перпендикулярными оси времен. Оси синфазности внутри углового интервала $0-180^\circ$ должны иметь один разрыв, соответствующий обращению в нуль ампли-

туды колебаний и изменению фазы на 180° . Угол, при котором происходит разрыв корреляции данного рода, очевидно, соответствует тому случаю, когда смещения почвы при подходе волн имеют азимут, перпендикулярный оси сейсмографа, или, другими словами, смещения находятся в плоскости нулевой чувствительности сейсмографа. Амплитуды смещений в перпендикулярных направлениях будут, очевидно, максимальными. Амплитуды в функции угла будут изменяться по косинусоидальному закону. Полярная диаграмма амплитуд в функции азимута оси прибора будет иметь вид восьмерки. Форма колебаний, за исключением амплитуды (и фазы, которая может измениться на 180°), должна быть одинаковой на записях всех каналов.

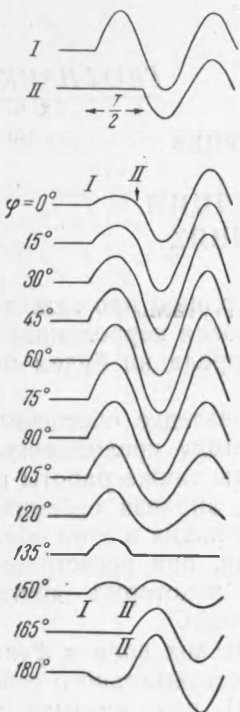


Рис. 1

В выявление зон интерференции. Зоны интерференции могут быть обнаружены на азимутальной многоканальной сейсмограмме, если азимуты смещений интерферирующих волн разные. Одним из признаков интерференции будет служить изменение формы колебаний при переходе от одного канала к другому. Резкость изменения формы колебаний может быть разной в различных угловых интервалах. В одном интервале углов форма колебаний может меняться настолько мало, что создается впечатление о наличии лишь одной простой волны. Наоборот, в другом интервале углов будут происходить весьма резкие изменения формы, что позволит обнаружить интерференционные явления и, соответственно, предохранить от возможной ошибки в идентификации волн на разных каналах.

В качестве примера приведем теоретическую азимутальную сейсмограмму (см. рис. 1), построенную для случая интерференции двух внезапно начинающихся синусоидальных колебаний одинакового периода (колебания I и II в верхней части рис. 1). Смещения в волне I происходят в азимуте $\varphi = 75^\circ$, а в волне II в азимуте $\varphi = 0^\circ$; разность времен начала колебаний (вступлений) равна половине периода колебаний; амплитуда волны I в $\sqrt{2}$ раз больше амплитуды волны II. В нижней части рис. 1 представлен результат интерференции этих волн для азимутов от 0 до 180° через 15° . Из рисунка видно, что в пределах углов $0-120^\circ$ форма колебаний качественно меняется мало, а вступление волны II почти незаметно. Наоборот, в интервале углов $120-180^\circ$ происходят резкие качественные изменения формы колебаний. Вступление волны II особенно четко видно на компонентах $135-150^\circ$.

Этот пример иллюстрирует также трудность визуального выявления зоны интерференции при наличии лишь двух горизонтальных компонент смещений. Если бы, например, имелись лишь записи компонент 15 и 105° , то судить о приходе волны II на фоне волны I было бы значительно труднее, чем по приведенной здесь полной азимутальной сейсмограмме.

В других случаях в результате интерференции будет происходить эллиптическая или круговая поляризация колебаний. На сейсмограммах этот вид интерференции выразится появлением наклонных осей синфазности.

Корреляция в случае доминирующих волн. Если на интенсивную волну накладывается волна, обладающая значительно меньшей интенсивностью, то интерференционные явления на азимутальной сейсмограмме в большей части области прослеживания будут слабо

выражены. Исключение будет составлять лишь область обращения фазы доминирующей волны, где изменения формы колебаний могут быть значительными. По прохождении этой зоны форма колебаний доминирующей волны на сейсмограмме должна восстановиться (с переменной знака). Таким образом, можно ожидать, что интерференционные явления не будут препятствовать использованию доминирующих волн.

Корреляция при наличии микросейсм. Особенности корреляции будут такие же, как при интерференции доминирующих волн с мало интенсивными. Азимутальное корреляционное прослеживание, аналогично позиционной корреляции в сейсморазведке, должно помочь выделению полезных колебаний среди помех.

При сейсмических наблюдениях, ведущихся в диапазоне высоких частот, может быть применен специальный прием для выделения регулярных сейсмических волн среди помех (микросейсм). Горизонтальные сейсмографы следует для этого расставить в пределах площади, достаточно малой для того, чтобы регулярные колебания не имели заметного фазового сдвига, и вместе с тем достаточно большой для того, чтобы корреляционная связь между микросейсмами, записанными отдельными сейсмографами, отсутствовала. В этом случае на азимутальной сейсмограмме полезные сейсмические волны будут выделяться среди помех по тому признаку, что они, в отличие от помех, будут хорошо коррелироваться.

О выявлении слабых волн на фоне сильных. При наблюдениях при помощи однокомпонентных сейсмографов могут остаться незаметными некоторые виды волн, имеющие небольшую интенсивность по сравнению с другими волнами, приходящими одновременно. Если между интерферирующими волнами существует различие в азимутах смещений (как, например, это большей частью имеет место для продольных и поперечных волн при землетрясениях), то использование разнокомпонентных сейсмографов должно помочь расчленению интерферирующих волн. В сейсмологии этим пользуются, но в недостаточной степени. Положим, что приходят две волны, отличающиеся по азимуту смещений и по амплитуде. Если интенсивность одной волны в несколько раз больше интенсивности другой, то менее интенсивная волна станет заметной на сейсмограмме лишь при определенных ориентациях сейсмографа. Для выделения более слабой волны необходимо, чтобы азимут смещений в сильной волне был близок к азимуту плоскости нулевой чувствительности сейсмографа.

Такого рода случаи, при наличии только двух горизонтальных взаимно-перпендикулярных сейсмографов, будут встречаться редко. Азимутальная многоканальная установка, очевидно, позволит систематически иметь дело с требуемыми условиями записи. Действительно, при достаточно малом углом интервала $\Delta\varphi$ между соседними сейсмографами всегда найдется такой сейсмограф, который почти не будет реагировать на данную сильную волну и вследствие этого окажется способным зафиксировать слабую волну, отличающуюся по азимуту смещений. Это обстоятельство может иметь особое значение для расчленения продольных и поперечных волн при регистрации землетрясений.

Об улучшении сопоставимости записей землетрясений. Если регистрация землетрясений ведется с помощью только двух горизонтальных сейсмографов, сопоставление сейсмограмм разных землетрясений, очаги которых находятся в разных азимутах, сильно затруднено. Введение многоканальной записи позволит получать однородный материал, более удобный для сравнительного анализа, в частности для расшифровки типов волн, так как на сравниваемых многоканальных сейсмограммах всегда могут быть выбраны такие каналы, которые соответствуют почти одинаковой ориентации сейсмографов по отношению к направлениям на эпицентр. Это же замечание относится и к

сравнению сейсмограмм одного землетрясения на разных станциях, а также разных землетрясений на разных станциях.

Повышение точности определения азимутов смещений. Как было указано выше, азимуты смещений качественно могут быть определены по азимутам тех сейсмографов, которые дают нулевую амплитуду смещений. Более точное определение азимута может быть произведено путем составления полярной диаграммы амплитуд смещений $A = A(\varphi)$ и определения ее осей симметрии. Так как при этом используется большое число точек, то азимут таким способом определяется точнее, чем только по двум проекциям вектора смещений (по компонентам X и Y). К этому следует прибавить, что при корреляционном методе записи исключаются ряд ошибок (за счет явлений интерференции и др.), которые свойственны некорреляционным установкам.

В заключение отметим, что методы азимутальной корреляции могут найти применение в решении ряда важных задач сейсмологии: изучении миграции очагов землетрясений, определении динамических характеристик очагов, изучении сейсмичности отдельных тектонических структур и т. д.

Что касается применения азимутальной корреляции для сейсморазведки, то перспективы здесь более ограничены. Можно думать об использовании данного метода лишь при решении отдельных частных задач. Одной из таких задач может явиться изучение крупных черт глубинного геологического строения в горных районах, где обычные виды корреляции не будут давать положительных результатов из-за сложности поверхностного рельефа.

Поступило
8 IX 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. А. Гамбурцев, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., № 1, 19 (1946).
² Г. А. Гамбурцев, Ю. А. Ризниченко и др., Корреляционный метод преломленных волн, изд. АН СССР, М., 1952.