

УДК 550.83:553.98

© И.С. Файзуллин, И.А. Чиркин

СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

И.С. Файзуллин, И.А. Чиркин

Трещиноватость горных пород представляет большой интерес при решении многих геолого-геофизических задач в нефтегазовой отрасли, при инженерных изысканиях, в прогнозе землетрясений и т.д.

Сейсмоакустические методы изучения трещиноватости горных пород основаны на определении кинематических и динамических характеристик упругих волн, распространяющихся в исследуемом массиве. Так, открытая трещинная пустотность в скальных массивах определяется по скоростям продольных волн в предположении, что среда состоит из параллельных слоев породы и трещин [1]. При этом получаются значения пустотности, сопоставимые с данными геотехнических способов измерений. Наибольшее распространение получили скважинные методы выделения трещиноватых зон. Так, в акустическом каротаже трещиноватые участки пород выделяются по фазо-корреляционным диаграммам (ФКД). Интервалам с наибольшей густотой и раскрытостью трещин соответствуют участки ФКД с наибольшей перемятостью осей синфазности продольных и поперечных волн и наличием коротких осей синфазности вторичных волн, образованных на трещинах. Наибольший вклад в разработку методики выделения трещиноватых зон по данным акустического каротажа внесли Кузнецов О.Л. [2] и Дзедзбань И.П. [3].

В сейсморазведке трещиноватые зоны выделяются по нарушениям осей синфазности вблизи геологических разломов и по затуханию упругих волн. Здесь следует отметить методику выделения нарушенных зон по динамическим параметрам продольных волн, приведшую к установлению (в комплексе с другими методами) явления парагенезиса субвертикальных зонально-кольцеобразных геофизических, геохимических и биогеохимических полей в осадочном чехле земной коры [4].

Одним из разработчиков этой методики является О.Л. Кузнецов. Динамические параметры упругих волн несут большую информацию о структуре пород, и одним из основных параметров является затухание. Поэтому представляется целесообразным рассмотреть вопрос о затухании упругих волн в горных породах. Затухание складывается из потерь энергии за счет неидеальной упругости (поглощения) и потерь за счет рассеяния на неоднородностях. Эффективный коэффициент затухания $\alpha_{\Sigma\phi}$ представляется в виде:

$$\alpha_{\Sigma\phi} = \alpha_n + \alpha_p, \quad (1)$$

где α_n — коэффициент поглощения,
 α_p — коэффициент рассеяния.

Существует много механизмов поглощения упругих волн, рассмотрение которых требует специального обсуждения. Отметим только, что в горных породах эффективный коэффициент затухания в сейсмоакустическом диапазоне частот линейно зависит от частоты (декремент затухания постоянен).

Чтобы рассматривать рассеивающие свойства среды, представляющие наибольший интерес для выделения трещиноватых зон, необходимо выбрать адекватную модель. Такой моделью является среда со случайно распределенными неоднородностями. В работе [5] рассматривается модель рассеяния упругих волн на множестве дискретных рассеивателей (упругих включений), распределенных по характерному размеру. Модель дает линейную зависимость коэффициента затухания когерентного поля от частоты при слабой дисперсии фазовой скорости в широком диапазоне частот, т.е. зависимости, наблюдаемые в реальных условиях. В работе [6] показывается, что зависимость (1) справедлива только для случаев, когда регистрация осуществляется апертурой большого диаметра D ($D > R_k$, где R_k — радиус корреляции случайного поля: $R_k \geq \lambda$, где λ — длина волны). В этом случае, вследствие осреднения на большой базе автоматически обеспечивается прием когерентной части поля. В реальных условиях $D < R_k$ и поэтому помимо когерентного поля регистрируется полный флуктуационный вклад. Отсюда следует, что получаемые оценки эффективного затухания должны зависеть от вида функции поля проходящих волн, используемых при обработке и в различной мере учитывающих этот вклад. Так, в методе амплитудного годографа, который обычно используется в сейсморазведке, коэффициент затухания зависит от расстояния [6]. Это связано с тем, что на близких расстояниях (области слабых флуктуаций) вклад рассеянных волн мал, а на больших расстояниях (область сильных флуктуаций) прямая волна интерферирует с многочисленными перерассеянными вторичными волнами, что приводит к уменьшению затухания.

Из вышеизложенного следует, что в горных породах при распространении упругих волн происходит сильное рассеяние энергии на неоднородностях. Из оценок, проведенных в [6], декременты поглощения и рассеяния различаются незначительно. Поскольку наиболее контрастными неоднородностями являются трещины, то и рассеивание в трещино-

ватых средах должно быть наибольшим. Отсюда появляется принципиальная возможность выделения трещиноватых зон путем регистрации рассеянных волн. Одним из методов, реализующих эту возможность, является метод сейсмической локации бокового обзора, в разработке которого принимал активное участие О.Л. Кузнецов [7]. Сущность метода

заключается в создании таких условий излучения и приема, при которых отраженные от сейсмических границ волны будут подавляться, а рассеянные волны – усиливаться. Это достигается тем, что апертуры излучения и приема выносятся за площадь исследования (рис. 1) и обработка материалов ведется таким образом, что происходит фокусировка излу-

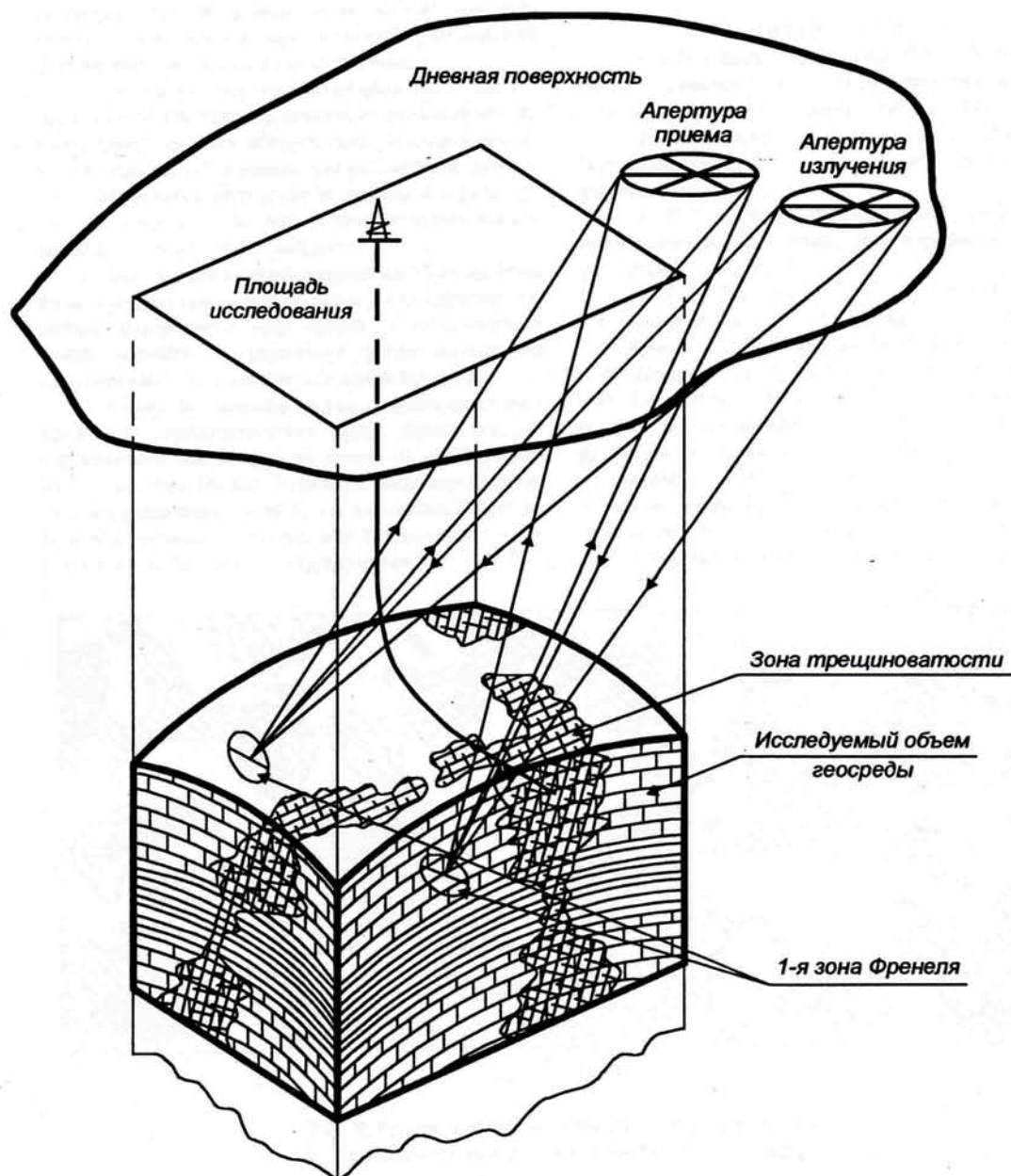


Рис. 1. Схема сейсмической локации бокового обзора

чения и приема по годографу рассеянных волн на заданный элемент объема геосреды. Повторя фокусировку для всех элементов, на которые разбивается исследуемый объект, получают распределение энергии рассеянных волн для всего объема. Поскольку энергия рассеяния пропорциональна количеству трещин в единице объема, распределения энергии соответствуют распределению трещиноватости. Естественно, что на данном этапе можно говорить только о качественной характеристике (больше или меньше трещин), а не о количественной.

Поскольку энергия рассеянных волн на 1-2 порядка меньше энергии зеркально отраженных, то фокусировка должна обеспечивать усиление рассеянных волн на 1-2 порядка, что достигается при количестве пунктов излучения и приема в соответствующих апертурах до 100. (Соответственно накопление ведется по 10000 трассам).

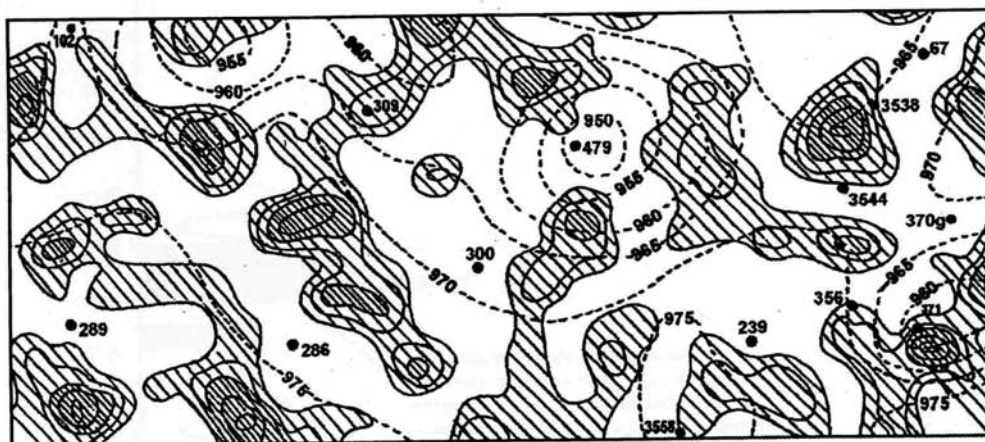
Имея распределение энергии рассеянных волн по объему, можно получить такое распределение по любой поверхности или линии. Соответственно можно получить распределение трещиноватости по продуктивному коллектору или вдоль скважины.

В качестве примера на рис. 2 приводится распределение трещиноватости вдоль продуктивного карбонатного коллектора на одном из месторождений Татарстана. На рис. 3 приводится распределение энергии рассеянных волн вдоль скважины 20009 на Ново-Елховском месторождении Татарстана, пробуренной в кристаллическом фундаменте.

В настоящее время метод сейсмической локализации бокового обзора успешно применяется для изучения трещиноватости карбонатных коллекторов для целей определения направления бурения горизонтальных скважин и определения мест заложения эксплуатационных. Но возможности метода этим не ограничиваются, и работа в направлении расширения круга решаемых вопросов продолжается.

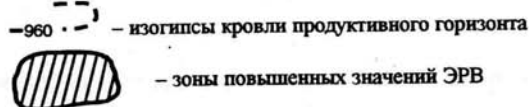
ЛИТЕРАТУРА

1. А.И. Савич, В.И. Контев, В.Н. Никитин, З.Г. Яценко. Сейсмические методы изучения массивов скальных пород. Недра, Москва, 1969 г., 239 с.
2. Б.Н. Ивакин, Е.В. Карус, О.Л. Кузнецов. Акустический метод исследования скважин. Недра, Москва, 1978 г., 320 с.
3. И.П. Дзедань. Акустический метод выделения коллекторов с вторичной пористостью. Недра, Москва, 1981 г., 160 с.
4. Л.М. Зорькин, Е.В. Карус, О.Л. Кузнецов, Г.А. Могилевский, А.В. Петухов, В.Г. Чахмахчев, Л.Н. Давыдов, М.А. Киричек-Бондарева, З.А. Корх, М.К. Поликов, А.В. Сидоренко, С.А. Сидоренко, Н.И. Белоликов, Г.В. Рогоцкий, И.А. Чиркин. Открытие, зарегистрированное 24 июля 1980 г., с формулой: Установлено неизвестное ранее явление парагенезиса субвертикальных зонально-кольцеобразных геофизических, геохимических и биогеохимических полей, заключающееся в том, что в осадочном чехле земной коры происходит локали-



М-6 1:25000

Рис. 2. Распределение энергии рассеянных волн (ЭРВ) в интервале продуктивной карбонатной толщи



зация аномалий геофизических, геохимических и биохимических полей, обусловленная воздействием совокупности полей изотермических напряжений, деформаций горных пород и локальных полей напряжений, образующихся в процессе эволюции месторождений полезных ископаемых. Ежегодник Большой Советской Энциклопедии, 1981, вып. 25, стр. 471.

5. С.А. Шапиро, И.С. Файзуллин. О затухании сейсмических волн в горных породах как в дис-

кретных рассеивающих средах. Известия АН СССР, Физика Земли, № 9, 1986 г., 56-63 с.

6. И.С. Файзуллин, С.А. Шапиро. Особенности затухания сейсмических волн в случайно-неоднородных средах. Доклады АН СССР, Геофизика, 1988 г., т. 302, № 5, 1073-1077 с.

7. Б.П. Дьяконов, О.Л. Кузнецов, Ю.Г. Раевский, И.С. Файзуллин, И.А. Чиркин, С.И. Шленкин. Патент РФ № 2008697. Способ сейсмической разведки горных пород. Приоритет от 22.04.1991.



Рис. 3. Распределение энергии рассеянных волн (псевдокаротажная кривая) вдоль скважины 20009