Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова, 1987, т. 113

УДК 550.832.44.05:681.3.06(470.21)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА ПРИ РАСЧЛЕНЕНИИ РАЗРЕЗА ПЕЧЕНГСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

С.Г.ПОСПЕЛОВ, В.Г.ТЕРЕНТЬЕВ, М.Б.ШТОКАЛЕНКО, В.Г.СТЕФАНОВИЧ

В работе обобщены экспериментальные данные по изучению кинематических и динамических характеристик упругих волн для 17 скважин общим объемом более 20000 м, расположенных на различных участках Печенгского рудного поля и достаточно полно характеризующих его разрез. Все скважины пробурены с полным отбором керна. Это позволило надежно идентифицировать выделенные по данным акустического каротажа (АК) интервалы разрезов скважин.

При статистическом анализе материалов акустического каротажа (см. таблицу, рис.1) была принята классификация пород и руд Печенгского рудного поля, объединяющая в классы породы с близкими значениями упругих параметров.

Распределения по оценочным критериям (показатели асимметрии и эксцесса, сравнение эмпирического и теоретического распределений) не проти-

Классификация пород и руд Печенгского рудного поля по данным АК

Класс пород	Породы	v_P, км/с	v_S, км/с	$\frac{v_P}{v_S}$
1	Перидотиты	$\frac{5,0-6,2}{5,6}$ (0,23)	$\frac{2,5-3,5}{3,1}$ (0,2)	1,81
2	Филлиты, алевролиты, песчаники	$\frac{5,0-6,4}{5,8}$ (0,25)	$\frac{2,7-3,7}{3,3}$ (0,17)	1,76
3	Туфогенные	$\frac{5,4-6,6}{6,0}$ (0,24)	$\frac{2,9-3,9}{3,4}$ (0,21)	1,76
4	Габбро-диабазы, габбро	$\frac{6,0-7,0}{6,4}$ (0,24)	$\frac{3,2-3,9}{3,5}$ (0,16)	1,83
5	Диабазы	$\frac{5,8-7,8}{6,6}$ (0,41)	$\frac{2,9-4,1}{3,6}$ (0,22)	1,83
6	Пироксениты	$\frac{6,2-7,4}{6,9}$ (0,26)	$\frac{3,3-4,1}{3,8}$ (0,14)	1,81

Примечание. В числителе – диапазон значений, в знаменателе – среднее, в скобках – среднее квадратическое отклонение.

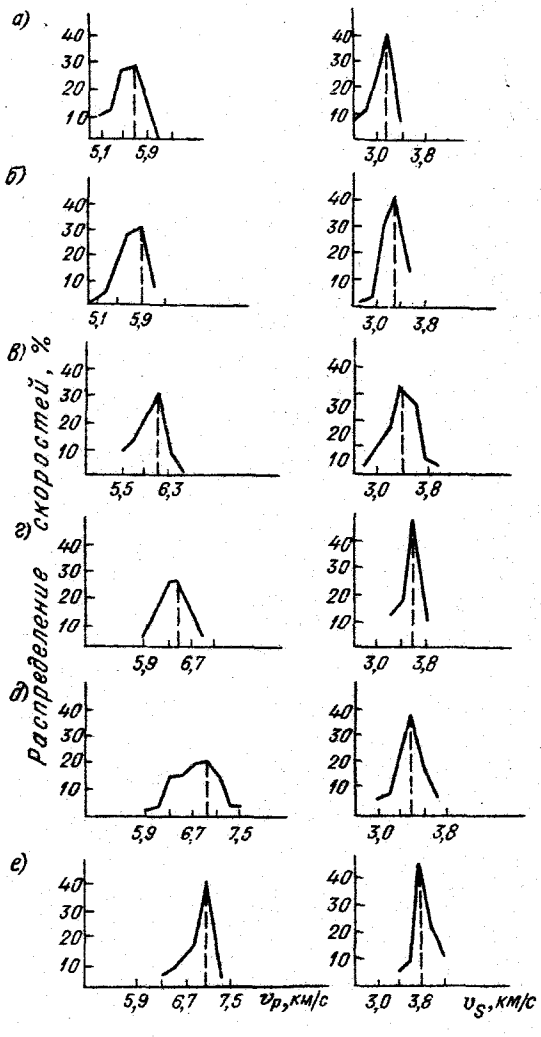


Рис.1. Вариационные кривые распределения скоростей распространения упругих колебаний в различных горных породах по данным АК: а - перидотиты; б - филлиты, алевролиты, песчаники; в - туфогенные породы; г - габбро, габбро-диабазы; д - диабазы; е - пироксениты

зоречат нормальному закону. Наиболее заметное различие между породами отдельных классов наблюдается по модальным значениям продольных скоростей v_P. Сравнение средних значений v_P для пород различных классов по критерию Стьюдента также показывает, что при любых сопоставлениях они различаются значимо (с надежностью 0,99). По другим параметрам разрез продуктивной толщи расчленяется менее четко.

Акустический каротаж позволяет охарактеризовать интервал разреза несколькими параметрами: скоростью продольных (v_P) и поперечных (v_S) волн, видимой частотой продольных (f_P) и поперечных волн (f_S) и коэффициентом затухания α_P, - каждый из которых в отдельности, варьируя в определенных пределах, слабо дифференцирует разрез продуктивной толщи. Но сочетание нескольких параметров позволяет более уверенно решать эту задачу. Это иллюстрирует геолого-акустическая модель Печенгского рудного поля (рис.2), для построения которой использовались осредненные значения кинематических и динамических параметров АК, а также среднее соотношение мощностей отдельных типов пород, слагающих разрез. Из анализа модели видно, что практически для каждого класса пород разреза рудного поля существует комплекс акустических параметров, позволяющий осуществлять диагностику этих классов. Поэтому геолого-акустическая модель помогает в каждом конкретном случае выбирать наиболее рациональное сочетание акустических параметров, обеспечивающих диагностику того или иного типа пород в разрезе скважин.

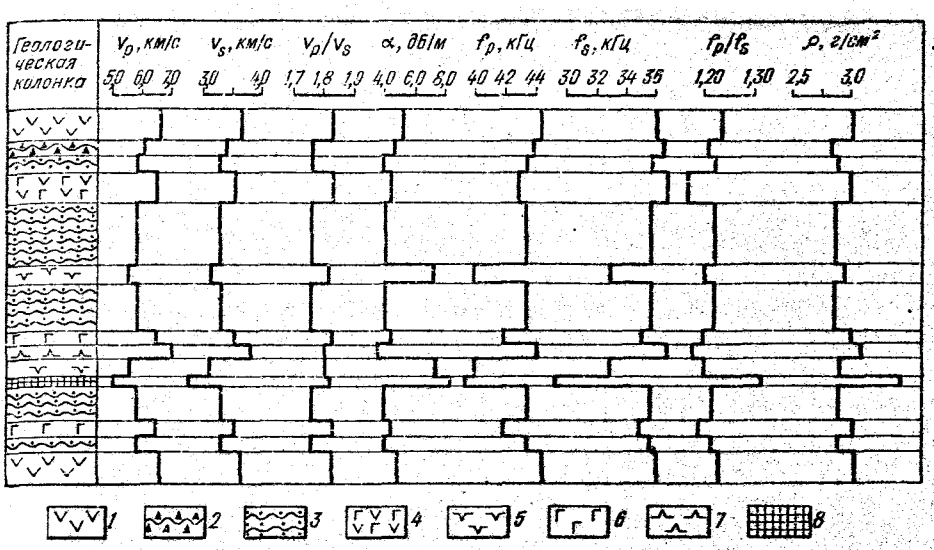


Рис.2. Геоакустическая модель Печенгского рудного поля (ρ – плотность пород) 1 – диабазы; 2 – туфогенные породы; 3 – филлиты, алевролиты, песчаники; 4 – габбро-диабазы; 5 – перидотиты; 6 – габбро; 7 – пироксениты; 8 – руда

Для анализа возможностей диагностики различных пород по комплексу акустических параметров нами был использован алгоритм распознавания образов [2], реализованный в подпрограмме *JDDD* [1]. При этом задача расчленения разреза рассматривалась как задача классификации неизвестных объектов (пород) по известному набору признаков (значения акустических параметров). Каждый объект представлял собой встреченный скважиной пласт мощностью не менее 2 м, охарактеризованный пятью признаками (v_p, v_s, f_p, f_s, α_p). Для обучения и экзамена объекты по каждому классу пород брались из соответствующих выборок (см. рис.1). Номера выбранных объектов определялись с использованием таблиц случайных чисел. По всем диагностируемым объектам имелись материалы документации керна, что давало возможность определить эффективность АК, как отношение числа правильных ответов (считая геологическую документацию достоверной) к общему числу ответов.

Подпрограмма *JDDD* реализует правило классификации, основанное на принципе ближайшего соседа. Это правило [3] относит распознаваемый объект $\vec{X}$ к классу, к которому принадлежит его ближайший эталонный сосед $\vec{Y}$, причем объект $\vec{Y}_i$ называется ближайшим соседом объекта $\vec{X}$, если

$$D(\vec{X}, \vec{Y}_i) = \min_k \left\{ D(\vec{X}, \vec{Y}_k) \right\}, \; k = 1, \ldots, m,$$

где $\vec{X} \equiv (X_1, \ldots, X_n)$; $\vec{Y}_i \equiv (Y_{i1}, \ldots, Y_{in})$; n – число признаков; m – число объектов в обучающей выборке; D – евклидово расстояние между точками,

изображающими объекты в нормированном пространстве признаков,

$$D(\bar{X}, \bar{Y}) = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} \left(\frac{X_j - Y_j}{\sigma_j}\right)^2},$$

σ_j – стандартное отклонение j-го признака в обучающей выборке.

Обучение объединяет в себе операции передачи подпрограмме *JDDD* матрицы значений признаков эталонных объектов [1] и вычисления нормирующих коэффициентов $1/\sigma_j$, обеспечивающих сопоставимость признаков, выраженных в разных единицах измерения.

Экзамен состоит в отыскании эталонного объекта $\bar{Y}_i$, ближайшего к классифицируемому объекту $\bar{X}$ по указанному определению.

Результаты распознавания по классам	Класс пород 1	2	3	4	5	6
1	90	8				
2	6	86	12			
3	4	6	84	2	6	
4			4	92	8	
5				6	82	6
6					4	94
Σ	100	100	100	100	100	100

Рис.3. Диаграмма распознавания

Алгоритм классифицирования не использует каких-либо априорных предположений о распределении вероятности по значениям признаков. Для удобства рассмотрения результатов диагностики, классы пород расположены в порядке увеличения упругих параметров. Эффективность диагностики при 20 объектах для обучения и 50 объектах для диагностики следующая, %:

Класс (см. таблицу)	1	2	3	4	5	6
Эффективность	90	86	84	92	82	94

Диаграмма (рис.3) иллюстрирует характер ошибок распознавания. Ошибки диагностики любого класса пород располагаются в основном в соседних с ним классах. Это объясняется тем, что значения упругих параметров соседних классов частично перекрываются.

Результаты распознавания демонстрируют высокую эффективность акустического каротажа при расчленении пород разреза Печенгского рудного поля и свидетельствуют о целесообразности широкого применения его в комплексе каротажных исследований в данном районе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Программное обеспечение рудной геофизики для ЭВМ третьего поколения (Компоненты АСОМ РГ) / Науч. ред. В.К.Яковлев. Л., изд. НПО „Рудгеофизика", 1984. 132 с.

2. Распознавание образов в задачах качественного прогноза рудных месторождений / Отв. ред. А.Н.Дмитриев. Новосибирск, Наука, 1980. 208 с.

3. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов. М., Мир, 1978. 411 с.