

Член-корреспондент АН СССР Л. Н. ОВЧИННИКОВ, М. П. ВОЛАРОВИЧ,  
Е. И. БАЮК, Б. В. БАРАНОВ

### СКОРОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ В МАГНЕТИТОВЫХ И КОЛЧЕДАНЫХ РУДАХ НЕКОТОРЫХ УРАЛЬСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Современные задачи рудной геологии требуют знания физических свойств и отличительных особенностей как рудовмещающих горных пород<sup>(1)</sup>, так и различных руд. Так как локализация рудных тел приурочена к определенным, иногда довольно большим, глубинам, лабораторные измерения физических параметров должны проводиться при высоких давлениях. В настоящее время накоплен значительный материал по упругим свойствам при высоких давлениях горных пород, которые могут быть вмещающими по отношению к рудам: гранитоидам, карбонатным породам и т. д. Однако для руд в литературе имеются только отдельные упоминания<sup>(2-4)</sup>.

Целью работы является установление влияния минерального состава руды на ско-

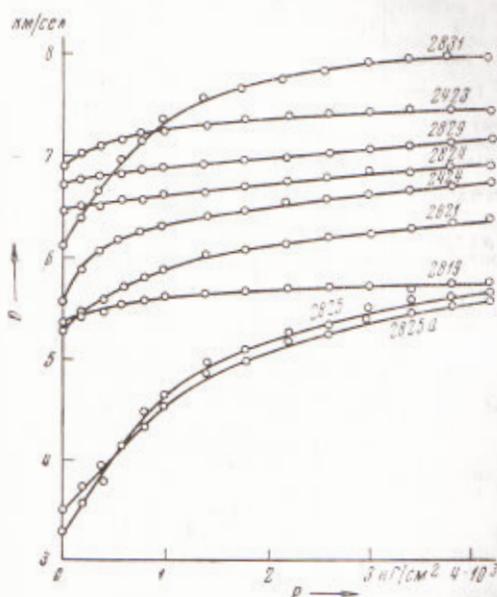


Рис. 1. Зависимость от давления скоростей продольных волн в образцах магнетитовых и колчеданных руд Урала. Номера соответствуют номерам образцов в табл. 1

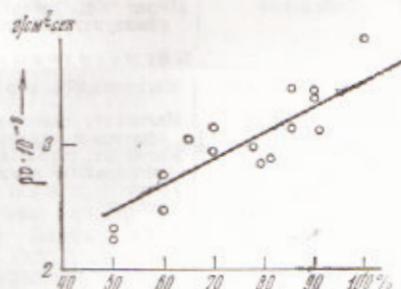


Рис. 2. Значения акустической жесткости магнетитовых руд при соответствующем процентном содержании рудных минералов

рость упругих продольных волн и отыскивание характеристик, типичных для руд и отличающих руды от других горных пород. Экспериментальный материал при давлении до 4000 кг/см<sup>2</sup> получен для образцов магнетитовых и колчеданных руд из уральских контактово-метасоматических, магматических и гидротермальных месторождений, а также образцов магнетитовых руд из известного месторождения в Швеции Кирунаваара. Испытания проводились в установке высокого давления по описанной ранее методике<sup>(5, 6)</sup>. Кроме измерения скорости продольных волн для всех образцов были определены: плотность — методом гидростатического взвешивания

и водонасыщение — под вакуумом и рассчитаны эффективная пористость и акустическая жесткость (произведение плотности на скорость продольных волн). Результаты определения плотности и пористости при атмосферном давлении и скорости продольных волн при различных значениях высокого давления для уральских руд приведены в табл. 1 и дополнены данными других исследователей (2, 3).

Таблица 1

Скорости продольных волн в рудах уральских и некоторых других месторождений при различных давлениях

Номер образца	Место отбора	Минеральный состав	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Пористость, %	Скорости продольных волн (км/сек) при давлениях (кг/см <sup>2</sup> )			
					1	500	1000	4000
<b>Магнетитовые руды</b>								
2825	г. Магнитная	Магнетит 50%, карбонаты 40%, амфибол, хлорит	4,133	3,63	3,23	3,94	4,60	5,62
2825а	г. Магнитная	То же	4,015	3,72	3,50	4,01	4,53	5,60
2830	г. М. Кудбас	Магнетит 60%, кальцит, хлорит, амфибол 40%	4,204	1,34	5,68	5,72	5,78	5,92
2821	Лебяжинское	Магнетит 60%, кальцит, апатит 40%	4,302	1,93	5,32	5,64	5,87	6,36
2424	г. М. Кудбас	Магнетит 60%, гематит 3%, пирит 1%, халькопирит 2%, карбонаты 34%	4,597	1,47	5,80	6,12	6,38	6,74
2423	г. М. Кудбас	Магнетит 70%, пироксен, амфибол 15%, кальцит, хлорит 15%	4,217	1,73	6,87	7,13	7,28	7,45
2670	г. М. Кудбас	Магнетит 75%, гематит 5%, халькопирит, пирит 10%, кальцит, хлорит	4,136	1,57	6,08	6,27	6,40	6,88
2818	Кирунаваара	Магнетит 70%, гематит 1%, кальцит, апатит	4,178	2,72	3,67	5,11	6,11	6,88
2820	г. Высокая	Магнетит 80%, гематит 5—10%, халькопирит 1%, карбонаты	4,543	1,41	5,25	5,76	6,28	6,91
2829	Кусинское	Титаномагнетит 80%, ильменит 5%	4,837	1,21	6,72	6,80	6,88	7,16
<b>Колчеданные руды</b>								
2827	Дегтярское	Пирит 80%, халькопирит, сфалерит 5%, серицит, кварц 15%	4,074	3,50	4,88	5,12	5,39	5,53
2819	Александринское	Пирит 85%, халькопирит 5%, барит, кварц 10%	4,152	2,45	5,34	5,49	5,63	5,75
2824	Гайское	Пирит 85%, халькопирит, сфалерит, барит 5%, кварц 10%	4,130	1,56	6,48	6,55	6,62	6,91
2831	Сибайское	Пирит 90%, кварц 5%, магнетит, сфалерит, кальцит	4,652	1,34	6,17	6,79	7,36	7,96
<b>Магнетитовые руды (из работ (?) и (2))</b>								
	Кавказ, Дашкесан (2)	Магнетит 92%, карбонат	4,71	1,31	4,44	5,85	6,31	6,50
	Порт Генри, шт. Нью-Йорк (?)	Магнетит, небольшие примеси апатита и силикатов	4,866	—	3,8	6,77	6,90	6,99
	Трансвааль (?)	Магнетит, титан 14%, силикатные минералы — в малом количестве	4,54	—	5,9	6,32	6,41	6,52
	Тахавус (?)	То же	4,53	—	2,3	6,65	6,75	6,85
	» (?)	Гематит	5,00	—	7,1	7,72	7,73	7,74

Как и ожидалось, присутствие тяжелых рудных составляющих сильно увеличило плотность образцов руд, которая варьирует от 4 до 5 г/см<sup>3</sup>. Повышенная плотность является главным отличительным признаком рудо-содержащих пород. Значения скорости продольных волн и характер ее изменения с давлением не позволяет выделить руды среди остальных горных пород. На рис. 1 приведены кривые зависимости скорости продольных волн от давления для некоторых магнетитовых и колчеданных руд Урала. Большинство кривых занимает положение, характерное для гранитов и основных интрузивных пород. Наиболее типичным является монотонное повышение скорости с давлением, которое составляет при 4000 кг/см<sup>2</sup> 5—20% по сравнению с атмосферным давлением, но имеет место и более сильное возрастание скорости (до 60%) — для пористых и трещиноватых образцов. Руды с большой пористостью и малой плотностью (образцы №№ 2825, 2825а, 2827 и 2819) характеризуются наименьшими значениями скорости продольных волн даже при высоких давлениях. Известно (2-3), что рудные минералы: магнетит, гематит, пирит имеют большую величину

плотности, превосходящую  $5 \text{ г/см}^3$ , и высокую скорость продольных волн при атмосферном давлении (около  $8 \text{ км/сек}$  и выше). Все эти минералы обладают обычно очень малой пористостью. Руды же, содержащие такие минералы иногда в количестве до  $90\%$ , имеют значительную пористость. В связи с этим нарушаются закономерности, которые можно было бы ожидать, исходя только из минерального состава пород. Для образцов магнетитовых руд с мало различающейся пористостью (исключая образцы №№ 2825 и 2825а) наблюдается повышение плотности и скорости продольных волн с увеличением процентного содержания рудных минералов. При этом учитывается содержание магнетита, гематита и пирита, так как халькопирит имеет более низкие плотность ( $4,09 \text{ г/см}^3$ ) и скорость продольных волн ( $4,6 \text{ км/сек}$ ) (<sup>8</sup>, <sup>9</sup>). Естественно, что на величину скорости оказывает влияние то, какие минералы, кроме рудных, присутствуют в породе. Так, например, образец № 2423, содержащий  $15\%$  пироксена и амфибола, обнаружил более высокую скорость, чем другие образцы с примесями лишь карбонатитов, хлорита и апатита.

На рис. 2 нанесены значения акустической жесткости магнетитовых руд, рассчитанные при давлении  $4000 \text{ кг/см}^2$ , в зависимости от процентного содержания рудных минералов в образцах. Параметр акустическая жесткость является более представительным, чем скорость упругих волн, так как он включает повышенные величины плотности и отражает влияние минерального состава на скорость. Как видно, существует прямая связь между акустической жесткостью и содержанием рудных минералов в магнетитовых рудах. Количественно эту связь устанавливать пока не будем из-за небольшого числа экспериментальных данных. Значительная пористость определила низкие скорости в колчеданных рудах, несмотря на большое содержание пирита. Представляется необходимым продолжить подобные исследования с целью установления количественных соотношений для различных руд, которые, как показало наше исследование, существуют.

Институт минералогии, геохимии  
и кристаллохимии редких элементов

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

Поступило  
29 X 1970

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> В. И. Старостин, Сборн. Физико-механические свойства горных пород верхней части земной коры, М., 1968. <sup>2</sup> Ф. Берч, Сборн. Ультразвук в геофизике, М., 1964. <sup>3</sup> Л. И. Звягинцев, Е. И. Баюк, Изв. АН СССР, сер. геол., № 3 (1969). <sup>4</sup> Н. Е. Галдин, Тр. Инст. физики Земли АН СССР, № 37 (1966). <sup>5</sup> М. П. Воларович, Тр. Инст. физики Земли АН СССР, № 23 (1962). <sup>6</sup> Е. И. Баюк, Тр. Инст. физики Земли АН СССР, № 37 (1966). <sup>7</sup> Б. П. Белков, Сборн. Физико-механические свойства горных пород, М., 1964. <sup>8</sup> С. А. Юшко, М. Е. Богуславский, Изв. высш. учебн. завед., Геология и разведка, № 1 (1969). <sup>9</sup> Справочник физических констант горных пород, под ред. С. Кларка, М. 1969.