

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-

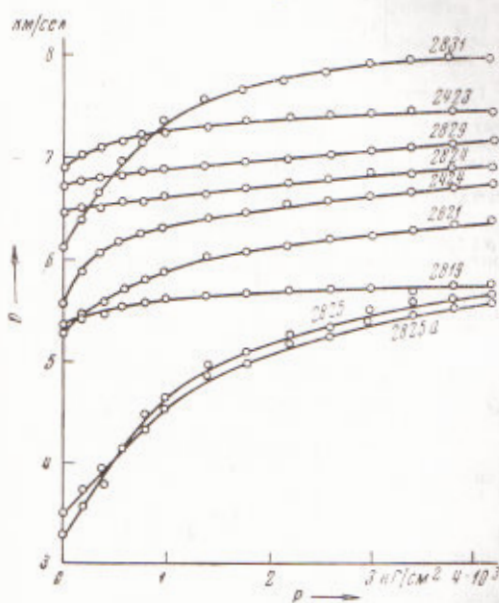


Рис. 1. Зависимость от давления скоростей продольных волн в образцах магнетитовых и колчеданных руд Урала. Номера соответствуют номерам образцов в табл. 1

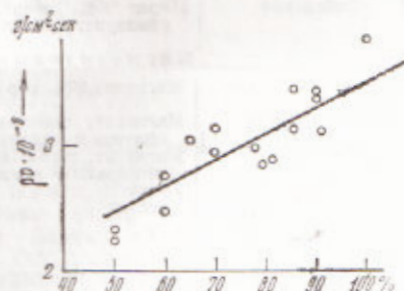


Рис. 2. Значения акустической жесткости магнетитовых руд при соответствующем процентном содержании рудных минералов

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  | Левзянское                   | 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 (*))</b> |                              |   |                              |               |   |      |      |      |
|   | Кавказ, Дашкесан (?)         | 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.