

2. Воларович М. П., Соболев Г. А., Пархоменко Э. И. Пьезоэлектрический эффект кварцевых жил. Известия АН СССР, сер. геофиз., № 2, 1962.
3. Воларович М. П., Соболев Г. А. Пьезоэлектрический метод геофизической разведки кварцевых и пегматитовых жил. Наука, М., 1969.
4. Кондрашов С. Н. Пьезоэлектрический метод разведки. Недра, М., 1980.
5. Селезнев Л. Д., Тетьев Н. Н., Хамидуллин Я. Н. Некоторые результаты экспрессной оценки пьезоэлектрических свойств горных пород на золоторудных месторождениях. В кн.: Состояние и задачи разведочной геофизики, Наука, М., 1970.
6. Селезнев Л. Д., Русакова Е. И. Методика пьезоэлектрической разведки золоторудных месторождений в подземных и наземных условиях. Труды ЦНИГРИ, вып. 119, М., 1976.
7. Геология Армянской ССР. Том VI. Металлические полезные ископаемые. Изд. АН АрмССР, 1967.
8. Магакян Н. И., Карагулян С. О. Тектонные и структурные особенности руд Шаумянского месторождения. Известия АН АрмССР. Науки о Земле, № 2, 1976.

Известия АН АрмССР. Науки о Земле, XXXVIII, № 2, 65—69, 1985.

УДК 550.344.094.92

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Г. Ш. ШАГИНЯН

ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА СКОРОСТИ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН В НЕКОТОРЫХ ПОРОДООБРАЗУЮЩИХ МИНЕРАЛАХ

В проблемной лаборатории экспериментальной сейсмоtectоники Ереванского политехнического института уже несколько лет используется установка высокого давления до 20 кбар с внутренним обогревом до 800°C. Результаты экспериментов, проведенных в установке высокого давления и температуры по специально разработанной методике, позволили оценить влияние температуры на скорость и поглощение продольных волн в некоторых минералах в широком диапазоне давлений и температур [6].

Некоторые сведения о пороодообразующих минералах, их упругих параметрах при атмосферном давлении, способах расчетов усредненных значений упругих постоянных минералов и горных пород приведены в работах [1, 4, 16]. Скорости упругих волн в условиях высоких всесторонних или квазигидростатических давлений для различных минералов изучались в лаборатории высоких давлений ИФЗ [3, 14, 7, 12] и за рубежом [13, 17], результаты обобщены в работе [8]. Однако, почти нет сведений о влиянии высокой температуры на скорость упругих волн при высоких давлениях.

В настоящей работе исследовалась скорость продольных волн при одновременном воздействии высоких давлений и температур для минералов: граната, кварца, берилла и др. Очень важно измерять скорость упругих волн в соответствии с кристаллографическими направлениями в минералах, что дает возможность использовать их для расчета упругих постоянных минералов [9] и сравнивать минералы между собой. Гранат является пороодообразующим минералом основных и ультраосновных пород. Гранатизация, очевидно, процесс, в значительной мере определяющий строение некоторых слоев земных недр. Степень гранатизации пород мантии оказывает большое влияние на процессы их дифференциации и, в первую очередь, на процесс образова-

ния и состав базальтовых магм [10]. Поэтому представлялось интересным проследить влияние температуры на скорость упругих волн в гранатах при высоких давлениях. Скорость при высоких давлениях и температурах была изучена для граната альмандина 4191 в направлении (100), и граната альмандина 4192 в направлении (111). Представленные на рис. 1а изотермы для гранатов 4191, 4192 позволяют наблюдать изменение скорости продольных волн с давлением при комнатной температуре. С увеличением давления при комнатной температуре скорости продольных волн в изученных минералах гранатов увеличиваются и при $P=15$ кбар достигают значений 8,3—8,4 км/сек. Рассматривая на рис. 1б изобары скорости продольных волн, можно видеть, что характер уменьшения скорости с температурой при постоянном давлении практически линейный. Из рис. 1 видно, что хотя изучались гранаты в различных кристаллографических направлениях, тем не менее при одном и том же давлении влияние температуры на скорость в них почти одинаково.

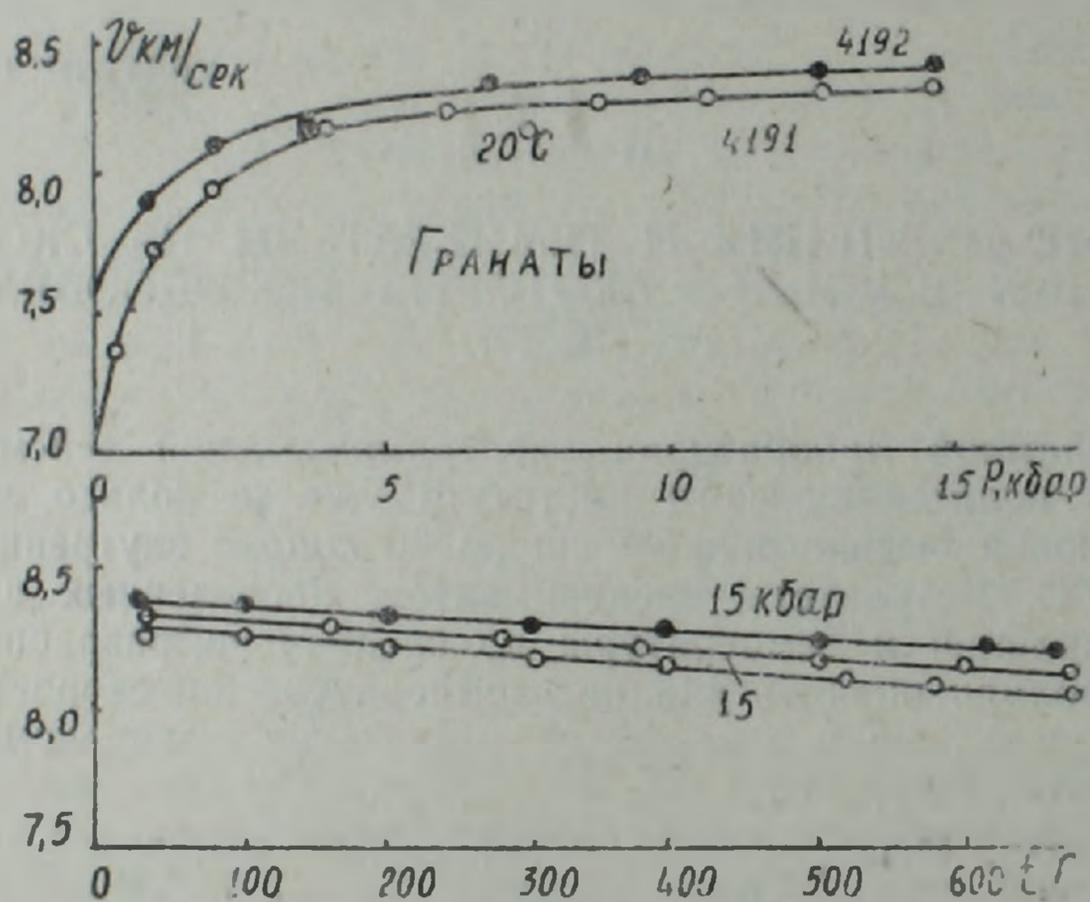


Рис. 1. Изотермы (а) и изобары (б) скорости продольных волн: точки—для граната 4192 в направлении (111); кружки—для граната 4191 в направлении (100).

Многие горные породы содержат кварц, который составляет около 12% земной коры. Поэтому изучение упругих свойств этого минерала представляет большой интерес. Был исследован природный кварц при высоких давлениях и температурах в направлении главной кристаллографической оси Z .

На рис. 2а показан график изменения скорости продольных волн в кварце при высоком давлении и комнатной температуре. При атмосферном давлении $v_p=6,10$ км/сек, с увеличением давления скорость возрастает и при $p=15$ кбар составляет 6,5 км/сек. Такие значения скорости с давлением для кварца кристаллического в направлении

(001) хорошо согласуются с данными других авторов [8]. Влияние температуры до 700°C на скорость в кварце при давлении 15 кбар показано на рис. 26. Изменение скорости с температурой незначительно $(dv/dt)_p = -0,17 \text{ м/сек. град}$, при 15 кбар. На этом же рисунке показано влияние температуры на скорость продольных волн в кварце при давлении 4 кбар, по данным Е. И. Баяк и Р. В. Тедеева. Следует отметить, что очень трудно подобрать образцы естественных минералов необходимых размеров без каких-либо дефектов. Поэтому, как видно из приведенных на рис. 1 и 2 кривых, на начальном участке давлений 2—4 кбар наблюдается резкое увеличение скорости, а при более высоких давлениях повышение скорости происходит значительно медленнее и зависимость становится почти линейной. Наибольшее изменение скорости в начальной области давлений претерпевает гранат 4191, имеющий, очевидно, больше дефектов.

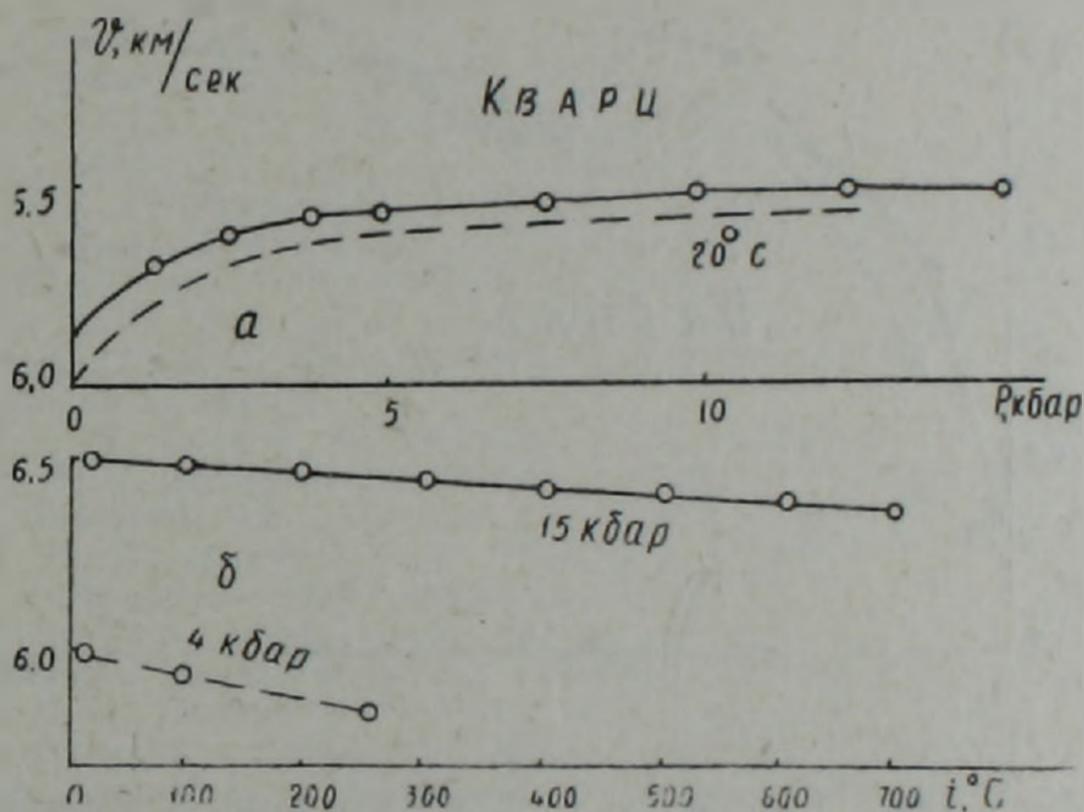


Рис. 2. Изотермы (а) и изобары (б) скорости продольных волн: сплошная линия—природный кварц в направлении (001), пунктирная линия (а)—природный кристалл в направлении (001), по данным [8], пунктирная линия (б)—искусственный кристалл, по данным [16].

Для геофизики, наряду с исследованиями физических свойств горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах, важное значение имеют эксперименты по изучению полиморфных превращений в минералах при высоких давлениях, которые привлекаются для интерпретации сейсмических разрывов в недрах Земли [5, 9, 11]. Для того, чтобы более отчетливо представлять процессы на больших глубинах, необходимо изучать полиморфные превращения в минералах при высоких давлениях и температурах. В качестве объекта исследования был выбран минерал берилл, для которого ранее обнаружены аномалии в изменении скорости с давлением, объясняемые полиморфным превращением [8, 15]. К сожалению, в литературе нет сведений

об изменении структуры берилла с повышением давления, очевидно потому, что структура этого минерала сложна и изучать ее рентгеновским методом при высоких давлениях не представляется возможным. Для уточнения результатов, полученных для берилла при высоких давлениях, был испытан образец, вырезанный перпендикулярно грани кристалла, как в работе [8]. Опыт проводился довольно медленно с большой выдержкой при каждом значении давления. Вначале повышалось только давление до 15 кбар при комнатной температуре. На рис. 3 эта часть эксперимента показана сплошной линией с точками. Как видно, в области давлений 5—10 кбар скорость в берилле понижается, испытывает минимум при 7—8 кбар и затем монотонно возрастает. При максимальном давлении температура повышалась до 500°C, поэтому скорость в образце существенно уменьшалась. После

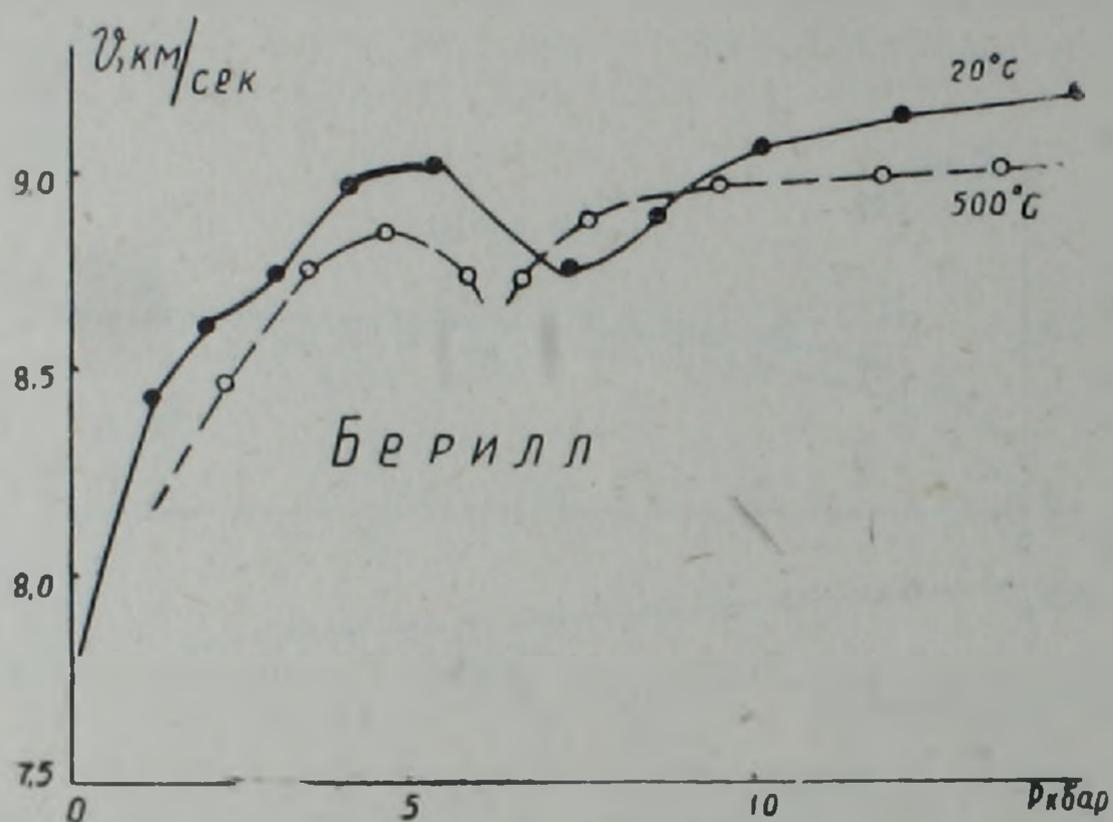


Рис. 3. Зависимость скорости продольных волн от давления для берилла, изотермы для 20°C и 500°C: точки—прямой ход, кружки—обратный ход.

этого давление медленно опускалось, и обратный ход снимался при температуре 500°C. В этом случае также наблюдалось аномальное изменение скорости, причем минимум несколько сместился в область низких давлений. После охлаждения образца опыт был повторен, и результаты эксперимента почти совпали. Таким образом, полученные данные для зависимости $v = f(p, t)$ и сравнение их с ранее полученными результатами для берилла позволяют предположить наличие полиморфного превращения в этом минерале при давлении 5—7 кбар.

В ы в о д ы

1. Специальная установка высокого давления позволяет при давлениях до 15 кбар изучать влияние температуры до 800°C на скорость продольных волн в минералах.

2. Скорости продольных волн с увеличением температуры при высоких давлениях для изученных минералов—граната и кварца линейно понижаются. Однако, с увеличением давления степень изменения скорости уменьшается.

3. Рассчитаны температурные коэффициенты изменения скорости продольных волн в изученных минералах при давлениях до 20 кбар и температурах до 800°C. Для гранатов $K = (4,2-4,4) \cdot 10^{-5}$ 1/град при $p = 10$ кбар и $K = 4,0 \cdot 10^{-5}$ 1/град при $p = 15$ кбар. Для кварца кристаллического эта величина несколько меньше и равна $3,0 \cdot 10^{-5}$ 1/град при $p = 15$ кбар.

4. Результаты экспериментов при высоких давлениях и температурах и сравнение их с ранее полученными данными для минерала берилла позволяют предположить наличие полиморфного превращения в этом минерале при давлении 5—7 кбар.

Ереванский политехнический институт

Поступила 26. 04. 1983.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров К. С., Рыжова Т. В. Упругие свойства породообразующих минералов. ч. I—Известия АН СССР, серия геофизическая, № 9, 1961, ч. II—Известия АН СССР, серия геофизическая, № 12, 1961.
2. Александров К. С., Беликов Б. П., Рыжова Т. В. Вычисление упругих параметров горных пород по минеральному составу. Известия АН СССР, серия геологическая, № 2, 1966.
3. Афанасьев Г. Д., Баюк Е. И., Беликов Б. П., Воларович М. П., Ефимова Г. А., Левыкин А. И. Исследование скоростей упругих волн некоторых породообразующих минералов при давлениях до 20 кбар. Докл. АН СССР, № 3, 1971.
4. Беликов Б. П., Александров К. С., Рыжова Т. В. Упругие свойства породообразующих минералов и горных пород. М., Наука, 1970.
5. Берч Ф. Некоторые геофизические приложения исследования при высоких давлениях. В кн.: Твердые тела под высоким давлением. Мир, М., 1966.
6. Воларович М. П., Вегуни А. Т., Баюк Е. И., Шагинян Г. Ш. Влияние температуры на скорость и поглощение продольных волн в андезитовых породах Армении при давлении до 15 кбар. Известия АН АрмССР, Науки о Земле, № 5, 1979.
7. Воларович М. П., Левыкин А. И. Влияние давления до 40 кбар на упругие свойства некоторых породообразующих минералов. Геофиз. сб., № 54, Киев, 1977.
8. Воларович М. П., Баюк Е. И., Ефимова Г. А. Упругие свойства минералов при высоких давлениях. М., Наука, 1975.
9. Воларович М. П., Баюк Е. И., Ефимова Г. А. Исследование полиморфных переходов в некоторых минералах ультразвуковым методом. Тезисы докл. 9-го Всес. совещ. по эксперимент. и технич. минерал. и петрогр., Иркутск, Изд. Ин-та геохимии СО АН СССР, 1973, № 2, 1966.
10. Геншифт Ю. С., Шейнманн Ю. М. Значение гранатизации в современных моделях верхней мантии. Советская геология, № 11, 1972.
11. Субботин С. И., Наумчик Г. Л., Рахимова И. Ш. Мантия Земли и тектогенез. Научная думка, Киев, 1968.
12. Томашевская И. С. Скорости продольных волн в некоторых горных породах и минералах Хибинского массива при трехосном напряженном состоянии. Сб.: Физико-механические свойства горных пород верхней части земной коры. Наука, М., 1968.
13. Anderson O. L., Lieberman R. C. Sound velocities in rocks and minerals. Vesjac State of the Art Report, Univ. Michigan, № 7885—4—X, 1966.
14. Bajuk E. I., Volarovic M. P., Efmova G. A. Die Geschwindigkeit elastischer Wellen in gestaltbildenden Mineralien bei Drücken bis 15 kbar. Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde, Potsdam, № 34, 1974.
15. Bridgman P. W. Some implications for geophysics of high pressure phenomena Bull. Geol. Sol. Amer., 62, № 5, 1951.
16. Lieberman R. G., Schreiber E. Elastic properties of minerals. Trans. Amer. Geophys. Union, 52, № 5, 1971.
17. Simmons G. Velocity of compressional waves in various minerals at pressures up to 10 kbars. J. Geophys. Res., 69 № 6, 1964.