

М. П. ВОЛАРОВИЧ и Э. И. ПАРХОМЕНКО

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ГОРНЫХ ПОРОД

(Представлено академиком Г. А. Гамбурцевым 21 IX 1954)

Для задачи изучения связи между сейсмическими и электромагнитными явлениями представляют интерес исследования влияния механических напряжений на электрические и магнитные свойства горных пород. В настоящее время известно несколько работ по изучению влияния механических воздействий на магнитные параметры магнетита и других горных пород (¹). Известны также работы, посвященные изучению влияния упругих колебаний на силу тока, пропускаемого через горные породы, и работы по изучению возникновения разности электрических потенциалов в горных породах при прохождении через них упругих волн в полевых условиях, т. е. сейсмоэлектрического эффекта E (²). А. Г. Иванов, открывший последнее явление, объясняет его наличием в горных породах жидкой фазы, обуславливающей комплекс электрокинетических явлений.

В связи с поисками других явлений электризации горных пород под влиянием механических воздействий важно было установить, наблюдается ли у горных пород пьезоэлектрический эффект, который до сих пор не был для них известен. А. В. Шубниковым теоретически обосновано, что вещество, содержащее пьезоэлектрические кристаллы, обладающее ацентричностью и одной из текстур типа ∞ , $\infty \cdot m$ и $\infty : 2$; может проявлять пьезоэлектрические свойства (³). Ввиду того что ряд горных пород, весьма распространенных в земной коре, содержит кварц и другие пьезоэлектрические минералы и часто имеет ориентированную текстуру (полосчатую, флюидалную, такситовую и др. — в гнейсах, гранитах, кварцитах и т. д.), представлялось естественным предположить существование в этих горных породах пьезоэлектрических свойств и исследовать их.

Для этой цели был использован импульсный ультразвуковой сейсмоскоп, разработанный в Геофизическом институте АН СССР для моделирования сейсмических волновых процессов (⁴). Применение этого сейсмоскопа дало возможность обнаружить пьезоэлектрический эффект в образцах горных пород и провести относительное сопоставление величины пьезоэффекта в различных горных породах.

Прибор состоит из блока генератора, блока усилителей, блока электроннолучевой трубки (катодный осциллограф) и двух пьезоэлектрических датчиков из сегнетовой соли 45° X-среза, работавших на резонансных частотах порядка 100—50 кгц. В нашем случае был оставлен только один датчик из сегнетовой соли — излучатель, а другой датчик был заменен образцом исследуемой горной породы. В некоторых случаях, однако, в качестве излучателя работал образец горной породы, а кристалл из сегнетовой соли служил приемником. Электрические импульсы (пики), вырабатываемые в блоке генератора, поступали в пьезоизлучатель и вызывали в нем упругие колебания (ультразвук). Эти упругие колебания, проходя через алюминиевый стержень длиной 60 мм, который играл роль акустической задержки, поступали в исследуемый образец горной породы и в случае наличия пьезоэлектрического эффекта у этого образца преобразовывались в электрические колебания. Последние подавались на уси-

литель, а затем на электроннолучевую трубку. Величина амплитуды электрических колебаний, наблюдаемых на экране этой трубки, зависела от напряжения, возникавшего у исследуемого образца. Оценки пьезоэлектрического эффекта всех горных пород проводилась при максимальном усилении сейсмоскопа. При этом масштаб амплитуды был таков, что 1 мм на осциллограмме соответствовал примерно 3 мв.

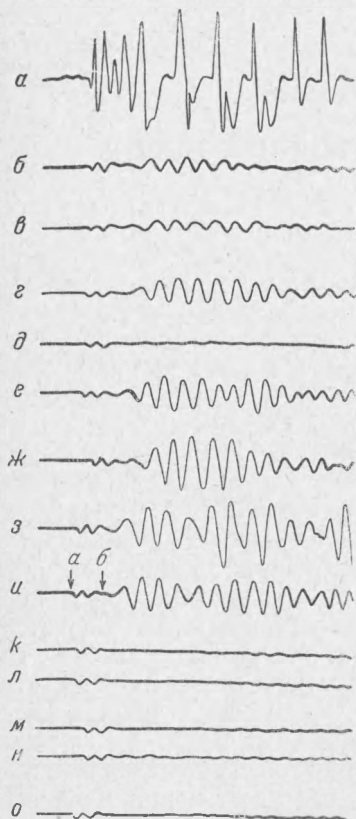


Рис. 1. а — кварц; б — кварцит № 47; в — кварцит № 18; г — песчаник № 48; д — песчаник № 8; е — гранит № 10; ж — гранит № 49; з — гранит № 50; и — гнейс № 51; к — яшма № 23; л — габбро № 15; м — известняк № 27; н — сиенит № 31; о — мрамор № 26

Образец горной породы находился в металлической камере, которая экранировала его от электрических наводок. Дно этой камеры толщиной в 1 мм являлось заземленным электродом, а второй электрод из станиолевой фольги, прилегающей к противоположной грани образца горной породы, включался на вход усилителя. С целью осуществления подвижного электрода, который давал бы возможность проводить опыты с образцами без специально нанесенных на них электродов, фольга приклеивалась к резиновой прокладке, а последняя — к латунной пластине с винтом. При такой системе электродов было возможно наблюдать продольный пьезоэффект; поперечный пьезоэффект изучать было нельзя.

Образцы горных пород изготовлялись в виде прямоугольных параллелепипедов двух размеров: 25 × 25 × 25 и 20 × 20 × 25 мм. Были изучены следующие изверженные, метаморфические и осадочные горные породы: габбро, диабаз, диорит, сиенит, граниты, кварциты, гнейс, мрамор, яшма, песчаники, доломит, известняк и др.

На рис. 1 приведены осциллограммы, полученные при помощи описанного выше метода. Стрелкой а для гнейса № 51 указан электрический импульс, который подается одновременно на излучатель и электроннолучевую трубку для отметки момента излучения. Стрелкой б указан момент, когда фронт упругой волны достигает образца горной породы. При этом упругие колебания преобразовываются в образце в электрические.

Из рассмотрения приведенных осциллограмм видно, что ряд образцов горных пород обнаружил резко выраженные пьезоэлектрические свойства. Но не все образцы горных пород обладают этими свойствами. Пьезоэлектрический эффект обнаруживают те горные породы, которые содержат зерна кристаллического кварца. Из числа исследованных горных пород наибольший пьезоэффект наблюдается у гранитов; несколько меньше он у гнейсов, песчаника № 48 (крупнозернистого) и кварцитов. Такие горные породы, как яшма, сиенит, габбро, мрамор, доломит и известняк при данной чувствительности установки пьезоэлектрических свойств не обнаружили.

На рис. 1 осциллограмма для монокристалла кварца снята при меньшем усилении, чем осциллограммы для всех остальных образцов горных пород. Поэтому относительную величину пьезоэффекта кварца и горных пород на этих осциллограммах по величине амплитуд сравнить нельзя. Вообще же сравнение максимальной амплитуды, наблюдаемой у исследуемого образца, с амплитудой, наблюдаемой у кварца, не имеет смысла.

дованных нами горных пород (в данном случае максимальные амплитуды были получены у гранитов №№ 49 и 50), с амплитудой монокристалла кварца размером $19 \times 19 \times 8$ мм показывает, что пьезоэффект гранита может достигать порядка нескольких процентов от пьезоэффекта чистого монокристалла кварца. Это сравнение ориентировочно, так как образцы гранита и кварца отличались по размерам.

С целью подтверждения пьезоэлектрической природы наблюдаемого эффекта в образцах горных пород необходимо было выяснить наличие полярности. Для выяснения этого заряды сначала снимались с одной поверхности, затем образец поворачивался на 180° и вновь фиксировалась осциллограмма. Следовательно, во втором случае заряды снимались уже с другой поверхности образца. Оказалось, что если

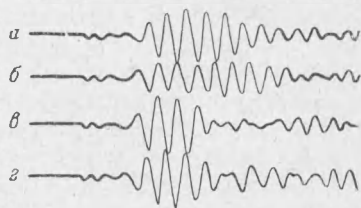


Рис. 2. а — гранит № 50; б — тот же, повернут на 180° ; в — гранит № 50, плоскость 2; г — тот же, повернут на 180°

при вступлении упругой волны в первом случае первое колебание направлено на записи вверх (см. рис. 2), то при изменении положения образца на 180° ход кривой на осциллограмме был обратный и первое вступление направлено вниз. Далее, при включении образца горной породы в качестве излучателя ультразвука, а кристалла сегнетовой соли в качестве приемника ультразвука наблюдался обратный пьезоэффект.

Могло возникнуть предположение, что наблюдавшийся нами у горных пород эффект относится к числу контактных явлений. Однако, как показали специальные опыты, при помещении подвижного электрода на некотором расстоянии (1—3 мм) от испытуемого образца горной породы эффект наблюдался, хотя амплитуда уменьшалась с увеличением расстояния. Это исключает возможность наличия контактного эффекта.

Продольный пьезоэффект исследовался в каждом образце горной породы в трех взаимно-перпендикулярных направлениях. Горные породы, обладающие пьезоэффектом, обнаруживали его во всех трех направлениях. Однако в одних случаях различие амплитуды на трех таких осциллограммах было значительным, а в других случаях невелико.

Таким образом, в наших опытах имело место отступление от правила электризации пьезокварца, которое заключается в том, что при действии механической силы вдоль электрической оси наблюдается продольный эффект, а при действии силы в направлении, перпендикулярном к плоскости, содержащей электрическую и оптическую оси, — поперечный эффект. Отклонение от этого правила объясняется тем, что кварцевая горная порода представляет поликристаллический агрегат, в котором зерна кварца относительно их электрических осей расположены в значительной степени хаотически. Все же в каждом направлении имеется преобладание одинаково ориентированных зерен кварца, что и обуславливает пьезоэффект горных пород. Чем резче выражена ориентация электрических осей в определенном направлении, тем больше будет наблюдаться продольный пьезоэффект в соответствующем направлении.

Наряду с влиянием расположения оптических осей зерен кварца на величину пьезоэффекта, необходимо также отметить роль размеров зерен пьезоэлектрических минералов. Чем крупнее зерно, тем больше наблюдаемый пьезоэффект. Например, песчаник № 48, имеющий в среднем зерна диаметром 0,4 мм, обладает значительно большим эффектом по сравнению с более мелкозернистым песчаником № 8, который состоит из зерен от 0,1 до 0,2 мм (см. рис. 1).

Из изложенного видно, что для горных пород, содержащих зерна кристаллического кварца, удалось обнаружить пьезоэлектрический эффект. Это явление может представить интерес для геофизики в связи с вопро-

сами изучения землетрясений, а также, повидимому, для разведочной геофизики.

Для того чтобы подтвердить предположение А. Г. Иванова о природе эффекта E в горных породах, были также поставлены опыты по воспроизведению сейсмoeлектрического эффекта E по вышеописанной методике в искусственно увлажненных образцах горных пород. При этом было установлено, что до искусственного увлажнения образец доломита при воздействии на него упругих волн электризации не обнаруживал. После увлажнения этого образца при прохождении упругой волны наблюдалось возникновение потенциала на его гранях. Существенно, что знак заряда, подаваемого на электронную трубку, в данном случае не зависел от того, с какой грани образца снимались заряды, а определялся градиентом перепада давления. Таким образом, возникновение потенциала в увлажненных образцах горных пород при прохождении упругой волны и отсутствие полярности, по нашему мнению, являются достаточным подтверждением того, что наблюдавшийся в полевых условиях А. Г. Ивановым эффект действительно обусловлен наличием твердой и жидкой фаз. У горных пород, обнаруживающих пьезоэлектрический эффект (гранит), высушивание их с целью удаления содержащейся в них влаги не понижало пьезоэффекта.

В заключение выражаем свою искреннюю благодарность Б. Н. Ивакину за предоставление сейсмоскопа и ряд ценных советов при выполнении этой работы, а также А. Г. Иванову и М. А. Анцыферову за обсуждение полученных результатов.

Геофизический институт
Академии наук СССР

Поступило
28 IV 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. А. Грабовский, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 2, 143 (1949); А. Г. Калашников, С. П. Капица, ДАН, 86, № 3, 521 (1952); М. А. Грабовский, Э. И. Пархоменко, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 5, 405 (1953). ² А. Г. Иванов, Изв. АН СССР, сер. географ. и геофиз., № 5, 699 (1940); ДАН, 68, № 1 (1949). ³ А. В. Шубников, Пьезоэлектрические текстуры, Изд. АН СССР, 1946. ⁴ Ю. В. Ризниченко, Б. Н. Ивакин, В. Ф. Бугров, Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 1, 26 (1953).