

Т. В. ТОНОЯН, Х. Д. ТОПЧЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ СЕЙСМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ ПИРОФИЛЛИТА

Сейсмоэлектрический эффект в горных породах обнаружен еще в 1940 г. А. Г. Ивановым [1]. Этот эффект в сущности заключается в том, что в двухфазных средах при наличии относительного движения фаз возникает разность потенциалов по направлению градиента давления. Если движение жидкости относительно твердого скелета происходит стационарно, то мы имеем дело с электрокинетическим явлением, при котором образуется постоянный потенциал протекания. В случае, когда движение жидкости происходит под воздействием переменной нагрузки и в твердой пористой влажной среде распространяется упругая волна, то ввиду того, что в любой ограниченной среде происходит преобразование волн, получить градиент давления чисто в одном направлении практически невозможно. Это приводит к тому, что возникает переменная разность потенциалов не только по направлению распространения продольной упругой волны, но и перпендикулярно ему. По-видимому наличие поперечного сейсмоэлектрического эффекта можно объяснить также тем, что жидкость легко может изменить направление движения по связанным перпендикулярным капиллярам. При хаотической ориентации пор также возможен указанный механизм возникновения поперечной разности потенциалов.

В работе [2] делается предположение, что сейсмоэлектрический эффект можно описать так называемыми сейсмоэлектрическими модулями. Если при пьезоэлектрическом эффекте среда характеризуется тензором пьезоэлектрических модулей третьего ранга, и это является следствием симметрии кристаллической структуры, или закономерного распределения кристаллитов в пьезоэлектрической текстуре, то в случае сейсмоэлектрического эффекта аналогичными факторами может являться симметрия распределения поровых капилляров. Таким образом, если в горной породе существует некоторая симметрия ориентаций поровых капилляров, то эта симметрия должна проявляться также при сейсмоэлектрическом эффекте. Сейсмоэлектрическая поляризация описывается вектором, как любая поляризация другой породы, вызывающая ее упругая волна—компонентами тензора механических напряжений, следовательно, сейсмоэлектрической характеристикой пористой среды является тензор сейсмоэлектрических модулей. Величины этих модулей, естественно, будут определяться свойствами пары жидкость—твердое тело, однако анизотропные свойства, особенности симметрии будут определяться структурой твердого скелета горной породы. Авторам настоящей работы неизвестны литературные сообщения относительно упорядоченной структуры поровых капиллярных систем в горных породах, однако нам известны работы [3, 4] по созданию стеклянных гомокапиллярных перегородок с упорядоченной структурой для электрокинетических преобразователей, поэтому существование таких капиллярных систем в горных породах нельзя исключить. Такие упорядоченные капиллярные структуры могут возникать вследствие течения воды в одном направлении и от газовых пузырьков внутри вулканогенных пород. Указанные механизмы являются примитивными, возможны также и другие.

Упорядоченные сейсмоэлектрические структуры по аналогии с пьезоэлектрическими текстурами можно назвать сейсмоэлектрическими текстурами.

Поиски указанных сейсмоэлектрических структур можно было осуществить двумя способами: 1) измерением потенциала протекания по различно ориентированным образцам, 2) измерением сейсмоэлектрической поляризации, возникающей от упругих волн, распространяющихся вдоль определенных направлений.

Первый из этих способов является очень трудоемким, поэтому было изучено сечение указательной поверхности продольных сейсмоэлектрических эффектов на цилиндрических образцах.

Аппаратура и методика исследования. Для исследования пространственного распределения сейсмоэлектрической поляризации, сечений указательных поверхностей продольных и поперечных сейсмоэлектрических эффектов, а также сечений указательных поверхностей продольных упругих волн была использована методика, разработанная ранее [5], с некоторыми изменениями.

На рис. 1 показана блок-схема установки для определения компоненты сейсмоэлектрической поляризации в плоскости, перпендикулярной направлению распространения плоской упругой продольной волны. Генератор импульсов Г5—54 вырабатывает прямоугольные электрические импульсы, которые поступают в пьезоизлучатель. Возникающая упругая волна проходит через акустическую задержку из оргстекла, градуированную подставку и поступает в образец. Образец имеет форму цилиндра диаметром 20 мм и высотой 14 мм. Приемные электроды закреплены на специальном приспособлении, обеспечивающем их плавное вращение вокруг образца и одинаковое прижатие к поверхности образца. Измерительные электроды представляют латунные полоски размером 1×2 мм и подключены к входам дифференциально предусилителя ИВ14 осциллографа С1—74.

На рис. 2 приведены кривые распределения поперечного сейсмoeлектрического эффекта, соответствующие трем цилиндрическим образцам пиррофиллита, вырезанным из одного длинного цилиндра. Эти кривые построены в полярной системе координат и величины радиуса—векторов соответствуют сейсмoeлектрической разности потенциалов в данном направлении. Максимальная разность потенциалов получается в том случае, когда приемные электроды ориентированы по направлению компоненты вектора сейсмoeлектрической поляризации на плоскость, перпендикулярную образующей цилиндра, минимальная—в перпендикулярном направлении. Все кривые имеют вид восьмерки, что свидетельствует о дипольном характере и о поверхностной поляризации сейсмoeлектрического эффекта. С другой стороны, кривые не обращаются в нуль, что является следствием наличия объемного заряда за счет упругой волны. Данная методика позволяет определить направление поперечного сейсмoeлектрического эффекта.

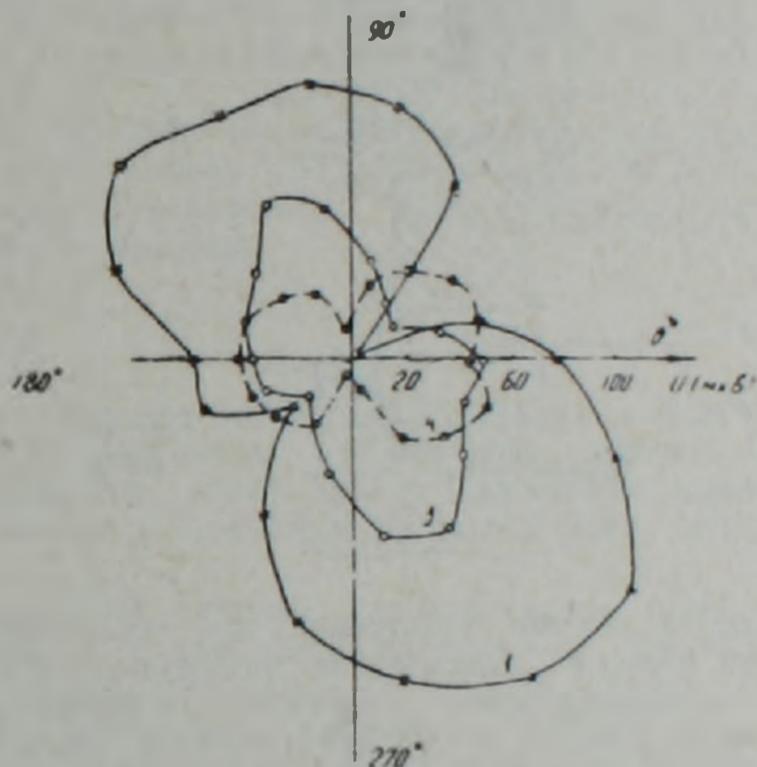
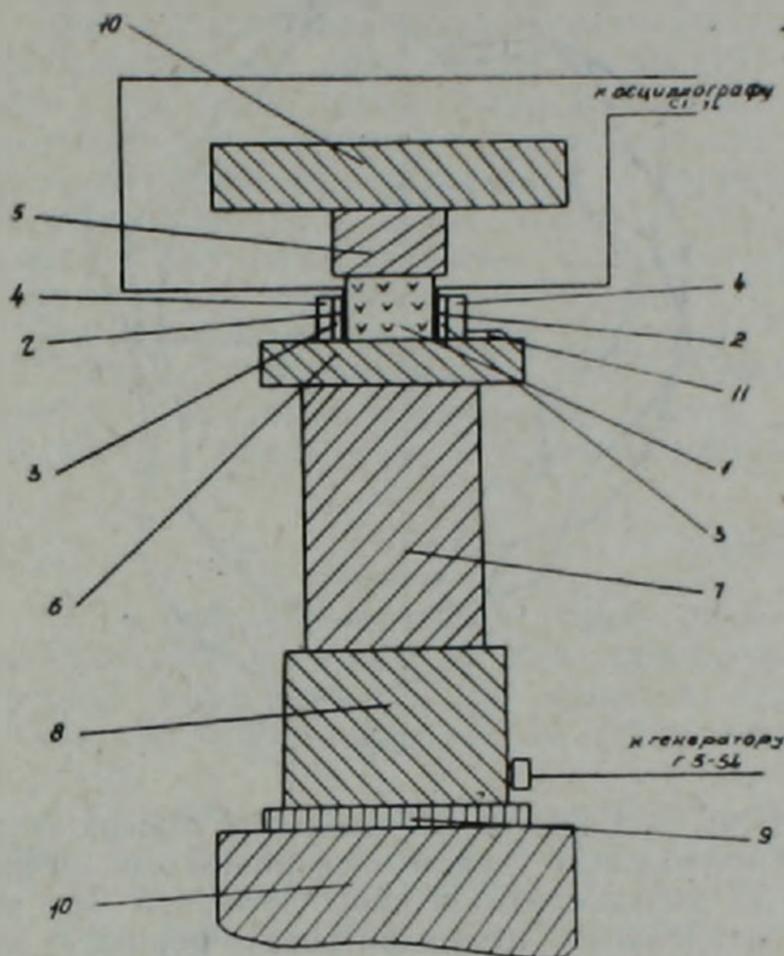


Рис. 1. Схема установки для исследования угловой зависимости поперечного сейсмoeлектрического эффекта. 1—образец, 2—электроды, 3—фторопластовое кольцо, 4—резинный зажим, 5—центрирующее устройство, 6—градуированная подставка, 7—задержка для ультразвука, 8—излучатель упругих волн, 9—резинная прокладка, 10—прижимающее устройство, 11—стрелка.

Рис. 2. Угловая зависимость поперечного сейсмoeлектрического эффекта при распространении упругой волны по направлению осей параллельных цилиндров № 1, 3, 4.

Для исследования анизотропии сейсмoeлектрического эффекта от продольной упругой волны в образцах пиррофиллита была использована установка, в которой цилиндрический образец облучается ультразвуком по направлению диаметра. Схема такой установки приведена на рис. 3. Данная установка отличается от приведенной на рис. 1 тем, что здесь образец вращается вокруг своей оси в цилиндрической полости, тем самым изменяется направление облучения, что дает возможность облучать образец по диаметру и получать значения сейсмoeлектрического эффекта по всем направлениям в одной плоскости.

Кривые, приведенные на рис. 4, представляют собой угловую зависимость продольного сейсмoeлектрического эффекта, полученную для тех же образцов и построенную в полярной системе координат. Для каждой точки величина радиус—вектора соответствует величине сейсмoeлектрического эффекта в данном направлении. Как видно из приведенных кривых, направления максимальных сейсмoeлектрических эффектов для этих образцов почти совпадают. Коэффициент анизотропии продольного сейсмoeлектрического эффекта, вычисленный по формуле

$$\alpha = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\min}} \cdot 100 \%$$

где U —сейсмoeлектрический потенциал для образцов 1,3 составляет 63% и для образца 4—200%.

С целью нахождения корреляции между сейсмoeлектрическими эффектами и скоростями продольных упругих волн была использована установка, блок-схема которой дана на рис. 5. Цилиндрический образец может свободно вращаться вокруг своей оси

в полости специального приспособления, изготовленного из оргстекла. Излучатель и приемник упругих волн прижимаются к цилиндрической поверхности исследуемого образца, и в каждом направлении по диаметру образца определяется время прохождения упругой продольной волны, а скорость вычисляется. На рис. 6 приведены угловые зависимости скоростей цилиндрических образцов 1, 3, 4. С целью большей полярности анизотропии, центром полярной диаграммы выбрано 2,3 км/сек. Направления минимальных и максимальных скоростей почти для всех образцов совпадают. Коэффициенты анизотропии имеют следующие значения: 7,78, 11,69, 6,106% для образцов 1, 3, 4.

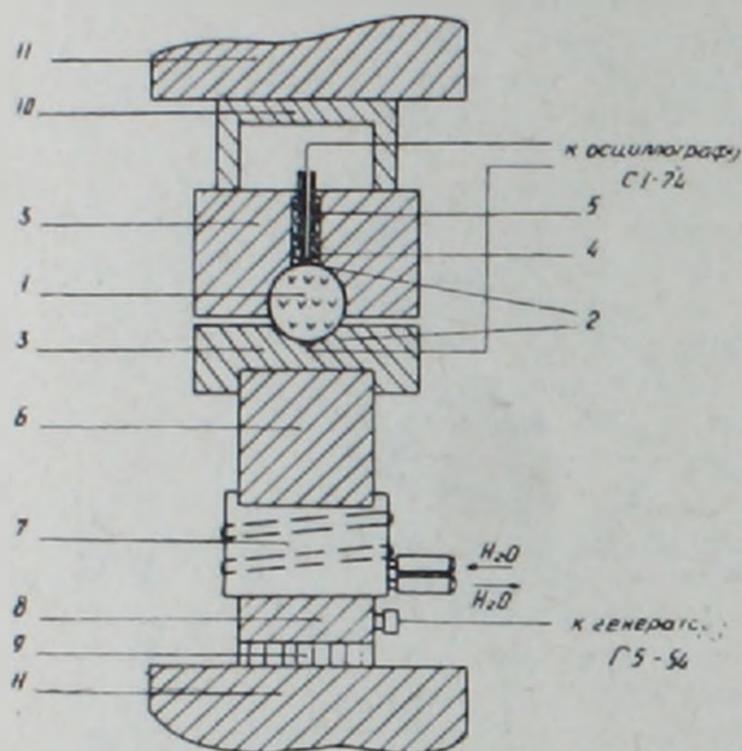


Рис. 3. Схема установки для исследования угловой зависимости продольного сейсмоэлектрического эффекта. 1—образец, 2—электроды, 3—градуированная камера из оргстекла, 4—устройство постоянного прижатия электрода, 5—пружина, 6—задержка для ультразвука, 7—система охлаждения излучателя, 8—излучатель упругих волн, 9—резиновая прокладка, 10, 11—устройство постоянного прижатия излучателя.

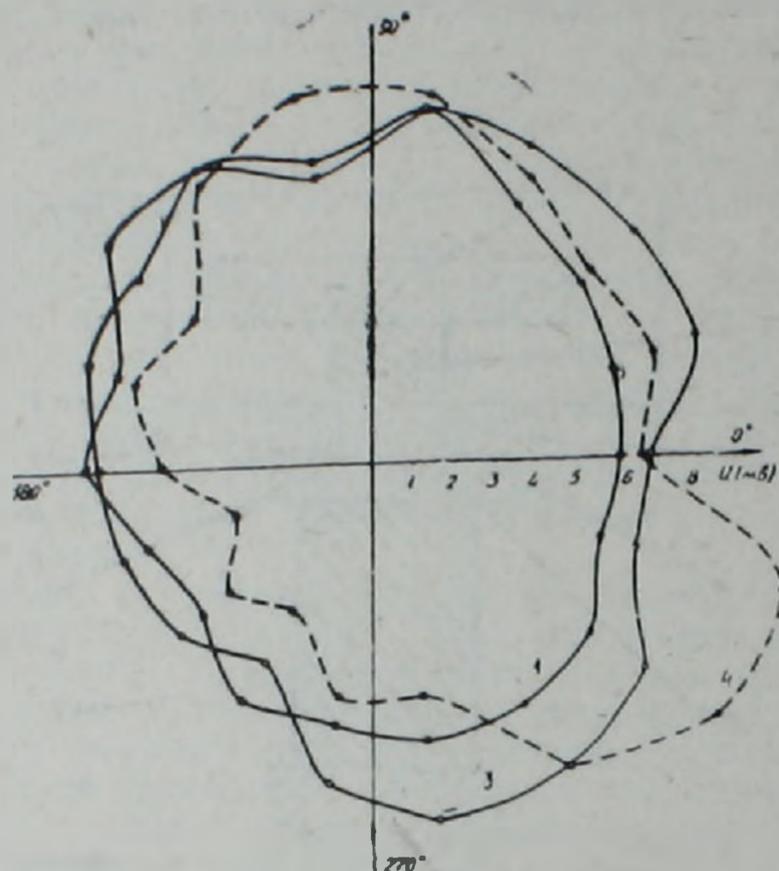


Рис. 4. Сечения указательных поверхностей продольного сейсмоэлектрического эффекта плоскостью, перпендикулярной оси параллельных цилиндрических образцов пиррофиллита № 1, 3, 4.

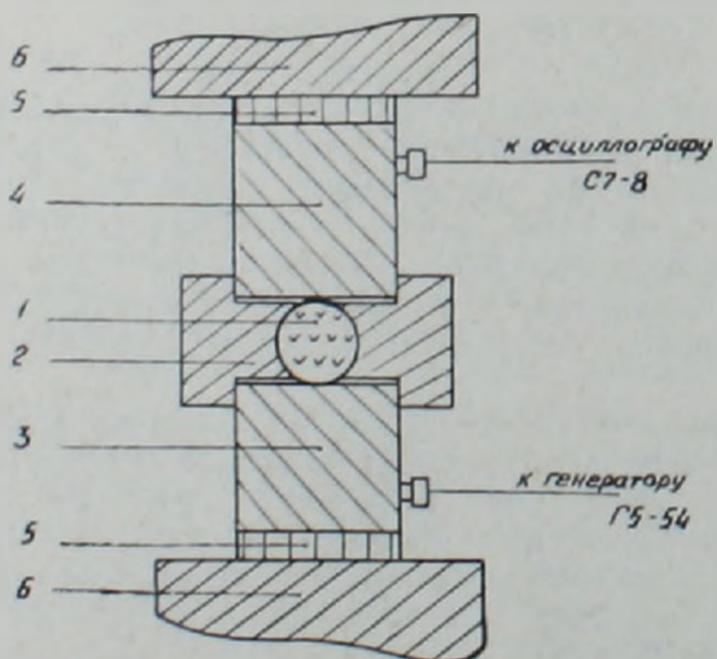


Рис. 5. Схема установки для измерения угловой зависимости скоростей продольных упругих волн через цилиндрические образцы.

1—образец, 2—градуированная камера из оргстекла, 3—излучатель упругих волн, 5—резиновые прокладки, 6—прижимающее устройство.

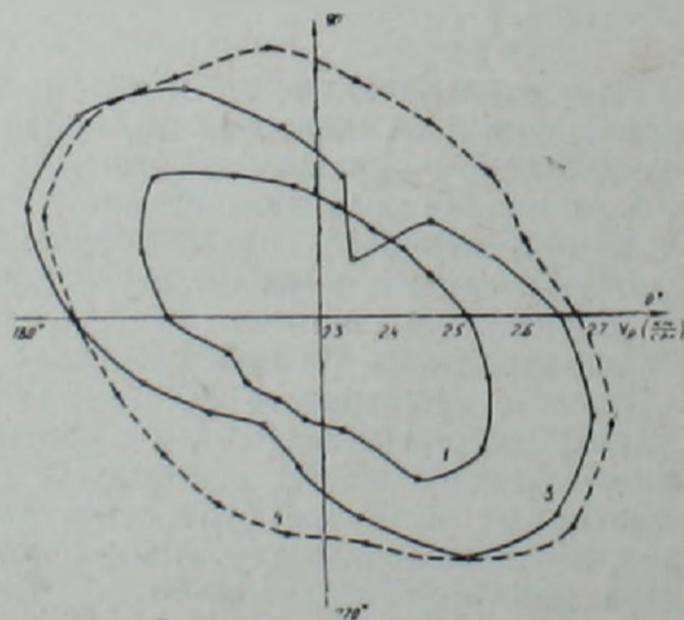


Рис. 6. Сечения указательных поверхностей скоростей упругих продольных волн плоскостью, перпендикулярной оси цилиндрических параллельных образцов пиррофиллита № 1, 3, 4.

Обсуждение результатов. При прохождении упругой продольной волны вдоль оси цилиндрического образца, последний поляризуется. Вектор поляризации имеет компоненты как вдоль направления распространения, так и перпендикулярно ему, о чем свидетельствует рис. 2. При рассмотрении изученных образцов можно заметить слоистую структуру, причем плоскость слоистости почти параллельна осям цилиндров. Направление вектора поляризации можно получить из следующих соображений. Поскольку компонента вектора поляризации в плоскости, перпендикулярной оси цилиндра, совпадает с направлением *max-min* кривых (рис. 3), то он находится в плоскости через это направление и ось цилиндра. Поскольку направления *max-min* приведенных кривых совпадают с плоскостью слоистости, то и вектор сейсмoeлектрической поляризации находится в этой плоскости. Плоскость слоистости образца 4 повернута по оси относительно 1, 3, что, вероятно, обусловлено тем, что между образцами 3 и 4 была область монолитного начального цилиндра, который при изготовлении разрушился. Вероятно этим и объясняется вращение плоскости поляризации образца 4.

При исследовании анизотропии сейсмoeлектрической поляризации в плоскости, перпендикулярной образующей цилиндра (рис. 4), была обнаружена неодинаковость поляризации вдоль плоскости слоистости и перпендикулярно ей. Направление слоистости по аналогии с намагничиванием кристаллов, можно назвать осью «легкой» сейсмoeлектрической поляризации, а перпендикулярное ему направление — осью «трудной» поляризуемости. Легко заметить, что направление «легкой» поляризуемости для образца 4 несколько смещено по отношению к двум другим, что, вероятно, имеет ту же причину, что и вращение на рис. 2.

Все сказанное о слоистой структуре и ее влиянии на сейсмoeлектрический эффект хорошо коррелируется с результатами по скоростям продольных упругих волн (рис. 6). Скорости продольных упругих волн максимальны вдоль направления слоистости и минимальны в перпендикулярном направлении.

Выводы

1. Разработана методика определения направления компоненты вектора сейсмoeлектрической поляризации для цилиндрических образцов в плоскости, перпендикулярной образующей. Для образцов пиррофиллита, обладающих плоскостью слоистости, выявлено, что вектор сейсмoeлектрической поляризации параллелен этой плоскости.

2. Созданы установки и методика определения сечений указательных поверхностей продольных сейсмoeлектрических эффектов и скоростей продольных упругих волн на цилиндрических образцах. Из этих сечений сравнением со структурой образцов выявлено, что плоскость слоистости легко определить также и на основе полученных графиков. Это дает основание предположить, что сейсмoeлектрический эффект чувствителен по отношению к структуре горной породы. Возможным применением данного явления будет определение направлений разломов.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность Э. И. Пархоменко за тщательное обсуждение результатов данной работы.

Институт геофизики и
инженерной сейсмологии
АН Армянской ССР

Поступила 20.1.1987.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боровков В. С., Графов Б. М., Новиков А. Л., Новицкий М. А., Соколов А. А. Электрохимические преобразователи первичной информации. М.: Машиностроение, 1969, 198 с.
2. Иванов А. Г. Сейсмoeлектрический эффект второго рода.—Изв. АН СССР, сер. геофиз. и геогр., 1940, № 5, с. 699—726.
3. Новиков А. А. Способ изготовления пористых перегородок электрокинетических преобразователей. Авт. свид. № 223221.—Бюлл. изобрет., 1968, № 24, с. 47.
4. Пархоменко Э. И. Основные закономерности сейсмoeлектрического эффекта осадочных пород и пути его использования в геофизике. В кн.: Физические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах. М.: Наука, 1978, с. 200—207.
5. Пархоменко Э. И., Тоноян Т. В. Исследование пьезоэлектрических свойств природного содалита.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1982, т. 35, № 3, с. 36—46.