

Э. И. ПАРХОМЕНКО, Т. В. ТОНОЯН, Х. Д. ТОПЧЯН

ЗАВИСИМОСТЬ СЕЙСМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА ГОРНЫХ ПОРОД ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Исследовано влияние температуры на величину сейсмоэлектрического эффекта пиррофиллита и фельзита в интервале температур от комнатной до 150°C. Обнаружено убывание эффекта, что главным образом обусловлено увеличением электросопротивления, остальные факторы имеют незначительное влияние. Потенциал в данном случае не увеличивается ввиду того, что изученные образцы весьма мелкопористы и имеют слабо развитый диффузный слой в капиллярах.

Сейсмоэлектрический эффект наряду с другими электрическими эффектами, вызванными механическим воздействием на горную породу, такими как пьезоэлектрический и трибоэлектрический, находится в числе возможных предвестников землетрясений. Характер проявления электрических предвестников в период сейсмической активности в ряде случаев позволяет предположить их электрокинетическую природу. С другой стороны, сейсмоэлектрический эффект представляет интерес в плане использования его в разведочной геофизике и горном деле. Несмотря на это, влияние термодинамических условий на сейсмоэлектрический эффект экспериментально изучено слабо. Это не позволяет в данный момент высказать определенное суждение относительно роли сейсмоэлектрического эффекта в электризации горных пород в очаговой зоне и вне ее в период подготовки землетрясений. В связи с этим существенное значение приобретает изучение сейсмоэлектрического эффекта при высоких термодинамических условиях, которое являлось целью настоящего исследования.

Аппаратура и методика. Для осуществления указанной цели была разработана методика исследований и специальная аппаратура, позволяющая осуществлять опыты в условиях, исключающих диффузию порового раствора из образца при высокой температуре, поскольку величина сейсмоэлектрического эффекта определяется наличием влаги в образце.

Установка представляет собой толстостенный металлический цилиндр с монтированным на нем внешним нагревателем, позволяющим достигать в рабочей части температуры до 200°C. Исследуемый образец с электродами помещается в сборный контейнер, а последний в камеру высокого давления. Electroды подключались к измерительной аппаратуре через каналы в пуансонах. Ультразвуковой задержкой служил цилиндр диаметром 3,2 см и высотой 8 см из аморфного кварца, обладающего низким коэффициентом температуропроводности. Для стабилизации температуры приемника и излучателя во время опыта они были помещены в охладительное устройство, которое представляло стакан со змеевиком с циркулирующей по нему водой.

Для создания устойчивого акустического контакта излучателя с задержкой (кварцевый цилиндр) использовалась прокладка между излучателем и опорой из плотной резины. Пьезоэлемент возбуждался в гармоническом и импульсном режиме.

Упругие колебания в образце создавались с помощью пьезоэлектрического излучателя на монокристалле сегнетовой соли с собственной частотой 60 кГц. Нами были использованы упругие колебания двух типов—импульсные и гармонические. В первом случае излучается пакет упругих продольных волн частотой следования 100 Гц, а во втором случае непрерывно излучается упругая гармоническая волна. Причем, оба режима работы излучателя применялись последовательно в одном и том же положении образца при фиксированной температуре.

С целью выбора объекта исследования были выполнены измерения сейсмоэлектрического эффекта на образцах следующих горных пород—туффитах, песчаниках, андезитах, порфиритах, туфобрекчиях, цеолитах и на пиррофиллите. Образцы имели форму куба размером 24×24×24 мм. Результаты этих измерений приведены в

табл. 1. Наибольший сейсмоэлектрический эффект, превышающий в 5—10 раз эффект всех исследованных пород, был обнаружен у пиррофиллита, насыщенного водой. Высокая его сейсмоэлектрическая активность, однородность состава и структуры послужили основным критерием для выбора пиррофиллита в качестве объекта изучения. Кроме того, для сопоставления были проведены опыты с фельзитом.

Подготовка образцов проводилась в следующем порядке.

Таблица 1

Измерение сейсмоэлектрического эффекта

Тип и номер образца	Направление излучения	Амплитуда сейсмоэффекта (мкв)	Амплитуда сейсмоэффекта гарм. метод. (мкв)	Скорость продольной волны, км/с
Пиррофиллит	1	460	900	3,154
	2	1250	2100	4,105
	3	900	2100	4,15
Цеолит (Ноемберянский район)	1	130	340	2,829
	2	110	320	2,719
	3	150	320	2,652
410 песчаник	1	130	180	2,155
	2	130	150	2,134
	3	90	120	2,138
393 туфопесчаник	1	210	240	4,041
	2	260	360	4,168
	3	250	250	4,225
212 трахиандезит	1	200	230	3,321
	2	300	300	3,272
	3	240	350	3,5
399 туффит	1	160	160	3,866
	2	160	220	3,947
	3	60	90	3,50
392 андезитовая лава	1	110	130	4,256
	2	100	120	4,263
	3	90	140	4,34

Образцы предварительно промывались спиртом для обезжиривания, затем высушивались при постоянной температуре в течение суток, после достижения постоянного веса насыщались дистиллированной водой в вакууме $1,01 \cdot 10^2$ Па и опять взвешивались. Влагонасыщенные образцы устанавливались в специальную камеру и подвергались нагружению до 0,15 ГПа для создания герметичности с целью исключения диффузии из образца. Совпадение экспериментальных данных, соответствующих нагреву и охлаждению, свидетельствовало о сохранении влаги в процессе опыта.

Для измерения сейсмоэлектрической разности потенциалов применялись тонкие латунные пластинки, полностью покрывающие оба основания цилиндрического образца. Электроды, изолированные от земли, подключались к входам дифференциального предусилителя IV14 осциллографа С1—74. Тем самым измерялась разность потенциалов между основаниями по направлению градиента давления, создаваемого упругой продольной волной. Преимуществами этого способа являются исключение влияния электропроводности образца на измеряемую величину сейсмоэлектрического эффекта и его экранирование от высоковольтной наводки.

Температура измерялась с помощью хромель-алюмелевой термопары, подключенной к потенциометру ПП-63. Скорость изменения температуры составляла 2°С в минуту. Для охлаждения камеры с постоянной скоростью применялся поток воздуха от вентилятора.

Результаты экспериментов. На рис. 1 приведены графики зависимости сейсмoeлектрического потенциала влагонасыщенного пиррофиллита от температуры, измеренной как в гармоническом режиме, так и в импульсном. В обоих случаях отмечается одинаковый характер изме-

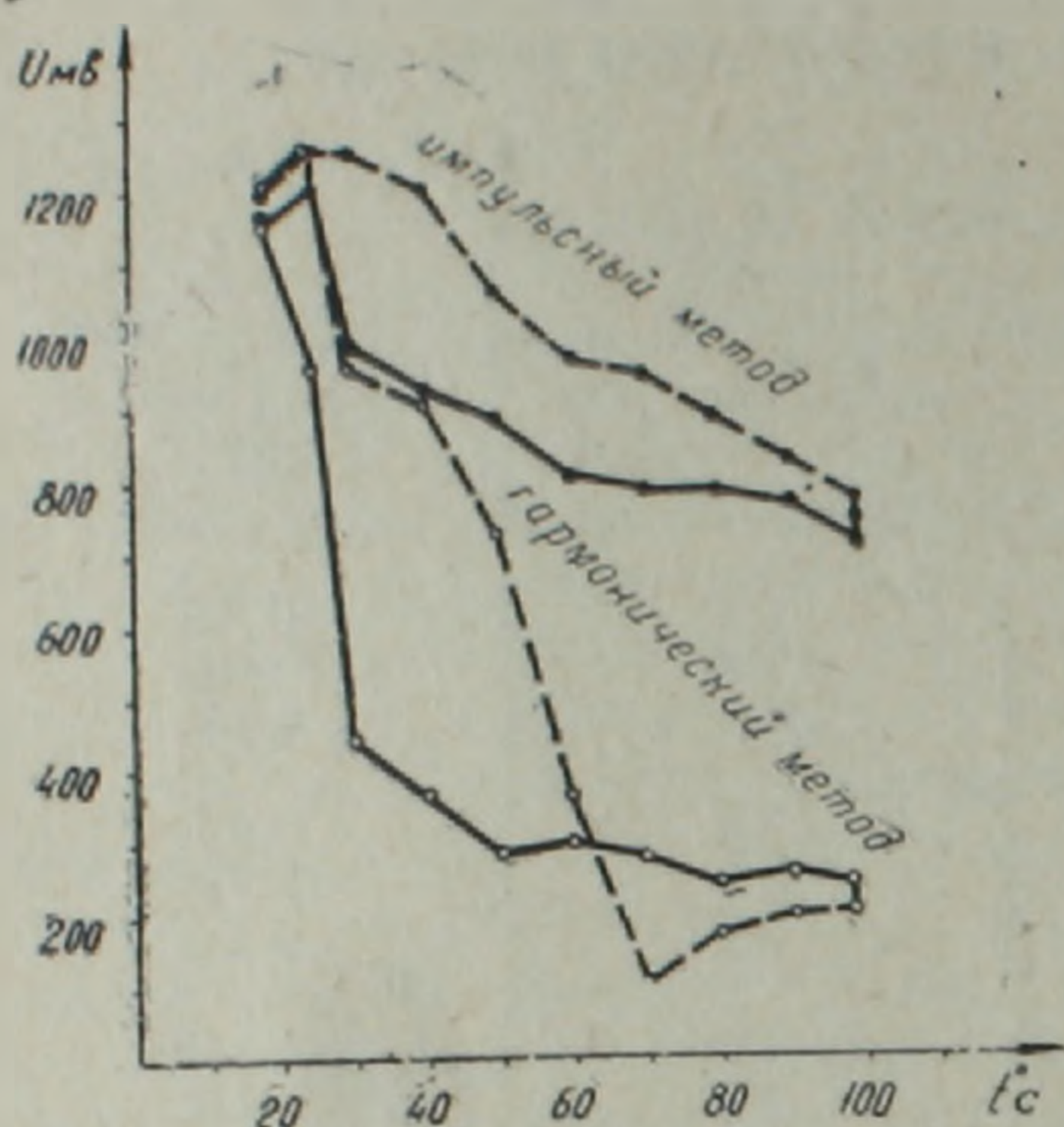


Рис. 1. Зависимость сейсмoeлектрического эффекта от температуры для пиррофиллита. Сплошная линия соответствует изменению эффекта при нагревании образца, пунктирная — при охлаждении.

нения с температурой, хотя кривые $U=f(T)$ сильно отличаются друг от друга по интенсивности уменьшения и по величине сейсмoeлектрического эффекта в области $T=30-100^{\circ}\text{C}$. Вероятно, это различие можно объяснить тем, что определенную роль играет резонанс образца в случае гармонического метода. Однако, как видно из приведенных графиков, уменьшение выделяется очень четко. На первый взгляд кажется, что полученный результат находится в противоречии с результатом 1, однако для анализа этого факта следует обратиться к теории сейсмoeлектрического эффекта. Согласно формуле Гельмгольца-Смолуховского [2] сейсмoeлектрический эффект можно описать формулой потенциала течения

$$U = \frac{\epsilon \xi \rho}{4\pi \eta} \Delta P, \quad (1)$$

где U — разность потенциалов, ΔP — разность гидростатических давлений, ξ — скачок потенциала, называемый электрокинетическим потенциалом, ϵ — диэлектрическая проницаемость, η — коэффициент вязкости, ρ — электросопротивление. Из этой формулы видно, что при постоянной разности давлений уменьшение U может быть обусловлено слабым изменением ξ и ϵ и сильным изменением η и ρ . В наших опытах легко было контролировать ход ρ . Результаты измерений зависимости электросопротивления от температуры приведены на рис. 2. Как видно из кривой логарифма удельного электросопротивления, оно увеличивается с температурой. Поскольку вязкость воды с температурой должна уменьшаться, то, следовательно, это уменьшение не влияет на эффект и, по-видимому, компенсируется изменением ϵ и ξ .

Согласно литературным данным, зависимость ϵ — потенциала от температуры носит сложный характер и определяется многими факторами [3]. Для поверхностей, заряженных отрицательно, по данным [4], наблюдается увеличение ξ — потенциала, который возрастает приблизительно на 7% на 1°C в пределах $10-70^{\circ}\text{C}$ в растворе HCl на керамической диафрагме. Величина же $\eta/\epsilon\rho$ в тех же условиях возрастает на 2% на 1°C . Для керамических диафрагм, изменяющих знак заряда на положительный, в растворах HCl не наблюдается увеличение ξ с T , а наоборот имеет место даже уменьшение [5]. Это уменьшение

[5] объясняется тем, что потенциал специфической адсорбции H^+ не очень высок и с ростом температуры часть адсорбированных ионов H^+ переходит в раствор, уменьшая тем самым положительный заряд поверхности. Помимо этого на характер изменения ξ — потенциала влияют также структуры твердой фазы (размеры пор и их ориентация), особенно при малых размерах пор, сравнимых с толщиной двойного слоя. При таких размерах диффузная часть двойного слоя развита слабо, избыточный заряд жидкой фазы сосредоточен в основном в адсорбционном слое. Такая ситуация, видимо, существует в пиррофиллите, поскольку он весьма мелкопористый и поэтому у него, вероятно, отсутствует диффузный слой, что и приводит к уменьшению ξ — потенциала и сейсмоэлектрического эффекта с повышением температуры.

На рис. 3 приведена зависимость сейсмоэлектрического эффекта

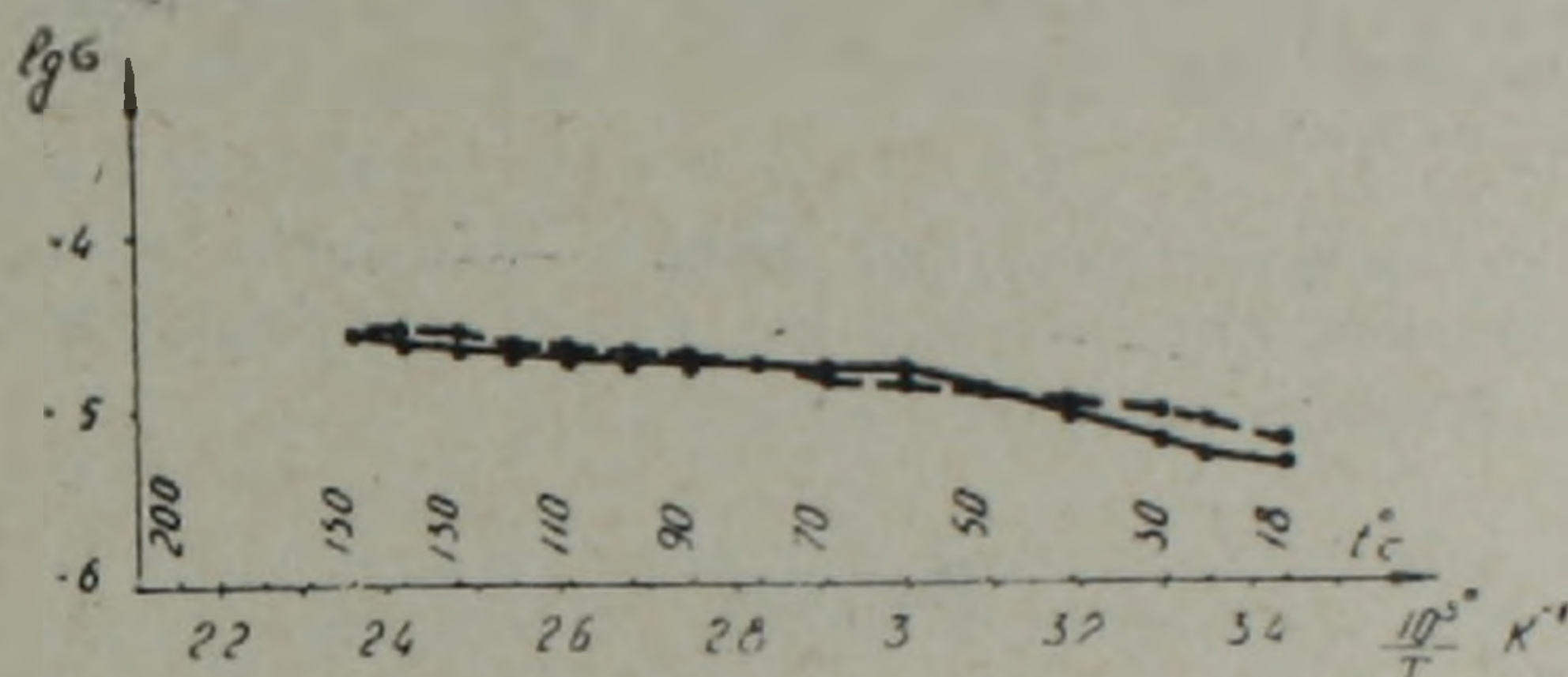


Рис. 2. Зависимость логарифма удельной электропроводности от температуры для образца пиррофиллита. Сплошная линия соответствует изменению логарифма электропроводности при нагреве образца, пунктирная — при охлаждении.

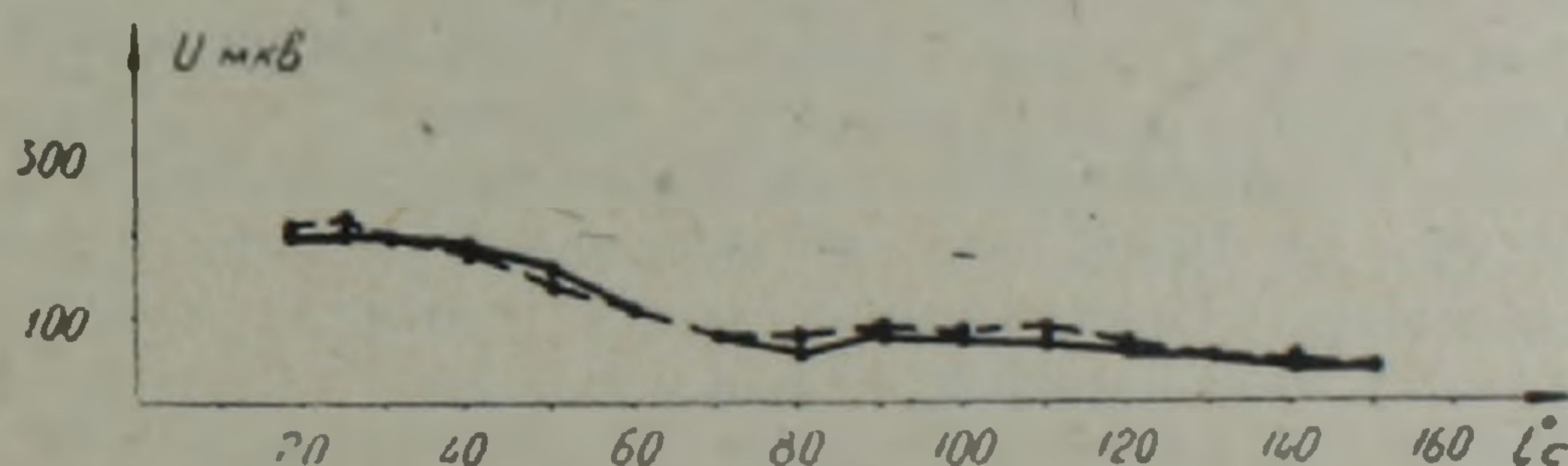


Рис. 3. Зависимость сейсмоэлектрического потенциала от температуры. Сплошная линия соответствует изменению потенциала при нагреве, пунктирная — при охлаждении.

от температуры до 150°C . Как видно из рисунка, эффект уменьшается более чем в четыре раза. Электросопротивление того же образца также изменяется почти в 4 раза (рис. 2). Таким образом, из рисунков 2 и 3 следует, что главную роль в температурной зависимости сейсмоэлектрического эффекта играет электросопротивление, роль же остальных параметров, входящих в формулу 1, по-видимому, незначительна.

Для выяснения возможного увеличения поглощения упругих волн с температурой был поставлен специальный опыт контролирования интенсивности проходящей упругой волны. С этой целью при постоянной температуре выдерживались как излучатель, так и приемник. Результат исследования приведен на рис. 4. Как видно из рисунка, отношение сейсмоэлектрического эффекта к величине напряжения приемника упругих волн проявляет тот же характер, что и график на рис. 1. Это свидетельствует о том, что изменение интенсивности упругих волн с температурой не происходит, следовательно, нормированный сейсмоэлектрический эффект также убывает с температурой.

Кроме образцов пиррофиллита, сейсмоэлектрический эффект был также исследован на образцах фельзита. Результат этого исследования на одном из образцов приведен на рис. 5. Как видно из приведен-

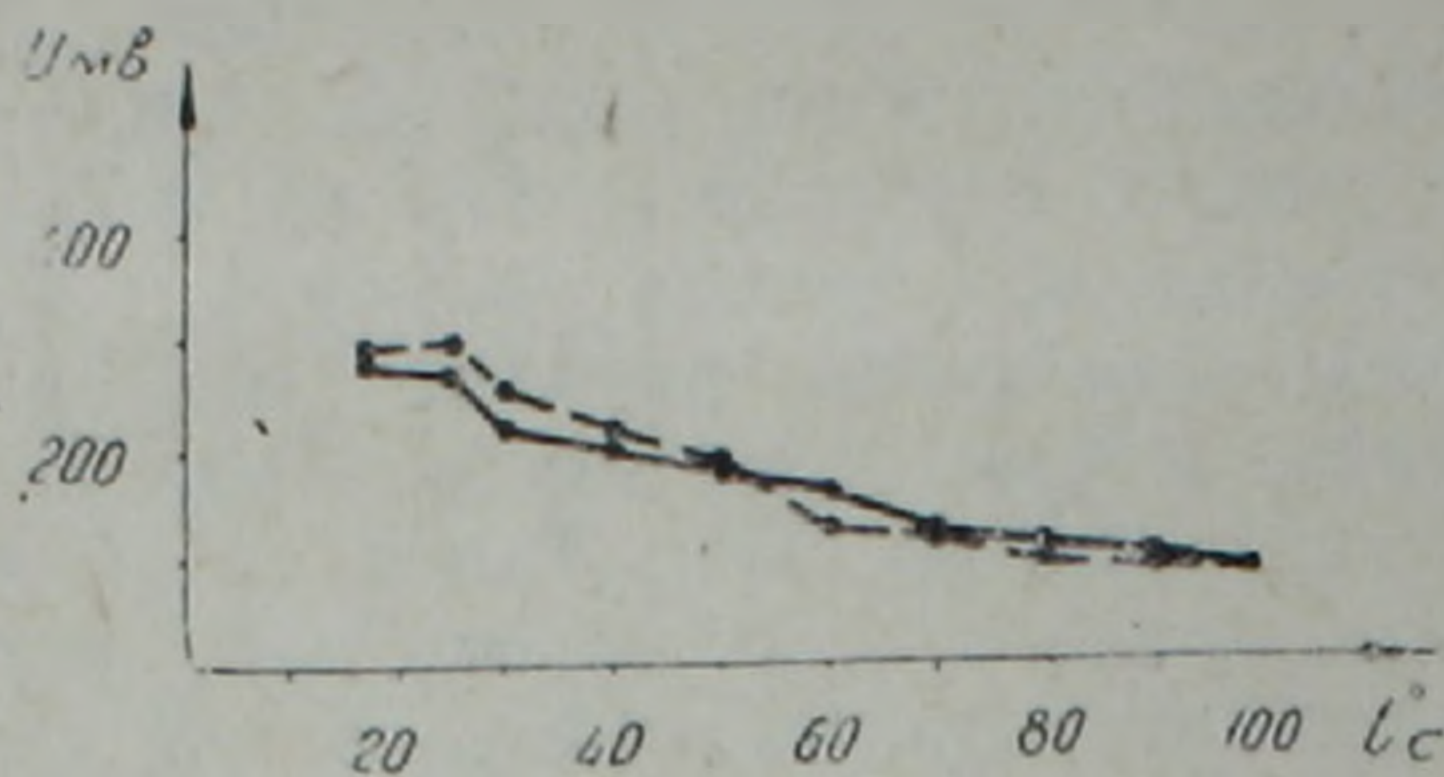
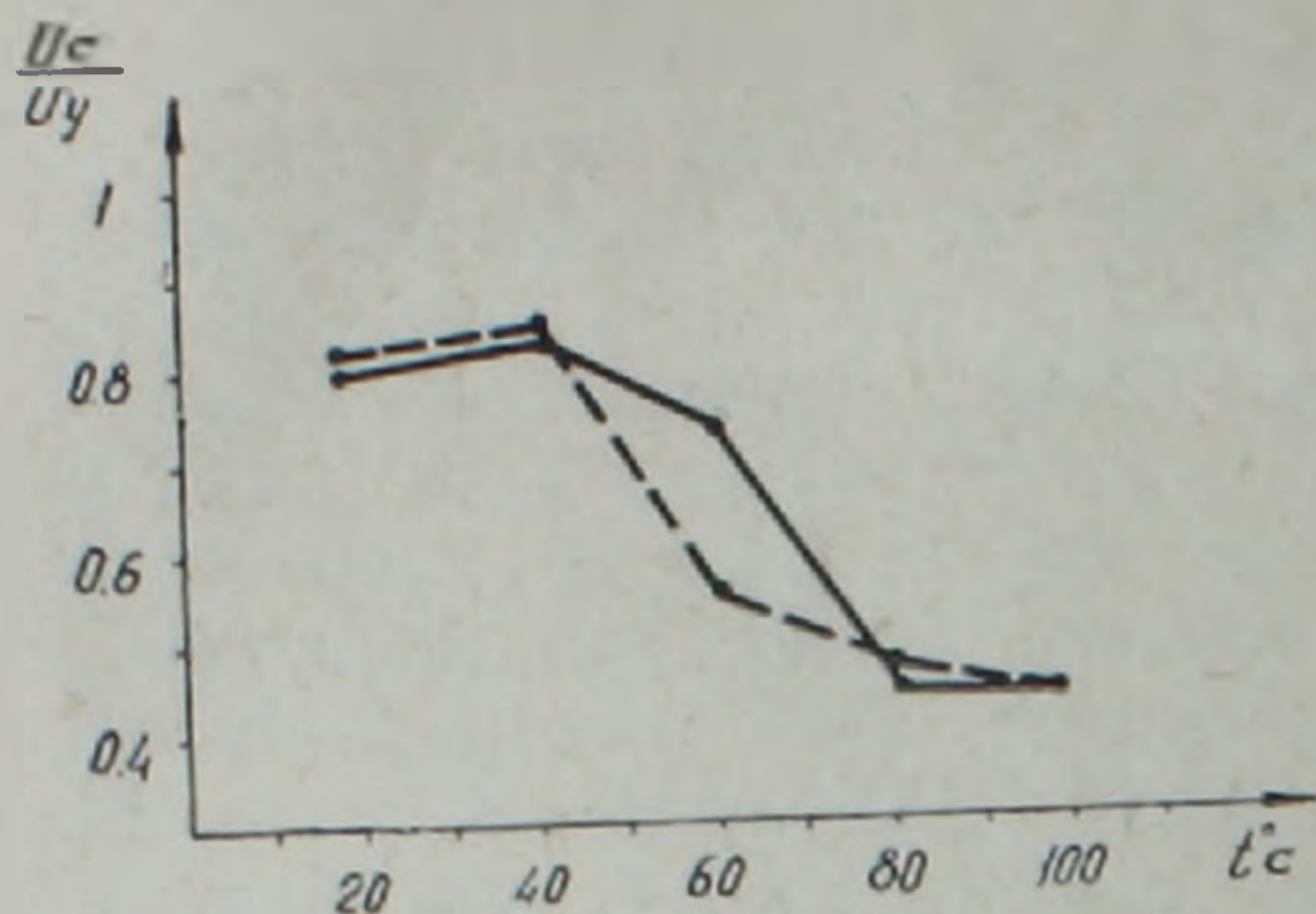


Рис. 4. Зависимость отношения сейсмоэлектрического потенциала к выходному пьезоэлектрическому потенциалу приемника упругой волны для пиррофиллита от температуры. Сплошная линия соответствует нагреву образца, пунктирная—охлаждению.

ного рисунка, сейсмоэлектрический эффект фельзита почти в 5 раз меньше, чем у пиррофиллита, но так же, как и у пиррофиллита, убывает с повышением температуры.

Выводы

1. Сконструирована установка и разработана методика исследования зависимости сейсмоэлектрического эффекта от температуры.
2. Установлено, что сейсмоэлектрический эффект пиррофиллита превышает эффект ряда других горных пород (туффинов, песчаников, андезитов, туфобрекчий, порфиринов и цеолитов), и это послужило основной причиной его использования при исследовании температурной зависимости сейсмоэлектрического эффекта.
3. Выявлено убывание сейсмоэлектрического эффекта с повышением температуры до 150°C , что, по-видимому, связано с увеличением электросопротивления. Остальные факторы, которые могут влиять на величину эффекта, изменяются слабо.
4. Полученные результаты следует учесть при решении вопроса о характере потенциалов, возникающих в период подготовки землетрясения.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР,
Институт геофизики и инженерной сейсмологии
АН АрмССР

Поступила 28.VI.1985.

Է. Ի. ՊԱՐԽՈՄԵՆՅԱՆ, Տ. Վ. ՏՈՆՈՅԱՆ, Կ. Դ. ԹՈՓԳՅԱՆ

ԱՊԱՐՆԵՐԻ ՍԵՅՍՄԱԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԷՖԵԿՏԻ ԿԱԽՎԱԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻՑ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հետազոտված է ջերմաստիճանի ազդեցությունը պիրոֆիլիտի և ֆելզիտի սեյսմաէլեկտրական էֆեկտի մեծության վրա՝ սենյակային ջերմաստիճանից մինչև 150°C սահմաններում: Նկատված է էֆեկտի նվազում, որը հիմնականում պայմանավորված է էլեկտրադիմադրության մեծացմամբ, իսկ այլ գործոնների ազդեցությունը չնչին է: Հստակացվել է, որ պիրոֆիլիտի այս դեպքում չի մեծանում այն պատճառով, որ ուսումնասիրված նմուշները բավականին մանր ծակոտկենություն ունեն և դիֆուզային շերտը մազանոթներում թույլ է զարգացած:

DEPENDENCE OF THE ROCKS SEISMOELECTRICAL EFFECT ON THE TEMPERATURE

A b s t r a c t

There has been investigated the temperature influence upon the seismoelectrical effect quantity of pyrophyllite and felsite in a temperature range from the room temperature up to 150° C. A decrease of the effect has been revealed which is mainly conditioned by the increase of the electrical resistance, the other factors having not significant influence. The ξ potential does not increase in this case due to highly fine-porosity and weakly developed diffuse layer in capillaries of the studied samples.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаскаров И. В., Пархоменко Э. И. Сейсмoeлектрический эффект горных пород и предпосылки его применения в геологоразведочном деле.—Изв. АН СССР, Физика Земли, 1974, № 1, с. 110—115.
2. Наука о коллоидах. Под ред. Г. Р. Кройта, т. 1. М.: Изд.—иностр. лит., 1955. 538 с.
3. Касимзаде М. С., Халилов Р. Ф., Балашов А. Электрокинетические преобразователи информации. М.: Изд. Энергия, 1973. 136 с.
4. Жуков Н. И., Юрженко Н. А. Влияние температуры на число переноса ионов через диафрагмы и их ξ — потенциал.—Журнал прикладной химии, 1936, № 9, с.
5. Лин Гуан-Цан, Фридрихсберг Д. А. Исследование электрокинетического потенциала в зависимости от температуры, состава раствора и его концентрации.—Вестник ЛГУ, сер. физики и химии, 1973, вып. 3. № 16, с. 88—93.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, XXXIX, № 4, 53—58, 1986

УДК 624.15.042.7

Р. С. МИНАСЯН

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПОЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ СТЕН КРУПНОПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Предлагается новый метод определения динамических сдвигающих напряжений в связях столбов стен крупнопанельных зданий от влияния продольных волн грунтового основания. Для составления и решения дифференциальных уравнений относительно динамических сдвигающих напряжений используются уравнения движения соседних волокон столбов в зависимости от динамического действия продольных волн напряжений. Расчеты показывают, что динамический эффект при определении напряжений в столбах всегда нужно учитывать, поскольку он существен.

Рассматривается изменение поля напряженного состояния стен крупнопанельных зданий при действии продольных волн напряжений, возбуждаемых от сейсмических волн или от взрыва большой мощности в грунтовом основании.

Ударная волна имитируется приложенным к зданию давлением p , которое является функцией от координат и времени: $p = p(x, t)$.

В зависимости от места приложения давления к зданию и характера их изменения, ударные волны могут быть разделены на продольные и поперечные.