

УДК 539.374

Соболев В.В., профессор, Ищенко Б.С., аспирант, Тесля Б.Г., магистрант  
*Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепрпетровск, Украина*

## **К ВОПРОСУ О ВОЗНИКНОВЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ НА ТВЕРДЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ**

Все без исключения химические элементы состоят из разноименных зарядов [1]. Связи между элементами и более крупными частицами (молекулами) имеют электрическую природу. При непосредственном участии электричества зарождаются и существуют минералы, растения, животные. Возникновение электрических токов в горных породах и проявление электрических эффектов обусловлено связанными непосредственно между собой различными физико-химическими процессами, протекающими в земной коре и в атмосфере. Например, в периоды тектонической активности в результате распространения упругих волн в горных породах возникают различные тепловые и электрические явления [2-4].

Важным фактором возникновения электрических процессов является степень неоднородности пород и геологических образований. Широко распространены имеют локальные электрические поля, действующие в небольших объемах породы, и микрогальванические, – имеющие наименьшую сферу действия [5]. Электрические поля возникают между гранями кристаллов с неодинаковыми электродными потенциалами, на границах минералов, в пьезооптических минералах при тепловых, механических и других воздействиях. Геологические процессы, протекающие в горных породах, обусловлены не только действием температуры, давления, состава флюидов, но и дополнительным влиянием на эти процессы слабых электрических и магнитных полей [6, 7].

Контактная разность потенциалов возникает на границе горных пород в широком диапазоне температур, при этом, в процессе трения, скольжения или контакта электризуются все вещества: диэлектрики, полупроводники, металлы. Однако степень их электризации будет различна. Так, при исследовании электризации различных порообразующих минералов установлена зависимость знака и величины заряда от состава и размера частиц [2-5].

По данным [2] для всех минералов наблюдается примерно одинаковая зависимость величины заряда от степени дисперсности. Плотность заряда на поверхности частиц колеблется в зависимости от размера частиц: для мусковита при размере частиц 0,5...0,25 мм заряд составляет  $Z = 134,3 \cdot 10^{-11}$  Кл/см<sup>3</sup>; у частиц кварца размером 0,005...0,003 мм заряд равен  $Z = 0,246 \cdot 10^{-11}$  Кл/см<sup>3</sup>; для гипса

заряд  $Z 20,5 \cdot 10^{-11}$  Кл/см<sup>2</sup> соответствует размеру частиц от 0,25...0,1 мм, однако в три раза заряд уменьшается, если размер частиц достигает 1,0...0,5 мм.

Электрические свойства горных пород и электрические явления, протекающие в массиве пород, играют заметную роль не только в процессах минерало- и рудообразования [2-5], но и в определении состояния устойчивости пород в целом [7, 8]. Снижение степени устойчивости пород горного массива начинается в областях его энергетической неустойчивости и снижение это обусловлено необратимыми изменениями физических параметров (например, электрических), химической активности. Предполагается, что такие изменения могут быть одной из причин, а, возможно, и основной, инициирующей зарождение и развитие нестабильных очагов – землетрясений (в том числе, техногенного характера [10]), выбросоопасных пород и углей, других газодинамических явлений в шахтах. Таким образом, одним из актуальных вопросов является исследование физических причин, потенциально способных инициировать возникновение деструктивных процессов в горных породах и ответственных за изменения состояния устойчивости, как в локальных участках, так и в массиве пород в целом.

Если учесть, что на массив пород одновременно воздействует несколько физических полей (тепловое, механическое, электромагнитное, упругое), то, вполне возможно допустить, что какое-либо одно из них может иметь преимущественное действие, стимулируя различные физико-химические изменения.

Цель работы – экспериментальное подтверждение образования разности электрических потенциалов на контактной границе двух различных материалов.

На границе двух твердых материалов возникновение свободных зарядов может быть обусловлено различным распределением электронной плотности в каждом из материалов [9]. В природе это явление должно быть особенно характерным для массива горных пород – систем, образованных различными фазами и с различным значением электропроводности. В горных породах значительное ускорение физико-химических процессов могут играть сдвиговые деформации.

Для исследований термо-ЭДС выбраны две пары материалов: графит – сталь 60, графит – армко-железо. Содержание углерода в стали 60 – 0,62%, в армко-железе – 0,018%. В исследовании в качестве активного углеродного материала использовались: спектрально-чистый искусственный графит марки С-3 (СЧИГ). Использовалась методика, приведенная в [6-8]. Поскольку концентрации свободных электронов в графите и железе имеют различное значение, поэтому существует большая вероятность наличия электрических зарядов на фазах железа. Исследуемые пары материалов нагревались до температуры 1300 К. Температура контролировалась термпарой хромель-алюмель. Результаты измерений термо-ЭДС приведены на рис. 1.

По значениям измеренных термо-ЭДС (термоэлектрический эффект) определялся коэффициент термо-ЭДС  $\alpha_{1-2}$ , характеризующий концентрацию электронов  $N_1$  и  $N_2$  в графите и железе соответственно [9]:

$$\alpha_{1-2} = (k/e) \ln(N_1/N_2),$$

где  $k$  – постоянная Больцмана,  $k=1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;  $e$  – заряд электрона,  $e=1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл; концентрация электронов в железе составляет  $N_2 \approx 10^{28}$  м<sup>-3</sup>, в графите  $N_1 = (10^{23} \dots 10^{25})$  м<sup>-3</sup>.

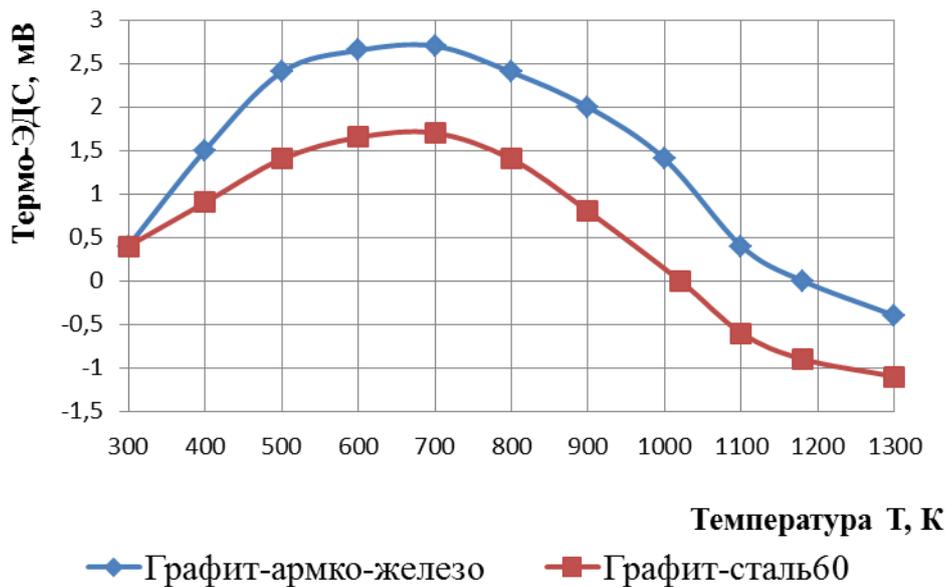


Рис. 1. Закономерность изменения термо-ЭДС на контактной границе: 1 – графит–армко-железо; 2 – графит–сталь 60

В случае равенства кинетических энергий электронов, находящихся в железе и графите, зависимость для контактной разности потенциалов можно записывать в виде [9]:

$$\Delta\varphi \approx (kT/e) \ln(N_1/N_2).$$

На рис. 2 показано изменение контактной разности потенциалов с изменением температуры нагревания исследуемых пар материалов.

При  $T < 1000$  К поверхность графита, контактирующая с поверхностью железа, имеет положительный заряд, обусловленный недостатком электронов. Поверхность зерна железа приобретает отрицательный заряд. Контактная разность потенциалов для пары графит – армко-железо при температуре 300 К достигает +4,7 мВ, для пары графит – сталь 60 разность потенциалов составляет +3 мВ. При переходе  $\alpha$ -железа в  $\gamma$ -железо наступает равновесие между этими фазами и контактная разность потенциалов составляет  $\Delta\varphi = 0$  мВ. Как видно из рис.2,  $\Delta\varphi$  для разных пар материалов будут отличаться, поскольку содержание

углерода в исходных сталях отличается почти в 35 раз. В результате температурного фазового перехода  $\alpha \rightarrow \gamma$  поверхность железа заряжается положительно, а недостаток электронов компенсируется за счет углерода, растворяющегося в  $\gamma$ -решетке железа: решетка железа отбирает атомы углерода у графита, как у донора электронов. При дальнейшем повышении температуры графит заряжается отрицательно. Контактная разность потенциалов при  $T=1300$  К составляет  $-2,4$  мВ.

Контактная разность потенциалов на границе графит-железо с учетом известной диаграммы состояния Fe-C свидетельствует о том, что её положительные значения соответствуют  $\alpha$ -фазе железа (графит является акцептором, а железо донором),  $\Delta\varphi=0$  соответствует  $\alpha \rightarrow \gamma$  переходу, а отрицательные значения  $\Delta\varphi$  соответствуют  $\gamma$ -фазе железа (графит является донором, а железо акцептором электронов).

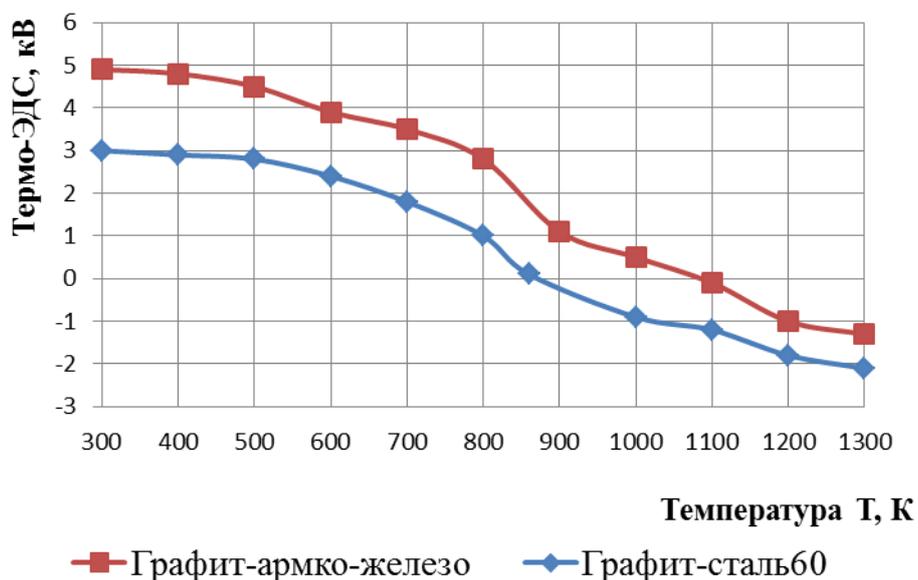


Рис. 2. Характер изменения контактной разности потенциалов на границе материалов: 1 – графит–армко-железо; 2 – графит–сталь 60

Наличие электрических зарядов на поверхности диэлектрической микрочастицы предполагает флуктуации формы, т.е. явление неустойчивости поверхности частицы, спонтанный рост новообразований на поверхности, а также зависимость размера частицы от плотности распределения зарядов на её поверхности.

**Выводы.** Экспериментально установлено, что на границе двух различных материалов (с электронным типом проводимости) возникает разность электрических потенциалов, значение которой зависит от температуры. На примере двух пар материалов железо-графит установлено, что в диапазоне температур от 300 до 1300 К контактная разность потенциалов  $\Delta\varphi$  изменяется от  $+4,7$  до  $-2,4$  мВ.

Таким образом, одним из основных механизмов формирования зарядов на поверхностях твердых тел является контактная разность потенциалов, зависящая от температуры и концентрации электронов в контактирующих твердых телах. При этом известно, что на границах материалов (пород) возникновение электрических зарядов и разности потенциалов в межграницной области может быть инициировано механическими воздействиями. Например, в результате прохождения ударной волны, упругих волн, при трении, скольжении, сжатии со сдвигом и т.п.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. – М.: Наука, 1984. – 224 с.
2. Пархоменко Э.И. Электрические свойства горных пород. – М.: Наука, 1965. – 164 с.
3. Пархоменко Э.И. Явления электризации в горных породах. – М.: Наука, 1968. – 255 с.
4. Пархоменко Э.И. Геоэлектрические свойства минералов и горных пород при высоких давлениях и температурах. – М.: Наука, 1989. – 198 с.
5. Нюссик Я.М. Электрохимия в геологии / Я.М. Нюссик, И.Л. Комов. – Ленинград: Наука, 1981. – 240 с.
6. Пивняк Г.Г. Фазовые превращения в каменных углях при воздействии слабых электрических и магнитных полей / Г.Г. Пивняк, В.В. Соболев, А.О. Филиппов // Науковий вісник НГУ. – 2012. – № 5. – С. 43–49.
7. Соболев В.В. Образование новых фаз в измельченном кальците с добавками кремния при нагревании и пропускании электрического тока // Минералогический журнал. – 2008. – №4. – С. 25–32.
8. Соболев В.В. Влияние слабого электрического поля на фазовые и структурные превращения в горных породах и минералах // Форум гірників – 2014: матер. міжнар. конф., 1-4 жовтня 2014 р., Дніпропетровськ.– ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. – Т. 2. – С.22-31.
9. Алексеев Г.Н. Преобразование энергии. – М.: Наука, 1966. – 189 с.
10. Гуфельд И.Л. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты. – Королёв, М.О.: ЦНИИМаш, 2007. – 160 с. ISBN 978-5-85162-066-9.