

Электропроводность и электромагнитное излучение (ЭМИ) горных пород в постоянном электрическом поле

Н.Д. Варамашвили

Несмотря на большое количество работ, посвященных электропроводности, влияние постоянного электрического поля на эту величину для горных пород, мало изучено. Мы провели эксперименты для изучения электропроводности горных пород при высоких постоянных электрических напряжениях

Измерения проводились двухэлектродным методом. Как известно, метод основан на измерении силы тока, проходящего через испытуемый образец, при известной разности потенциалов между электродами.

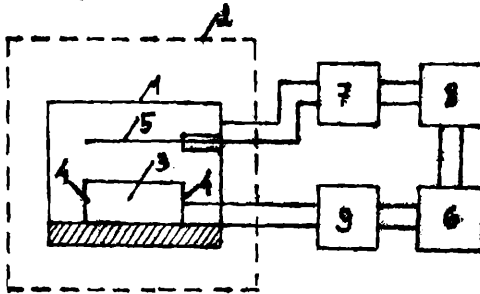


Рис.1(1) Блок-схема установки для изучения горных пород в постоянных электрических полях.

На рис.1 представлена блок-схема для изучения эмиссионных характеристик горных пород и минералов в постоянных электрических полях. 1 – эксикатор, на керамической плитке которой ставили испытуемый образец. К этой же платформе подведены клеммы для подачи постоянного напряжения на образец и для снятия токовых характеристик образца. В эксикаторе можно было создать требуемую влажность воздуха и поддерживать его в течение эксперимента; 2 – эксикатор помещался в железный ящик, который служил экраном от электромагнитных помех; 3 – образцы из горных пород выпиливались в форме кубика ($2 \times 2 \times 2 \text{ см}^3$); 4 – в качестве электродов использовалась медная фольга, которая приклеивалась к противоположным граням образца с помощью проводящей серебряной пасты или с помощью смеси канифоли и угля; 5 – штырьевая антенна располагается внутри эксикатора, параллельно большой грани образца; 6 – микроамперметр для измерения проходящего через образец тока, во время приложения постоянного напряжения; 7 – анализатор спектра; 8 – самописец; 9 – источник высокого напряжения (ИВН-1);

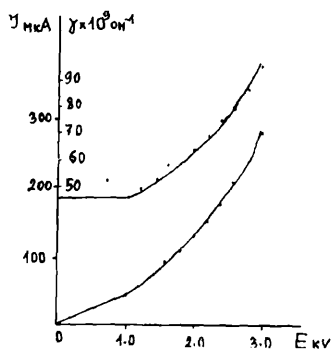


Рис.2 Зависимость тока и электропроводности от напряжения для базальта.

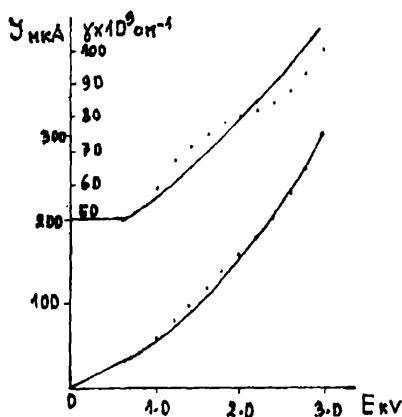


Рис.3 Зависимость тока и электропроводности от напряжения для песчаника.

Полученные результаты по электропроводности колеблются в широком диапазоне от $2 \times 10^9 \text{ ом}^{-1}$ до $2 \times 10^{11} \text{ ом}^{-1}$. Величина проходящего через образец тока имеет порядок единиц мкА. Типичные $I(E)$ и $\gamma(E)$ кривые для базальта и песчаника приведены на рис.2 и рис.3. Как видно из приведенных графиков, при увеличении приложенного к образцу постоянного электрического напряжения до определённой величины, проводимость образца остается постоянной, т.е. соблюдается закон Ома. После некоторого порогового напряжения электропроводность начинает увеличиваться. Эта тенденция особенно заметна при больших напряжениях.

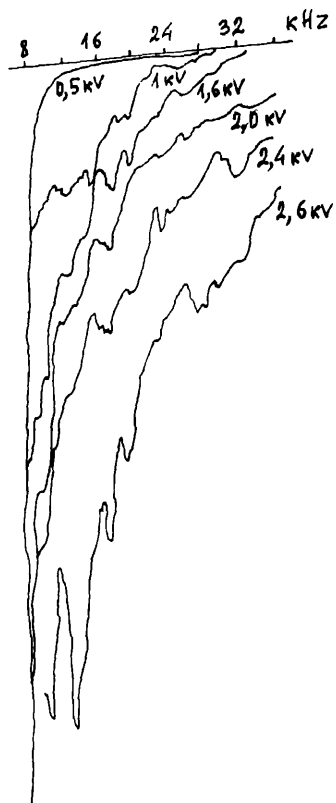


Рис.4 Экспериментальные записи спектров ЭМИ для базальта.



Рис.5 Экспериментальные записи спектров ЭМИ для песчаника.

Для различных образцов пороговые значения напряжения тока и электропроводности имеют различные значения. Однако характер последующего хода электропроводности не меняется от образца к образцу.



Горная порода – сложная система, поэтому одним каким-то механизмом универсально объяснить эффект увеличения электропроводности невозможно. Тут действует сразу несколько механизмов нелинейной электропроводности.

Во время экспериментов чтобы исключить возможность регистрации ЭМИ от источника напряжения проводились следующие эксперименты. Вместо исследуемого образца под антенну помещался набор сопротивлений МЛТ примерно равной сопротивлению образца и на такую цепочку подавалось напряжение равное напряжению на образце. На таких системах, кроме моментов включения и выключения не наблюдались сигналы на антенне. На рис.4 и рис.5 показаны экспериментальные записи спектров ЭМИ для базальта(а) и песчаника(б). Как видно из рисунков, до определенного напряжения ЭМИ не фиксируется. При сравнении этих данных с данными по электропроводности в электрическом поле наблюдается явная корреляция с началом нарушения закона Ома и началом регистрации ЭМИ. ЭМИ фиксируется после критического напряжения $E_{кр}$. В области действия закона Ома ЭМИ в исследуемом нами диапазоне (~ до 40 кГц) не генерируется. На рис.6 показаны зависимость амплитуды ЭМИ от электрического напряжения для базальта(а) и для песчаника(б), на некоторых выбранных частотах. Как видно из рисунка на всех частотах, при увеличении напряжения увеличивается амплитуда сигнала и это увеличение имеет не линейный, а экспоненциальный характер. Для базальта и песчаника эти зависимости несколько отличаются количественно, а качественно они имеют один и тот же характер. Эксперименты проводились на высушенных образцах. На высушенных образцах эффект не наблюдается. При максимальном приложенном напряжении (~ 3кВ) ЭМИ не фиксируется. На комнатно-сухих и увлажненных образцах можно наблюдать нелинейные явления с увеличением напряжения.

Подытожим полученные результаты.

1. При приложении постоянного электрического поля к горным породам (при соответствующих условиях) ЭМИ не регистрируется.
2. В высушенных образцах ЭМИ не регистрируется.
3. ЭМИ регистрируется после определенного напряжения постоянного электрического поля ($E > E_{кр}$).
4. ЭМИ регистрируется синхронно с нарушением закона Ома.
5. При повышении напряжения интенсивность ЭМИ увеличивается.

Пункт „2“ однозначно свидетельствует о том, что ЭМИ в горных породах связан с наличием влаги. Увлажненная горная порода уже нелинейна для электрических полей, т.к. на границе твердой и жидкой фазы существует двойной электрический слой (ДЭС). Можно сказать, что ДЭС играет основную роль во время нарушения закона Ома и, следовательно, в сопровождающем ЭМИ. Однако, в более увлажненном образце, картина усложняется. В этом случае образец представляет собой и полупроводник, и ионный проводник (заполненные жидкостью поры) и диэлектрик и полученные эффекты можно рассмотреть как проявление всей гаммы свойств горной породы.

Процессы, протекающие в горных породах, при приложении к ним постоянного электрического поля, можно описать с помощью эффектов френкеля, Шоттки и Вина. Увеличение электропроводности можно связать с этими эффектами. Но, как видно из экспериментальных данных, пороговое напряжение, с которого начинается нарушение закона Ома и напряжение, с которого начинается излучение электромагнитных импульсов, равны друг-другу. Без нарушения закона Ома нет ЭМИ. Нарушение закона Ома и ЭМИ взаимосвязаны и обусловлены одними и теми же процессами, протекающими на границе твердого тела.



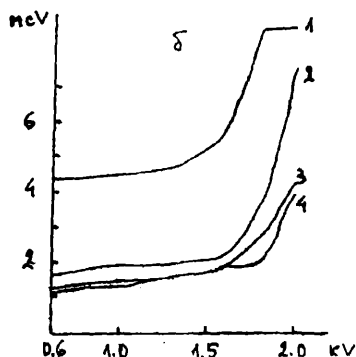
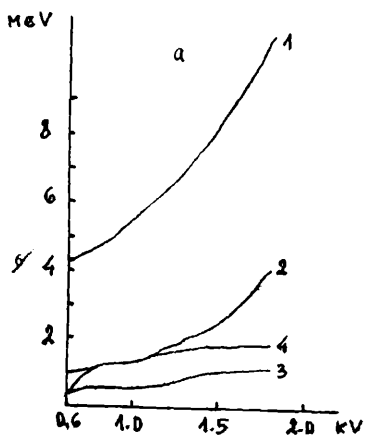


Рис.6(1) Зависимость амплитуды сигнала ЭМИ от напряжения (а-для базальта, б-для песчаника) при фиксированных частотах. 1 – 8кГц, 2 – 16кГц, 3 – 24кГц, 4 – 32кГц.

Частоты ЭМИ, связанные непосредственно с вышеперечисленными эффектами лежат в ВЧ диапазоне, а регистрация ЭМИ происходит в НЧ диапазоне. Как можно объяснить такое несоответствие.

В нелинейных системах, если отклонение от равновесия превышает критическую величину, эти состояния могут стать неустойчивыми. При этом система переходит в новый режим и становится диссипативной структурой. Эти структуры могут возникать во всех тех случаях, когда выполняются следующие четыре необходимых условия:

1. Система является термодинамически открытой, т.е. может обмениваться веществом или энергией со средой.
2. Динамические уравнения системы нелинейны.
3. Отклонения от равновесия превышает критическое значение.
4. Макроскопические процессы происходят кооперативно (согласованно).

Автоколебательные системы являются диссипативными структурами. Для компенсации диссипативных потерь энергии каждая автоколебательная система

обязательно должна быть связана с источником энергии. Хотя сам по себе источник энергии не обладает периодической структурой, в системе возникают такие структуры. Автоколебательные системы обладают способностью к синхронизации. Наш образец из горной породы можно представить как сложную систему, состоящую из независимых областей в которых, при определенных условиях, идут автоколебательные процессы. Эти независимые области могут синхронизироваться или хаотизироваться, в зависимости от внешних условий и внутренних процессов.

Самый простой пример линейные осцилляторы с линейной связью. Линейный осциллятор можно описать уравнением вида

$$\ddot{U}_1 + \omega_1^2 U_1 = 0,$$

где U_1 - переменная, зависящая от времени, ω_1 - собственная частота. Такой осциллятор может быть линейно связан с другим осциллятором, т.е. в уравнения линейных осцилляторов могут входить аддитивные члены, линейные соответственно по U_2 и U_1

$$\ddot{U}_1 + \omega_1^2 U_1 = \alpha U_2$$

$$\ddot{U}_2 + \omega_2^2 U_2 = \beta U_1$$

Подобные уравнения можно написать для любого числа линейно связанных линейных осцилляторов. Во время их решения получаем периодические движения.

В качестве примера линейных осцилляторов с нелинейной связью можно рассмотреть уравнения

$$\ddot{U}_1 + \omega_1^2 U_1 = \alpha U_1 U_2$$

$$\ddot{U}_2 + \omega_2^2 U_2 = \beta U_1 U_2$$

Подобные уравнения можно написать для любого числа линейных осцилляторов с нелинейной связью. Во время их решения получаем периодическое или квазипериодическое движение или аperiodическое движение (шум).

Некоторые исследования показывают, что для возникновения автоколебательных систем наличие постоянного источника энергии не является обязательным. В современных работах в основном рассматриваются три типа автоколебательных систем с высокочастотными источниками энергии, возбуждение колебаний в которых обусловлено тремя различными причинами.

Первый тип систем – это системы с малым по сравнению с периодом возникающих автоколебаний временем взаимодействия с источником энергии. При этом система так регулирует поступление энергии, что за время взаимодействия она получает толчки нужной величины и в нужной фазе.

Системы второго типа – это нелинейные системы, имеющие две степени свободы, одна из которых откликается на внешние высокочастотные взаимодействия, а другая – на низкочастотные. За счет нелинейного взаимодействия между динамическими переменными возникают комбинационные частоты, так что колебания становятся квазипериодическими. В результате взаимодействия этих колебаний с колебаниями источника происходит перекачка энергии высокочастотного источника в энергию низкочастотных колебаний.

Третий тип систем – термомеханические системы – по существу, совпадает с классическим. Роль высокочастотного источника энергии здесь заключается только в том, чтобы поддерживать нужную температуру нагреваемого элемента системы.



Во время наших экспериментов, после некоторого критического напряжения ($E_{кр}$), система переходит в нелинейный режим и возникают высокочастотные колебания которые могут стать источником энергии для низкочастотных автоколебаний. Регистрируемые нами частоты ЭМИ находятся в низкочастотном диапазоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перельман М.Е., Хатиашвили Н.Г. О радиоизлучении при хрупком разрушении диэлектриков. ДАН СССР, 1981, т.256, №4
2. Хатиашвили Н.Г. Возможные механизмы электромагнитного излучения при разрушении кристаллов и горных пород. Геофизический журнал, 1988, т.10, №5
3. Челидзе Т.Л. Моделирование процесса подготовки землетрясений как задача статистических теорий перколяции и надежности. Тезисы XIX Генер. Ассамблеи ЕСК, М., 1984
4. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. М., Изд-во МИР, 1979
5. Ланда П.С., Дубошинский Я.Б. Автоколебательные системы с высокочастотными источниками энергии. УФН, 1989, т.158, вып.4
6. Gokhberg M.B., Morgunov V.A. and Pokhotelov O.A.: Earthquake Prediction. Seismic-Electromagnetic Phenomena, (Gordon and Breach Publishers, Amsterdam), 1995
7. Gershenzon N.I., Gokhberg M.B., Karakin A.V., Petviashvili N.V. and Rykunov A.L.: Modeling the connection between earthquake preparation processes and crustal electromagnetic emission, Physics of Earth and Planetary Interiors, 57, 1989
8. Kostas Eftaxias, Panayiotas Kapiris, Yiannis Poligiannakis, Vasilios Hadjicontis, Zurab Chelidze, David Zilpimiani, Tamaz Chelidze.: Seismogenic radio-emission as a signature of the earthquake preparation process, Journal of Georgian Geophysical Society, Issue(A), Physics of Solid Earth, v.6, 2001
9. Nicolis J.S., Dynamics of hierarchical systems. Springer-Verlag, Berlin, 1986
10. Bak P., C.Tang and K.Wiesenfeld: Self-organized criticality, Phys.Rev., A.38, 1988
11. Sornette D., ed., Critical Phenomena in Natural Sciences, Springer, 2000
12. G.Nicolis and I.Prigogine, Exploring Complexity. An Introduction W.H.Freeman and Co. New York, 1989
13. Гохберг М.Д., Моргунов В.А., Аронов Е.Л. О высокочастотном электромагнитном излучении при сейсмической активности. ДАН СССР, 1979, т.248
14. Электромагнитные предвестники землетрясений. Ред. М. А. Садовский, Наука, 1982
15. Поиск электромагнитных предвестников землетрясений. Ред. М. Б. Гохберг, Москва.

მთის ქანების ელექტროგამტარობა და ელექტრომაგნიტური გამოსხივება (ემგ) მულტიე ელექტრულ ველში

ბ. ვარამაშვილი

რეზიუმე

ჩატარებული იქნა ექსპერიმენტები მულტიე, ძლიერ ელექტრულ ველებში ქანების ელექტროგამტარობის შესასწავლად. ექსპერიმენტები ტარდებოდა ორულექტროლიანი მეთოდით. ნიმუშები იყო ბაზალტის ან ქვიშაქვის.



ელექტროგამტარობა მუდმივია, შემდეგ იზრდება. ეს ტენდენცია განსაკუთრებით შესამჩნევია დიდი ძაბუებისათვის. სხადასხვა ნიმუშებისათვის ძაბვის, დენის და ელექტროგამტარობის ზღურბლური მნიშვნელობა სხვადასხვაა. თუმცა ელექტროგამტარობის შემდგომი სელის ხასიათი ნიმუშიდან ნიმუშამდის არ იცვლება. ელექტრომაგნიტური გამოსხიება (ემგ) ფიქსირდება გარკვეული დაძაბულობის შემდეგ, რომელიც კორელაციაშია ომის კანონის დარღვევასთან. ომის კანონის დარღვევის გარეშე ემგ არ გვაქვს. ემგ-ს რეგისტრირებული სიხშირეები შეიძლება აიხსნას იმით, რომ ჩვენი სისტემა წარმოადგენს არაწრფივ დინამიკურ სისტემას, რომელშიც მიმდინარეობს რთული ავტორხეითი პროცესები.

Electric conductivity and electromagnetic radiation (EMR) of the rock in the constant electric field

N. Varamashvili

Abstract

Experiments for studying electroconductivity rocks have been lead at high constant electric voltage. Measurements were carried by a two-electrode method. Samples have been made of basalt or sandstone.

The received results on electroconductivity change in a wide range up to. To some threshold voltage electroconductivity is constant, then increases.

For various samples threshold values of a voltage, a current and electroconductivity have various values. However character of the subsequent course electroconductivity does not vary from a sample to a sample electromagnetic radiation (EMR) is fixed after the certain voltage that correlates with infringement of the Omms law. Without of Omms law infringement is not present EMR.

Registered frequencies EMR it is possible will explain to that our system represents nonlinear dynamic system in which complex self-oscillatory processes proceed.