

А. А. ВОРОБЬЕВ, Е. К. ЗАВОНОВСКАЯ, В. Н. САЛЬНИКОВ

## ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД И МИНЕРАЛОВ ПРИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ В НИХ

(Представлено академиком М. А. Садовским 31 V 1974)

В работе (<sup>1</sup>) описана установка для исследования трибо- и кристаллолюминесценции, с помощью которой определено время свечения некоторых минералов. В момент растрескивания монокристаллов были зарегистрированы акустические и электромагнитные импульсы в световом и радиодиапазонах длин волн. Исследовалась зависимость между интенсивностью радиоизлучения и механическими характеристиками адгезии при отслоении полимеров (<sup>2</sup>). Нагретые тела испускают радиоизлучение в микроволновой области (<sup>3</sup>). Наблюдается экзoeлектронная эмиссия из минералов при их нагревании (<sup>4</sup>). Возможность электромагнитного излучения при фазовых переходах и его экспериментальное обнаружение обсуждалось в работах (<sup>5, 6</sup>). Результаты измерений электромагнитного излучения, проведенных на образцах горных пород и в условиях их естественного залегания, находятся в согласии с изложенными в работе (<sup>7</sup>) положениями о возможности возникновения разрядов и электромагнитного излучения в горных породах при различных явлениях. Контакты горных пород, дизъюнктивные, окварцованные зоны и зоны повышенной трещиноватости, по сообщениям (<sup>8, 9</sup>), характеризуются аномальной интенсивностью счета электромагнитных импульсов.

В настоящей работе приводятся данные экспериментального исследования радиоизлучения горных пород и минералов при физико-химических процессах, происходящих во время нагревания образцов от 20 до 1100°С и при последующем охлаждении. Радиоизлучение регистрировалось в широкой полосе длин волн 9,5–1333 м прибором ПП9-2М и узкополосной аппаратурой на длинах волн 25 и 2000 м. Чувствительность схемы при измерениях на диапазонах 2000 м составляла 75 мкВ, на коротких длинах волн (25 м) — 115 мкВ и 0,3 В в широкой полосе. Во время регистрации электромагнитных импульсов напряжение на образец не подавалось.

Наряду с регистрацией радиоизлучения, проводились измерения температурного хода электропроводности, термолюминесценции, вспышек света, изменения давления в вакуумной ячейке, в которой находится образец и др. (<sup>10</sup>). Для измерения электропроводности, которое проводилось при подаче на электроды напряжения 20 В в течение 15 мин. при атмосферном давлении, прибором ЭПП-09-3М записывалась зависимость тока от времени. Медленное спадание тока со временем было обусловлено электрохимической поляризацией. После 5–7 мин. с момента подачи постоянного напряжения значение электропроводности достигало установившегося значения. После включения насоса и начала откачки воздуха из ячейки с образцом проводимость у многих образцов резко падает. Это явление связано с вакуумной сушкой и особенно характерно для неплатинированных и насыпных образцов.

После достижения вакуума не ниже 10<sup>-4</sup> мм рт. ст. включалась система автоматического линейного нагрева образца. В интервале 20–1100° измерялась электропроводность образца при нагревании. Затем проводилось

измерение при охлаждении. В процессе нагревания образцов минералов и горных пород в интервале 20–100° в результате отделения слабосвязанной воды происходит резкое увеличение электропроводности, уменьшение энергии активации носителей тока. Этим изменениям соответствует, в том же интервале температур, возрастание количества излучаемых электромагнитных импульсов.

Выделение воды из флюорита в области температур 20–120° сопровождается большим числом импульсов радиоизлучения, а при расщеплении образцов слюды, разрываемой паром (90–100°), количество импульсов

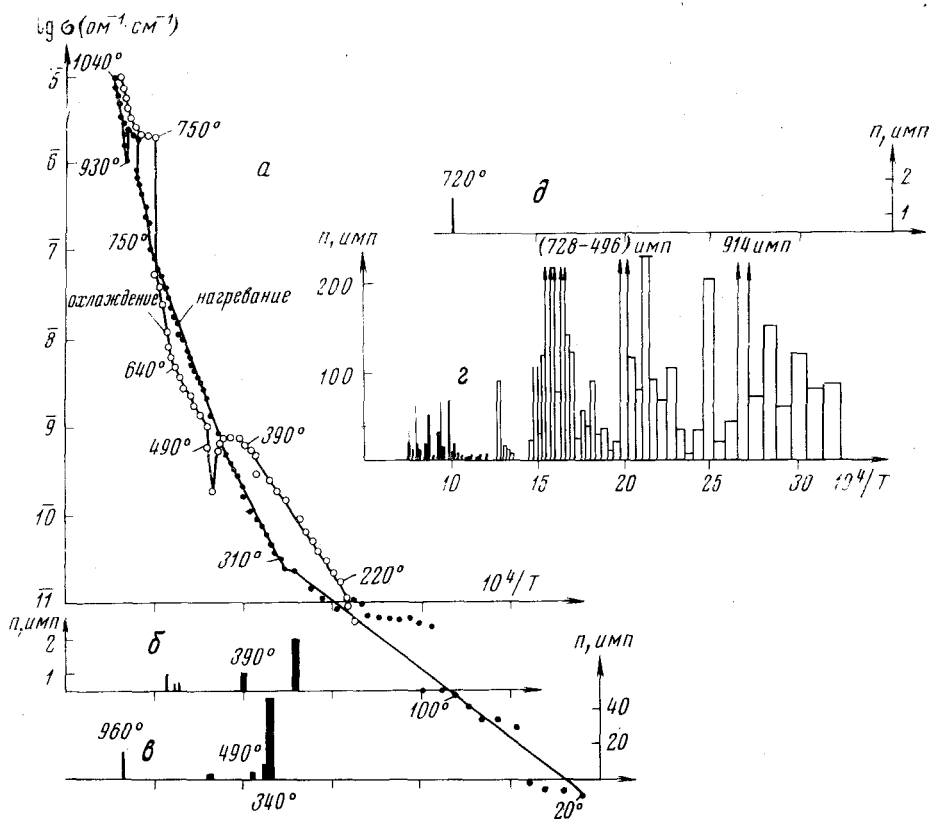


Рис. 1

увеличивается от десятков до 4692. После нагревания слюды до температуры 1060° при последующем ее охлаждении радиоизлучение на волне  $\lambda=25$  м в интервале от 400 до 20° отсутствует (11). При нагревании образцов пегматита из карьера Сорского месторождения, состоящих в основном из калиевого полевого шпата — 80%, кварца — 12%, плагиоклаза — 6%, рудных и аксессуарных — 1%, количество импульсов на волне 2000 м в интервале температур 90–100° достигло цифры 914, а на волне 25 м радиоизлучение не обнаружено (рис. 1). Импульсивное уменьшение или увеличение электропроводности образцов в определенных интервалах температур и изменение энергии активации совпадают с участками максимумов радиоизлучения.

Скачкообразное изменение электропроводности кварца, флюорита и некоторых кварцсодержащих пород во время их нагревания можно объяснить декрепитацией газово-жидких включений в кристаллах. Например, для кварца и флюорита из кварц-флюоритовых образований третьей стадии, по данным (12), температура гомогенизации составляет 360–290°. Интервал температур, полученный для этих же явлений по методу элек-

тропроводности и интенсивности радиоизлучения, колеблется от 290 до 410°. Смена энергии активации от 0,31 до 0,75 эв при 310° и от 0,75 до 1,1 эв при 450° в процессе нагревания и появление максимума на кривой электропроводности в области 490—390° у пегматита при последующем охлаждении подтверждает предположение о названном выше механизме появления электромагнитных импульсов (рис. 1б, в, г). Переход жидкости

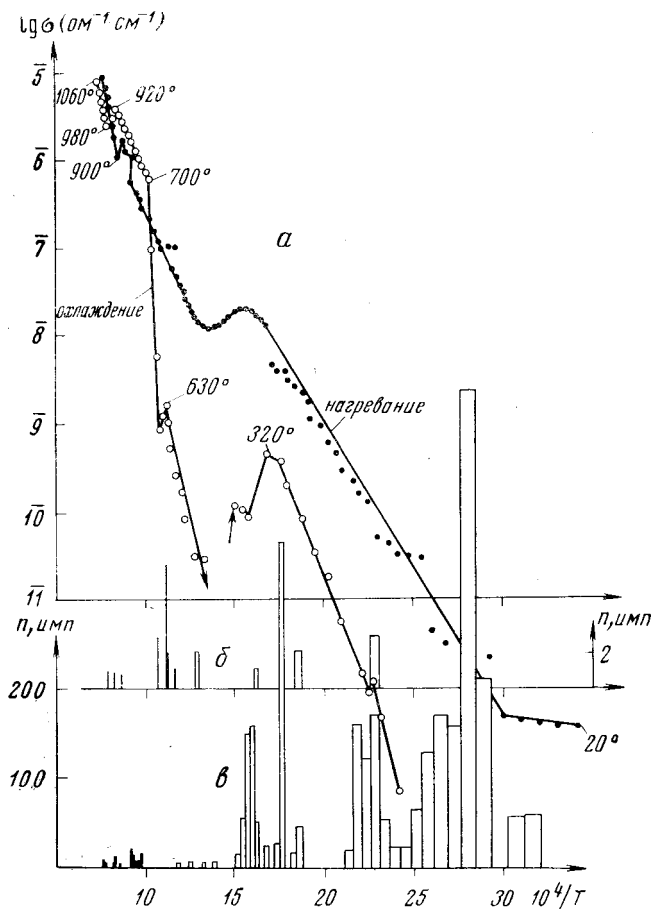


Рис. 2

в пар, увеличение давления в вакуолях при нагревании обуславливает разрывы полостей и образование микротрещин. Трещинообразование приводит к зарядению плоскостей отрыва, газоотделению, разрядам поляризации, световым, звуковым колебаниям и радиоизлучению.

Нагревание горной породы способствует освобождению электронов, находящихся в ловушках; это освобождение запасенной в течение геологического времени энергии сопровождается как появлением зарядов на зернах минералов, так и увеличением общей электропроводности образца.

В определенных отрезках температур (200—410°) при сравнении кривой термолюминесценции с электромагнитным излучением идентичных образцов флюорита, вырезанных из одного кристалла, наблюдается совпадение пиков термолюминесценции, световых импульсов с максимумами электропроводности, электромагнитного излучения и декрепитации. Изменение линейных размеров кристаллов, входящих в состав горной породы, при увеличении или уменьшении объема или в результате полиморфных переходов во время нагревания приводит к растрескиванию образцов,

отслаиванию их по границам зерен, возникновению электронной эмиссии и появлению электромагнитного излучения. Начало и конец полиморфных превращений кварца и ортоклаза, содержащихся в пегматите, фиксируется на кривой зависимости  $\lg \sigma = f(1/T)$  в областях температур 550–600° и 840–970° перегибами или максимумами, обусловленными изменением энергии активации носителей заряда, уменьшением или увеличением их числа.

Образцы минералов и горных пород подвергались облучению потоками электронов с энергией 1,2 Мэв, дозами от  $3,2 \cdot 10^8$  до  $1,4 \cdot 10^9$  рад. Электронное облучение увеличивает дефектность структуры. Интенсивность радиоизлучения при нагревании и последующем охлаждении образцов минералов и пород, предварительно облученных электронами, значительно возросла (рис. 2). Интенсивность радиоизлучения, измеренного на длине волны 2000 м, в десятки раз больше интенсивности, измеренной на волне 25 м. После нагревания образцов до 1060° производилась регистрация числа радиосигналов во время охлаждения. В этом случае, если наблюдалось радиоизлучение в каком-то интервале температур, то его интенсивность была больше на длине волны 25 м, чем на длине волны 2000 м.

Если известны физико-химические процессы, протекающие в данном интервале температур, то можно определить и причины изменения электропроводности и возникновения импульсов радиоизлучения. Методику регистрации электромагнитных импульсов можно применить для определения температур минералообразования и участков температурной зависимости электропроводности электронно-дырочного происхождения, для изучения некоторых других физико-химических процессов в горных породах, минералах и других системах.

Томский политехнический институт  
им. С. М. Кирова

Поступило  
7 III 1974

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Л. М. Беляев, В. В. Набатов, Ю. Н. Мартышев, Кристаллография, в. 4, т. 7, 576 (1962). <sup>2</sup> Л. А. Тюрикова, Ю. М. Евдокимов и др., ДАН, т. 184, № 3, 658 (1969). <sup>3</sup> Г. М. Беликова, А. С. Гуревич и др., ДАН, т. 204, 837 (1971). <sup>4</sup> Р. Н. Минц, И. И. Мильман и др., ДАН, т. 209, № 3, 586 (1973). <sup>5</sup> В. Н. Богомолов, Е. К. Кудинов, Ю. А. Фирсов, ФТТ, т. 14, № 7, 2075 (1972). <sup>6</sup> М. Е. Перельман, ДАН, т. 203, № 5, 1030 (1972). <sup>7</sup> А. А. Воробьев, Е. К. Завадовская и др., Сборн. Вопр. геологии Сибири, Томск, 1971. <sup>8</sup> А. А. Воробьев, Геология и геофизика, № 12, 3 (1971). <sup>9</sup> А. А. Воробьев, В. С. Дмитриевский и др., Сборн. Вопросы геологии Сибири, Томск, 1971. <sup>10</sup> В. Н. Сальников, Ю. М. Страгис, А. А. Беспалько, Тез. IV Всесоюз. симпозиума по механоэмиссии и механохимии твердых тел, М., 1973. <sup>11</sup> А. Ф. Коробейников, В. Н. Сальников, А. А. Беспалько, Тез. IV регионального совещания по термобарогеохимии процессов минералообразования, Ростов, 1973. <sup>12</sup> А. П. Берзина, В. Н. Сотников, ДАН, т. 163, № 1, 179 (1965).