Доклады Академии наук СССР
1973. Том 208, № 4

ГЕОФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР В. С. ТРОИЦКИЙ, Л. Н. БОНДАРЬ,
К. М. СТРЕЖНЕВА

ВАРИАЦИОННЫЕ ДИАГРАММЫ ДИЭЛЕКТРИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛИКАТНЫХ ПОРОД

В работах ([1–3]) показано, что наиболее адэкватными характеристиками диэлектрических свойств силикатных пород на с.в.ч. являются не сами величины диэлектрической постоянной ε и угла потерь $\mathrm{tg}\,\Delta$, а некоторые их функции, инвариантные от плотности ρ породы. Инвариант, связанный с поляризуемостью диэлектрика, дается формулой В. Д. Кротикова ([2]) $a = (\sqrt{\varepsilon} - 1)/\rho$, а инвариант, связанный с потерями, выражением $b = (\mathrm{tg}\Delta)/\rho$. Экспериментальное исследование сухих горных пород в твердом состоянии, проведенное в НИРФИ на частотах от 1 до 10 000 Мгц ([2, 4]), показали, что величины b и инвариант Кротикова a определяются главным образом химической композицией пород и отчасти видом кристаллической структуры или историей образования породы (интрузивная, эффузивная). Эти исследования позволили установить связь величин a и b с химическим составом пород, удобно представляемую в виде, аналогичном вариационной диаграмме химического состава Харкера. В настоящей работе приводятся вариационные диаграммы диэлектрико-химических свойств силикатных пород, на основании которых даются выводы о характере связи диэлектрических свойств пород с их химическим составом, структурой и историей образования пород при различных частотах электромагнитного поля.

Анализ значений a и b, измеренных на частоте 100 Мгц для 40 различных пород, показал, что существует определенная среднестатистическая связь этих величин с концентрацией восьми главных окислов в породах: SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO, FeO, Fe_2O_3, Na_2O, K_2O. Как оказалось, наиболее наглядно эта связь может быть изображена в виде некоторой диаграммы, аналогичной диаграмме химического состава пород, предложенной Харкером ([5]). Диаграммы, устанавливающие связь диэлектрических и химических свойств пород, построены для 40 исследованных пород следующим образом: по оси абсцисс откладываются величины a или b, соответствующие данной породе, а по оси ординат — процентное содержание восьми главных окислов в этой же породе (рис. 1, 2). Положение каждой породы по оси абсцисс отмечено черточкой с номером. При построении диаграмм данные о химическом составе породы брали по известным из литературы типовым анализам для рассматриваемого вида породы ([6, 7]). Как видно из рис. 1, 2, связь параметров a и b с содержанием окислов довольно регулярна. Это связано с тем, что не существует силикатных пород с произвольным содержанием различных окислов. Уменьшение, например, содержания SiO_2 при переходе от одной породы к другой ведет в среднем к определенным изменениям в содержании одного или нескольких других окислов. Это означает, что процентное содержание SiO_2 в породе в среднем определяет содержание остальных окислов, что, впрочем, следует из диаграммы химического состава Харкера. Очевидно, что диаграммы на рис. 1, 2 могут быть представлены в различных формулах. В частности, по оси абсцисс, как и для вариационной диаграммы Харкера, можно откладывать процентное содержание SiO_2, а величины a и b или обе вместе — по оси ординат наравне с процентным содержанием других окислов.

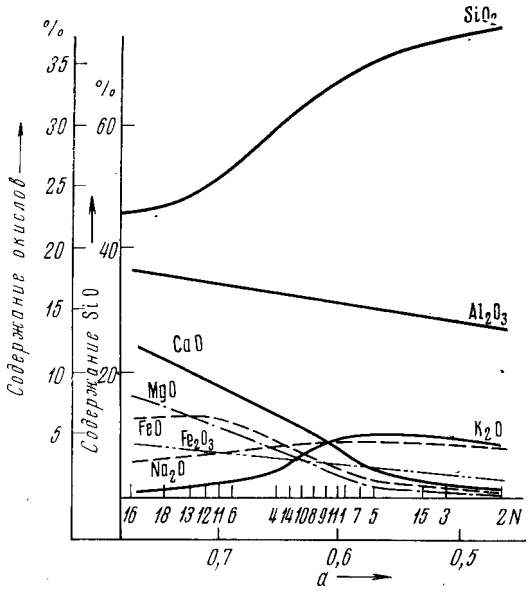

Рис. 1

Рис. 1. Вариационная диаграмма поляризуемости эффузивных горных пород при $f = 100$ Мгц: *1* — обсидиан, *2* — липарит, *3* — липаритовая лава с обломками *, *4* — андезит, *5* — диабаз, *6* — базальт, *7—8* — андезито-базальт, *9* — вишневая серая лава андезитодацита *, *10* — перлит, *11* — андезит роговообманковый, *12* — оливиновый базальт *, *13* — игнимбрит андезитовый, *14* — обсидиан, *15* — полосчатая липаритовая лава и липарит мелкозернистый, *16* — базальт *, *17* — базальт *, *18* — базальт *

Рис. 2. Вариационная диаграмма потерь ($f = 100$ Мгц) изверженных интрузивных (*а*) и эффузивных (*б*) горных пород. Интрузивные породы: *1* — кварцевый диорит, *2* — сиенит, *3* — гранит, *4* — дунит, *5* — перидотит, *6* — гранит-аплит *, *7* — габбро *, *8* — перидотит *, *9* — габбродиабаз *, *10* — габбро *; эффузивные породы — те же, что на рис. 1

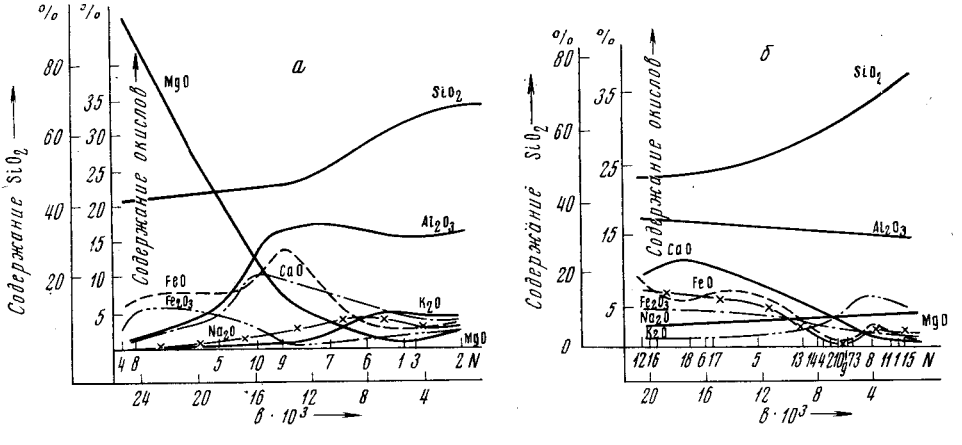

Рис. 2

На рис. 3 приведена диаграмма зависимости семи главных окислов от процентного содержания кремнезема SiO_2 в породах для интрузивных и эффузивных горных пород. Из рис. 3 следует, что процентное содержание SiO_2 в породах действительно отражает соотношение других окислов в этих породах. Данная диаграмма строилась по известным из литературы типовым анализам о химическом составе, причем для интрузивных пород взято по оси абсцисс 38 пород, а для эффузивных — 50 пород.

Можно показать, что химический состав также определяет однозначно ряд других физических свойств, например плотность, теплопроводность и т. д. Влияние различных окислов на плотность пород приведено в ([8]). Все эти связи могут быть представлены аналогичными диаграммами, которые можно рассматривать как вариационные диаграммы физико-химических свойств горных пород.

---

* Химический анализ проведен в Геологическом институте АН СССР.

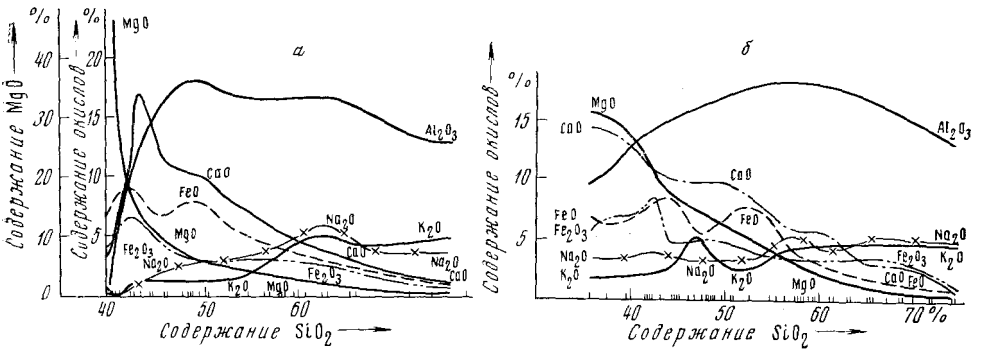

Рис. 3. *а* — вариационные диаграммы химического состава для интрузивных горных пород: *1* — дунит, *2* — гарцбургит, *3* — амфиболовый перидотит, *4* — горнблендит, *5* — пироксениты, *6* — лерцолит, *7* — тешенит, *8* — тералит, *9* — оливиновое габбро, *10* — эссекситовое габбро, *11* — габбро, *12* — эссексит, *13* — оливиновый норит, *14* — эклогит, *15* — габбро (исключая оливиновое), *16* — долерит, *17* — нориты (исключая оливиновый), *18* — кварцевое габбро, *19* — монцонит, *20* — диориты (без кварцевых диоритов), *21* — щелочноземельный сиенит, *22* — диорит (включая кварцевые диориты), *23* — щелочноземельный слюдяной сиенит, *24* — умплекит, *25* — сиениты, *26* — щелочноземельный роговообманковый сиенит, *27* — пуласкит, *28* — кварцевый диорит, *29* — акерит, *30* — щелочный сиенит, *31* — нордмаркит, *32* — гранодиорит, *33* — кварцевый монцонит, *34* — щелочноземельный гранит, *35* — гранит всех периодов, *36* — щелочный гранит, *37* — гранитовый аплит, *38* — аляскит. *б* — для эффузивных горных пород: *1* — мелилитовый базальт, *2* — мелилито-нефелиновый базальт, *3* — нефелиновый базальт, *4* — нефелинит, *5* — лимбурит, *6* — пикрит, *7* — авгитит, *8* — нефелиновый базанит, *9* — кринатит, *10* — базаниты, *11* — анальцимовый базальт, *12* — лейцитовый базанит, *13* — лейцитовый базальт, *14* — нефелиновый тефрит, *15* — лейцитит, *16* — шонкинит, *17* — базальты, *18* — плато-базальт, *19* — базальты (все), *20* — тефриты (все), *21* — трахидолерит, *22* — лейцитовый тефрит, *23* — диабаз, *24* — мелафир, *25* — кварцевый диабаз, *26* — лейцитовый фонолит, *27* — кварцевый базальт, *28* — ромбен-порфир, *29* — авгитовый андезит, *30* — фонолит, *31* — латит, *32* — трахиандезит, *33* — андезито-базальт, *34* — гиперстеновый андезит, *35* — андезиты, *36* — трахиты, *37* — роговообманковый андезит, *38* — кварцевый латит, *39* — щелочный трахит, *40* — щелочноземельные трахиты, *41* — фельзитовый туф, *42* — артикский туф, *43* — дацит, *44* — пемза черная, *45* — пемза белая, *46* — перлит с включением обсидиана, *47* — игнимбрит, *48* — липарит, *49* — риолит, *50* — обсидиан

Полученные нами зависимости целесообразно назвать вариационными диаграммами диэлектрико-химических свойств горных пород; в частности, диаграмма, содержащая величину b, является вариационной диаграммой потерь (рис. 2), а содержащая величину a — вариационной диаграммой поляризуемости (рис. 1). Согласно этим диаграммам, величины a и b уменьшаются с увеличением процентного содержания кремнезема SiO_2, окиси натрия Na_2O и окиси калия K_2O, в то время как увеличение содержания окислов железа, магния и кальция приводит к увеличению этих параметров. Следует, однако, заметить, что установленные связи являются среднестатистическими. Отклонения экспериментальных точек от средней кривой могут быть значительны. Они тем больше, чем меньше процентное содержание данного окисла. Подсчет показывает, что среднеквадратичное отклонение фактических данных от средней кривой составляет: для окиси кремния 2%, для окиси алюминия 3%, окиси железа 7%, закиси железа 6%, окиси магния 5%, окиси кальция 5%, окиси натрия 6%, окиси кальция 8%.

Сопоставление вариационных диаграмм диэлектрико-химических свойств эффузивных и интрузивных пород показывает, что кристаллическая структура влияет на диэлектрические свойства пород. Эффузивные породы имеют примерно на 15—20% бóльшие потери при одном и том же содержании кремнезема. Из вариационной диаграммы потерь (рис. 2). следует, что бóльшими потерями обладают основные горные породы, а

меньшим — кислые горные породы, как для интрузивных, так и для эффузивных горных пород.

На рис. 4 приведена зависимость от частоты средних значений параметров a и b в диапазоне 1—10 000 Мгц для двух структур горных пород. Усреднение производилось по всем породам, относящимся к классу интрузивных и эффузивных горных пород. Удельные потери b и параметр a зависят от частоты в метровом диапазоне (1—300 Мгц), а в дециметровом и сантиметровом диапазонах наблюдается сравнительно слабая зависимость от частоты.

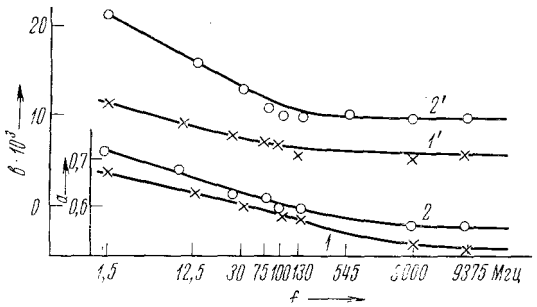

Рис. 4. Зависимость параметров a (*1*, *2*) и b (*1'*, *2'*) от частоты интрузивных (*1*, *1'*) и эффузивных (*2*, *2'*) горных пород

Сопоставляя вариационные диаграммы и частотную зависимость параметров a и b, можно сделать вывод, что предложенные вариационные диаграммы диэлектрико-химических свойств незначительно изменяются в широком интервале частот и, следовательно, они являются достаточно представительными характеристиками связи химических свойств, структуры породы с ее электрическими характеристиками.

Научно-исследовательский
радиофизический институт
Горький

Поступило
31 VIII 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] В. С. Троицкий, Новое о Луне (докл. и сообщ. на международн. симпозиуме по исследованию Луны, 1960), Изд. АН СССР, 1963. [2] В. Д. Кротиков, Изв. высш. учебн. завед., Радиофизика, **5**, № 6, 1057 (1962). [3] В. С. Троицкий, С. А. Шмулевич, ДАН, **201**, № 3 (1971). [4] Л. Н. Бондарь, К. М. Стрежнева и др., Астрономич. вестн., **3**, № 4 (1969). [5] А. Н. Заварицкий, Введение в петрохимию извергаемых пород, М., 1950. [6] С. Д. Четвериков, Руководство к петрохимическим пересчетам, М., 1956. [7] Р. О. Дэли, Изверженные породы и глубины Земли, М.—Л., 1936. [8] В. Н. Кобранова, Определение физических свойств горных пород, 1962.