

УДК 550.8:553.08:53/54

ОЦЕНКА ФОРМАЦИОННОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ГИПЕРБАЗИТОВ УРАЛА ПО ПАРАМЕТРАМ ИХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ

© 2004 г. В. В. Бахтерев

Представлено академиком Н.П. Юшкиным 12.04.2004 г.

Поступило 23.04.2004 г.

Несмотря на различные подходы в формационном делении гипербазитов, основанные либо на вещественно-металлогеническом, либо парагенетическом принципах, среди гипербазитов Урала выделяют палеозойскую офиолитовую (альпинотипную), палеозойскую дунит-клинопироксенитовую (Платиноносный пояс) формации и позднепротерозойские габброидные гипербазиты (расслоенные интрузии) [1–3]. Гипербазиты складчатых областей отличаются большим разнообразием процессов серпентинизации; генетические типы их определяются формационной принадлежностью (условиями становления), генезисом исходных пород и последующей тектоно-магматической эволюцией регионов локализации гипербазитовых массивов.

В настоящее время хорошо изучена структура силикатов [4], в том числе основных породообразующих минералов гипербазитов. Определены многие физические свойства. Однако практически нет данных об электрических параметрах, особенно при высоких температурах, их связи между собой и кристаллической структурой минералов. Раньше мы исследовали изменение электрического сопротивления в интервале 20–900°C серпентинизированных гипербазитов из ряда массивов Урала. Установлен различный характер этой зависимости для гипербазитов из различных структурно-вещественных комплексов [5–7]. Для нижнетагильских серпентинитов впервые установлена линейная связь между энергией активации в области собственной проводимости и так называемым коэффициентом электрического сопротивления [8].

Настоящая работа продолжает и развивает названные выше исследования. Ее основная задача состоит в выявлении и исследовании связи между электрическими параметрами высокотемпературной электропроводности гипербазитов из

структурно-вещественных комплексов различной формационной принадлежности.

Электрическое сопротивление определяли по методике, описанной ранее [6, 7]. Образцы для исследования вырезали в форме кубика с ребром 0.015 м. Скорость нагревания 0.066 град/с. Температуру в системе определяли в 0.01 м от образца хромель-алюмелевой термопарой. Электрическое сопротивление на постоянном токе измеряли двухэлектродной установкой через каждые 10° в интервале температур 20–900°C. Измерительный прибор – тераомметр Е6-13 с динамическим диапазоном от 10 до 10¹⁴ Ом и относительной ошибкой измерений от ±2.5 до 4% в конце диапазона.

Образцы для исследований отобраны из гипербазитовых массивов Урала. Все исследованные образцы охарактеризованы химическим, дериватографическим анализами. Из большинства образцов изготовлены прозрачные шлифы и изучены под микроскопом.

Большинство минералов и горных пород, в том числе и ультраосновных, являются ионными кристаллическими диэлектриками. Электропроводность их обусловлена обычно переносом ионов. Особенностью ионной электропроводности является ее увеличение с температурой. При этом установлено два факта [10]: имеется две области на кривой проводимости и в этих обеих областях логарифм электропроводности приближенно является линейной функцией температуры. Области различаются типом электропроводности. Первый тип электропроводности – электропроводность, обусловленная движением основных ионов кристаллической решетки, так называемая собственная электропроводность. Она существенна при высоких температурах. Второй тип – электропроводность, обусловленная движением относительно слабо закрепленных ионов. К таким ионам относятся ионы примесей и ионы, находящиеся в дефектных местах кристаллической решетки. Электропроводность, обусловленная движением основных ионов кристаллической решетки, присуща для тех же ионных кристаллов, которые обладают и элект-

Институт геофизики
Уральского отделения Российской Академии наук,
Екатеринбург

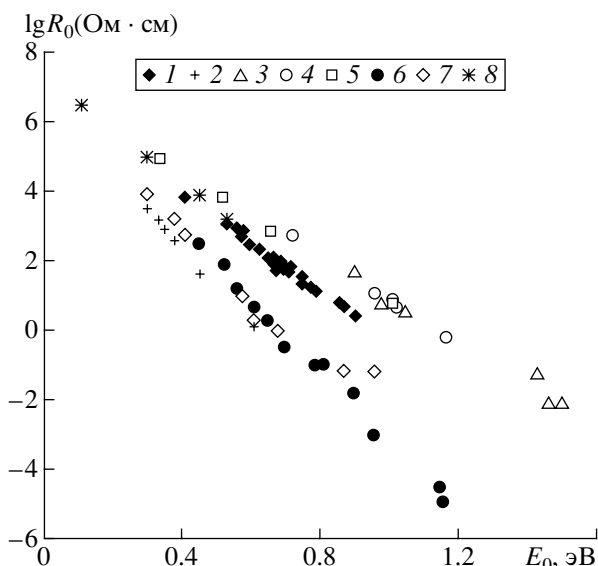


Рис. 1. Связь между E_0 и $\lg R_0$ исследованных серпентинизированных гипербазитов из некоторых структурно-вещественных комплексов различной формационной принадлежности Урала. 1 – Нижнетагильский дунит-клинопироксенитовый массив (Платиноносный пояс); 2 – Тургоякский массив (апогарцбургитовый лизардитовый серпентинит с преобладанием антигорита); 3 – Тургоякский массив (серпентинит апогарцбургитовый лизардитовый с преобладанием лизардита); 4 – Тургоякский массив (апогарцбургитовый антигоритовый серпентинит); 5 – Тургоякский массив (аподунитовый антигоритовый серпентинит); 6 – хромитовые месторождения и рудопроявления (дунит-гарцбургитовая формация Урала); 7 – Баженовское месторождение хризотил-асбеста (дунит-гарцбургитовая формация Урала); 8 – Кытлымский массив (Платиноносный пояс Урала).

ропроводностью второго типа, так как кристаллы, не содержащие ни дефектных мест, ни примесей, в природе не встречаются. Характеристикой соединения является только высокотемпературная электропроводность. Электропроводность при низких температурах резко зависит от всякого рода примесей. Поэтому в дальнейшем будем говорить только о высокотемпературной электропроводности. В физике диэлектриков электрическое сопротивление описывают формулой [10]

$$R = \frac{6kT}{n_0\delta^2q^2\nu} \exp\left(\frac{E_0}{kT}\right). \quad (1)$$

Здесь E_0 – энергия активации, которую необходимо затратить на освобождение иона (носителя заряда) от связей в кристаллической решетке; n_0 – общее число ионов в 1 см^3 , участвующих в переносе тока; q – заряд иона; δ – длина свободного пробега; ν – частота колебаний иона в полустойчивом положении; k – постоянная Больцмана; T – температура (К).

Большинство исследователей, проводивших измерения электрического сопротивления при температурах 20–900°C, например [7, 9, 11], экспериментально выявили зависимость, которую можно выразить в виде

$$\lg R = A + \frac{B}{T}. \quad (2)$$

Сопоставляя формулы (1) и (2), находим, что

$$A = \lg \frac{6kT}{n_0\delta^2q^2\nu}, \quad B = \frac{0.43E_0}{k}. \quad (3)$$

Однако линейная зависимость (2) наблюдается только в том случае, когда с повышением температуры в исследуемом образце не происходят никакие физико-химические реакции. Температурный ход электрического сопротивления серпентинитов характеризуется в интервале температур 20–900°C нарушением линейной зависимости. Аномалии электрического сопротивления чаще бывают приурочены к стадии наиболее интенсивного выделения химически связанной воды [7]. Поэтому для определения параметров высокотемпературной электропроводности серпентинитов используют только линейные участки температурной кривой.

Для определения электрических параметров кривые высокотемпературной электропроводности были построены в координатах $\lg R - 1/T$. Энергия активации E_0 определена по величине тангенса угла наклона касательной к кривой $\lg R = f(1/T)$ в некоторой точке прямолинейного участка в температурной области, где кривая $\lg R = f(1/T)$ не искажена аномальными эффектами. Коэффициент электрического сопротивления A в формуле (2), численно равный электрическому сопротивлению R_0 при $(1/T)=0$, определен как величина отрезка, отсекаемого касательной к кривой $\lg R = f(1/T)$ на оси ординат. Так были определены параметры высокотемпературной электропроводности E_0 и $\lg R_0$ в области собственной проводимости для всех исследованных образцов.

Результаты приведены на рис. 1, где показана связь между E_0 и $\lg R_0$ для исследованных серпентинитов из гипербазитовых массивов различной формационной принадлежности. Из анализа данных рисунка следует. Для разных серпентинитов установлена обратная линейная зависимость между параметрами вида

$$\lg R_0 = a - bE_0, \quad (4)$$

где a и b – коэффициенты. Причем коэффициент a практически одинаков для всех серпентинитов, а коэффициент b отличается для разных типов исследованных серпентинитов ($b = 13.2$ для апо-

гарцбургитовых лизардитовых с преобладанием антигорита серпентинитов из Тургоякского массива и $b = 5.8$ для аподунитовых антигоритовых серпентинитов из Тургоякского массива). Для серпентинитов из других массивов коэффициент b меняется от 5.8 до 13.2. Отметим также следующее. Апогарцбургитовые лизардитовые с преобладанием лизардита, апогарцбургитовые антигоритовые и аподунитовые антигоритовые серпентиниты по своим электрическим параметрам укладываются на одну прямую, как бы формируя ее разные участки. Аналогичную картину наблюдаем для исследованных серпентинитов из Нижнетагильского и Кытлымского массивов Платиноносного пояса Урала, а также из Баженовского месторождения хризотил-асбеста и хромитовых рудопроявлений и месторождений палеозойской офиолитовой формации (см. рис. 1).

Рассматривая природу связи, обратимся к формуле (1). Хотя коэффициент электрического сопротивления R_0 не имеет вполне определенного физического смысла, очевидно, что его величина может меняться за счет различных кристаллохимических особенностей соединения. В теории диэлектриков [10] указывается лишь на возможные основные причины его изменения. Некоторые из этих причин таковы: изменение концентрации подвижных ионов (в процессе электропроводности участвуют только те ионы, которые под влиянием теплового движения сорваны со своих узлов и находятся в более свободном состоянии); механизма перескока; размеров кристаллической решетки; внутрикристаллического электрического поля. От температуры зависимость слабая. Зависимость от температуры энергии активации, напротив, очевидна. Энергия активации E_0 зависит от прочности кристаллической решетки, природы подвижных ионов, от их положения в решетке. Поскольку мы не определяли кристаллохимические параметры конкретных исследованных образцов, приведенные рассуждения позволяют лишь качественно оценить экспериментально полученные связи между E_0 и $\lg R_0$ и сопоставить их с генетически различными серпентинитами из гипербазитов разных формаций.

З а к л ю ч е н и е. Получены зависимости электрического сопротивления от температуры в ин-

тервале 20–900°C серпентизированных гипербазитов из ряда массивов Урала различной формационной принадлежности. Установлены параметры высокотемпературной электропроводности (энергия активации E_0 и коэффициент электрического сопротивления $\lg R_0$). Для всех исследованных объектов выявлена линейная связь между E_0 и $\lg R_0$ вида $\lg R_0 = a - bE_0$. При этом коэффициент b меняется от 5.8 до 13.2 в зависимости от принадлежности серпентинитов к определенной формации гипербазитов. Коэффициент a практически одинаков (7.0–7.4) для всех исследованных образцов. Таким образом, по совокупности параметров E_0 и $\lg R_0$ можно судить о принадлежности исследуемого образца к тому или иному структурно-вещественному комплексу гипербазитов определенной формации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Золоев К.К., Булькин Л.Д.* В сб.: Вопросы геологической корреляции и металлогения Урала. М.: М-во геологии РСФСР, 1983. С. 72–82.
2. *Штейнберг Д.С.* В сб.: Формационное расчленение, генезис и металлогения ультрабазитов. Свердловск: УРО РАН, 1988. С. 3–11.
3. *Булькин Л.Д., Андреев М.И.* В сб.: Геология и полезные ископаемые Урала. Свердловск: УРО РАН, 1990. С. 65–74.
4. *Пуцаровский Д.Ю.* Структурная минералогия силикатов и их синтетических аналогов. М.: Недра, 1986. 160 с.
5. *Бахтерев В.В.* // ДАН. 2000. Т. 375. № 1. С. 72–74.
6. *Бахтерев В.В.* // Геология и геофизика. 2000. Т. 41. № 9. С. 1325–1330.
7. *Бахтерев В.В., Булькин Л.Д.* // ДАН. 2001. Т. 379. № 6. С. 793–796.
8. *Бахтерев В.В., Булькин Л.Д.* // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 10. С. 960–967.
9. *Бондаренко А.Т., Фельдман И.С.* // Физика Земли. 1973. № 5. С. 63–72.
10. *Сканави Г.И.* Физика диэлектриков (область слабых полей). М.; Л.: Гостехтеориздат, 1949. 500 с.
11. *Гусейнов А.А.* // Физика Земли. 1999. № 11. С. 75–82.