

## ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ПРИРОДНЫХ ПЛАГИОКЛАЗОВ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР 20-800 °С

**Бахтерев В.В.** – Институт геофизики УрО РАН, Екатеринбург

**Аннотация.** Изучены образцы плагиоклазов, в том числе лабрадоров, Урала и Украинского кристаллического щита. Получены температурные зависимости электрического сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь в интервале температур 20-800 °С. Определены электрические параметры  $lgR_0$ ,  $E_0$  исследованных образцов и установлен характер их распределения. Выявлены три группы плагиоклазов, различающихся по электрическим параметрам.

*Электрические параметры, высокая температура, энергия активации, плагиоклазы, лабрадор.*

### ELECTRIC NATURAL PLAGIOCLASE AT TEMPERATURES FROM 20 TO 800 °C

**Bakhterev V.V.** – Institute of Geophysics, UB of RAS, Yekaterinburg

**Abstract.** The paper considers the research into the samples of plagioclases, including labradorites, from the Urals and Ukraine crystalline massif deposit. The experiments allowed to establish dependence of electrical resistance and loss tangent on temperature in the range of 20-800 °C, parameters of high-temperature resistance  $lgR_0$ ,  $E_0$  for the tested samples; character of distribution of these parameters. Three types of plagioclases were revealed: differed in electric parameters.

*Elektric parameters, high temperature, activation energy, plagioclase, labradorit.*

### Введение

Широкая распространенность полевых шпатов, разнообразие их химических составов, кристаллохимические особенности фазового и структурного состояния обусловили им важное место в классификации магматических горных пород в связи с возможностью их использования в качестве наиболее информативного материала – индикатора условий кристаллизации и становления разнообразных пород (Марфунин, 1962; Ферштатер, 1968; Нейкур, Пальгуева, 1980; Кумеев, 1982). «Полевые шпаты слагают более половины земной коры, проходят через все процессы породо- и рудообразования и играют исключительную роль в познании минеральной формы вещества Земли, а также в практике геологосъемочных работ. Это – наиболее сложные и наиболее изученные минералы. Чермак еще в 1864 г. писал, что литература по полевым шпатам настолько обширна, что собственные наблюдения добавляют лишь небольшую долю нового» (Марфунин, 1962, с. 3).

В научной литературе опубликовано огромное количество работ по полевым шпатам, в том числе крупных обобщений,

например (Грэй, Тейлор, 1956; Коул, Серум, Тейлор, 1956; Марфунин, 1962; Кумеев, 1982). Тем не менее, проблема типоморфизма полевых шпатов не теряет своей актуальности. Главными типоморфными признаками полевых шпатов являются их состав, упорядоченность  $Si$  и  $Al$  атомов кремне-алюмо-кислородного каркаса, процессы инверсионных переходов (Грэй, Тейлор, 1956; Марфунин, 1962; Зырянов, 1981).

Характерной особенностью плагиоклазов, представляющих изоморфный ряд  $NaAlSi_3O_8$ - $CaAlSi_2O_8$ , является последовательное изменение состава и физических свойств в пределах всей серии от альбита до анортита. Более сложны для изучения явления упорядоченности структуры минералов: от полной упорядоченности, когда структурные элементы (атомы, радикалы) размещаются по одной правильной системе, до полной неупорядоченности, когда эти элементы располагаются равномерно во всех возможных кристаллографических позициях. Первые из них – относительно низкотемпературные, вторые – высокотемпературные. Структурное состояние зависит от температуры кристаллизации и от

последующей температурной истории минерала. Полевые шпаты, которые после охлаждения сохраняют структуру, присутствующую высокотемпературным разностям – высокотемпературные. Низкотемпературные полевые шпаты – те, которые либо кристаллизовались при низкой температуре, либо медленно охлаждались. Фактически есть два ряда минералов: высокотемпературные и низкотемпературные. Кроме того, отмечены и промежуточные разности. Вследствие различного характера распределения тетраэдрических и нететраэдрических изоморфных катионов полевые шпаты характеризуются большим разнообразием структурных состояний, тонко отражающих условия кристаллизации.

Набор свойств минералов, несущих генетическую информацию, разнообразен. Это оптические, люминесцентные, термические и другие свойства. При этом, хотя показатели преломления низкотемпературных плагиоклазов непрерывно изменяются от альбита к анортиту, многие другие оптические и физические свойства находятся в более сложной зависимости от состава и между значениями для конечных членов серии может и не быть непрерывного перехода (Дир, Хауи, Зусман, 1966; Крамаренко, 1975). Определенное место в этом ряду могут занять электрические свойства, в том числе при высоких температурах, полевых шпатов, которые несут информацию о кристаллохимических особенностях фазового и структурного состояния вещества. Однако сведения о температурной зависимости электрических параметров полевых шпатов весьма ограничены (Иоффе, Янчевская, 1958; Пархоменко, 1989; Гусейнов, Гаргацев, 2002).

#### **Результаты предыдущих исследований**

В предыдущей работе (Бахтерев, 2008) мы исследовали зависимость электрического сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь в интервале температур 20-800 °С некоторых полевых шпатов. Было изучено 9 образцов плагиоклазов, из них один образец определен, как лабрадор. Все образцы охарактеризованы

химическим анализом.

Для исследованных образцов обнаружен примерно одинаковый характер температурного хода тангенса угла диэлектрических потерь и электрического сопротивления. По величине электрического сопротивления все образцы отличаются незначительно. Расхождение между крайними значениями не превышает одного порядка в интервале 200-800 °С.

Кривые  $lgR=f(T)$  при переменном напряжении имеют три аномальные зоны: четко выраженный минимум в интервале 100-300 °С, также четко выраженный максимум в интервале 400-500 °С и незначительный максимум или область перегиба в интервале 610-750 °С.

На кривых  $lgR=f(T)$  при постоянном напряжении отмечаются три линейных участка при температурах 200-400, 300-650 и 500-850 °С с разными углами наклона. Для отдельных образцов внутри указанных температурных интервалов положение линейных участков и их протяженность различны.

Диэлектрические потери минимальны в интервале 100-300 °С. При дальнейшем повышении температуры диэлектрические потери непрерывно увеличивается различным образом. Кривые  $lg(tg\delta)$  испытывают перегибы в области 500-700 °С. Ширина и глубина минимума в интервале 100-300 °С различна для разных образцов. Наличие экстремумов на кривой диэлектрических потерь говорит о релаксационных потерях, которые обусловлены неоднородностью вещества.

По всем трем измеренным электрическим параметрам на кривых выделены характерные точки и области в температурных интервалах 200-400, 300-650 и 500-850 °С.

Соответствие этих температур не может быть случайным. По данным (Зырянов, 1977; 1978) в интервалах 350-400 и 665-695 °С лежат значения температур фазовых превращений полиморфных разновидностей полевых шпатов. Температуры этих переходов фиксируются на кривых  $lgR$  максимумами и перегибами и, возможно, перегиба-

ми на кривых  $lg(tg\delta)$ . Для исследованных образцов точки максимумов находятся в интервалах 400-500 и 610-750 °С, что согласуется с результатами (Зырянов, 1977; 1978). Отмечено также следующее: с увеличением  $Na_2O$  в исследуемых образцах температуры фазовых переходов растут. Так на кривой образца плагиоклаза с содержанием  $Na_2O$  равным 1,86% экстремумы отмечены при температурах 400 и 670 °С, а образца плагиоклаза с содержанием  $Na_2O$  равным 9,34% – 500 и 720 °С, что также согласуется с результатами специальных исследований (Зырянов, 1977; 1978).

Рассчитаны энергии активации  $E_0$  и коэффициент электрического сопротивления  $lgR_0$  для трех областей.

Точки излома кривых, где меняется характер проводимости (с примесной на собственную) для разных исследованных образцов лежат в пределах от 500 до 660 °С. Ранее установлено (Гусейнов, Гаргацев, 2002), что переход от примесной к собственной проводимости в микроклине происходит в области 650 °С. Положение точки излома на кривой определяется двумя факторами: температурой фазового перехода конкретного образца, чистотой и совершенством (отсутствие дефектных областей) исследуемого кристалла. Чем совершеннее, чище, без примесей кристалл, тем ниже будет находиться точка излома.

Для температурного интервала 500-800 °С прослеживается линейная связь между  $E_0$  и  $lgR_0$ . Положение точек с координатами  $E_0$ ,  $lgR_0$  в поле  $lgR_0=f(E_0)$  в некоторой степени связано с химическим составом образца. Для других температурных интервалов какой-либо связи между  $E_0$  и  $lgR_0$  не просматривается.

Выявлено, что по всем электрическим параметрам лабрадор существенно отличается от остальных плагиоклазов. Исключительный характер температурного хода тангенса угла диэлектрических потерь и электрического сопротивления лабрадора отмечен (также на единичных примерах) и другими авторами (Иоффе, Янчевская, 1958; Пархоменко, 1989; Гу-

сейнов, Гаргацев, 2002).

Данная работа продолжает начатые исследования. Здесь расширен круг объектов, увеличено количество образцов плагиоклазов, в том числе и лабрадоров. Цель ее – на большем количестве образцов подтвердить или опровергнуть полученные ранее закономерности, в том числе «исключительность» лабрадора.

#### **Методика исследований и образцы**

Методика определения электропроводности образцов горных пород и электрических параметров при высоких температурах описана ранее (Бахтерев, 2000; 2004). Измерения выполнены в открытой системе при атмосферном давлении. Образцы для исследования вырезали в форме кубика с ребром 0,015 м. Исследуемые образцы предварительно прогревали при равномерном увеличении температуры от 20 до 800 °С в течение четырех часов и охлаждадали до комнатной температуры. 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 °С в интервале температур 20-800 °С. Измерительный прибор — тераомметр Е6-13 с динамическим диапазоном от 10 до  $10^{14}$  Ом и относительной ошибкой измерений от  $\pm 2,5\%$  до 4% в конце диапазона. В качестве измерительного прибора для определения электрических параметров на переменном токе использован «Измеритель L, C, R цифровой» Е7-8. Прибор позволяет измерять тангенс угла диэлектрических потерь  $tg\delta$  и активное сопротивление. Рабочая частота прибора 1000 Гц.

Для определения энергии активации  $E_0$  и коэффициента электрического сопротивления  $lgR_0$  кривые высокотемпературной электропроводности были построены в координатах  $lgR$ ,  $1/T$ . Энергия активации  $E_0$  определена по величине тангенса угла наклона касательной к кривой  $lgR=f(1/T)$  в некоторой точке прямолинейного участка в температурной об-

ласти, где кривая  $lgR=f(1/T)$  не искажена аномальными эффектами. Коэффициент электрического сопротивления  $lgR_0$  определен как величина отрезка, отсекаемого касательной к кривой  $lgR=f(1/T)$  на оси ординат.

Исследовано 42 образца плагиоклазов, из них 24 образца определены как лабрадоры; 8 образцов лабрадоров – с Украинского кристаллического щита, остальные 16 и все плагиоклазы – с Урала. Кроме того изучены два образца горной породы: габбро – из Баженовского месторождения хризотил-асбеста и гранит – из Шарташского гранитного массива. Из образцов габбро и гранита изготовлены прозрачные шлифы и изучены под микроскопом. Минеральный состав габбро (%): сосюритизированный плагиоклаз – 80, роговая обманка – 3, псевдоморфозы хлорита по роговой обманке – 7, кварц – 10. Предположительно плагиоклаз представлен андезином. Состав гранита (%): плагиоклаз – 75, кварц – 10, амфибол – 5, слюда – 5. Для четырех образцов лабрадоров в таблице приведен химический состав.

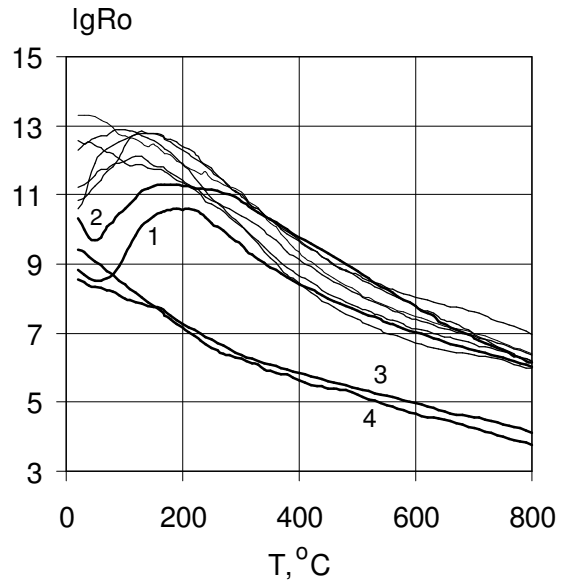
Химический анализ лабрадоров выполнен в аналитической лаборатории ОАО «Уралмеханобр» (аналитик Г.А. Куприянова).

**Результаты и их обсуждение**

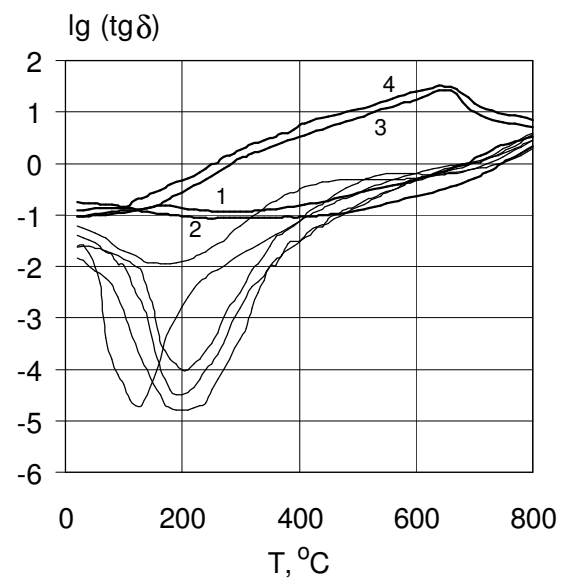
Для всех исследованных образцов измерены температурные зависимости электрического сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь в интервале 20-800 °С.

В качестве примера на рис. 1, 2 приведены типичные кривые  $lgR=f(T)$  и  $lg(tg\delta)$  исследованных образцов.

Чтобы не загромождать рисунки, показана только часть результатов, четко прослеживающих тенденцию изменения параметров различных плагиоклазов с изменением температуры. Выделено три вида температурных кривых электрического сопротивления. Одна группа – плагиоклазы, за исключением лабрадоров. Установлено, что образцы плагиоклазов по величине электрического сопротивления при нормальной температуре различаются примерно на пять порядков. В интервале 20-200 °С



**Рис. 1.** Типичные кривые температурной зависимости электрического сопротивления плагиоклазов: 1-4 – кривые лабрадоров, описанных в таблице. Электрическое сопротивление R, Ом



**Рис. 2.** Типичные кривые температурной зависимости тангенса угла диэлектрических потерь плагиоклазов: 1-4 – то же, что на рис. 1

электрическое сопротивление ведет себя сложным образом: сопротивление одних образцов увеличивается, других – уменьшается так, что при температуре 200 °С различие не превышает одного порядка. Такое различие сохраняется во всем температурном интервале 200-800 °С. Исключение составляют лабрадоры.

Таблица. Химический состав лабрадоров

№№ об-разцов	Содержание оксидов, %							Место отбора
	$K_2O$	$Na_2O$	$CaO$	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$Fe_2O_3$	$TiO_2$	
1	0,51	3,28	11,9	31,7	50,1	0,74	0,15	Украина
2	0,04	2,20	16,6	32,2	45,5	1,08	0,03	Урал
3	1,02	3,97	9,56	26,8	49,9	5,38	0,34	Урал
4	0,84	4,08	8,56	24,3	52,8	5,06	0,30	Урал

По величине электрического сопротивления при нормальной температуре лабрадоры различаются примерно на два порядка. С повышением температуры сопротивление всех исследованных украинских и части уральских лабрадоров растет, достигает максимального значения при 200 °С (рис. 1, кривые 1, 2). В интервале 200-800 °С – находится в тех же пределах, что и остальных плагиоклазов. Часть образцов лабрадоров (некоторые уральские лабрадоры) существенно отличается по величине и характеру кривых сопротивления от всех других плагиоклазов (рис. 1, кривые 3, 4). Электрическое сопротивление этих лабрадоров уменьшается с ростом температуры и на два-три порядка ниже остальных плагиоклазов в температурном интервале 200-800 °С.

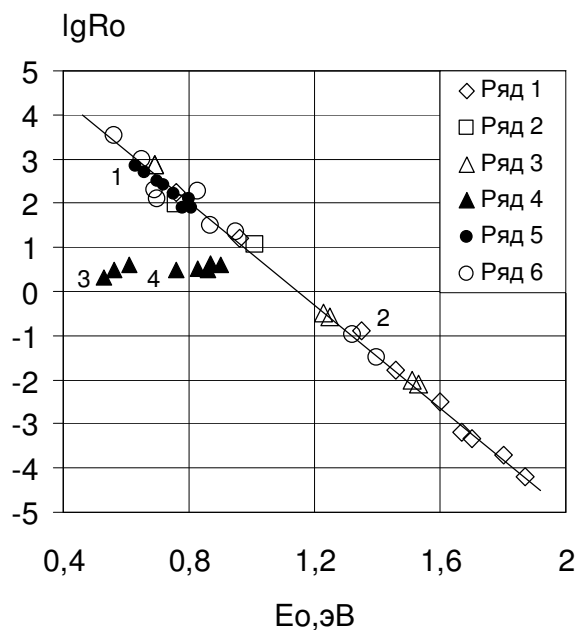
По величине и характеру поведения диэлектрических потерь в интервале 20-200 °С исследованные плагиоклазы также четко разделяются на три группы (рис. 2). Одну группу образцов составляют плагиоклазы, за исключением всех лабрадоров. Диэлектрические потери этих образцов минимальны в интервале 100-300 °С. При дальнейшем повышении температуры  $lg(tg\delta)$  непрерывно увеличивается различным образом. Кривые испытывают перегибы в области 500-700 °С. Ширина и глубина их минимума в интервале 100-300 °С различна для разных образцов. Вторая группа образцов – лабрадоры украинские и часть уральских (рис. 2, кривые 1, 2). Третья группа образцов – некоторые уральские лабрадоры (рис. 2, кривые 3, 4). При нормальной температуре тангенс угла диэлектрических потерь всех образцов находится в пределах одного порядка. Из всех исследованных плагиоклазов наибольшими диэлектрическими потерями характеризуются

лабрадоры. В интервале 20-100 °С характер кривых всех лабрадоров одинаков.

При 80-100 °С по характеру кривых  $lg(tg\delta)$  и величине тангенса угла диэлектрических потерь лабрадоры делятся на две группы. Диэлектрические потери образцов украинских и части уральских лабрадоров почти постоянны в интервале 20-400 °С. При более высоких температурах монотонно растут, как бы «вливаясь в пучек» кривых остальных плагиоклазов. Диэлектрические потери образцов некоторых уральских лабрадоров непрерывно растут, достигают четкого максимума при температуре около 650 °С. Значения  $lg(tg\delta)$  внутри каждой из обеих групп лабрадоров различаются не более чем в 2-3 раза во всем температурном интервале.

Таким образом, по обоим электрическим параметрам – электрическому сопротивлению и диэлектрическим потерям все исследованные плагиоклазы разделяются на три группы.

На рис. 3 показана связь между энергией активации и коэффициентом электрического сопротивления исследованных образцов плагиоклазов. Для исследованных образцов энергия активации меняется от 0,5 эВ до 1,9 эВ; коэффициент электрического сопротивления  $lgRo$  – от -4,2 до 3,5. Установлен характер этого распределения. Для температурного интервала 500-800 °С выявлена линейная связь между  $Eo$  и  $lgRo$ . Корреляционное уравнение имеет вид  $lgRo=6,66-5,69Eo$  с  $\sigma=\pm 0,25$ . При расчете корреляционного уравнения были исключены значения  $Eo$  и  $lgRo$  некоторых «аномальных» уральских лабрадоров (на рис. 3 – лабрадоры ряда 4). По результатам химического анализа «аномальные» лабрадоры отличаются от «нормальных» содержанием всех оксидов, особенно оксида же-



**Рис. 3.** Связь между  $E_o$  и  $lgRo$  исследованных образцов плагиоклазов: ряд 1 – вишневогорские плагиоклазы; ряд 2 – габбро (Баженовское месторождение хризотил-асбеста) и гранит (Шарташский массив); ряд 3, 4 – уральские лабрадоры; ряд 5 – лабрадоры Украинского кристаллического щита; ряд 6 – уральские плагиоклазы, исследованные нами раньше (Бахтерев, 2008). Цифры около некоторых точек – номера образцов лабрадоров, описанных в таблице. Прямая линия – корреляция  $lgRo=f(E_o)$  исследованных образцов плагиоклазов за исключением лабрадоров ряда 4

леза (таблица).

В связи с этим сошлемся на результаты исследований структуры плагиоклазов. А именно изменения, связанные с упорядочением  $Al$  и  $Si$ , в структуре анортитового типа. В работе (Гэй, Тейлор, 1956) отмечены наблюдения над некоторыми «аномальными» плагиоклазами.

Показано, что лабрадор, содержащий 5% ортоклаза, 33% альбита и 62% анортита, от которого следовало бы ожидать структуры типа «структуры средних плагиоклазов», в действительности обнаружил пример плагиоклаза с анортитовой структурой, в котором распределение  $Al$  и  $Si$  далеко от полного порядка. Авторы полагают, что неупорядоченное состояние в этом образце лабрадора может быть следствием ряда причин: или значительным неравенством числа атомов  $Al$  и  $Si$ , или влиянием небольшого количества присутствующих в нем атомов  $K$ , или следствием замещения  $Ca$  атомами  $Na$ . Полученные нами результаты не противоречат данному утверждению. По всем отмеченным в (Гэй, Тейлор, 1956) параметрам исследованные нами «аномальные» лабрадоры отличаются от, назовем их, «нормальных» лабрадоров. В связи с этим комплексное исследование электропроводности и структуры коллекции образцов «средних плагиоклазов» представляется весьма интересным.

Автор благодарит кандидатов геолого-минералогических наук Л.Д. Булыкина, Н.В. Вахрушеву, А.Ф. Коптяева, предоставивших для исследования образцы плагиоклазов из своих личных коллекций.

#### Заключение.

Исследована высокотемпературная электропроводность 42 образцов плагиоклазов (34 из них – уральские), в том числе лабрадоров Урала (16 образцов) и Украинского кристаллического щита (8 образцов).

Получены температурные зависимости электрического сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь в интервале 20-800 °С, энергия активации  $E_o$  (для температурного интервала 500-800 °С) и коэффициент электрического сопротивления  $lgRo$ . Для исследованных образцов энергия активации меняется от 0,5 эВ до 1,9 эВ; коэффициент электрического сопротивления  $lgRo$  – от -4,2 до 3,5. Установлен характер этого распределения. Выявлена линейная связь между  $E_o$  и  $lgRo$  для образцов плагиоклазов, за исключением части уральских («аномальных») лабрадоров. Корреляционное уравнение имеет вид  $lgRo=6,66-5,69E_o$  с  $\sigma=\pm 0,25$ .

По электрическим параметрам все исследованные плагиоклазы разделяются на три группы: 1 – плагиоклазы, за исключением всех лабрадоров; 2 – украинские и

часть уральских лабрадоров; 3 – часть уральских («аномальных») лабрадоров. Фигуративные точки «аномальных» лабрадоров в координатах  $Eo$ ,  $IgRo$  по-разному отклоняются от базовой линии  $IgRo=6,66-5,69Eo$ . Не связано ли это явление с различной упорядоченностью структуры минералов?

Высказанное ранее предположение, что изменения параметров электропроводности, вероятно, взаимосвязаны с процессами инверсионных переходов и разупорядочения в полевых шпатах и в некоторой степени с их химическим составом, не было опровергнуто новым фактическим материалом. «Аномальные» по электрическим параметрам лабрадоры отличаются от «нормальных» также по содержанию всех оксидов. При этом все исследованные лабрадоры по величине электрического сопротивления, диэлектрическим потерям и по характеру поведения их при высоких температурах отличаются от остальных плагиоклазов. Однако для выяснения первопричины «аномальности» электропроводности лабрадоров необходимы специальные исследования. Отметим также, что исследованные лабрадоры не иризируют.

Так как мы не имели данных о структуре исследованных плагиоклазов, их минеральной чистоте, то приведенные результаты позволяют говорить лишь о принципиальной возможности получения новой дополнительной информации о полевых шпатах, как петрогенетических индикаторах, электрическими методами.

### Литература

*Бахтерев В.В.* Методика измерения электрического сопротивления гипербазитов при высоких температурах // Уральский геофизический вестник. 2000. № 1. С. 18-20.  
*Бахтерев В.В.* Оценка формационной принадлежности гипербазитов Урала по параметрам их высокотемпературной электропроводности // Докл. РАН. 2004. Т. 398. № 3. С. 371-373.  
*Бахтерев В.В.* Высокотемпературная электропроводность некоторых полевых шпатов // Докл. РАН. 2008. Т. 420. № 2. С. 199-202.  
*Гэй П. и Тейлор В.Х.* Структуры плагиок-

лазов. Изменения анортитовой структуры. / Полевые шпаты, 2-й сб. статей, пер. с англ. А.С. Марфунина. М.: Изд-во иностр. лит., 1956. С. 47-56.

*Гусейнов А.А., Гаргацев И.О.* Особенности электропроводности щелочных полевых шпатов при высоких температурах // Физика Земли. 2002. № 6. С. 82-86.

*Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж.* Породообразующие минералы. Т.4. Каркасные силикаты. М.: Мир, 1966. 482 с.

*Зырянов В.Н.* Температура микроклинортоклазового перехода по экспериментальным данным и природным парагенезисам // ДАН СССР. 1977. Т. 233. № 6. С. 1192-1195.

*Зырянов В.Н.* Температура санидинортоклазового перехода // ДАН СССР. 1978. Т. 241. № 4. С. 917-919.

*Зырянов В.Н.* Фазовое соответствие в системах щелочных полевых шпатов и фельдшпатоидов. М.: Наука, 1981. 220 с.

*Иоффе В.А., Янчевская И.С.* Диэлектрические потери в полевых шпатах // Журнал технической физики. 1958. Т. 38. № 10. С. 2154-2164.

*Коул В.Ф., Серум Х. и Тэйлор В.Х.* Структура плагиоклазов / Полевые шпаты, 2-й сб. статей, пер. с англ. А.С. Марфунина. М.: Изд-во иностр. лит., 1956. С. 9-27.

*Крамаренко Н.К.* Фазовый состав, пластинчатое строение и иризация плагиоклазов. Киев: Наукова думка, 1975. 106 с.

*Кумеев С.С.* Полевые шпаты – петрогенетические индикаторы. М.: Недра, 1982. 208 с.

*Марфунин А.С.* Полевые шпаты – фазовые взаимоотношения, оптические свойства, геологическое распределение. Труды ИГЕМ. Вып. 78. 1962. 275 с.

*Нейкур Т.Л., Пальгуева Г.В.* Полевые шпаты как источник информации о генезисе редкометальной минерализации одного из гранитных массивов Урала // Труды Института геологии Коми филиала АН СССР. 1980. Вып. 31. С. 157-158.

*Пархоменко Э.И.* Геоэлектрические свойства минералов и горных пород при высоких давлениях и температурах. М.: Наука, 1989. 198 с.

*Феритатер Г.Б.* Полевые шпаты гранитоидов Урала, как индикаторы условий их формирования // ДАН СССР. 1968. Т. 180. № 6. С. 1457-1459.