

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОБРАЗЦОВ РУД ЕСТЮНИНСКОГО И ГОРОБЛАГОДАТСКОГО СКАРНОВО-МАГНЕТИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В СВЯЗИ С ИХ ГЕНЕТИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ

Бахтерев В.В. – Институт геофизики им. Ю.П. Булашевича УрО РАН, Екатеринбург

Аннотация. По литературным источникам сопоставлены генетические особенности Естюнинского и Гороблагодатского железорудных месторождений (Средний Урал), парагенезис, типы и минеральный состав руд. Изучены образцы магнетитовых руд различного парагенезиса и минерального состава. Получены температурные зависимости электрического сопротивления в интервале температур 20–800°C. По характеру температурных зависимостей и величине электрического сопротивления выделено несколько групп образцов. Определены электрические параметры исследованных образцов $\lg R_0$ и E_0 , установлен характер их распределения. Для исследованных образцов магнетитовых руд всех минеральных типов выявлена линейная связь между параметрами вида $\lg R_0 = a - bE_0$. Коэффициент a изменяется от 1,79 (для исследованных руд с сульфидами Гороблагодатского месторождения) до 4,99 (для руд Естюнинского месторождения) в зависимости от типа, минерального состава и парагенезиса магнетитовой руды. Коэффициент b практически одинаков и равен 6,60 для всех исследованных образцов обоих месторождений.

Электрическое сопротивление, высокая температура, энергия активации, магнетит, генезис, типы руд

Введение

Естюнинское и Гороблагодатское скарново-железорудные месторождения расположены в Тагило-Кушвинском железорудном районе (Средний Урал) и пространственно связаны с интрузиями Тагило-Кушвинского массива, залегающая в то же время в вулканогенно-осадочных толщах нижнего силура (Карасик, 1957; Овчинников, 1960; Штейнберг, 1957).

Минеральные парагенезисы метаморфических и метасоматических преобразований железорудных скарновых месторождений, последовательность и физико-химические условия их образования детально рассмотрены в ряде классических работ, например, Л.Н. Овчинникова (Овчинников, 1960). Скарново-магнетитовые месторождения весьма разнообразны по геолого-структурным и морфологическим особенностям, характеру связи с интрузивным магматизмом, характеру распределения их в пределах рудных зон. Каждое месторождение имеет свои специфические черты развития скарново-рудного процесса. Согласно вулканогенно-осадочной гипотезе интрузия, не будучи по своей природе металлоносной, вызывает регенерацию ранее образованной минерализации (Мазуров и др., 1975). Она вызывает перекристаллиза-

цию и перенос некоторого количества рудного вещества, используемого на образование метасоматитов и эпигенетического оруденения (Белевцев и др., 1982).

Цель настоящей работы – исследовать температурную зависимость электрического сопротивления образцов магнетитовых руд Естюнинского и Гороблагодатского скарново-магнетитовых месторождений в связи с особенностями их генезиса, различного минерального состава, парагенезиса; определить электрические параметры (энергию активации E_0 , коэффициент электрического сопротивления $\lg R_0$), установить и сопоставить характер этого распределения.

Генетические особенности Естюнинского и Гороблагодатского месторождений (сходство и различие; минеральный состав руд)

Вулканогенно-осадочный комплекс пород сложен базальтами, их туфами, туфоконгломератами, туфопесчаниками. Время проявления вулканизма подразделяется на три хронологических интервала (Коровин, 1985). Для каждого из них характерен свой набор продуктов извержений, объем и распределение отложений. Залегающая в стратифицированных вулканоген-

ных толщах месторождения пространственно связаны с интрузиями Тагило-Кушвинского района. Формирование месторождений проходило в два этапа. На первом этапе происходит формирование железосодержащих металлоносных рассолов во впадинах морского бассейна. Второй этап связан с контактовым метасоматизмом в связи с внедрением сиенитовой интрузии, что обусловило скарнирование пород рудовмещающей толщи.

На Гороблагодатском месторождении «в начальный период в придонной обстановке происходит преимущественно хемогенное осаждение руд, вероятно, в виде гидрооксидов железа. Последующее внедрение интрузии привело к скарнированию и преобразованию как вмещающих пород, так и первичных пластовых руд» (Рудницкий, Кузнецов, 2003, с. 565). По Естюнинскому месторождению результаты исследований «указывают на первично импрегнационно-метасоматический способ рудоотложения в придонной обстановке. В последующем, в связи с внедрением интрузий, руды претерпели термальную метаморфизм и преобразованы в магнетитовые залежи» (Рудницкий и др., 2013, с. 561). [*Импрегнация – проникновение вещества в жидком или газообразном состоянии в первичную породу. Импрегнация связывается с осаждением без химического взаимодействия с породой. Хемогенный способ рудоотложения – образование путем химического осаждения разнообразных веществ из раствора и накопление их на дне водоема* (Петрографический..., 1981)]. «Признаки первичного вулканогенно-осадочного генезиса проявлены на Естюнинском месторождении, по сравнению с другими аналогичными месторождениями района, наиболее отчетливо. К ним относятся: а) конформное залегание рудных тел пластообразной формы с вмещающими их вулканогенно-осадочными породами; б) крайне незначительное проявление скарнообразования и практически отсутствие карбонатных пород» (Рудницкий и др., 2000, с. 128).

Месторождения (Естюнинское и Гороблагодатское) формировались на протяжении длительного интервала времени в изменяющихся термодинамических условиях среды, отличаются сложной геологической обстановкой, претерпели многократные во времени

и характеру воздействия, что существенным образом отразилось на минеральном составе руд, парагенезисе, а так же на составе магнетита. Месторождения отличаются по геолого-структурным и морфологическим особенностям, характеру связи с интрузивным магматизмом, характеру распределения их в пределах рудных зон. При этом морфологические особенности, строение рудных залежей, состав руды и степень изменения окolorудных пород, определяющих в свою очередь тип месторождения и масштабы оруденения, в значительной мере обусловлены его положением в вулканоплутонической структуре, зависят от глубины протекания рудообразующего процесса. Более того, «разные генерации одного и того же минерала, возникающего на последовательных этапах и стадиях формирования каждого месторождения всегда различаются между собой по составу, формам и размерам выделений, структурным характеристикам, физическим свойствам» (Типоморфизм..., 1989, с. 17).

«По структурному положению рудные тела района подразделяются на следующие основные группы (Геология..., 1973): несогласные с контактовой поверхностью интрузивного массива, но согласные со слоистостью пород кровли (Гороблагодатское и др.); согласные с контактовой поверхностью интрузивных тел и слоистостью пород кровли (Рудницкий и др., 2013). По составу скарнов, развитых в контакте интрузий Тагило-Кушвинского района, выделяются месторождения с развитием парагенетических ассоциаций: пироксен-гранат-магнетитовой (Гороблагодатское); диопсид-олигоклаз-магнетитовой (Естюнинское).

По особенностям состава магнетитовые руды Естюнинского месторождения относятся к типу титановадистых железных руд, а Гороблагодатского месторождения – к типу кобальтомедистых руд (Карасик, 1957; Овчинников, 1960). Входя в состав магнетита на Гороблагодатском месторождении марганец образует собственные рудные концентрации; медь проявляется в форме собственно медно-скарновых объектов на флангах Гороблагодатского месторождения (Кузнецов А.Ж., 2003а).

«Важнейшим диагностическим признаком генезиса руд и пород является их веще-

ственный состав и текстуры, а особенности распределения их в рудных телах отражают изменения условий рудоотложения. Реликты первичных текстур сохраняются даже при интенсивных преобразованиях» (Рудницкий и др., 2000; Рудницкий, Кузнецов, 2003). При этом текстурный рисунок является наиболее устойчивым элементом строения руд в процессах наложенного характера (метаморфизма, метасоматоза и т. д.), сохраняя свои первичные особенности. Текстуры магнетитовых руд в большинстве своем неоднородные.

Магнетитовые залежи Естюнинского месторождения преимущественно (до 70% объема залежей) представлены аллотриоморфно-зернистыми рудами коррозионной структуры. Рудные тела линзо-пластообразной формы согласно залегают в метаморфизованных вулканогенно-осадочных породах. Руды в большинстве своем (до 85%) вкрапленные, относительно равнозернистые; весь объем рудных тел как бы пропитан магнетитовой минерализацией (магнетита менее 50%), полосчатые и пятнистые магнетитовые руды (Рудницкий и др., 2013).

По содержанию магнетита руды Естюнинского месторождения условно подразделяются на массивные (сплошные), с содержанием магнетита в рудах более 50%, и вкрапленные (не сплошные) – магнетита меньше 50%. Текстурный рисунок в сплошных и вкрапленных рудах в целом однотипен, одни и те же разновидности известны в том и другом случаях. Текстурный рисунок руд наследует текстуры вулканокластических. Преобладают линзовидно-полосчатые и пятнистые текстуры руд, в подчиненном количестве распространены однородные, брекчиевидные, неяснослоистые и реликтовые слоистые (Рудницкий и др., 2013; Рудницкий, Кузнецов, 2014).

Минеральные парагенезисы метаморфических и метасоматических преобразований железорудных месторождений скарнового типа, последовательность и физико-химические условия их образования детально рассмотрены в ряде классических работ (Коржинский Д.С., 1993).

На Гороблагодатском месторождении выделяют несколько этапов метаморфических и метасоматических преобразований: пегматоидную собирательную перекристаллизацию

с образованием пироксен-калишпатовых, пироксен-скаполитовых метасоматитов и пироксен-калишпат-магнетитовых руд, получивших название «оспенных»; скарнирование, отвечающие условиям формирования и парагенезисами формации известковых скарнов (Штейнберг, 1957; Овчинников, 1960;). Скарны известковой формации представлены пироксен-гранатовыми и гранатовыми ассоциациями; последняя преобладает над пироксен-гранатовой, «... что является характерной чертой для рассматриваемого месторождения» (Скарновые ..., 1985, с. 140).

Кроме того, характерной особенностью скарнов Гороблагодатского месторождения является их стратифицированное залегание в пределах рудоносных уровней. На месторождении выделяют три типа руд: скарновый «оспенный», гидросиликатный (Бахтерев, Кузнецов, 2012а). По содержанию железа среди скарновых выделяют магнетитовые, гранат-магнетитовые и магнетит-гранатовые руды

«Оспенные» руды характеризуются пироксен-ортоклаз-магнетитовым, пироксен-магнетитовым, скаполит-магнетитовым парагенезисами и повышенными содержаниями титана и ванадия. Отдельную группу составляют руды, характеризующиеся парагенезисом магнетита с хлоритом, кальцитом, эпидотом и отчасти актинолитом. Это руды гидросиликатные. Они отличаются от скарновых и «оспенных» руд текстурно-структурными особенностями, химическим составом.

«Оспенные, скарновые и гидросиликатные руды не отличаются набором элементов-примесей, но отличаются их содержаниями. Наиболее «чистым» является магнетит «оспенных» руд, содержание марганца, магния и алюминия – наименьшее среди руд Гороблагодатского месторождения, но при этом резко увеличено количество титана и ванадия. Скарновые руды характеризуются пониженными содержаниями титана и ванадия, высокими содержаниями алюминия и марганца. Для гидросиликатных руд свойственны минимальные значения титана, ванадия и магния, что является их отличительной чертой» (Бахтерев, Кузнецов, 2012а, Кузнецов, 2003а).

Особо выделяются руды с сульфидами (Григорьев и др., 1989; Кузнецов, 2003б;

Нечкин и др., 1999). На месторождении преобладает пирит, количество которого достигает 90% от общей массы сульфидной минерализации. Присутствуют также халькопирит, пирротин, марказит, сфалерит, галенит, борнит. Пирит является сквозным минералом, считают, что он отлагался одновременно с рудой. Пирит содержит золото, кобальт (Григорьев, 1989; Кузнецов, 2003б). Руды с сульфидами подразделяются на пирит-магнетитовую и халькопирит-пирит-магнетитовую ассоциации (Бахтерев, Кузнецов, 2012а).

Методика исследований

Методика определения электропроводности образцов горных пород и электрических параметров при высоких температурах описана ранее (Бахтерев, Кузнецов, 2012б). Образцы для исследований вырезали в форме кубика с ребром 0,02 м. Измерения выполнены в открытой системе при атмосферном давлении. Электрическое сопротивление измеряли двухэлектродной установкой через каждые 10 градусов в интервале температур 20–800 °С. Скорость нагревания 0,066 град/с. Температуру в системе определяли платино-платинородиевой термопарой в 0,01 м от образца. Измерения электрического сопротивления осуществляли при постоянном напряжении. Прибор для измерения электрического сопротивления на постоянном токе – тераомметр Е6-13 с динамическим диапазоном от 10 до 10^{14} Ом и пределами допустимой относительной погрешности измерений от $\pm 2.5\%$ до 4% в конце диапазона. 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. Этому условию удовлетворяет окрестность температуры магнитного превращения (точка Кюри). Коэффициент электрического сопротивления $\lg R_0$ определен как величина отрезка, отсекаемого касательной к кривой $\lg R=f(1/T)$ на оси ординат.

Результаты исследований

По величине электрического сопротивления при температуре 20 °С исследованные образцы различаются на 8–9 порядков, а при температуре 800 °С – до двух порядков. Во всем температурном интервале характер кривых отдельных образцов меняется неодинаковым и сложным образом. В области температуры Кюри на кривых всех исследованных образцов наблюдается прямолинейный участок. Положение и протяженность прямолинейного участка на температурной кривой для отдельных образцов имеет разное значение, что, вероятно, обусловлено их минеральным составом и парагенезисом. В температурной области 450–650 °С определены электрические параметры (энергия активация E_0 , коэффициент электрического сопротивления $\lg R_0$). На рисунке показана связь между параметрами. Чтобы не загромождать рисунок, приведена часть результатов, четко прослеживающих тенденцию изменения параметров в зависимости от типа руды.

Графическое изображение связи $\lg R_0=f(E_0)$ в координатах $E_0, \lg R_0$ обнаруживает обширное поле распределения фигуративных точек, которое вбирает в себя результаты исследования всех образцов из обоих месторождений. На этом поле отчетливо выделяются несколько областей, в каждой из которых руда представлена определенным минеральным составом и парагенезисом. Для каждого типа руд прослеживается связь между электрическими параметрами, которую можно выразить в виде $\lg R_0 = a - bE_0$, где a и b — коэффициенты. Для исследованных образцов все фигуративные точки расположены в области, ограниченной прямыми линиями $\lg R_0 = 1,79 - 6,60E_0$ (магнетитовая руда с сульфидами Гороблагодатского месторождения) и $\lg R_0 = 4,99 - 6,57E_0$ (магнетитовая руда Естюнинского месторождения). $\lg R_0 = 4,99 - 6,57E_0$.

Для каждого типа руд установлена линейная связь между параметрами E_0 и $\lg R_0$ вида $\lg R_0 = a - bE_0$. При этом для исследованных типов руд коэффициент a варьирует в пределах от 1,79 (магнетитовые руды с пиритом и халькопиритом Гороблагодатского месторождения) до 4,99 (магнетитовая руда Естюнинского месторождения). Все исследованные образцы Естюнинского месторождения по

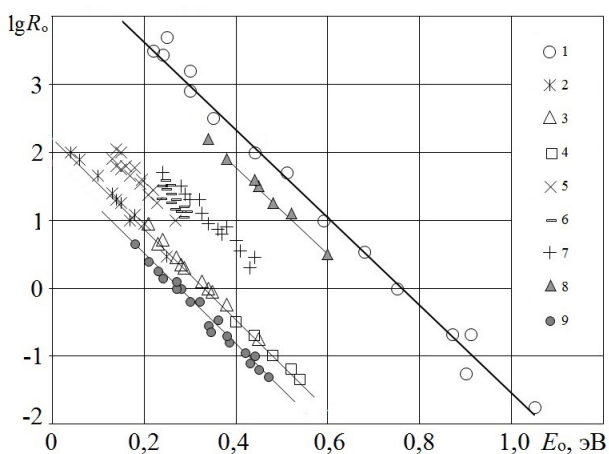


Рис. Связь между $\lg R_0$ и E_0 исследованных образцов магнетитовых руд Естюнинского и Гороблагодатского и месторождений.

1 – магнетитовая руда Естюнинского месторождения; 2–9 – руда Гороблагодатского месторождения: 2 – пироксен-ортоклаз-магнетитовая пятнистой текстуры; 3 – гранат-магнетитовая; 4 – эпидот-хлорит-магнетитовая; 5 – эпидот-хлорит-магнетитовая (гидросиликитный парагенезис); 6 – гранат-магнетитовая (скарновый парагенезис); 7 – ортоклаз-магнетитовая («оспенная»); 8 – слоистая магнетитовая руда с гранатом; 9 – магнетитовая руда с сульфидами (пирит, халькопирит).
 Прямые – линии корреляции $\lg R_0 = a - bE_0$. Для исследованных образцов магнетитовых руд Естюнинского месторождения корреляционное уравнение имеет вид $\lg R_0 = 4,99 - 6,57E_0$, $R^2 = 0,99$. Для исследованных образцов магнетитовых руд с сульфидами (пирит, халькопирит) Гороблагодатского месторождения: $\lg R_0 = 1,79 - 6,60E_0$, $R^2 = 0,98$

своим электрическим параметрам укладываются на одну прямую, как бы формируя ее различные участки. Коэффициент b практически одинаков и равен 6,60 и 6,57 для всех исследованных образцов обоих месторождений.

Рассматривая природу связи, отметим следующее. Хотя коэффициент электрического сопротивления R_0 не имеет вполне определенного физического смысла, его величина может меняться за счет различных кристаллохимических особенностей соединения. В теории диэлектриков 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 (Сканиви Г.И., 1949).

Заключение

Выявлен широкий диапазон изменений электрических параметров при высокотемпературных исследованиях, что обусловлено многообразием типов руд, образовавшихся в сложном и многоэтапном становлении месторождений в отличающихся обстановках. Показано, что энергия активации и E_0 и коэффициент электрического сопротивления $\lg R_0$ являются информативными параметрами для разделения магнетитовых руд различных парагенезисов и минеральных составов каждого месторождения.

Электрические свойства магнетитовых руд как весьма чувствительные индикаторы вещественного их состава и генетических процессов являются важным источником информации при решении геологических и геофизических задач для оценки типов руд с целью селективной разработки месторождений.

Литература

- Бахтерев В.В., Кузнецов А.Ж. Влияние Кушвинского сиенитового интрузива на электрические параметры магнетита в рудах и вмещающих породах Гороблагодатского железорудного месторождения // Уральский геофизический вестник. 2012а.
- Бахтерев В.В., Кузнецов А.Ж. Высокотемпературная электропроводность магнетитовых руд в связи с их генезисом и минеральным составом (на примере Гороблагодатского скарново-магнетитового месторождения) // Геология и геофизика, 2012б. Т. 53. № 2. С. 270–276.
- Белевцев Я.Н., Бухарев В.П., Науменко В.В. Вулканогенно-осадочное происхождение магнетитовых руд Урала // Геология рудных месторождений. – 1982, № 1. – С. 53-56.

- Геология СССР. Полезные ископаемые /* Под редакцией К.К. Золоева. Т. 12. М. Недра. 1973. 632 с.
- Григорьев Н.А., Сазонов В.Н., Мурзин В.В., Гладковский Б.А.* Роль сульфидов как носителей золота в скарнах и рудах скарново-магнетитового месторождения // *Геохимия*, 1989, № 9. С. 1065–1049.
- Карасик М.А.* Промышленные типы контакто-метасоматических месторождений в Тагило-Кушвинском районе и особенности распределения элементов-примесей в рудах этих месторождений / *Железородная база Тагило-Кушвинского промышленного района*. Свердловск: УФАН СССР, 1957. С. 64–98.
- Коржинский Д.С.* Основы метасоматизма и метамагматизма: избранные труды / Отв. ред. В.А.Жариков. – М.: Наука, 1993. – 235 с.
- Коровин Н.Ф.* Эволюция вулканизма и металлогения силура и раннего девона северной части Тагильского прогиба // *Палеовулканические карты и металлогеническая специализация древнего вулканизма Урала*. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985, с. 116–122.
- Кузнецов А.Ж.* Распределение элементов-примесей в магнетитах Гороблагодатского железорудного месторождения // *Известия ВУЗов. Геология и разведка*. 2003а. Вып. 12. С. 21–24.
- Кузнецов А.Ж.* Пиритовая минерализация в рудах Гороблагодатского железорудного месторождения на Среднем Урале // *Металлогения древних и современных океанов – 2003. Формирование и освоение месторождений в островодужных системах: Материалы девятой научной студенческой школы*. Миасс: ИМин УрО РАН, 2003б, с. 136–139.
- Мазуров М.П., Могилева М.П., Непеина Л.А.* Преобразование магнетитовых руд и известняковых скарнов в контактовых зонах послерудных интрузий Ирбы // *Локальный метаморфизм руд / Труды Сибирского отделения ИГиГ АН СССР*. Вып. 269. Новосибирск, Наука. 1975. С. 30–35.
- Нечкин Г.С., Полтавец З.И., Полтавец Ю.А.* Особенности размещения сульфидной минерализации на Гороблагодатском и Лебяжинском скарново-магнетитовых месторождениях // *Ежегодник 1999. Институт геологии и геохимии УрО РАН: ин-формац.сб. научн.трудов / Отв.ред. В.А. Коротеев*. Екатеринбург, УрО РАН, 1999, с. 260–264.
- Овчинников Л.Н.* Контактново-метасоматические месторождения Северного и Среднего Урала / *Труды Горно-геологического института УФ АН СССР*. Вып. 89. Свердловск, 1960. 495 с.
- Петрографический словарь /* Под ред. В.П. Петрова, О.А. Богатикова, Р.П. Петрова. М.: Недра, 1981. 496 с.
- Рудницкий В.Ф., Абрамова Н.А., Алешин К.Б., Матияш В.В.* Тектурно-структурные особенности магнетитовых руд Новоестюнинской зоны Естюнинского месторождения (Средний Урал) // *Известия Уральского государственного горного университета*. 2000. № 10. С.128–132.
- Рудницкий В.Ф., Алешин К.Б., Кузнецов А.Ж., Иванченко В.С.* Строение магнетитовых залежей Естюнинского железорудного месторождения на Среднем Урале // *Геология рудных месторождений*. 2013. Т. 55. № 6. С. 546–562.
- Рудницкий В.Ф., Кузнецов А.Ж.* О первично вулканогенно-осадочном генезисе Гороблагодатского железорудного месторождения на Среднем Урале. Вулканизм и геодинамика: Материалы II Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 2003. С. 563–565.
- Рудницкий В.Ф., Кузнецов А.Ж.* О способах отложения руд Естюнинского скарново-магнетитового месторождения на Среднем Урале // *Металлогения древних и современных океанов*. Миасс: ИМин УрО РАН, 2014. № 20. С. 91–94.
- Сканави Г.И.* Физика диэлектриков (область слабых полей). М.-Л.: Гостехтеориздат, 1949. 500 с.]
- Скарновые месторождения /* Под ред. Д.С. Коржинского. М.: Наука, 1985. 248 с.
- Типоморфизм минералов: Справочник /* Под ред. Л.В. Чернышевой. М: Недра, 1989, 560 с.
- Штейнберг Д.С.* Геологическое строение Тагило-Кушвинского железорудного района // *Железородная база Тагило-Кушвинского промышленного района*. Свердловск: УФ АН СССР, 1957. С. 5–20.

COMPARATIVE STUDY OF ELECTRICAL PARAMETERS
AT HIGH TEMPERATURES SAMPLES OF ORES ESTUNINSKOYE AND
GOROBLAGODATSKOE SKARN-MAGNETITE DEPOSITS IN CONNECTION WITH
THEIR GENETIC FEATURES

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

Abstract. According to the literature sources, the genetic features of the Estyuninsky and Gorobrazdatsky iron ore deposits (Middle Urals), paragenesis, types and mineral composition of ores are compiled. Samples of magnetite ores of various paragenesis and mineral composition were studied. Temperature dependences of the electrical resistance in the temperature range of 20–800 °C are obtained. According to the nature of temperature dependences and the value of electrical resistance, several groups of samples are distinguished. The electrical parameters of the studied samples $\lg R_0$ and E_0 were determined, and the nature of their distribution was established. For the studied samples of magnetite ores of all mineral types, a linear relationship between the parameters of the form $\lg R_0 = a - bE_0$ was revealed. The coefficient a varies from 1,79 (for the studied ores with sulfides of the Gorobrazdatsky Deposit) to 4,99 (for the ores of the Estyuninsky Deposit) depending on the type, mineral composition and paragenesis of the magnetite ore. The coefficient b is almost the same and is equal to 6,60 for all the studied samples of both deposits.

Electrical resistance, high temperature, activation energy, magnetite, genesis, types of ores

References

- Bakhterev V.V., Kuznecov A.Zh.* Vliyanie Kushvinskogo sienitovogo intruziva na jelektricheskie parametry magnetita v rudah i vmeshhajushhih porodah Goroblagodatskogo zhelezorudnogo mestorozhdenija // Ural'skij geofizicheskiy vestnik. 2012a. № 1(19). S. 6–11.
- Bakhterev V.V., Kuznecov A.Zh.* Vysokotemperaturnaja jelektoprovodnost' magnetitovykh rud v svyazi s ih genezisom i mineral'nym sostavom (na primere Goroblagodatskogo skarnovo-magnetitovogo mestorozhdenija) // Geologija i geofizika, 2012b. T. 53. № 2. S. 270–276.
- Belevcev Ja.N., Buharev V.P., Naumenko V.V.* Vulkanogenno-osadochnoe proishozhdenie magnetitovykh rud Urala // Geologija rudnykh mestorozhdenij. – 1982, № 1. – S. 53–56.
- Geologija SSSR. Poleznye iskopaemye /* Pod redakciej K.K. Zoloeva. T. 12. M. Nedra. 1973. 632 s.
- Grigor'ev N.A., Sazonov V.N., Murzin V.V., Gladkovskij B.A.* Rol' sul'fidov kak nositelej zolota v skarnah i rudah skarnovo-magnetitovogo mestorozhdenija // Geohimija, 1989, № 9. S. 1065–1049.
- Karasik M.A.* Promyshlennye tipy kontaktovo-metasomaticheskikh mestorozhdenij v Tagilo-Kushvinskom rajone i osobennosti raspredelenija jelementov-primesej v rudah jetih mestorozhdenij / Zhelezorudnaja baza Tagilo-Kushvinskogo promyshlennogo rajona. Sverdlovsk: UFAN SSSR, 1957. S. 64–98.
- Korzhinskij D.S.* Osnovy metasomatizma i metamagmatizma: izbrannye trudy / Otv. red. V.A.Zharikov. – M.: Nauka, 1993. – 235 s.
- Korovin N.F.* Jevoljucija vulkanizma i metallogenija silura i rannego devona se-vernoj chasti Tagil'skogo progiba // Paleovulkanicheskie karty i metallogenicheskaja specializacija drevnego vulkanizma Urala. Sverdlovsk: UNC AN SSSR, 1985, s. 116–122.
- Kuznecov A.Zh.* Raspredelenie jelementov-primesej v magnetitah Goroblagodatsko-go zhelezorudnogo mestorozhdenija // Izvestija VUZov. Geologija i razvedka. 2003a. Vyp. 12. S. 21–24.
- Kuznecov A.Zh.* Piritovaja mineralizacija v rudah Goroblagodatskogo zhelezorudnogo mestorozhdenija na Srednem Urale // Metallogenija drevnih i sovremennykh okeanov – 2003. Formirovanie i osvoenie mestorozhdenij v ostrovoduzhnykh sistemah: Materialy devjatoj nauchnoj studencheskoj shkoly. Miass: IMin UrO RAN, 2003b, s. 136–139.
- Mazurov M.P., Mogileva M.P., Nepeina L.A.* Preobrazovanie magnetitovykh rud i izvestnjakovykh skarnov v kontaktovykh zonah poslerudnykh intruzij Irby // Lokal'nyj metamorfizm rud / Trudy Sibirskogo otdelenija IGI AN SSSR. Vyp. 269. Novosibirsk, Nauka. 1975. S. 30–35.
- Nechkin G.S., Poltavec Z.I., Poltavec Ju.A.* Osobennosti razmeshenija sul'fidnoj mine-

ralizacii na Goroblagodatskom i Lebjazhinskom skarnovo-magnetitovyh mestorozhdenijah // Ezhegodnik 1999. Institut geologii i geohimii UrO RAN: informac.sb. nauchn.trudov / Otv.red. V.A. Koroteev. Ekaterinburg, UrO RAN, 1999, s. 260–264.

Ovchinnikov L.N. Kontaktovo-metasomaticeskije mestorozhdenija Severnogo i Srednego Urala / Trudy Gorno-geologicheskogo instituta UF AN SSSR. Vyp. 89. Sverdlovsk, 1960. 495 s.

Petrograficheskij slovar' / Pod red. V.P. Petrova, O.A. Bogatikova, R.P. Petrova. M.: Nedra, 1981. 496 s.

Rudnickij V.F., Abramova N.A., Aleshin K.B., Matijash V.V. Teksturno-strukturnye osobennosti magnetitovyh rud Novoestjuninskoj zony Estjuninskogo mestorozhdenija (Srednij Ural) // Izvestija Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. 2000. № 10. S.128–132.

Rudnickij V.F., Aleshin K.B., Kuznecov A.Zh., Ivanchenko V.S. Stroenie magnetitovyh zalezhej Estjuninskogo zhelezorudnogo mestorozhdenija na Srednem Urale // Geologija rudnyh mestorozhdenij. 2013. T. 55. № 6. S. 546–562.

Rudnickij V.F., Kuznecov A.Zh. O pervichno vulkanogenno-osadochnom genezise Goroblagodatskogo zhelezorudnogo mestorozhdenija na Srednem Urale. Vulkanizm i geodinamika: Materialy II Vserossijskogo simpoziuma po vulkanologii i paleovulkanologii. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 2003. S. 563–565.

Rudnickij V.F., Kuznecov A.Zh. O sposobah otlozhenija rud Estjuninskogo skarnovo-magnetitovogo mestorozhdenija na Srednem Urale // Metallogenija drevnih i sovremennyh okeanov. Miass: IMin UrO RAN, 2014. № 20. S. 91–94.

Skani G.I. Fizika dijelektrikov (oblast' slabych polej). M.-L.: Gostehteorizdat, 1949. 500 s.

Skarnovyje mestorozhdenija / Pod red. D.S. Korzhinskogo. M.: Nauka, 1985. 248 s

Tipomorfizm mineralov: Spravochnik / Pod red. L.V. Chernyshevoj. M: Nedra, 1989, 560 s.

Shtejnberg D.S. Geologicheskoe stroenie Tagilo-Kushvinskogo zhelezorudnogo rajona // Zhelezorudnaja baza Tagilo-Kushvinskogo promyshlennogo rajona. Sverdlovsk: UF AN SSSR, 1957. S. 5–20.