

Об особенностях гидротермального и гипергенного изменения некоторых железосодержащих минералов кимберлитов

Зинчук Н.Н., Зинчук М.Н.

On the hydrothermal and hypergenic alteration of some ferriferous minerals in kimberlites

Zinchuk N.N., Zinchuk M.N.

Западно-Якутский научный центр АН РС(Я), г. Мирный;

e-mail: nnzinchuk@rambler.ru

Проведенное комплексное исследование Fe-содержащих минералов кимберлитов (магнетита и ассоциирующего с ним серпентина, а также пикроильменита) из ряда диатрем Сибирской платформы, а также из перекрывающих их верхнепалеозойских осадочных толщ показало специфичность их фазового состава и структурных особенностей.

Результаты изучения кимберлитовых пород показали, что в их тяжелой фракции наиболее характерными минералами являются магнетит и пикроильменит, которые свойственны также породам трапповой формации – долеритам, туфам и туфогенным образованиям. Магнетит зачастую распылен в основной массе кимберлитов. Отмечается минерал также в виде неправильных выделений, конкреций и жеод [1-4]. С сульфатами железа у магнетита в большинстве случаев наблюдаются взаимные переходы. В отдельных трубках преобладают [5-7] ветвящиеся прожилки магнетит-серпентинового состава мощностью до 3-5 мм. В кимберлитовых породах выделяются [8-10] две важнейшие морфологические разновидности магнетита: а) крупнозернистые агрегаты (нередко радиально-лучистого строения) или сростки кристаллов, реже отдельные кристаллы; б) скопления мелкозернистого магнетита, которые либо образуют в породе неправильные гнезда, полосы и линзы, либо равномерно в ней распределены. Магнетит рентгенографически диагностировался по интенсивным рефлексам в области 0.253, 0.1612-0.1615 и 0.1483-0.1484 нм. Особенностью рассматриваемого магнетита является разная степень развития по нему маггемита или $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (0.252, 0.2087 и 0.1606 нм). Минералы когерентно связаны друг с другом.

Рудные минералы в кимберлитовых породах обычно несут следы наложенных изменений, и поэтому диагностика, а также выяснение характера и степени их преобразования возможны только с применением тонких прецизионных методов исследований [6-10]. В качестве объектов изучения были выбраны выделения магнетита и ассоциирующего с ним серпентина в кимберлитах из трубок Удачная и Сытыканская, пикроильменита из диатрем последней и трубки Юбилейная, а также пелитовой составляющей измененных кимберлитов из верхних горизонтов трубки Удачная и обогащенных рудными минералами верхнепалеозойских осадочных толщ, перекрывающих трубку Комсомольская. Комплексному исследованию подвергались также исходные породы и выделенные из них методом магнитной сепарации мономинеральные фракции магнетита. Кимберлитовая трубка Удачная состоит [10-12] из двух сопряженных тел (западного и восточного) и имеет на дневной поверхности форму искаженной восьмерки. Fe-содержащие минералы распределены в объеме диатремы неравномерно. Рентгеновское изучение крупных (до 10 см и более) *зеленоватого цвета серпофитовых выделений* в кимберлитах из центральной части западного тела трубки Удачная показало, что они содержат кальцит, серпентин, кварц, а также магнетит, маггемит и следы пикроильменита. ЯГР-спектры поглощения указанных выделений серпофита представляют суперпозицию ряда лоренцевых линий (многолинейный спектр), соответствующих магнетиту, пикроильмениту, серпентину и следам гематита. Главнейшими минералами черных включений в серпофитах, выделенных из кимберлитов, судя по рентген-дифрактометрическим исследованиям, являются магнетит и $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ с незначительной примесью кальцита. Этим образованиям, согласно валовому химическому анализу, свойственна повышенная концентрация Fe_2O_3 (60.84 %) и FeO

(25.28 %). Пересчет химического анализа на минеральный состав показал, что в черных включениях преобладает магнетит (86.4 %), ассоциирующий с кальцитом (9.9 %) и серпентином (2.5 %). В рассматриваемых включениях отмечается также небольшая примесь хлорита (~0.6 %), брусита (~0.5 %) и апатита (~0.2 %). Пересчет на минеральный состав выполнен в соответствии с химической формулой магнетита и носит приближенный характер, поскольку в расчетах принималась идеальная стехиометрия магнетита $Fe_1^{3+}[Fe_1^{3+}Fe_1^{2+}]O_4$, соответствующая 72.4 % Fe в его структуре. Наблюдаемое в ЯГР-спектре рассматриваемого магнетита отклонение от идеального соотношения интенсивностей крайних левых резонансных линий спектров поглощения (I_A/I_B) связано с «нестехиометричностью» минерала, обусловленной частичным окислением, т.е. его маггемитизацией. В соответствии с данными химического анализа, в указанных участках породы отмечается повышенная концентрация SiO_2 (39.15 %) и MgO (38.35 %), что связано с доминирующей ролью в них серпентина (85.5 %), ассоциирующего с небольшой примесью кварца (до 3 %), хлорита (до 2.8 %), магнезита (1.7 %), кальцита (1.6 %), гипса (1.1 %) и флогопита (0.5 %). ЯГР-спектр зеленоватых участков характеризуется в основном сильными линиями пикроильменита и серпентина, а также слабыми – «нестехиометрического» магнетита. По данным рентгеновской дифрактометрии, в рассмотренной породе в целом выявлена низкая интенсивность линий пикроильменита, что связано с его микровкрапленностью и худшей (по сравнению с другими фазами) окристаллизованностью этого минерала. Близкий фазовый состав (с иным количественным соотношением фаз) установлен в серовато-зеленых выделениях серпофита из этой же части западного тела рассматриваемой трубки. В основной массе этих выделений, по данным рентген-дифрактометрического анализа, содержится кальцит, магнетит и $\gamma-Fe_2O_3$, серпентин, кварц и пикроильменит. В ЯГР-спектре этих выделений присутствуют линии магнетита, аналогичные встреченному в зеленоватых выделениях серпофита, а также пикроильменита и серпентина, причем интенсивность линий пикроильменита в этом случае в 1.5 раза слабее, чем в рассмотренной породе. В черных прожилках серпофита, согласно рентгенометрическим исследованиям, установлены [5-8] магнетит и $\gamma-Fe_2O_3$ с незначительной примесью кальцита. Согласно данным химического анализа, этим участкам свойственна повышенная концентрация Fe_2O_3 (60.27 %) и FeO (24.34 %) с незначительной примесью других оксидов, главными из которых являются CaO (4.42 %), MgO (3.32 %) и SiO_2 (2.08 %). Пересчет этого химанализа на минеральный состав полностью соответствует рентгеновским данным о резком преобладании в образце магнетита (84.7 %) и сравнительно небольшой примеси кальцита (7.6 %), ассоциирующего с серпентином (2.9 %), флогопитом (1.1 %), хлоритом (1.4 %), гипсом (0.2 %) и апатитом (0.2 %). Для ЯГР-спектров указанных прожилков характерно преобладание линий «нестехиометрического» магнетита, по которым был произведен пересчет содержащейся в них фактической доли магнетита (до 90.5 %). При этом на нестехиометрию, а не на замещение Fe другими элементами, указывает также электронно-зондовый анализ кристаллов магнетита размером 100-200 мкм из этих прожилков, выполненный на приборе MS-46 «Камека». Согласно полученным данным, в рассматриваемом минерале содержится (в %): $FeO+Fe_2O_3$ (98.89); MnO (0.87); MgO (0.47); Al_2O_3 (0.06); сумма 99.29 (SiO_2 и TiO_2 не обнаружены). Серовато-зеленая масса серпофита, в соответствии с рентген-дифрактометрическими исследованиями, представлена серпентином с незначительной примесью гипса. В этих участках породы установлена повышенная концентрация SiO_2 (38.80 %) и MgO (38.75 %), входящих в состав серпентина (86 %). В виде небольшой примеси отмечаются также магнезит (2.1 %), флогопит (1.1 %), хлорит (2.1 %), кварц (1.5 %) и гетит (1.4 %). Для ЯГР-спектра из этой массы серпофита характерно преобладание сильных линий пикроильменита и серпентина, а также одновременное присутствие примеси «нестехиометрического» магнетита. Кроме магнетита, ассоциирующего с серпентином в жильных выделениях, нами изучен этот минерал из кимберлитов трубки Сытыканская. Породы последней,

кроме первичных минералов (пироп, пикроильменит, оливин, хромдиопсид, диопсид и др.) содержат сульфиды (пирротин, пирит, халькопирит и др.), оксиды и гидрооксиды (магнетит, брусит и кварц), силикаты (таумасит, тальк, вермикулит и др.), сульфаты (метабазалюминит, гипс и барит) и карбонаты (кальцит, пироаурит, доломит и арагонит). При исследовании магнитной фракции, выделенной из пород трубки Сытыканская, в ЯГР-спектре четко идентифицируются линии «нестехиометрического» магнетита, что обычно соответствует так называемому *оксимагнетиту*. Учитывая, что магнетит ассоциирует в кимберлитах с другими рудными минералами, проведено сравнительное исследование *монофракций пикроильменита* из трубки Сытыканская. Специфической особенностью изученных нами пикроильменитов, по сравнению с магнетитами, является более высокая степень окисления в них железа. Сравнительный анализ ЯГР-спектров пикроильменитов из рассмотренных выше кимберлитов трубки Удачная и аналогичных пород трубок Сытыканская и Юбилейная показал практически полное совпадение их спектральных параметров. Особый интерес представляет вопрос о минеральном составе пелитовой составляющей выветрелых кимберлитов, содержание которой в отдельных участках достигает до 97 %. Изучение сформировавшегося на кимберлитовых трубках элювия и типоморфных особенностей присутствующих в нем Fe-содержащих минералов может быть непосредственно использовано для повышения эффективности поисков кимберлитовых трубок и совершенствования технологического процесса отработки месторождений. Согласно рентген-дифрактометрическим данным, преобладающими минералами *продуктов выветривания кимберлитовых пород* верхних горизонтов трубки Удачная являются тонкодисперсные карбонаты (кальцит, доломит и реже анкерит), а также серпентин, ассоциирующий с кварцем, магнетитом, γ -Fe₂O₃ и пикроильменитом. Спектры ЯГР указывают на присутствие в исследованных образцах пикроильменита и серпентина, близких по кристаллохимическим особенностям (в частности по повышенному содержанию Fe³⁺ в пикроильмените) к исследованным однотипным минералам из неизмененных кимберлитов. Проведено также изучение черных осадочных пород позднепалеозойского возраста, перекрывающих трубку Комсомольская, в которых доминируют магнетит и γ -Fe₂O₃, ассоциирующие с кварцем, серпентином и, реже, с кальцитом. ЯГР-спектры образцов из обогащенных рудными минералами участков этой породы содержат магнетит, пикроильменит и серпентин.

Таким образом, изучение фазового состава и структурных особенностей магнетитов из кимберлитов и вмещающих кимберлитовые трубки долеритов показало связь данных параметров с типом содержащих эти минералы пород и геологическими условиями залегания последних. Процесс изменения магнетитов сопровождается окислением ионов Fe²⁺ в октаэдрической позиции минерала и последовательным переходом его в маггемит. Для всех исследованных магнетитов отношение Fe³⁺ в A-позиции к Fe³⁺, Fe²⁺ в B-позиции, составляющее в «идеальном» магнетите ~0.5, в кимберлитах увеличивается до 1.05, а в продуктах переотложения последних и вмещающих кимберлитовые тела долеритах, соответственно, до ~1.1, 1.1 и ~1.5. Полученные данные об отсутствии изоморфного замещения Fe²⁺ на Mg²⁺ и другие ионы в октаэдрической позиции структуры магнетита показывают, что первоначальное возникновение оксимагнетитов в кимберлитах и долеритах связано с образованием их в результате вторичных процессов восстановления α -Fe₂O₃. Взаимодействие других магнийсодержащих минералов с Fe₂O₃ было невозможно вследствие относительно низких термобарических условий в среде минералообразования. Указанные кристаллохимические особенности изученных магнетитов имеют не только важное генетическое, но и большое практическое значение. Так, они показывают, что установленная «нестехиометричность» магнетитов из кимберлитов и вмещающих их пород обязательно должна учитываться при количественном определении содержания магнетита в них с помощью химического анализа. Необходимо также отметить, что значительно меньшие значения размеров кристаллов, идентифицируемых ЯГРС, по

сравнению с необходимыми для рентгеновских исследований, позволяют изучать в этом случае более мелковкрапленные Fe-содержащие фазы, что существенно расширяет круг типоморфных признаков вторичных минералов в кимберлитах и ассоциирующих с ними породах. Отсутствие изоморфных замещений и повсеместная «нестехиометричность» магнетита в кимберлитах указывают на его образование при относительно низких термобарических параметрах среды в постмагматическую стадию изменения пород. Первичный гипогенный нестехиометрический магнетит возникает, согласно фазовой диаграмме Fe–O, при температуре свыше 1200 °С. Приведенные данные о кристаллохимических особенностях магнетитов с учетом стадийности их изменения можно рекомендовать для практического использования как при картировании кимберлитовых диатрем и приуроченных к ним коренных месторождений алмазов, так и при поисках вторичных коллекторов и связанных с ними алмазных залежей россыпного типа. При выяснении типоморфных признаков Fe-содержащих минералов в кимберлитах следует иметь в виду, что верхние части диатрем на многих древних платформах мира существенно изменены и представляют собой типичную кору выветривания, и влияние гипергенных процессов на них может проследиваться на значительные глубины от поверхности. Поэтому особый интерес представляет вопрос о минеральном составе пелитовой составляющей выветрелых кимберлитов. Изучение сформировавшегося на кимберлитовых диатремах элювия и типоморфных особенностей присутствующих в нем Fe-содержащих минералов может быть использовано как для повышения эффективности поисков таких трубок, так и для совершенствования технологического процесса обработки месторождений.

Список литературы

1. *Афанасьев В.П., Елисеев А.П., Надолинный В.А. и др.* Минералогия и некоторые вопросы генезиса алмазов У и УП разновидностей (по классификации Ю.Л. Орлова) // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия: Геология. 2000. № 5. С. 79-97.
2. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н.* Минерогения древних россыпей алмазов восточного борта Тунгусской синеклизы // Геология и геофизика. 1987. № 1. С. 90-96.
3. *Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н., Харькив А.Д., Соколов В.Н.* Закономерности изменения мантийных минералов в коре выветривания кимберлитовых пород // Минерогения зоны гипергенеза. 1980. С. 45-54.
4. *Зинчук Н.Н., Афанасьев В.П.* Генетические типы и основные закономерности формирования алмазоносных россыпей // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1998. № 2. С. 66-71.
5. *Зинчук Н.Н., Борис Е.И., Яныгин Ю.Т.* Особенности минерогении алмаза в древних осадочных толщах (на примере верхнепалеозойских отложений Сибирской платформы). М.: МГТ, 2004. 172 с.
6. *Зинчук Н.Н., Дукардт Ю.А., Борис Е.И.* Тектонические аспекты прогнозирования кимберлитовых полей. Новосибирск: Сибтехнорезерв, 2004. 166 с.
7. *Зинчук Н.Н., Котельников Д.Д., Соколов В.Н.* Изменение минерального состава и структурных особенностей кимберлитов Якутии в процессе выветривания // Геология и геофизика. 1982. № 2. С. 42-53.
8. *Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н.* Условия накопления и постседиментационного преобразования глинистых минералов в осадочном чехле земной коры // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. 2001. Т. 76. № 1. С. 45-53.
9. *Котельников Д.Д., Зинчук Н.Н.* Об аномалии общей схемы преобразования разбухающих глинистых минералов при погружении содержащих их отложений в стратисферу // Вестник Воронежского госуниверситета. Серия: Геология. 2003. № 2. С. 57-68.
10. *Савко А.Д., Зинчук Н.Н., Шевырев Л.Т. и др.* Алмазоносность Воронежской антеклизы. Труды НИИГ Воронежского ун-та. 2003. Т. 17. 121 с.
11. *Харькив А.Д., Квасница В.Н., Сафронов А.Ф., Зинчук Н.Н.* Типоморфизм алмаза и его минералов-спутников из кимберлитов. Киев: Наукова думка. 1989. 183 с.
12. *Rosen O.M., Serenko V.P., Spetsius Z.V. et al.* Yakutian kimberlite position in the Siberian craton and composition of the upper and lower crust // Geologiya and Geofizika. 2002. V. 43. Is. 1. P. 3-26.