

ПРЕДЕЛЫ ВХОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА В МАГНЕТИТ И ПИРРОТИН

Смагунов Н.В., Таусон В.Л.

Институт геохимии СО РАН

nicksn@igc.irk.ru

Ключевые слова: Золото, структурная форма нахождения, гидротермальный эксперимент, стехиометрический пирротин, магнетит, гринокит

Прогресс в геохимии золота немислим без точных знаний механизмов и пределов его вхождения в минеральные фазы. Существующие в настоящее время данные на этот счет для пирротина и магнетита крайне ненадежны. Вопрос о потенциальных возможностях этих минералов как концентраторов золота не только имеет фундаментальное значение для геохимии, но и представляет интерес для практики. В настоящей работе этот вопрос рассматривается с помощью новых подходов в экспериментальной геохимии микроэлементов, предложенных одним из авторов [1].

Сокристаллизация пирротина, магнетита и гринокита выполнена по стандартной методике гидротермального термоградиентного синтеза [2]. Средой роста в опытах служил 10% -ый водный раствор хлорида аммония, температура в зоне роста кристаллов составляла 450°C, давление – 1 кбар (100 МПа). Продолжительность экспериментов составляла 12 сут, из которых первые 3 сут поддерживался изотермический режим. В качестве шихты в опытах использовали тонко истертые карбонильное железо, элементную серу и сульфид кадмия. Золото вводили в шихту в виде тонкой фольги. В качестве компонентов, способствующих насыщению флюида золотом [1,2] (или элементов – “проводников” Au), использовали As и Se. Определение золота в индивидуальных кристаллах (монокристаллах) пирротина, магнетита и гринокита выполнено методом электротермического атомно-абсорбционного анализа на спектрометре Perkin-Elmer M503, оборудованном дейтериевым корректором фонового поглощения и графитовым атомизатором HGA-74. Выделение структурной составляющей примеси Au проведено методом статистических выборок аналитических данных для монокристаллов (СВАДМ) [3,4]. Как статистический метод выделения структурной примеси микроэлемента, он не является прямым и указывает лишь на то обстоятельство, что определенная часть концентрации элемента распределена так, как обычно распределяется структурная форма. Более строго обосновать структурный характер определенной части концентрации примеси можно с помощью изучения ее распределения в системе “исследуемый минерал – минерал сравнения” [1,2]. Отфильтровав на первом (статистическом) этапе “шумовой сигнал”, вносимый другими формами, можно затем проверить, подчиняется ли интересующая нас составляющая примеси (“полезный сигнал”) общим физико-химическим закономерностям распределения изоморфных примесей – принципу фазового соответствия и закону Генри. Собственно, эта задача и решается в настоящей работе для системы “пирротин – магнетит - гринокит”. В серии специальных опытов в системе CdS-Fe-S-As(Se)-Au-NH₄Cl-H₂O предварительно был установлен предел вхождения (ПВ) Au в кристаллы железистого гринокита (минерала сравнения) при 450°C и 1 кбар. Для этого гринокит был синтезирован в присутствии Fe и добавок As или Se, составивших 1 или 2 мас.%. Несмотря на высокие валовые содержания золота (20-60 г/т), подтверждающие действие As и Se как элементов-проводников Au, концентрация равномерно распределенной (структурной в нашем понимании) формы элемента остается приблизительно постоянной и составляет 10 ± 2 г/т (10^{-3} мас.%) независимо от железистости гринокита. Данные для системы “стехиометрический пирротин – магнетит - гринокит” представлены на рисунке. Несмотря на некоторый разброс, не выходящий, впрочем, за границы погрешности определения констант распределения, видно, что принцип фазового соответствия выполняется: содержания Au в гринокисте, пирротине и магнетите сопряженно растут с увеличением добавки как As, так и Se. Константа распределения Au между пирротинoм и гринокитом составляет в среднем 2.5, а предел вхождения золота в пирротин оценен как 25 ± 9 г/т. Такой же, согласно представлениям [1], должна быть и изоморфная емкость (ИЕ) FeS по золоту.

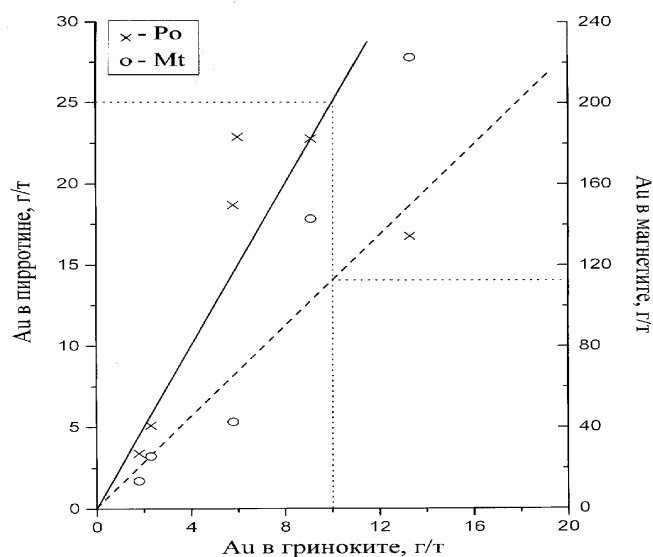


Рис. Распределение структурной примеси золота между сосуществующими фазами: стехиометрическим пирротинном, магнетитом и гринокитом при 450°C и 1 кбар. Показаны оценки пределов вхождения золота в пирротин и магнетит.

Подчеркнем, что речь идет только о стехиометрическом пирротине. Для нестехиометрического пирротина принцип фазового соответствия не выполняется, причины чего пока не совсем понятны. Магнетит является еще более эффективным концентратором золота, чем пирротин: коэффициент распределения Au между магнетитом и гринокитом в среднем составляет 11.7, что позволяет оценить ПВ величиной 117 ± 55 г/т. Напомним, что эти данные относятся к специфическим условиям низкой активности серы и присутствия в системе металлического железа (в шихте) и стехиометрического пирротина. Таким образом, по изоморфной емкости в отношении золота, изученные нами минеральные вещества образуют следующий ряд (в скобках – ПВ в г/т): Fe_3O_4 (117) > FeS (25) > CdS (10) > FeS_2 (3). Примечательная особенность этого ряда состоит в том, что он абсолютно не соответствует геохимическим представлениям о минералах-концентраторах золота, традиционно отводящим первое место пириту [5]. Пирит является во всех отношениях лучшим геохимическим барьером для золота, но именно сорбционным барьером [4]. С кристаллохимической точки зрения, пирит не самая удачная матрица для изоморфного золота и даже те невысокие его содержания, которые могут рассматриваться как структурная примесь, связаны с явлениями эндокриптии и дефектами структуры пирита [1,2]. Иное дело магнетит. Его широкие изоморфные возможности в отношении большого количества элементов различной химической природы общеизвестны. Причина состоит в смешанновалентном состоянии в нем железа и возможности вхождения примесей с помощью дефектов – катионных вакансий, появляющихся вследствие образования твердого раствора с дефектной гамма-шпинелью Fe_2O_3 . “Неопределенность” химического состояния железа создает благоприятные условия и для вхождения элементов, химически достаточно индифферентных, для которых важно не столько образование полярной связи с анионами (кислорода), сколько возможность иметь общую электронную систему в подрешетке замещаемых атомов. Установленные нами действительные возможности магнетита в поглощении золота это подтверждают. Однако, эти возможности, как и сама концентрирующая золото фазовая ассоциация “магнетит – пирротин”, реализуются в довольно специфических условиях. В большинстве природных обстановок содержания золота в магнетите очень низкие, поскольку оно распределено в сульфиды [6]. В этом и состоит причина несоответствия рассмотренного выше ряда изоморфной емкости минералов по золоту существующим представлениям о его природных концентраторах.

Изучение механизмов поглощения микроэлементов, в том числе, благородных металлов поддерживается РФФИ в рамках проектов № 00-05-64577 и 02-05-64297, а также Интеграционным проектом СО РАН №6.4.1. "Наноминералогия благородных металлов".

Литература

1. Таусон В.Л. // Геология и геофизика. 1999. Т. Т.40. №10. С.1488-1494.
2. Tauson V.L. // Eur.J.Mineral. 1999. V.11. N6. P.937-947.
3. Таусон В.Л., Салихов А., Матицуллат Й. и др. // Геохимия. 2001. №9. С.951-960.
4. Таусон В.Л., Бессарабова О.И., Кравцова Р.Г. и др. // Геология и геофизика. 2002. Т.43. №1. С.57-67.
5. Springer J. // Ontario Geological Survey Miscellaneous Paper. 1983. V.110. P.240-250.
6. Wilson G.C., Rucklidge J.C., Kilius L.R. // Econ. Geol. 1990. V.85. N6. P.1252-1259.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(21) 2003

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2003 года (ЕСЭМПГ-2003)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2003/informbul-1/mineral-22.pdf

Опубликовано 15 июля 2003 г.

© Отделение наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2003

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на "Вестник Отделения наук о Земле РАН" обязательна