

Магматизм и условия формирования разноглубинных рифтогенных титаномагнетит-ильменитовых месторождений Южного Урала (средний рифей)**Холоднов В.В.**

Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: holodnov@igg.uran.ru.

В рифейское время рифтогенная предыстория Урала представляла собой начальные этапы деформации древнего Восточно-Европейского палеократона. В начале среднего рифея в составе Башкирского мегантиклинория была образована Кувавшко-Машакская рифтовая структура, состоящая из серии линейных грабенов, имеющих общее северо-восточное простирание. Наряду с продуктами контрастного базальт-риолитового вулканизма машакской серии и образованием многочисленных дайковых роев габбро-диабазов и пикритов на плечах этого рифта, в самом северном Кувавшском грабене формируются комагматичные вулканитам интрузии габброидов и гранитоидов. Формирование этих интрузий приурочено к ряду глубинных разломов, к наиболее крупному из которых (Зюраткульскому), в виде длинной (около 70 км) субмеридиональной цепочки, приурочены интрузии габброидов (с юга на север - Маткальский, Копанский, Медведевский и Кусинский массивы) и перекрывающие их с востока массивы гранитоидов (Рябиновский на юге и Губенский на севере), составляющих вместе среднерифейский кусинско-копанской габбро-гранитный комплекс. Эти глубинные разломы создавали благоприятные условия для внедрения в верхние горизонты коры крупных мантийных магматических масс, а наличие еще сравнительно мощной континентальной коры на этапе среднерифейского рифтогенеза способствовало формированию стратифицированных габбро-гранитоидных интрузий и сопровождающих их крупных (с миллиардными запасами) титаномагнетитовых и магнетит-ильменитовых месторождений.

Интрузии габброидов и гранитоидов кусинско-копанского комплекса, образующих цепочку сильно вытянутых в субмеридиональном направлении массивов, существенно различаются между собой по вещественному составу. Это относится и к ассоциирующим с габброидами крупным титаномагнетитовым и магнетит-ильменитовым месторождениям, которые отличаются (на севере и юге этой рифтовой структуры) не только составом оруденения, но и его масштабами, а также условиями формирования. Существуют различные представления, объясняющие особенности состава и минералогии габбровых интрузий кусинско-копанского комплекса. Наши данные по изучению этих месторождений в течение последних 10 лет, которые изложены в серии публикаций [2-5], позволяют высказать свои представления о генезисе и условиях их формирования.

Фации глубинности и состав оруденения. Характерной особенностью интрузий кусинско-копанского комплекса, а также и месторождений, связанных с габброидами, является формирование их в условиях резко меняющихся по разрезу кувавшского грабена фациях глубинности: от мало-глубинной гипабиссальной на юге (Копанский и Маткальский габбровые массивы и ассоциированные с ними месторождения, Рябиновский гранитный массив) до глубинной абиссальной на севере (Кусинский габбровый и Губенский гранитный массивы, Кусинское месторождение), с глубиной погружения кристаллического фундамента на севере рифтовой структуры до 20 км. По фациям глубинности массивы и месторождения условно разделены на три группы: малоглубинную 0,5-1 кбар – Копанский и Маткальский массивы, мезоабиссальную 3-4 кбар – Медведевский и абиссальную 6-7 кбар – Кусинский. Соответственно, месторождения южной группы формировались при более высоких температурах (900-1100 °С), в сравнении с северным Кусинским месторождением (600-1000 °С), но при более низкой фугитивности кислорода. В этом же направлении выявлена эволюция в режиме флюидов, с изменением соотношения воды и галогенов, - от более сухих фтороносных на юге, до водных хлороносных на севере. С юга на север с ростом глубинности, падением температуры и ростом окислительного потенциала в составе рудного титаномагнетита последовательно снижаются содержания титана (Копанское мест. 15 мас % TiO_2 , Медведевское 10 мас % и менее, Кусинское 1-6 мас %) и растет содержание ванадия (от 0,5 до 1,5 мас %) и хрома (от 0,1 до 2,5 мас %). В рудах и породах более глубинных северных месторождений растет количество первично обособленного ильменита, а в составе последнего повышается содержание магния. В амфиболе на севере в глубин-

ном типе месторождений растет содержание Al и Fe^{3+} , отражающих рост водного давления и фугитивность кислорода, в апатите нарастают содержания Cl и снижается количество F. Вместе с тем, все габброиды кусинско-копанского комплекса очень близки по своему химическому составу, что указывает на связь всех массивов и месторождений с исходно единым магматическим источником. Габброиды всех массивов обогащены титаном, железом и другими элементами группы железа. Так же, как и перекрывающие их гранитоиды, габброиды характеризуются высокими концентрациями высокозарядных редких элементов (Nb, Ta, Zr, Hf, Y, Yb и др.) индикаторных для внутриплитного магматизма. Тренд дифференциации габброидов отвечает толеитовому. Магнезиальность габброидов всех массивов низкая, не выше 0.5. Это позволяет предполагать, что на уровне современного эрозионного среза массивы сложены не продуктами кристаллизации исходных мантийных расплавов, а обогащенными железом и титаном дифференциатами, специализированными на сопряженное с массивами железо-титановое оруденение.

Фациальные условия глубинности и флюидный режим контролируют этап, на котором происходит образование богатых сегрегационных руд этих месторождений, с формированием прожилковидных, жильных и массивных пластообразных рудных залежей. Эта стадия обособления сегрегационных руд от обогащенного рудным веществом силикатного расплава, может быть определена по характеру соотношения содержаний MgO и суммы оксидов железа и титана в породах и рудах. Для южных малоглубинных месторождений отделение сегрегационного рудного вещества от обогащенного силикатного расплава происходит на более позднем этапе эволюции рудно-магматических систем, поэтому руды имеют здесь (Копанское и Маткальское мест.) менее магнезиальный состав (5-7 % MgO) и более высокое Ti/Fe отношение (до 0,3 и более). Обособление сегрегационного рудного вещества в глубинном типе месторождений происходит раньше, при более высоком общем и флюидном давлении. Соответственно богатые сегрегационные руды имеют здесь более высокие концентрации MgO и характеризуются пониженным Ti/Fe отношением (до 0,1). Для глубинного Кусинского месторождения отделение богатого флюидом сегрегационного рудного вещества от силикатного расплава происходит при 8-9% MgO. Различие в глубине обособления сегрегационных руд проявляется и в других особенностях геохимической специализации разноглубинных массивов и месторождений. При более глубинной позиции месторождений, в рудах наряду с Mg увеличиваются концентрации V, Cr, Ni, Co, Cu, в апатите - количество хлора, при менее глубинной - выше содержания Ti, Nb, P, в апатите растет количество фтора.

Изотопно-геохимические, минералогические и другие признаки магматогенного происхождения массивных руд Кусинского месторождения. В особую проблему можно выделить генезис пластообразных тел массивных руд Кусинского месторождения. Такие залежи относительно равномерно распределены по всей обнаженной части этого месторождения, но наиболее развиты в виде серии крупных сближенных тел в центральной его части, которая представляет в настоящее время круто наклоненную на восток структуру. В этой структуре все граничные поверхности, в том числе и пластообразные рудные залежи и окаймляющие их околорудные контактово-реакционные зоны, также сильно наклонены на восток. Поэтому массивные руды Кусинского месторождения - это крутопадающие, вплоть до вертикальных пластообразные тела, которые простираются в субмеридиональном направлении на расстояние до 3 км и более, при мощности отдельных рудных тел до 2-3 м и более. Эти массивные руды легкообогатимы, в отличие от труднообогатимых высокотитанистых руд южных месторождений, где ильменит присутствует преимущественно в форме тончайших вкрапков в титаномагнетите, как продукт распада высокотемпературного твердого раствора. Количество первично обособленного ильменита составляет в сплошных рудах южных месторождений всего 3-5 %. В Кусинском месторождении в сплошных рудах доля свободного ильменита составляет уже 20-40 %, при содержании бедного титаном магнетита 60-80 %. Одной из наиболее распространенных ранее точек зрения на формирование кусинских амфиболовых габбро и массивных пластообразных руд являлось представление об их метаморфическом генезисе. Предполагалось, что кусинские габброиды и руды подверглись процессам метаморфизма, связанного с воздействием более поздних гранитов.

Данные наших исследований свидетельствуют в пользу магматического генезиса амфиболового габбро, являющегося водным аналогом габбро-норитов и позднемагматического образования

сплошных сегрегационных магнетит - ильменитовых руд. Важными фактами, свидетельствующими об этом, являются: наличие симметричной околорудной метасоматической зональности, единый возраст руд, околорудных пород и вмещающих их габбро-норитов, близкие P-T условия образования пород и массивных руд. Оценки температур и давлений по минеральным парагенезисам габбро-норитов, массивных руд и околорудных пород близки между собой ($P_{H_2O} = 6 - 8$ кбар, $T^{\circ}C = 600 - 1100$, $-\lg fO_2 = 18 - 11$). Симметричная околорудная зональность выглядит следующим образом [2]: 1) неизменные габбро-нориты и амфиболовое габбро с вкрапленным магнетит-ильменитовым оруденением, 2) зона кислотного выщелачивания, представленная лейкократовыми амфиболитами с глиноземистыми минералами (корундом, ставролитом, кианитом), 3) зона железо-магнезиального метасоматоза, представленная хлорит-куммингтонитовыми и др. породами, 4) контактово-реакционные гранат-амфиболовые породы и гранатиты (0,1-0,5м), тонкий хлорит-биотитовый слой (до 1см), 5) сплошные магнетит-ильменитовые руды (0,2-3,0м). Мощность контактово-реакционных зон коррелируется с мощностью самих рудных тел, возрастая с увеличением последних. Важно отметить также сходство контактово-реакционных околорудных пород по минеральному парагенезису, а также составам отдельных минералов с хлорит-гранат-амфиболовыми (с биотитом) каймами вокруг зерен рудных минералов в неизменных габбро-норитах, которые характеризуют поздний этап формирования этих пород. Подобные каймы образуются здесь в результате субсолидусного взаимодействия ранних породообразующих минералов (орто-и клинопироксена, плагиоклаза), образующих каркас породы, с остаточным расплавом и флюидом. Это свидетельствует о неравновесности всех ранее выделившихся минералов габброидов с последними порциями расплава, богатого рудным компонентом и с отделившимся от расплава флюидом богатым хлором. Сходство минерального состава кайм внутри неизменного габбро-норита и околорудных зон метасоматоза, формирующихся в зальбандах рудных тел, свидетельствует о едином механизме их образования [3].

Изотопно-геохимические данные полностью подтверждают магматическую природу такого оруденения. Массивные титаномагнетит - ильменитовые руды Кусинского месторождения Sm-Nd методом датируются возрастом (1392 ± 130 млн. лет), что является аналогичным времени формирования вмещающих эти руды габбро-норитам. Возраст последних по данным Sm/Nd метода составляет 1388 ± 63 млн. лет [5]. Это, в свою очередь, в точности соответствует возрасту датирования единичных зерен циркона в габбро-норитах Копанского массива и в гранитах Рябиновского массива [1]. Результаты изотопного Rb-Sr датирования гранитоидов Рябиновского (1394 млн лет) и Губенского (1389 млн лет) массивов полностью совпадают с данными Sm-Nd и U-Pb датирования габброидов и гранитоидов кусинско-копанского комплекса, позволяя по комплексу изотопных методов охарактеризовать время его формирования в диапазоне 1385-1395 млн. лет. Sm/Nd датирование околорудных гранат-амфиболовых пород Кусинского месторождения, а также минералов из этих пород (граната, амфибола, апатита) дает близкое значение возраста и для этих образований 1363 ± 78 млн. лет, с некоторым омоложением за счет наложения более поздних процессов кислотного выщелачивания. Наблюдается рост значений первичного отношения изотопов Nd от 0,510722 в габбро-норите к 0,510824 в околорудном ореоле и до 0,510920 в массивных рудах, что свидетельствует об относительно более ювенильном источнике непосредственно самих массивных руд и их меньшей контаминации коровым материалом, относительно вмещающих габбро-норитов. Данные возрастного датирования габброидов, пластообразных руд и околорудных пород Кусинского месторождения убедительно доказывают одновременность их формирования, тесную генетическую связь процессов магматизма и оруденения и отсутствие влияния на состав и формирование массивных пластообразных руд более поздних процессов метаморфизма.

На магматический генезис массивных руд, с участием флюида богатого хлором, указывает и выявленная минералогическая зональность оруденения. Она отражает неравновесность условий формирования пластообразных рудных тел в вертикальном разрезе Кусинского месторождения, с меняющимся по разрезу, как всего месторождения, так и по разрезам отдельных рудных тел, режима кислорода и флюида (галогенов), состава рудных и сопутствующих минералов (хегбомита и шпинели). Минералогическая зональность оруденения отражает и наличие градиента температур, возникающего при формировании рудных тел в различных частях интрузии - в ее краевых зонах и в центральной части. Именно в центральной части массива накапливался наиболее богатый хлором флюид, что и обусловило более высокую интенсивность оруденения именно в этой части Кусин-

ской интрузии и существенно влияет на минеральный состав оруденения. Так, в центральной рудной зоне богатой хлором, в составе ильменита, хегбомита и зеленой шпинели увеличиваются содержания Mg, в магнетите и хегбомите содержание Sr. Хегбомит имеет здесь пониженную железистость, шпинель обогащена цинком. В прикровлевой рудной зоне, обогащенной фтором, в условиях более сухого восстановительного режима флюида и некоторого роста температуры, в магнетите, ильмените и хегбомите возрастает содержание Ti, в хегбомите увеличивается содержание Zn и растет железистость. Таким образом, массивные руды Кусинского месторождения – это магматогенные образования, по генезису и условиям формирования их можно отнести к позднемагматическому флюидно-сегрегационному типу.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ грант 07-05-96006-р-Урал-а, а также программ Президиума РАН и Отделения наук о Земле.

Литература

1. Краснобаев А.А., Феритатер Г.Б., Беа Ф., Монтеро П. Цирконовый возраст габбро и гранитоидов Кусинско-Копанского комплекса (Южный Урал) // Ежегодник – 2005 / Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н.Заварицкого. Информационный сборник научных трудов. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 300-303.
2. Прибавкин С.В., Бородин Н.С., Феритатер Г.Б., Холоднов В.В., Бочарникова Т.Д. Околорудные высокобарические минеральные ассоциации в Кусинском габбровом массиве, Южный Урал // ДАН. 2003. Т. 391. № 1. С. 93-98.
3. Феритатер Г.Б., Холоднов В.В., Бородин Н.С. Условия формирования и генезис рифейских ильменит-титаномagnetитовых месторождений Урала // Геология рудных месторождений. 2001. Т.43. № 2. С.112-128.
4. Холоднов В. В., Феритатер Г.Б., Бородин Н.С., Шардакова Г.Ю., Прибавкин С.В., Шагалов Е.С., Бочарникова Т.Д. Гранитоидный магматизм зоны сочленения Урала и Восточно-Европейской платформы (Южный Урал) // Литосфера. 2006. № 3. С. 3-27.
5. Холоднов В. В., Ронкин Ю.Л., Феритатер Г.Б., Прибавкин С.В., Бородин Н.С., Лепихина О.П., Попова О.Ю. Новые Sm-Nd изотопные данные о возрасте Кусинского габбрового массива (Южный Урал) // Ежегодник-2005 / Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н.Заварицкого Информационный сборник научных трудов. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 331-334.

Стратиформный тип золото-платинометалльного оруденения в докембрийских железорудных месторождениях-гигантах КМА

Чернышов Н.М.

Воронежский госуниверситет, г. Воронеж, e-mail: petrology@list.ru

Общеизвестно, что железорудные месторождения являются одним из важнейших потенциальных нетрадиционных источников благородных металлов. Они включают около 5% общего числа промышленных золоторудных объектов мира [11]. По далеко неполным данным суммарная попутная добыча лишь золота из железорудных формаций в зарубежных странах составила в конце XX столетия свыше 930 тонн. Одним из важнейших источников наращивания минерально-сырьевой базы и попутной добычи благородных металлов выступают железистые кварциты, связанные с докембрийской железисто-кремнистой (ЖКФ) и кремнисто-метабазитовой формациями древних платформ и щитов на всех континентах мира, обеспечивающих 57% зарубежной и 58% - отечественной добычи железа []. Мало исследованным компонентом золотоносных железистых кварцитов являются элементы платиновой группы (ЭПГ), содержание которых в ряде регионов (Среднее Приднепровье, Кривбасс, УЩ; Оленегорская и Костомукшинская группы, БЩ; ряд месторождений Восточно-Бразильского, Гвинейского, Родезийского и Трансваальского, Канадского, Индийского и других щитов) достигает промышленных концентраций как в самих рудах, так и в продуктах их обогащения [2-4;6-12].

В мегаблоке КМА одной из ведущих является железисто-кремнисто-сланцевая формация нижнего карелия (в объеме курской серии), обеспечивающая около 53% добываемой в России железной руды. С этой формацией связано около 60 рудных объектов, в том числе ряд обрабатывае-