

Хоа Ч. Ч. Внутриплитный магматизм Северного Вьетнама и его металлогения. Автореф. дисс. на соиск. ст. доктора геол.-мин. наук. ИГМ СО РАН, 2006. 32 с.

Hu Rui-Zhong, Su Wen-Chao, Bi Xian-Wu et al. Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China // Mineralium Deposita, 2002. Vol. 37. P. 378–392.

**В. В. Холоднов, Е. С. Шагалов**

*Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург  
holodnov@igg.uran.ru*

### **Магматизм и условия образования титаномагнетит-ильменитовых и скарново-магнетитовых месторождений в рифей-венд-палеозойских рифтовых структурах Урала**

Уральский подвижный пояс и примыкающие к нему с запада районы Восточно-Европейской платформы (ВЕП) характеризуются разновременным и различающимся по геодинамическим обстановкам проявлением процессов рифтогенеза. В зависимости от тектонических условий, участия мантийных источников с различной степенью их деплетирования, интенсивности и завершенности рифтогенных событий наблюдаются существенные различия в интрузивном рифтогенном мафитовом и гранитоидном магматизме и сопровождающем его эндогенном (Fe, Ti, V) оруденении.

**В рифей-ранневендское время** рифтогенная предыстория западного склона Урала представляла собой этапы деструкции восточной окраины ВЕП. С этими последовательными этапами рифтогенеза связано формирование высокотитанистых титаномагнетитовых и магнетит-ильменитовых месторождений (Кусинско-Копанская группа на Южном Урале и Юбрышкинское месторождение на Северном Урале).

Время внедрения рудоносных габбровых и гранитоидных интрузий кусинско-копанского комплекса различными изотопными методами (Sm-Nd, U-Pb, Rb-Sr) датируется сходящимися значениями возраста 1385–1400 млн лет. Габброиды кусинско-копанского комплекса обогащены Ti, Fe, V и другими элементами группы железа. Они, как и их гранитоидные дифференциаты, выделяются высокими концентрациями высокозарядных редких элементов (Nb, Ta, Zr, Hf, Y, Yb и др.) индикаторных для внутриплитного магматизма. Отрицательные значения  $\epsilon_{Nd}$  для габбро-норитов (–2.4) и массивных магнетит-ильменитовых руд (–1.1) Кусинского месторождения и первичное отношение изотопов Sr для габбро-норитов и гранитов Рябиновского и Губенского массивов (0.7052) свидетельствуют, что литосферная мантия в начале среднего рифея была еще практически недеплетирована.

Характерной особенностью как габбровых, так и гранитоидных массивов кусинско-копанской группы интрузий и месторождений, является формирование их в условиях резко меняющихся с юга на север, т.е. вдоль простирания рифтовой структуры, фациях глубинности и режиме флюидов: от малоуглубинных фтороносных на юге (Копанский и Маткальский габбровые массивы, Рябиновский гранитный массив) до глубинных абиссальных хлороносных на севере (Кусинское месторождение). Это находит отражение в особенностях минерального состава и условиях формирования интрузивных пород (габброидов и гранитоидов), в составе и масштабах Fe-Ti оруденения. Фациальные условия глубинности и флюидный режим контролируют этап, на

котором происходит отделение рудного вещества от силикатного расплава. Эта стадия обособления может быть определена по характеру соотношения содержаний MgO и суммы оксидов железа и титана в породах и рудах. Для южных малоглубинных месторождений отделение рудного вещества от силикатного расплава происходит на более позднем этапе эволюции рудно-магматических систем, при менее магнезиальном его составе и при более высоком Ti/Fe отношении (до 0.3 и более). И поэтому они имеют низкое содержание в рудах MgO (5–7 %). Формирование рудных расплавов в глубинном типе месторождений происходит раньше. Соответственно руды здесь имеют более высокие концентрации MgO (9 %), но характеризуются пониженным Ti/Fe отношением (около 0.1). При более глубинной позиции месторождений, в породах и рудах наряду с Mg увеличиваются концентрации Cr, Ni, Co, V, Cu, в апатите – количество хлора, при менее глубинной – выше содержания Ti, Nb, фосфора и фтора, резко нарастают и масштабы ильменитовой минерализации (Копанское и Маткальское месторождения).

**В позднем рифее – раннем венде** рифтогенный магматизм (730–560 млн лет) на Южном Урале охватывает большую территорию, но для него более характерен сдвиг в восточные районы ВЕП. На западном склоне Северного Урала в этот период формируется относительно небольшое по запасам Юбрьшкинское высокотитанистое титаномагнетитовое месторождение.

**Поздний венд – ранний палеозой.** В этот период начинают формироваться титаномагнетитовые месторождения платиноносного пояса Урала (ППУ), отличительной особенностью которых (качканарско-первоуральский тип) является их принадлежность к малотитанистому типу. Эти месторождения образуются в составе зональных дунит-пироксенит-габбровых массивов ППУ. Эти месторождения бедны по содержанию Fe, но уникальны по запасам (многие миллиарды тонн). Руды характеризуются здесь высоким содержанием MgO, свидетельствующим о том, что их формирование происходило на более раннем этапе эволюции рудно-магматической системы, при высоком литостатическом давлении и на значительной глубине.

Современные данные показывают, что формирование комплексов ППУ имеет длительную и сложную историю. Последние изотопные датировки с венд-кембрийскими (до 560 млн лет) возрастными значениями для Кытлымского и Кумбинского массивов, как и данные по U-Pb датированию изолированных зерен циркона в габброидах Тагило-баранчинского массива (460–450 млн лет), с наличием здесь ксеногенных цирконов с возрастными значениями до 1000–2000 млн лет, ближе соответствуют представлениям о субконтинентальной рифтогенной природе ППУ, по крайней мере, на этапе формирования ранней рудоносной верлит-пироксенитовой серии пород этого пояса. Изотопия Nd в породах ППУ указывает уже на значительную степень деплетирования мантийного источника. Значение  $\epsilon_{Nd}$  составляет для дунитов, верлитов, пироксенитов и оливин-анортитового габбро ППУ (+5.9 – +7.1). Последующая эволюция базитового магматизма ППУ датируется различными изотопными методами возрастным интервалом 450–420 млн лет. Она происходила синхронно с формированием позднеордовикско-силурийской островной дуги, т.е. комплексы ППУ на этом этапе могли пройти эволюцию и в надсубдукционных условиях. В отличие от насыщенных титаном рудно-магматических систем в рифее, где распределение титана и ванадия в титаномагнетитах (обратнопропорциональный тренд) определяется в основном температурой и фугитивностью кислорода, распределение этих элементов в титаномагнетитах ППУ (прямопропорциональный тренд) повторяет эволюцию в

составе пород, с ростом содержания Ti и V от дунитов и верлитов к рудным пироксенитам.

**Ранний карбон.** Магнитогорская рифтовая зона сформирована на палеозойском островодужном основании. Габбро-гранитные интрузии магнитогорского комплекса датированы возрастом 340–337 млн лет. Магматические титаномагнетитовые и гидротермально-метасоматические скарново-магнетитовые месторождения связаны с разными членами габбро-гранитного комплекса. Первые приурочены к нижним частям разреза, представленным габбро, а вторые – к верхним гранитоидным частям магматической колонны. На примере Магнитогорской группы месторождений разработана модель процессов магмо- и рудообразования в надсубдукционной рифтовой системе, характеризующейся наличием крупного гидротермально-метасоматического магнетитового оруденения. Основными источниками воды и высоких концентраций хлора в составе флюидов надсубдукционной зоны служили процессы дегидратации в субдущируемом слэбе и гидратированный мантийный клин. Эти летучие взаимодействовали с подсубдукционными мантийно-плюмовыми магмами, обогащенными металлами (Fe, Ti, V), галогенами, высокозарядными элементами (Nb, Zr и др.). Надсубдукционная позиция Магнитогорского рифта оказывала дополнительное влияние на геохимическую специализацию магматических серий.

На рис. 1 и 2 по работам российских и зарубежных ученых (всего более 30 работ) и по полученным авторами данным, охарактеризовано общее направление изотопно-геохимической эволюции интрузивного мафит-ультрамафитового и гранитоидного магматизма Урала и связанного с ним оруденения в возрастном диапазоне 1400–250 млн лет. Из этих данных следует, что на докембрийском этапе рифтогенной истории Урала наблюдается однонаправленный процесс деплетирования литосферной мантии. В результате этого мантийные производные обнаруживают рост значений  $\epsilon Nd$  от (-2) до (+7) при снижении первичных отношений  $^{87}Sr/^{86}Sr$  от 0.7060 до 0.7030 в следующей эволюционно-возрастной последовательности: от среднерифейских массивов и Ti, V, Fe месторождений Башкирского мегантиклинория (поле 1) к высокобарическим лерцолитовым комплексам (поле 2) Южного Урала (массивы Нурали и Миндяк) и далее к массивам и Fe, V, Ti месторождениям ППУ (поле 3), а затем и к массивам и комплексам офиолитовой ассоциации (поле 4), характеризующей раскрытие Уральского океана. Процесс деплетирования литосферной мантии отражается в смене высокотитанистых месторождений среднего рифея на малотитанистое железоруднение ППУ позднего венда – раннего палеозоя. В целом, охарактеризованное выше общее направление изотопно-геохимической эволюции на докембрийском этапе формирования Урала, согласуется с концепцией полного крупного геодинамического цикла развития литосферы подвижных поясов, предложенной С. Н. Ивановым. В этой концепции им впервые, на примере рифей – раннепалеозойского периода развития Урала, была обоснована возможность чрезвычайно длительного (более 1 млрд лет) существования обстановок преобладающего литосферного растяжения, при ведущем значении плюмтектонических процессов [Русин, 2008].

Формирование скарново-магнетитовых месторождений Урала происходит уже при ином направлении изотопно-геохимической эволюции интрузивного мафит-ультрамафитового и гранитоидного магматизма Урала, связанном с формированием новообразованной континентальной коры в зонах палеосубдукции. В этом случае наблюдается резкое снижение  $\epsilon Nd$  (от +8 до нулевых значений) и рост первичных отношений  $^{87}Sr/^{86}Sr$  (от 0.7030 до 0.7050 и более). Магнитогорское и Качарское скарново-магнетитовые месторождения и магматические образования, с которыми они

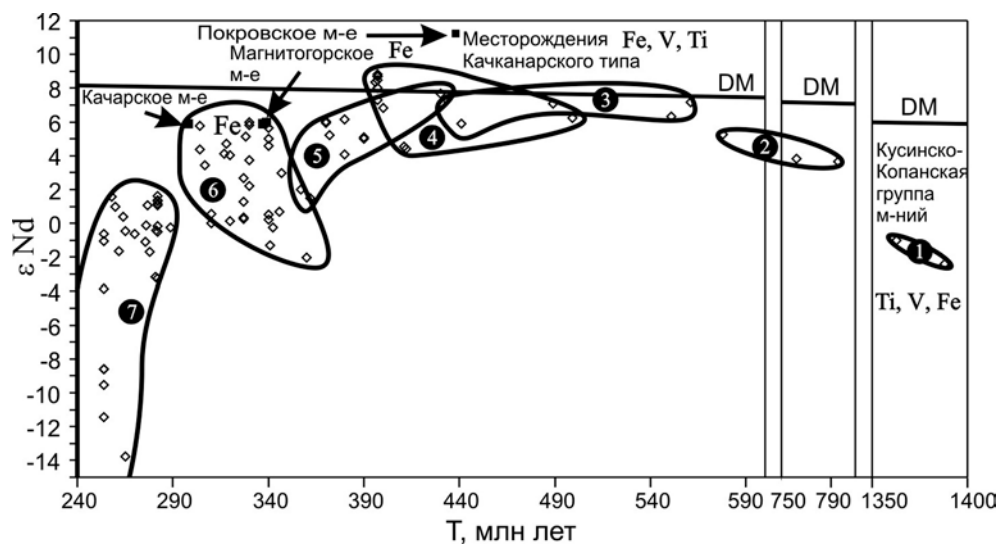


Рис. 1. Эволюция  $\epsilon Nd$  в магматизме и месторождениях Урала. Поля 1–4 охарактеризованы в тексте, 5 – массивы островодужной ассоциации, 6 – массивы и месторождения окраинно-континентальной стадии, 7 – массивы коллизионной стадии. DM – тренд эволюции деплезированной мантии Земли. Залитые квадраты – Fe-скарновые месторождения, незалитые ромбы – все прочие данные.

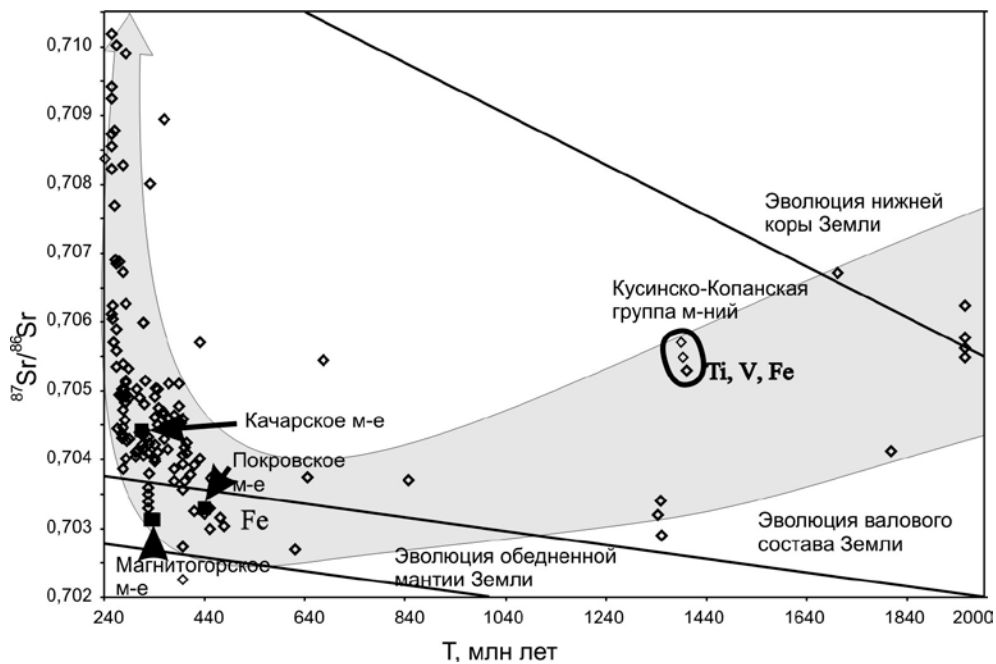


Рис. 2. Эволюция первичного отношения  $^{87}Sr/^{86}Sr$  в массивах Урала.

связаны, располагаются на рис 1 в поле производных окраинно-континентального магматизма, но отличаются от типичных окраинно-континентальных магматических серий существенно более высокими значениями  $\epsilon\text{Nd}$  (+6) и крайне низкими значениями первичных отношений  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  (около 0.7030 для Магнитогорского мест). Такие изотопно-геохимические аномалии связаны, по-видимому, с инъекциями рифтогенно-плюмовых магм в окраинно-континентальную надсубдукционную зону.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 07-05-96006-р-Урал-а, 08-05-00018-а) и программ Президиума РАН и Отделения наук о Земле РАН.

### Литература

*Русин А. И.* Геодинамический цикл С.Н. Иванова и проблема периодизации докембрия // Структурно-вещественные комплексы и проблемы геодинамики фанерозойских орогенов. Материалы международной научной конференции (III Чтения памяти С. Н. Иванова). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2008. С. 120–126.

***Е. С. Назимова***

*Санкт-Петербургский государственный университет,  
г. Санкт-Петербург  
geny\_shen@mail.ru*

### **Характеристика платиноносности хромититового горизонта UG-2, Восточный Бушвельд, Ю. Африка (научный руководитель В. В. Гавриленко)**

Хромититовый горизонт UG-2 входит в состав Бушвельдского расслоенного массива (ЮАР) и является уникальным и крупнейшим в мире источником металлов платиновой группы. Запасы платиноидов горизонта UG-2 составляют около 30 тыс. т, ресурсы на порядок выше. Содержание элементов платиновой группы (ЭПГ) варьирует от 4.5 до 8 г/т, при среднем – около 5.5 г/т. Основными ЭПГ являются Pt и Pd, причем в Западном секторе Бушвельда преобладает Pd, а в Восточном – Pt.

Работа основана на фактическом материале, собранном во время прохождения производственной практики в 2006 г. в компании Англо Платинум (Anglo Platinum) в ЮАР. В пределах Восточного Бушвельда исследованы два участка: Driekor (скважины Dt43, Bf296, Tw571, Ov69, Wv30) на севере и Der Brochen (скважины Rm86, Rm44, Rm40, Db119, She1) на юге Восточного Бушвельда.

**Целью работы** являлось выявление закономерностей распределения платиноидов в хромититовом горизонте UG-2 Восточного Бушвельда.

В задачи исследования входило:

1. Изучение строения рудного горизонта UG-2 Восточного Бушвельда, его морфологических и петрографических особенностей, а также вмещающих пород.
2. Определение последовательности формирования рудных парагенезисов в хромититовом горизонте UG-2 Восточного Бушвельда.
3. Исследование изменчивости химического состава хромититового горизонта UG-2 в пределах Восточного Бушвельда.