

что рудоносные дайки месторождения Большой Каран могли образоваться на начальных стадиях развития зоны субдукции. Результаты исследований позволяют наметить новый для Южного Урала раннедевонский этап формирования месторождений порфирирового семейства.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и АН РБ, грант № 17-45-020717.

Литература

Знаменский С. Е., Знаменская Н. М. Петрохимические и геохимические особенности рудовмещающих пород Николаевского золоторудного месторождения (Южный Урал) // Геологический сборник № 13. ИГ УНЦ РАН. СПб: Свое издательство, 2017. С. 96–100.

Косарев А. М., Пучков В. Н., Ронкин Ю. Л., Серавкин И. Б., Холоднов В. В., Грабежнев А. И. Новые данные о возрасте и геодинамической позиции медно-порфирировых проявлений зоны Главного Уральского разлома на Южном Урале // Доклады Академии наук. 2014. Т. 459. № 1. С. 62–66.

Феритатер Г. Б. Палеозойский интрузивный магматизм Среднего и Южного Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 368 с.

Drew L. J. Tectonic model for the spatial occurrence of porphyry copper and polymetallic vein deposits – applications to Central Europe. U.S. Geological Survey. Scientific Investigations Report 2005-5272. 36 p.

Sillitoe R. H. Gold-rich porphyry deposits: descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery // SEG Reviews. 2000. Vol. 13. P. 315–345.

М. А. Юдовская

*Институт геологии рудных месторождений,
минералогии, петрографии и геохимии РАН, г. Москва
Университет Витватерсранд, г. Йоханнесбург, Южная Африка
maiya@igem.ru*

Роль ассимиляции при формировании магматических сульфидных месторождений

Проблема источника серы при формировании магматических сульфидных месторождений из недосыщенных по сере высокомагнезиальных мантийных расплавов является одной из ключевых в теории рудообразования. Изотопно-геохимические, петрохимические и геологические данные свидетельствуют, что в большинстве крупных магматических Ni-Cu-ЭПГ месторождений, таких как Камбалда, Норильск, Печенга, Раглан, Садбери и Войзис-Бэй, сера извлекалась из вмещающих пород при внедрении интрузивов [Leshar, 2017]. Данная работа рассматривает свидетельства ассимиляции осадочной серы в комплексе Бушвельд в Южной Африке.

Знаменитые платиноносные рифы Бушвельда представляют собой тонкие слои, зажатые между безсульфидными кумулатами, которые, однако, обогащены ЭПГ по сравнению с обычными толеитовыми базальтами. Ресурсы ЭПГ в разрезе Критической зоны остаются рассеянными и неизвлекаемыми в отсутствие механизма концентрирования, такого как фракционирование в сульфидную жидкость [Naldrett et

al., 2011]. При этом проблема нехватки серы не возникает в северном лимбе комплекса Бушвельд, где обилие осадочной серы в породах супергруппы Трансвааль способствовало развитию разнообразных типов минерализации контактового типа на различных стратиграфических горизонтах, в тех частях разреза, где они контактируют с вмещающими породами. Так, например, присутствие месторождений ЭПГ в Нижней зоне северного лимба свидетельствует, что даже химически примитивные недифференцированные бушвельдские расплавы были способны концентрировать ЭПГ в присутствии достаточной заимствованной серы. Проявления вкрапленных и массивных сульфидных руд в гибридных и контактово-метаморфических породах Платрифа контролируются взаимодействием магмы с вмещающими породами, в отличие от платиноносных рифов, которые, по-видимому, имеют чисто ортомагматическое происхождение. В сегменте Ватерберг малосульфидная ЭПГ минерализация проявлена как в ультраосновной, так и в габброидной частях разреза краев комплекса и, по-видимому, контролируется составом пород и топографией подошвы интрузива [Kinnaird et al., 2017].

Присутствие ангидрита в осадочных породах, вмещающих северный лимб комплекса Бушвельд, было известно давно, а его существенная роль в рудообразовании предполагалась исходя из тяжелого изотопного состава серы сульфидов вкрапленных и массивных руд Платрифа [Sharman-Harris et al., 2005; Holwell et al., 2007]. В наших исследованиях [Yudovskaya et al., 2018] мы впервые рассматриваем механизмы и рудно-петрологические следствия ассимиляции ангидрита бушвельдскими расплавами. Детальный анализ стал возможным благодаря исключительно информативному пересечению одной из скважин ангидритоносного интервала, разделяющего разрезы Нижней Зоны и Платрифа. Ангидрит не был найден в породах подстилающей Нижней зоны. Количество ангидрита в осадочном интервале увеличивается от подошвы осадочного слоя, сложенной корунд-силлиманит-магнетитовыми роговиками, к кровле, где ангидрит составляет до 100 % в ангидритовом мраморе. В перекрывающих плагиоклазовых пироксенитах Платрифа ангидрит совместно с плагиоклазом выполняет, в основном, интерстициальное пространство. Кроме того, редкие включения ангидрита идеально сферической и неправильной округленной морфологии встречены совместно с хадакритами оливина в ойоккритах ортопироксена. Химический состав оливина (Mg# 79–81, NiO 0.33–0.46 мас. %), сосуществующего с хромитом, говорит в пользу их котектической ликвидусной кристаллизации из неконтаминированного расплава.

Интерстиционная ассоциация плагиоклаза (An# 95–99) и ортопироксена, обогащенного Al выше типичного уровня в породах Бушвельда, указывает на протекание обменных метаморфических реакций с участием ангидрита и алюмосиликатов из роговиков. Изотопный состав Sr в плагиоклазе из ангидрит-контаминированных пироксенитов, измеренный *in situ*, находится в пределах диапазона изотопных составов ранних бушвельдских магм. Это согласуется с низкорadioгенными, хотя и варьирующими от 0.705 до 0.709, значениями первичного (на возраст Бушвельда 2.05 млрд лет) изотопного Sr отношения ассимилированного ангидрита. Содержание Sr в плагиоклазе Нижней зоны также находится в пределах того же диапазона, что поддерживает корреляцию стратиграфии Нижней зоны северного лимба с ее разрезами в восточном и западном лимбах, а также говорит в пользу их синхронного внедрения. Закономерная ковариация изотопного состава серы сосуществующих ангидрита (+12.16 до +14.53 ‰ $\delta^{34}\text{S}$) и сульфидов (+6.22 до +7.79 ‰ $\delta^{34}\text{S}$) в роговиках и изверженных

породах отражает изотопный обмен между ассимилированным сульфатом и магматическим сульфидом в открытой системе. Температуры закрытия, рассчитанные по этим данным, попадают в диапазон 750–820 °С. Мы предполагаем, что ассимиляция осадочного ангидрита происходила путем эрозии, дробления и последующего растворения вмещающих осадочных пород под воздействием динамично внедряющихся инъекций горячей магмы. Термальное разложение, химическое растворение и плавление ксенолитов ангидрита рассматриваются как одинаково возможные процессы ассимиляции, которые происходили преимущественно в центральной части магматического потока и были затруднены вдоль остывающих контактов. Растворенный сульфат по мере достижения насыщения в силикатном расплаве выделялся в несмешиваемую сульфатную жидкость и близодновременно кристаллизовался в виде кумулюционного ангидрита, сосуществовавшего с кумулюсным оливином. Процессы ассимиляции сопровождались сдвигом в более окисленные условия, что подавляло кристаллизацию оливина и способствовало его растворению и преимущественному росту обогащенного алюминием ойкокритового ортопироксена.

Исследования поддержаны РФФИ (грант № 17-05-00456).

Литература

Holwell D. A., Boyce A. J., McDonald I. Sulfur isotope variations within the Platreef Ni-Cu-PGE deposit: Genetic implications for the origin of sulfide mineralization // *Economic Geology*. 2007. Vol. 102. P. 1091–1110.

Leshner C. M. Roles of xenomelts, xenoliths, xenocrysts, xenovolatiles, residues, and skarns in the genesis, transport, and localization of magmatic Fe-Ni-Cu-PGE sulfides and chromite // *Ore Geology Reviews*. 2017. Vol. 90. P. 465–484.

Naldrett A. J., Kinnaird J. A., Wilson A., Yudovskaya M., Chunnett G. Genesis of the PGE-enriched Merensky Reef and chromitite seams of the Bushveld Complex // *Magmatic Ni-Cu and PGE Deposits: geology, geochemistry and genesis. Review in Economic Geology*. 2011. Vol. 17. P. 235–296.

Sharman-Harris E., Kinnaird J. A., Harris C., Horstmann U. E., Wing B. A new look at sulfide mineralisation of the northern limb, Bushveld Complex: A stable isotope study // *Applied Earth Sciences*. 2005. Vol. 114B. P. 252–263.

Yudovskaya M. A., Sluzhenikin S. F., Costin G., Shatagin K. N., Dubinina E. O., Grobler D. F., Ueckermann H., Kinnaird J. A. Anhydrite assimilation by Bushveld ultramafic melts and its ore-petrological consequences // *Review in Economic Geology*. 2018, submitted.

Д. Е. Савельев

*Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа
sav171@mail.ru*

Современные модели генезиса офиолитовых хромититов: обзор

Происхождение ультраосновных пород офиолитовых комплексов и связанных с ними месторождений хрома на протяжении долгих лет является предметом оживленной дискуссии. В первой половине XX столетия господствующей гипотезой образования хромититов являлась магматическая, в рамках которой они рассматривались как продукты дифференциации ультраосновной магмы (дунитовой или перидотитовой).