

## Часть 4. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ

*М. А. Юдовская<sup>1, 2</sup>*

<sup>1</sup> – *Институт геологии рудных месторождений, минералогии,  
петрографии и геохимии РАН, г. Москва*

<sup>2</sup> – *Университет Витватерсранд, г. Йоханнесбург  
maiya@igem.ru*

### **Открытые системы как необходимое условие формирования магматических платинометалльных месторождений**

Гигантские по запасам магматические месторождения платиновых металлов требуют либо существования аномально богатых материнских расплавов, либо высокоэффективного механизма концентрирования и сепарирования рудных элементов [Naldrett, 2004]. Модель сульфидно-силикатной несмесимости в настоящее время наиболее обоснованно описывает процессы рудообразования в таких магматических месторождениях [Naldrett et al., 2011]. Обогащенность сульфидной жидкости цветными и платиновыми металлами при этом определяется доступным объемом силикатного расплава, из которого сульфиды экстрагируют совместимые с ними элементы [Campbell et al., 1983]. Неограниченно большой объем силикатной части может быть обеспечен условиями конвекции в огромной камере или в условиях открытых систем с высокими скоростями течения магматического расплава. Ранее принималось, что двойная конвекция наиболее приемлема как механизм формирования расслоенности и сульфидных рифов, как их составляющей, в базит-ультрабазитовых комплексах типа Бушвельд, Стиллуотер и др. К настоящему времени показано, что ЭПГ рифы имеют несогласные магматические взаимоотношения с подстилающим (иногда и перекрывающим) расслоенным разрезом, а мощность этих внедрений недостаточна для эффективной конвекции и обеспечения концентрирования из колонны расплава [Naldrett et al., 2011; Latypov et al., 2015]. Модель рудоотложения в проточных магматических системах, предполагающая доминирование ламинарного течения над конвекционным, первоначально развивалась для оруденения в силлообразных и хонолитообразных базит-ультрабазитовых комплексах (Норильск, Войзис-Бэй, Джинчуань, Камбалда, Пресерверанс и мн. др.) [Barnes et al., 2016]. Большие объемы магмы и длительные процессы течения в каналах являются наиболее существенными факторами концентрирования металлов при формировании крупных магматических Cu-Ni и хромитовых месторождений [Barnes et al., 2016; Yudovskaya et al., 2015]. В настоящее время, модель латерального или внутрижелобного распространения все более адаптируется для объяснения характера локализации отдельных магматических инъекций в крупных расслоенных интрузивах, таких как комплекс Бушвельд в Южной Африке.

Здесь мы приводим новые данные по строению платиноносных горизонтов в Платрифе северного лимба комплекса Бушвельд – сложному силлообразному

интрузиву, занимающему стратиграфическую позицию Критической зоны. Зональное распределение ЭПГ и минералов платиновых металлов в разрезе рифовых горизонтов Платрифа коррелирует с закономерным изменением состава силикатных и сульфидных минералов по вертикали, что поддерживает идею их кристаллизации *in situ* в зоне смешения расплавов. Литологическое строение, петрографические и геохимические черты пород рифового горизонта сходны с таковыми для рифа Меренского в Верхней Критической зоне и предполагают их корреляцию. Однако магматические породы в подошве Платрифа существенно контаминированы при ассимиляции вмещающих осадочных пород, что отразилось на гетерогенном изотопном составе серы контаминированных сульфидов в диапазоне от отрицательных до высоких положительных значений  $\delta^{34}\text{S}$ . Тем не менее, рифовые горизонты в верхней части Платрифа контаминированы значительно слабее, и сульфидная минерализация имеет близкий изотопный состав серы ( $\sim +2\%$ ). Эти значения аналогичны значениям изотопного состава серы в сульфидах рифа Меренского и свидетельствуют о сходном генезисе и общем источнике сульфидного материала в рифах всех лимбов Бушвельда.

Дополнительные важные свидетельства их корреляции получены по результатам Re-Os изотопного анализа минералов платиновых металлов методом ЛА-ИСП-МС в Университете Макквори (г. Сидней, Австралия). Были проанализированы лаурит ( $\text{RuS}_2$ ), холингвортит ( $\text{RhAsS}$ ), сперриллит ( $\text{PtAs}_2$ ) и Pt-Fe сплавы и установлено, что  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  отношения в минералах рифов Меренского и Платрифа идентичны. Одной из целей исследования было также сравнение изотопного состава Os в минералах первичных магматических ассоциаций с таковым в минералах из сростаний, образование которых связывалось с влиянием позднего наложенного процесса (возможно, гидротермального или пневматолитового). Большинство минералов, включая и те, которые имели текстурные признаки более позднего образования, имеют сходный гомогенный изотопный состав Os, что указывает на их раннемагматическое происхождение, хотя каймы и распадные включения холингвортита отличаются более радиогенным составом Os, и их кристаллизация могла быть инициирована поздней флюидной активностью. Сходные значения и гомогенный изотопный состав Os в минералах платиновых металлов в рифах Меренского и Платрифа еще раз подчеркивают их общее происхождение в ходе идентичного магматического процесса. Это позволяет распространять модель открытой магматической системы, построенной на данных по Платрифу, на другие месторождения в пределах комплекса Бушвельд.

*Исследования поддержаны РФФ (проект № 14-17-00693).*

### Литература

- Barnes S. J., Cruden A. R., Arndt N., Saumur B. M.* The mineral system approach applied to magmatic Ni–Cu–PGE sulphide deposits // *Ore Geology Reviews*. 2016. Vol. 76. P. 296–316.
- Campbell I. H., Naldrett A. J., Barnes S. J.* A model for the origin of the platinum-rich sulphide horizons in the Bushveld and Stillwater Complexes // *Journal of Petrology*. 1983. Vol. 24. P. 133–165.
- Latypov R., Chistyakova S., Page A., Hornsey R.* Field evidence for the *in situ* crystallization of the Merensky Reef // *Journal of Petrology*. 2015. Vol. 56. P. 2341–2372.
- Naldrett A. J.* Magmatic sulfide deposits: geology, geochemistry and exploration. Heidelberg: Springer, 2004. 963 p.

*Naldrett A. J., Kinnaird J. A., Wilson A., Yudovskaya M., Chunnnett 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.

*Yudovskaya M. A., Naldrett A. J., Woolfe J. A. S., Costin G., Kinnaird J. A.* Reverse compositional zoning in the Uitkomst chromitites as an indication of crystallization in a magmatic conduit // *Journal of Petrology.* 2015. Vol. 56. P. 2373–2394.

***Р. С. Паламарчук, С. Ю. Степанов***  
*Санкт-Петербургский горный университет,*  
*г. Санкт-Петербург*  
*palamarchuk22@yandex.ru*

**Перспективы выявления коренного платинового оруденения  
в Вересовоборском клинопироксенит-дунитовом массиве,  
Средний Урал**

(научный руководитель д.г.-м.н. А. В. Козлов)

Платиноносный пояс Урала, со времени открытия первых платиновых россыпей в 1819 г., являлся единственным источником платины в России до начала прошлого века. Большинство месторождений в пределах пояса были россыпными, в том числе и уникальные по запасам россыпи Нижнего Тагила и Исовско-Туринского россыпного узла. Образование платиноносных россыпей Урала связывают с эрозией пород клинопироксенит-дунитовых массивов. За более чем 100-летнее изучение этих массивов были открыты месторождения коренных платиноидов только на Нижнетагильском массиве [Заварицкий, 1928]. До сих пор не обнаружены новые коренные месторождения платины, связанные с другими клинопироксенит-дунитовыми массивами.

Цель данной работы – оценить перспективы выявления коренного платинового оруденения в дунитах Вересовоборского клинопироксенит-дунитового массива. Для этого были поставлены следующие задачи: оценка россыпных объектов, генетически связанных с дунитами массива, исследование и сравнительная характеристика минералов платиновой группы (МПП), изучение хромит-платиновых рудных зон в дунитах массива и сравнение их с аналогичными объектами в клинопироксенит-дунитовых массивах Среднего Урала.

Коренные хромит-платиновые рудные зоны и россыпные объекты изучены во время полевых работ 2013–2016 гг. Были опробованы россыпи рек Покап, Простакишенка и Вересовка, а также наиболее удаленный Глубокинский участок Исовско-Туринской россыпи. Пробы были промыты до получения «черного шлиха», после чего зерна МПП были извлечены из него методом «отдувки». В контурах хромит-платиновых рудных зон отобраны пробы хромититов или дунитов, обогащенных хромшпинелидом. Из штучных образцов были изготовлены аншлифы, а пробы весом 17–23 кг раздроблены до фракции <1 мм и обогащены с помощью центробежного концентратора КР-400. Из искусственного шлиха МПП извлекались методом «отдувки». Морфология МПП изучена с помощью растрового электронного микроскопа