

ты массива, что приводит к более кислому средневзвешенному составу разрезов, построенных по этим скважинам относительно среднего состава всей интрузии. В этом случае возникает вопрос – можно ли получить весь набор пород комплекса при кристаллизации магмы, отвечающей составу кварцевых диоритов офсетных даек? Для проверки данной гипотезы была построена численная модель динамики становления магмы, отвечающей составу кварцевых диоритов. Модель воспроизводит весь набор пород и последовательность кристаллизации минералов комплекса Седбери, однако мощность гранофирового слоя модели резко сокращена по сравнению с мощностью этого слоя, наблюдаемой в скважинах. Такая модель не противоречит гипотезе о переоценке мощности гранофирового слоя и подтверждает возможность формирования всего разреза интрузии из одной порции магмы диоритового состава.

В результате проведенных исследований можно сделать два основных вывода. Во-первых, для образования интрузивного комплекса Седбери нет необходимости привлекать модель многоактного внедрения, так как весь разрез комплекса можно вполне объяснить внутрикамерным фракционированием единой порции расплава среднего состава. Во-вторых, вопрос о химическом, а значит и фазовом, составе исходной магмы интрузивного комплекса Седбери на сегодняшний день остается открытым. Решение этого вопроса требует дополнительной информации о составе пород в разрезе центральной части интрузивного комплекса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Ariskin A.A., Deutsch A., Ostermann M.* Sudbury Igneous Complex: simulating phase equilibria and in situ differentiation for two proposed parental magmas // *Geol. Society of America. Spec. Paper.* 1999. V. 339. P. 373-387.
2. *Chai G., Eckstrand O.R.* Origin of the Sudbury Igneous Complex, Ontario – differentiated of two separate magma // *Geological Survey of Canada Paper.* 1993. V. 93-1E. P. 219-230.
3. *Deutsch A., Grieve R.A.F., Avermann M., Bischoff L., Brockmeyer P., Buhl D., Lakomy R., Müller-Mohr V., Ostermann M., Stuffer D.* The Sudbury Structure (Ontario, Canada): a tectonically deformed multi-ring impact basin // *Geologische Rundschau.* 1995. V. 84. P. 697-709.
4. *Lightfoot P.C., Keays R.R., Doherty W.* Chemical evolution and origin of nickel sulfide mineralization in the Sudbury igneous complex, Ontario, Canada // *Economic Geology.* 2001. V. 96. P. 1855-1875.
5. *Lightfoot P.C., Keays R.R., Morrison G.G., Bite A., Farrell K.P.* Geochemical Relationships in the Sudbury Igneous Complex: Origin of Main Mass and Offset Dikes // *Economic Geology.* 1997. V. 92. P. 289-307.
6. *Naldrett A.J.* Magmatic Sulfide Deposits: Geology, Geochemistry and Exploration. Springer, 2004. 727 pp.
7. *Premister T.C.* A review of the problems of the Sudbury Irruptive // *Journal of Geology.* 1937. V. 45. P. 1-47.
8. *Therriault A.M., Fowler A.D., Grieve A.F.* The Sudbury Igneous Complex: a differentiated impact melt sheet // *Economic Geology.* 2002. V. 97. P. 1521-1540.
9. *Thode H.G., Dunford H.B., Shima M.* Sulfur isotope abundances in rocks of the Sudbury district and their geological significance // *Economic Geology.* 1962. V. 57. P. 565-578.
10. *Thomson J.E.* A discussion of Sudbury geology and sulphide deposits // *Ontario Department of Mines Miscellaneous Paper.* 1969. V. 30. 22 pp.

### **РОЛЬ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЛЮМОВ В ОБРАЗОВАНИИ ПЛАТИНОМЕТАЛЬНЫХ МИНЕРАЛИЗАЦИЙ**

**Лазаренков В.Г., Таловина И.В., Воронцова Н.И.**

*Санкт-Петербургский государственный горный институт, Санкт-Петербург, Россия*

### **ROLE OF THERMOCHEMICAL PLUME IN GENESIS OF PGE-MINERALIZATION**

**Lazarenkov V.G., Talovina I.V., Vorontsova N.I.**

*Saint-Petersburg State Mining Institute, Saint-Petersburg, Russia*

Thermochemical plumes can play important role in formation of platinum metal mineralization. There are some geological and geochemical backgrounds for that, such as: a – first-rate platinum met-

al mineralization is often superposed with superplumes; b – platinum metal mineralization associates with limited blocks and zones in Earth's crust. All of them possess polychronous character in that zones; c – chemical composition of the platinum metal plumes.

Идея плюмов, выраженных на поверхности Земли в виде «горячих пятен» (hot spot) зародилась в недрах идей плейт-тектоники. Она получила поддержку в связи с достижениями в изучении теплового поля Земли и в связи со спутниковыми данными по исследованию Большого Красного пятна Юпитера, представляющего собой «горячую точку» в виде овала размером 13 000 × 40 000 км. По современным представлениям плюм представляет собой флюидный, может быть, существенно водородный, тепловой поток, генерируемый в слое D жидкого внешнего ядра Земли [1]. Его магматическая реализация, формирующая магматические горные породы, происходит в астеносферном слое Земли глубиной до 600-700 км. А от глубины слоя D (около 2900 км) до нижней границы астеносферы плюм перемещается в виде флюидной фазы, обладающей свойством сверхпроводимости, сверхпроницаемости и, возможно, сверхвысокой скоростью подъема.

Идея участия вещества земного ядра в формировании платинометалльных минерализаций вытекает из сравнения содержания ЭПГ в железных и каменных метеоритах. В первых концентрация этих элементов почти на порядок выше, чем во вторых [2]. Одним из наиболее интересных геохимических открытий последних лет является открытие сдвоенных положительных отклонений от хондритовых значений  $^{186}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  и  $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$  для руд норильских месторождений, что можно рассматривать как геохимические метки ядерных плюмов [4].

Рассмотрим геолого-геохимические предпосылки, свидетельствующие о возможной роли термохимического плюма в формировании платинометалльных минерализаций.

### ***1. Совместенность крупнейших платинометалльных минерализаций с суперплюмами.***

Бушвельдский мафит-ультрамафитовый массив площадью 67 000 км<sup>2</sup> с максимальной мощностью около 9 км – самый крупный в мире расслоенный массив – несомненно является продуктом одного из самых мощных мафит-ультрамафитовых плюмов в истории Земли. Возможно, не случайно Норильские платинометалльные месторождения ассоциируют с толщей сибирских траппов, где они достигают максимальной мощности 10 км и где Сибирский суперплюм, очевидно, имел свое наиболее мощное энергетическое выражение. Сходная энергетическая ситуация, по-видимому, характеризовала и зональные дунит-клинопироксенитовые диапиры Платиноносного пояса Урала, послужившие продуцентами крупнейших мировых платиновых россыпей.

### ***2. Тяготение платинометалльных минерализаций к ограниченному числу блоков и зон земной коры. Их полихронный характер проявления в этих структурах.***

Как было показано П. Вагнером еще в 1932 г. целый ряд магматических, осадочных и метаморфических формаций Южной Африки, находящихся на территории, впоследствии очерченной как площадь Капваальского или Южно-Африканского кратона, обогащены платиноидами, т.е. обнаруживают отчетливую платиноидную специализацию, начиная с раннего архея и заканчивая кайнозойем, даже в магматических породах кислого состава. В Южной Африке самые древние минералы платиновой группы установлены в кварцевой жиле из «древнего гранита» (3,4-3,0 млрд. лет), в ультраосновных породах системы Свазиленд (3,49-2,42 млрд. лет), в месторождении Витватерсранд (3,06-2,71 млрд. лет), в Бушвельдском интрузивном массиве (2,05 млрд. лет), в Великой дайке (2,416 млрд. лет), в месторождении Инсизва (карбон-триас), в меловых кимберлитах и в кайнозойских россыпях. По П.А. Вагнеру «необыкновенное богатство платиновых металлов в изверженных породах Южной Африки могло бы легко быть объяснено предположением о том, что лежащая под Южным материком часть *sim*-зоны ненормально богата платиной». Эта идея весьма актуальна и в наши дни. Магматические и диапировые ультраосновные и основные системы дренируют верхнемантийные зоны в широком диапазоне глубин. Вынос ими на протяжении всей геологической истории Капваальского кратона повышенных количеств платиноидов свидетельствует о том, что либо мантия под Капваальским кратоном изначально содержала повышенные концентрации этих элементов, либо она обогатилась ими в результате подтока флюидов из нижней мантии или из внешнего жидкого ядра, обогащенного водородом, т.е. существенно водородных плюмов.

Кроме Капваальского блока в настоящее время можно наметить ряд других крупных блоков, поясов или крупных рудных узлов: Алданский щит (массивы Кондер, Инагли, Чад и др.), Анабарский щит (массивы Гулинский, Бор-Урях, Кугда), Платиноносный пояс Урала, Тихоокеанский пояс, к которому тяготеют месторождения Дальнего Востока России, Аляски, Западного побережья США, Японии, Китая, Индонезии, Австралии и Новой Зеландии.

Примером локального платинометалльного узла на Северо-Западе России является Онежский прогиб, расположенный на сочленении Балтийского щита и Русской платформы. В нем в течение нижнего протерозоя сформировались три генетически различные платинометалльные минерализации: Бураковского расслоенного массива (2,449 млрд. лет), Пудожгорского долеритового силла (2,186 млрд. лет) [3] и Падминского месторождения (1,77; 1,1-0,9; 0,28-0,27 млрд. лет). В качестве единой причины образования этих разнородных платинометалльных комплексов Онежского узла можно рассматривать платинометалльный плюм.

### **3. О химическом составе платинометалльных плюмов.**

Рассмотрим состав платинометалльных плюмов, опираясь, в первую очередь, на особенности состава флюидной фазы ультрамафических пегматитов и гидротермалитов крупных платинометалльных месторождений – Бушвельдских, Норильских, Платиноносного пояса Урала и некоторых других. Самыми замечательными ультрамафическими пегматитами в мире являются платиновые трубки Бушвельдского массива (Мойхук, Онвервахт, Дрикоп). Их метасоматическая колонка имеет вид: (от края к центру): гарцбургит – ильменит-флогопит-роговообманковый пегматит – гортонолитовый пегматит (плотность 3,75-3,83 – одна из самых тяжелых горных пород). В составе потока летучих компонентов, принимавших участие в образовании трубок, кроме железа и платины, находились сера, фосфор, фтор, углерод, сурьма и мышьяк. В Стилутерском массиве формирование графитовых пегматитовых пироксенитов, сопутствующих промышленному платинометалльному JM-риффу, происходило в системе C-O-H-S при температуре 500-600°C, с участием серы, мышьяка, сурьмы, висмута, селена, теллура, ртути и других компонентов. В Падминском метасоматическом уран-золото-платинометалльном месторождении благородные металлы диагностированы в сульфидах, селено-сульфидах, сульфоселенидах и селенидах Bi, Pb и Cr, а Au, Ag и Bi присутствуют в самородном виде. Как нам видится, общей типоморфной особенностью флюидной фазы всех этих месторождений является устойчивое присутствие серы, хлора, фосфора, металлоидов – Sb, Bi, Se, As, и некоторых других элементов. И хотя понятно, что флюидная фаза ультрамафических пегматитов и гидротермалитов далеко не являлась эквивалентом химического состава ядерных плюмов, тем не менее, можно предполагать, что в составе этих горных пород она отразилась в наибольшей степени по сравнению с составом их магматических аналогов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Добрецов Н.Л. Геологические следствия термохимической модели плюмов // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 7. С. 587-604.
2. Лазаренков В.Г., Таловина И.В. Геохимия элементов платиновой группы. СПб.: Галарт, 2001. 266 с.
3. Трофимов Н.Н., Голубев А.И. Пудожгорское благороднометалльное титаномангнетитовое месторождение. Петрозаводск: Изд-во КНЦ РАН, 2008. 123 с.
4. Brandon A.D., Snow J.E., Walker R.J., Morgan J.W., Mock T.D.  $^{190}\text{Pt}/^{186}\text{Os}$  and  $^{187}\text{Re}/^{187}\text{Os}$  Systematics of abyssal peridotites // Earth Planet. Sci. Lett. 2000. V. 177, P. 319-355.