

**МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
ДЛЯ РАССЛОЕННЫХ ИНТРУЗИЙ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЯ  
БАЛТИЙСКОГО ЩИТА**

**Смолькин В.Ф.\*, Кременецкий А.А.\*\*, Ветрин В.Р.\*\*\***

*\*Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия*

*e-mail: vsmolkin@sgm.ru*

*\*\*Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия*

*\*\*\*Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, Россия*

*e-mail: vetrin@geoksc.apatity.ru*

**THE MODEL OF THE ORE-MAGMATIC SYSTEMS  
FOR THE PALEOPROTEROZOIC STRATIFIED INTRUSIONS  
OF THE BALTIC SHIELD FORMATION**

**Smolkin V.F.\*, Kremenetsky A.A.\*\*, Vetrin V.R.\*\*\***

*\*State Geological Museum RAS, Moscow, Russia*

*e-mail: vsmolkin@sgm.ru*

*\*\*Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia*

*e-mail: imgre@imgre.ru*

*\*\*\*Geological Institute KSC RAS, Apatity, Russia*

*e-mail: vetrin@geoksc.apatity.ru*

Analysis of geological, petrological, geochemical and isotope data for the stratified intrusions, generated in 2.5-2.4 Ga, and deep seated xenoliths of mantle and core origin allows to define key parameters of ore-magmatic systems for the Kola-Lapland-Karelian Province of the Baltic Shield.

Анализ геологических, петрологических, геохимических и изотопных данных для расслоенных интрузий и комагматических им образований, сформированных 2.5-2.4 млрд. лет, и глубинных ксенолитов мантийного и корового вещества из трубок взрыва позволяет определить основные параметры рудно-магматической системы для Кольско-Лапландско-Карельской провинции Балтийского щита.

1. Различная архейская геологическая история формирования отдельных частей Кольско-Лапландско-Карельской провинции предопределила набор и масштабность оруденения магматического генезиса, связанного с мантийными процессами (хромитовое, сульфидное, платино-металльное). Это обусловлено тем, что масштаб выплавления неархейских комагиитовых магм под Кольским и Карельским регионами, а значит и степень деплетированности мантийного вещества в отношении рудогенных элементов были разными и значительно меньшими для Кольского региона. Предполагается большая сохранность рудогенных компонентов в мантийном веществе Кольского региона в сравнении с Карельским регионом, которые были востребованы в течение последующей раннепротерозойской истории, что подтверждается наличием существенных запасов промышленно значимых сульфидных руд в Кольском регионе и их отсутствием в Карелии.

2. Расслоенные интрузии и связанные с ними магматические производные были образованы в результате подъема как минимум двух разновременных плюмов, с первым из которых связано формирование ранних (2530-2470 млн. лет) расслоенных интрузий и габбро-анортозитов. Поднятие этого плюма происходило под кору Кольского региона, что обусловило сводообразование в его центральной части, заложение крупной палеорифтогенной системы Печенгско-Варзугского пояса щелевого типа между двумя крупными блоками земной коры и формирование мощных толщ вулканитов преимущественно основного состава, слагающих нижние части разреза раннего протерозоя. При подъеме плюма в процесс плавления вовлекалось слабо деплетированное в отношении рудогенных элементов мантийное вещество, а внедрение магм в кору происходило по протяженным линейным зонам. Второй, более поздний плюм был смещен на

юг по отношению к первому и занимал большую площадь, а перекрывающая его кора была более гетерогенная по своей структуре, что обусловило рассеянный рифтинг. С этим плюмом было связано образование поздних (2460-2430 млн. лет) расслоенных интрузий и габбро-анортозитов, массивов «друзитового» комплекса, а также массовая генерация и излияние вулканитов толеит-базальтового состава.

3. Глубинное вещество литосферной мантии, вовлекаемое в процессы плавления, располагалось, судя по составу мантийных ксенолитов, на глубинах, отвечающих шпинелевым и гранатовым перидотитам. Условия его плавления, оцениваемые по данным экспериментов, следующие:  $P=25$  кбар, степень плавления 15-20%,  $T=1400-1500^{\circ}\text{C}$ . Оливин и ортопироксен плавлись частично, клинопироксен и содержащийся в нем Cr, по-видимому, полностью переходили в расплав (последующие магматиты раннего протерозоя уже не содержат значимых концентраций хрома). Условия образования магм, материнских для расслоенных интрузий и связанных с первым и вторым плюмами, по-видимому, различались, так как второй плюм был более обширен, возбуждал предварительно деплетированное вещество и поднимался в уже разогретую первым плюмом кору.

3. Магмы, образованные в результате процессов плюм-литосферного взаимодействия, активно взаимодействовали с веществом субконтинентальной литосферной мантии, что привело к дополнительному обогащению рудными компонентами, и, прежде всего Cr. Судя по результатам изучения изотопной Re-Os системы, масштаб этого взаимодействия увеличивался при переходе от первого плюма ко второму. Одновременно увеличилась и степень плавления мантийного субстрата, о чем свидетельствует возрастающая роль ультраосновных вулканитов по отношению к основным вулканитам в разрезах палеопротерозойских структур.

4. Подъем мантийных магм мог происходить по ослабленным зонам путем своеобразного прожигания, что предполагает интенсивный обмен магм с веществом коры. При этом происходила контаминация глубинных магм силикатным веществом коры, а также извлечение серы за счет разрушения сульфидных ассоциаций в архейских комплексах. Одним из доказательств процессов контаминации является обнаружение древних цирконов в интрузивных и вулканических породах. Судя по геохимическим данным, в процесс магмообразования интенсивно вовлекалось вещество, а с ними рудогенные элементы (Fe, Cu, ЭПГ, Au и др.) нижней коры. Глубинно-коровая контаминация оценивается в 15-20%. Близость изотопного состава части нижнекоровых ксенолитов с породами неархейских зеленокаменных поясов позволяет рассматривать метавулканиды основного состава в качестве главного контаминанта палеопротерозойских магм, материнских для расслоенных интрузий.

5. Характер внедрения расслоенных интрузий в верхнюю кору определялся конкретной геотектонической обстановкой. При внедрении по глубинным разломам в архейском субстрате были образованы однофазные трещинные интрузии относительно небольшого объема, не содержащие промышленно значимых месторождений. В случае активных тектонических подвижек рамы магмы формировали преимущественно дайкообразные тела в условиях, неблагоприятных для накопления рудного вещества. При наличии мощного чехла, сложенного плотными породами архейского зеленокаменного пояса, формировались многофазные интрузии. Это предполагает относительно более продолжительное охлаждение и кристаллизацию, более полную дифференциацию силикатных магм и активное отделение рудного вещества с его концентрацией в локальных участках. Процессы подплавления вмещающих интрузивные камеры пород, их ассимиляция и контаминация, с которыми связано образование верхних зон гранофилов, имеют локальный характер. Однако они существенно изменили окислительный потенциал кристаллизующихся расплавов, что обусловило формирование горизонтов магнетитовых и титаномagnetитовых габбро.

6. Подъем плюмов и последующий разогрев коры в результате внедрения мантийных магм привел к генерации вторичных коровых очагов, извержению вулканитов средне-кислого состава и формированию флюидных потоков. Вполне вероятно, что с этими флюидными потоками связано изменение и переотложение сульфидного и платинометалльного оруденений, первоначально имевших магматический генезис.

7. Высокомагнезиальные вулканиты, комагматичные расслоенным интрузиям по геохимическим и изотопным данным, по-видимому, не имели с ними прямой связи. По времени они из-

ливались синхронно с массивами второй группы, но в других, более проницаемых структурах. Судя по их слабо проявленной предварительной дифференциации, для них не было условий предварительного накопления рудного вещества, которое оставалось в рассеянном виде. Это не исключает возможность появления наложенных метасоматических проявлений на участках с интенсивной проработкой вулканитов серосодержащими флюидами.

8. Внедрение расплавов в магматические камеры часто происходило многократно, что обусловило формирование мегацикличности и ритмической расслоенности. Состав новых порций эволюционировал, и в ряде случаев общий ход эволюции нарушался в результате внедрения более высокотемпературных магм, часто обогащенных рудными компонентами, или магм иного состава, в том числе высокоглиноземистого.

9. Крупные автономные массивы габбро-анортозитов традиционно рассматривались большинством исследователей отдельно от расслоенных интрузий. Новые возрастные, геохимические и изотопно-геохимические данные для крупнейшей интрузии Главного хребта позволяют отказаться от такого подхода. По-видимому, в ряде случаев происходило не только синхронное и самостоятельное внедрение расслоенных интрузий и массивов габбро-анортозитов в разные структурные зоны, но и непосредственное внедрение высокоглиноземистых расплавов в камеры расслоенных интрузий. Это привело к смешиванию расплавов, и могло явиться одной из причин формирования платиноносных рифов в верхних частях таких интрузий, которое происходило в условиях дефицита серы. Высокоглиноземистые магмы, генерация которых происходила, вероятно, на уровне нижней коры, обусловили также формирование глубинных габбро-анортозитовых массивов, выведенных в верхние уровни коры в результате субгоризонтальных тектонических перемещений. На основании предложенной модели возрастает потенциал на ЭПГ массивов габбро-анортозитов, которые могут содержать не вскрытые эрозией рудные горизонты (риффы). Положение таких горизонтов в разрезах конкретных массивов может быть различным. Одним из важных признаков является наличие высокомагнезиальных (оливиновых) дифференциатов в разрезе массивов. В связи с этим заслуживают интерес поиски глубинных зон массивов габбро-анортозитов, которые могут содержать породы такого состава. Особенный интерес заслуживают горизонты неоднородного строения, обусловленного чередованием пород такситового и крупнозернистого сложения.

10. Гипотезы изначального обогащения рудными компонентами первичных магм или одной магмы в процессе эволюции не могут быть положены в основу разработки модели рудно-магматической системы и изучения геохимической зональности, так как рудоносные и потенциально рудоносные интрузии характеризуются большим разнообразием строения разрезов, соотношения пород разного состава и набора типов рудных концентраций. По полученным данным большую роль играли процессы контаминации расплавами вмещающих пород, расположенных на разных уровнях коры. В результате контаминации увеличивалась кремнекислотность магм, что повышало растворимость серы, а также повышалось содержание хлорсодержащих флюидов, способных к переносу рудных компонентов, и прежде всего ЭПГ. Повышение кремнекислотности расплавов в верхних частях магматических камер приводило к повышению окислительного потенциала, переводу части двухвалентного железа в трехвалентное, что обусловило формирование магнетитовых габбро.

*Исследования выполнены по Госконтракту №АЛ-02-06/32 «Составление карт геохимической специализации разноранговых металлогенических объектов с разработкой методики изучения геолого-геохимической зональности рудогенных систем и ее использование при оценке прогнозных ресурсов ТПИ, 2005-2007 гг.».*