

равномерное распределение как петрогенных, так и редких элементов при высокой первоначальной щелочности расплавов, обогащенных летучими (особенно H₂O и F) и Р, а также редкими металлами (Li, Rb, Cs, Ta, Nb, Be, Sn); 7) экстремальное обогащение пегматитов гранитофильными редкими элементами.

Большой временной интервал между временем становления гранитных комплексов, с одной стороны, и образования пегматитов Вишняковского поля – с другой, а также приведенные выше генетические особенности пегматитов этого поля не согласуются с гипотезой образования пегматитов Вишняковского поля в процессе дифференциации гранитной магмы, из которой формировались массивы отмеченных выше гранитоидов, и указывают на отсутствие “материнских” гранитов для изученных пегматитов. Они наиболее корректно объясняются гипотезой образования этих пегматитов из пегматитовой магмы, являющейся результатом длительного процесса преобразования гранитных расплавов в глубинных очагах под воздействием мантийных и/или нижнекоровых флюидов, обогащенных гранитофильными элементами и проникавших по глубинным разломам. Под действием этих потоков флюидов происходила переработка гранитного материала земной коры и образование пегматитовых расплавов. Дифференциация этих расплавов, происходившая на путях внедрения в зонах разломов, могла привести к геохимической гетерогенности пегматитовых расплавов, заполнявших камеры, в которых кристаллизовались пегматитовые жилы. Дальнейшее фракционирование сильно флюидизированных расплавов в камерах их кристаллизации и автотасоматоз приводили к еще более интенсивному накоплению ряда редких металлов в отдельных зонах, и особенно к экстремальному концентрированию тантала.

Работа выполнена при поддержке СО РАН (проект № 29).

Литература

1. Брынцев В.В. Докембрийские гранитоиды Северо-Западного Присяянья. Новосибирск: Наука, 1994, 184 с.
2. Загорский В.Е., Макагон В.М., Шмакин Б.М. Систематика гранитных пегматитов // Геология и геофизика, 2003, т. 44, № 5, с. 422-435.
3. Комин М.Ф., Усова Т.Ю., Зуева Т.И. и др. Минерально-сырьевая база редких металлов в России: состояние и пути развития // Разведка и охрана недр, 2004, № 11, с. 32-37.
4. Левицкий В.И., Мельников А.И., Резницкий Л.З. и др. Посткинематические раннепротерозойские гранитоиды юго-западной части Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2002, т. 43, № 8, с. 717-731.
5. Макагон В.М., Лепин В.М., Брандт С.Б. Рубидий-стронциевое датирование редкометалльных пегматитов Вишняковского месторождения // Геология и геофизика, 2000, № 12, с. 1783-1789.
6. Макагон В.М., Шмакин Б.М. Геохимия главных формаций гранитных пегматитов. Новосибирск: Наука, 1988, 210 с.

Особенности исследований раннедокембрийской металлогении Кольско-Лапландско-Карельской провинции Балтийского щита

Митрофанов Ф.П., Войтеховский Ю.Л., Баянова Т.Б.

Геологический институт Кольского научного центра РАН, г. Апатиты,
e-mail: felix@geoksc.apatity.ru, woyt@geoksc.apatity.ru, bayanova@geoksc.apatity.ru

Кольско-Лапландско-Карельская (КЛК) раннедокембрийская провинция Балтийского щита содержит полный типовой набор архейских структур, известных в Мире. На юге и севере находятся гранит-зеленокаменные области (кратоны) разной глубины эрозионного среза - Карельская и Мурманская. Между ними - Кольский гранулит-гнейсовый и Беломорский мигматит-гнейсовый домены, а также особая структура бассейнового типа - Кейвский террейн. Каждая из этих структур имеет свой характер геологического развития в мезо- и неоархее. При этом металлогенические особенности каждой из них проявлены не только в архейской истории, но и в последующие эпохи, вплоть до палеозоя. Так долгоразвивающаяся от архея до палеозоя щелочная металлогеническая провинция

Балтийского щита, обязанная своим происхождением гранулитовой предистории, не захватывает Карельский кратон, а особенно характерна для кольских структур с их многоэтапными процессами гранулитового метаморфизма в архее и в раннем протерозое.

Карельская (или Фенно-Карельская) гранит-зеленокаменная область характеризуется наиболее разнообразной геологической историей в архее. Ее ТТГ-мигматитовые комплексы основания разновозрастные и имеют различную протолитовую историю, ее многочисленные сети зеленокаменных поясов также различны и имеют как энсиалическую, так, вероятно, и энсиматическую природу. В коматиитовых ассоциациях этой области в последние годы в Финляндии найдены небольшие никелевые месторождения, однако по ряду признаков можно думать, что крупные месторождения типа Камбалда в регионе отсутствуют. Более перспективными здесь видятся рудопроявления колчеданного типа, включая золоторудные, а также, конечно, большое промышленное значение имеют железорудные месторождения Костомукши.

В этой связи необычен тот факт, что «межкратонная» архейская структура - Кольский (или Кольско-Норвежский) домен (или «гранулит-зеленокаменная область») с его единичными зеленокаменными прогибами - обладает более богатой металлогенией. В энсиалических поясах - это железорудные месторождения Оленегорска и др., в энсиматическом поясе Колмозеро-Воронья - громадные поля промышленных редкометальных пегматитов, столь характерных для архейских зеленокаменных поясов многих щитов Мира, медно-молибденовое месторождение Пеллапахк и многочисленные рудопроявления золота, запасы которого насчитывают сейчас десятки тонн.

Своеобразна богатая промышленная металлогения Кейвского террейна. Ей трудно найти аналогов не только на Балтийском щите, но и во всем Мире. Это и богато обогащенные алюминием архейские осадки и переотложенные коры выветривания (Кейвские месторождения), и Сахарьекское месторождение циркония и редких металлов, связанное с архейским анорогненным щелочным сиенит-гранитным магматизмом, и титан-ванадиевые месторождения архейской монцонит-анортозитовой формации. Требуют опосредованного поиска на россыпные металлы (золото, титан, вольфрам и др.) метаосадочные толщи Кейв.

Приведенная краткая характеристика архейских структур и металлогении КЛК провинции Балтийского щита показывает их недостаточную изученность, особенно с учетом имеющегося сейчас большого мирового опыта исследований подобных сложных геологических систем.

Палеопротерозойская история и металлогения КЛК региона состоит из двух этапов - карельского - 2550-2000 млн лет и свекофеннского - 2000-1650 млн лет. Металлогения раннего этапа связана, в основном, с мантийным базит-ультрабазитовым магматизмом, а позднего - с ограниченным гранитным интрузивным магматизмом и с регионально проявленными метаморфо-метасоматическими орогеническими процессами.

После завершения архейских процессов был сформирован суперконтинент Монгея (Пангея-0), который включал и архейские структуры Балтийского и Канадского щитов. В первую половину палеопротерозойской эпохи на архейском основании Балтийского щита происходило формирование внутриплитной Восточно-Скандинавской обширной изверженной провинции (EScLIP). Площадь мантийных вулканитов основного состава, комагматичных им даек и интрузивных массивов этого возраста на территории Кольского полуострова, восточной Финляндии и Карелии занимает более 0.5 млн км², и эти породы - производные гигантского плюма или мантийного диапира - слагают обширные прогибы, рои даек и многолучевые пояса базит-ультрабазитовых интрузивов. Последних только на территории Кольского полуострова и Карелии, по геолого-геофизическим данным, насчитывается многие сотни. Во всех литосферных блоках региона одновозрастные интрузивные тела этой провинции имеют сходные геологические, геохимические и металлогенические особенности.

Установлено в Кольском регионе, что важнейшее промышленное значение из всех этих многочисленных интрузивных тел имеют массивы, так называемых панского и печенгского типов.

Панский тип (формация) интрузивов достоверно включает Федорово-Панский массив, Мончегорский плутон и массив горы Генеральская. В этих крупных телах плито- и лополитообразной формы, расслоенных, с составами пород от пироксенитов через нориты, габбронориты и габбро до лейкогаббро и анортозитов, в последние годы установлены многокамерность и многофазность формирования. Есть данные, что расплавы ранних магматических фаз были бонинитового характера и

обогащены хромом. Поздние фазы часто имеют анортозитовый состав. Установлено, что длительность формирования этих интрузивов составляла около 70-80 млн лет в интервал времени от 2525 до 2450 млн лет назад.

Наиболее ранние ультраосновные породы этой формации обогащены хромом, и в них известны два промышленных месторождения хромитов-Сопчеозерское в районе Мончегорска и Кеми в западной Финляндии.

Давно известны, и даже уже в основном отработаны, разнообразные сульфидные залежи богатых Co-Cu-Ni руд с ощутимой промышленной добавкой Pt-минералов в месторождениях Мончегорского плутона.

В 1986-1989 гг. сотрудниками Геологического института КНЦ РАН методом сравнительного геолого-петрологического анализа породных ассоциаций этих трех кольских типовых массивов с известными малосульфидными породами, формирующими залежи Pt и Pd в массивах Стиллиутер и Бушвельд, были спрогнозированы, опробованы и впервые найдены на Кольском полуострове первые перспективные содержания и скопления собственно платинометаллических элементов - Pt, Pd, Rd (\pm Au). Это привело к открытию первой в Европе обширной Кольской платинометаллической провинции с новым геолого-технологическим типом месторождений малосульфидных ЭПГ-руд. Поисково-оценочные и разведочные работы до настоящего времени проводились с использованием финансовых средств и технических возможностей различных отечественных и зарубежных, государственных и частных организаций. В организационном отношении с 1992 года Геологический институт КНЦ РАН использовал специально созданное инновационное предприятие "Пана", которое вместе с сотрудниками Института проводило основной комплекс геолого-разведочных работ.

В результате в 2008 году Государственный комитет РФ по запасам утвердил запасы 5 новых месторождений Pt и Pd (\pm Au, Rh, Ni, Cu), которые называются Федорова тундра, Малая Пана, Восточная Пана, Выручайвенч и Генеральское. Утвержденные запасы в пересчете на Pd-эквивалент составляют много более 1000 тонн.

Печенгский тип интрузивов и его Cu-Ni месторождения с незначительным содержанием ЭПГ известен уже около 90 лет.

Многочисленные дифференцированные массивы (нередко sillовой формы) и дайки габбро, клинопироксенитов, верлитов и перидотитов пространственно и генетически связаны и приурочены к верхним осадочно-вулканогенным толщам Печенгской палеорифтовой структуры, завершающей свое развитие в геодинамических условиях инициального спрединга по типу современного Красного моря. Явно рудоносными здесь являются интрузивы с возрастом кристаллизации 1980-1960 млн лет, однако не исключено, что вне Печенгского рудного поля рудоформирующими могут быть и чуть более древние интрузии с возрастом до 2200 млн лет.

В Кольском регионе сейчас проводят лицензионные поисково-оценочные, разведочные и подготовительные к добыче работы более десятка отечественных и зарубежных компаний. Среди них есть и горно-металлургические компании мирового уровня и небольшие поисковые предприятия. Каждая из них специализируется в основном на определенном классе полезных ископаемых. Канадская компания Баррик Голд Корпорейшен, например, предпочитает иметь дело с благородными металлами, включая платиноиды, а российскому Норильскникелю в Кольском регионе требуются, главным образом, Cu-Ni руды. Соответственно, всем этим компаниям уже на поисковой стадии необходимо знать с каким типом рудоносных интрузивов – панским или печенгским – они будут иметь дело при геолого-разведочных работах.

Многолетний опыт работы позволяет предложить некоторые особые геолого-петрологические, а главное – изотопно-геохимические критерии разделения этих типов перспективных базит-гипербазитовых интрузивов на ранней стадии их изучения.

Все интрузивы панского типа (со специализацией на Pt-Pd месторождения, иногда с существенной добавкой Ni и Cu в стоимостной оценке руды) приурочены к границе архейского гнейсового основания и самой нижней, сумийской, вулканогенной толщи нижнего протерозоя (2500-2400 млн лет). Нередко устанавливается, что следующая, сариолийская осадочно-вулканогенная толща (2400-2300 млн лет) содержит продукты экзогенного разрушения «панских» пород. Многие тела имеют в основании такситовые породы, видимо, различного происхождения, которые могут содержать

мультиметальную минерализацию Cu, Ni, Co, Pt, Pd. Массивы многофазные, имеют явную расслоенность с хорошо картируемыми протяженными "слоями" и контрастными по составу и прерывистой кристаллизацией Pt-Pd «рифами».

Набор пород очень широкий: от ортопироксенитов (редко перидотитов), норитов, габброноритов до габбро, лейкогаббро и анортозитов. Многие разновидности пород, особенно рудоносные, характеризуются неравномерно зернистой пегматоидной структурой. Самостоятельное значение имеют дунитовые и оливинит-перидотитовые тела. Некоторые из них содержат рудопроявления и месторождения хромитов.

Интрузивы печенгского типа (со специализацией на Co-Cu-Ni месторождения с очень малым содержанием платиноидов) достоверно известны только в верхней «продуктивной» толще людиковия (~ 2100 млн лет) нижнепротерозойского разреза Печенгской структуры, а также в архейском обрамлении последней. Массивы этого типа очень многочисленные, но мелкие, дифференцированные в ряд перидотит-верлит-клинопироксенит-габбро. Эта расслоенность неконтрастная, часто скрытая.

Из десятков изотопно-возрастных данных различными методами следует, что интрузивы панского типа, в основном, с Pt-Pd месторождениями, имеют возрастные характеристики от 2500 ± 20 до 2450 ± 20 млн лет (и не моложе!), а Cu-Ni интрузивы печенгского типа - обычно около 1980 млн лет и реже до 2200 млн лет (и не древнее!). При этом первые имеют $\epsilon_{Nd}(T) = \text{минус } (-)1-3$, а вторые $\epsilon_{Nd}(T) = \text{плюс } (+)1+2$. Это показывает, что породы панского типа кристаллизовались из магмы обогащенного литофильными элементами мантийного резервуара, а печенгские интрузивы – из деплетированного мантийного очага. (Кстати, и в Финляндии, и в Сев.Америке, и в Африке – все расслоенные массивы, содержащие малосульфидные Pt-Pd руды, имеют точно такие малые отрицательные $\epsilon_{Nd}(T)$).

Многолетний опыт работы показывает, что предложенная методика, в том числе ее изотопно-геохимическая часть, хорошо «работает» на предварительной стадии целенаправленных поисковых работ. Конкретные примеры приводятся в докладе.

В эпоху 1950-1650 млн лет назад, в свекофеннское время, КЛК регион был ареной коллизионных («орогенных») процессов. Из свекофеннских образований до последнего времени в регионе активно разрабатывались керамические и слюдоносные пегматиты, связанные со свекофеннским ультраметаморфизмом и анатексисом. Сейчас интенсивно разведываются Ti-руды в сложном щелочно-мафитовом комплексе Гремяха-Вырмес с ильменит-апатитовым оруденением. Известны Mo-Sn рудопроявления среди многофазных гранитоидных массивов, однако, несомненно, что свекофеннские гранитоиды в регионе по своему гранитофильному рудному потенциалу гораздо беднее гигантских массивов свекофеннид Финляндии и особенно Швеции. Зато для Кольских лопийско-карельских структур в свекофеннское время характерна реактивизация, мобилизация и переотложение Zr, Ta-Nb, REE рудного вещества, связанного со щелочными породами. Примером этого являются рудные концентрации этих элементов в Плоскогорском амзонитовом месторождении, а также в силекситах и в минерализованных щелочных гранитах структуры Кейв. Имеются изотопно-петрологические данные, что в этой структуре и гигантские скопления метаморфогенных минералов - кианита, ставролита, граната - связаны также с коллизионным региональным метаморфизмом свекофеннского времени, хотя их высокоглиноземистые протолиты (осадки), видимо, архейские.

Важной особенностью свекофеннских коллизионных процессов было формирование обширных сдвиговых зон, стрессовые метаморфические процессы в которых приводили к переотложению и концентрации сульфидно-золоторудного вещества. Крупные золоторудные месторождения такого типа уже открыты в северной Финляндии, теперь очередь за Кольским полуостровом и Карелией.

Все изложенное не включает позднедокембрийские рудопроявления региона и не касается важнейшей для Кольской субпровинции группы месторождений, связанных с палеозойскими щелочными массивами (Хибины, Ловозеро, Ковдор и др.), и нефтегазовых месторождений Баренцева шельфа.

Работа выполнена при организационной и финансовой поддержке ГК Федерального агентства по науке и инновациям (№ 02.515.11.5089 - 2008 г.), Гранта 09-05-12028 РФФИ офи-м 2009 г. и Программ фундаментальных исследований ОНЗ РАН.