

Становление древних кратонов, первые осадочные бассейны и особенности их металлогении

Розен О.М.

Геологический институт, г. Москва, e-mail: roseno@ilran.ru

Показано, что к позднему архею появились первые стабильные структуры (Каапваль, Пилбара), отвечающие необходимому набору свойств кратонов: 1) Существование достаточно мощного осадочного чехла, развивавшегося длительно, в течение ~ 500 млн. лет и более. 2) Специфический внутриплитный магматизм - кимберлиты, лампроиты, дайковые рои, крупные мафические расслоенные плутоны. 3) Присутствие под кратоном, в верхней мантии, деплетированного по железу алмазонасного горизонта до глубин ~ 300-400 км, - литосферного кила пониженной плотности, который обуславливает положительную плавучесть и сохранность кратонов в геологической истории и некоторые особенности пороодообразования, в частности – локализацию кимберлитов и присутствие в них алмазов.

Среди древнейших осадочных бассейнов выделены Уарравуна - мелководные осадки на плато-базальтах (3.46-3.32 млрд. лет) и Витватерсранд - сложная платформенная структура (2.8-1.8 млрд. лет) с продолжительностью прогибания ~1 млрд. лет.

Отмечены наиболее ранние в истории, уникальные проявления крупных месторождений - расслоенный плутон Бушвельд, золотоносные конгломераты разреза Витватерсранд.

Сделан вывод, что в начале неоархея (2.8 млрд. лет) зародились гигантские структуры платформенного типа, известные на протяжении всей дальнейшей геологической истории, а в части полезных ископаемых - появились гигантские объекты, не повторявшиеся в дальнейшей истории - золотоносные конгломераты Витватерсранд.

Условия образования и высокоточный прогноз метаморфогенных месторождений

Ройзенман Ф.М.

Российский государственный геологоразведочный университет, г. Москва, e-mail: feliksmr@gmail.com

1. Общие закономерности образования метаморфогенных месторождений.

Метаморфогенные месторождения, как правило, имеющие докембрийский возраст, представляют обширный и наиболее сложный для изучения класс полезных ископаемых, имеющих огромное промышленное значение. К метаморфогенным относятся месторождения, образовавшиеся в течение всего метаморфического цикла. В результате комплексных исследований Алданского и Балтийского щитов (Карелия, Кольский полуостров), Урала и других докембрийских комплексов установлены некоторые общие закономерности образования и развития метаморфогенных месторождений.

1. Во всех изученных комплексах развитие происходило циклически, в течение ряда последовательных этапов: 1) регионального метаморфизма (изохимического); 2) регионального метасоматоза-ультраметаморфизма (базификации, регионального скаринирования, гранитизации, анатексиса, палингенеза и др.); 3) регрессивного метасоматоза, включающего две стадии: а) рассеянного, бедного оруденения, б) концентрированного, богатого оруденения. Совокупность указанных этапов составляет «метаморфический цикл».

2. Все этапы метаморфического цикла могут быть рудообразующими. По отношению к конкретному полезному ископаемому геологические процессы, происходящие на определенном этапе метаморфического цикла могут быть: а) индифферентными (не влияющими на рудообразование); б) рудоподготавливающими (создающими непромышленное или бедное оруденение); в) рудообразующими; г) рудоразрушающими.

3. В образовании промышленных рудных тел метаморфогенных месторождений важную роль играла смена планов тектонических деформаций. Имеющие важное генетическое и рудообразующее значение косо-секущие разрывы в линейно-складчатых комплексах на этапе линейной складчатости формировались в условиях сжатия, на следующем этапе (поперечной складчатости) – попадали в условия растяжения, а на заключительном этапе (послескладчатом) – снова возвращались в условия сжатия. Явления закономерной смены сжатия и растяжения определяли локализацию геологических процессов: магматических, метасоматических и рудообразующих [1].

4. Важным условием формирования концентрированных, богатых руд являлось закономерное изменение состава рудообразующих растворов, выражающееся в прохождении в остывающих растворах «углекислотной волны». Под воздействием «углекислотной волны» происходила переработка бедных, рассеянных руд с формированием промышленных богатых, в том числе – крупнокристаллических руд. Такие процессы могли происходить только в закрытых геологических ловушках [1, 2].

5. Характерной чертой метаморфического цикла является проявленная на всех его этапах дифференциация вещества, которая в ряде случаев приводила к формированию маломинеральных (в пределе – мономинеральных) горных пород. Эти природные технологические процессы обогащения способствовали концентрации отдельных минералов в виде обособленных и, нередко, достаточно мощных тел, которые в ряде случаев представляют собой богатые рудные тела.

2. Условия рудообразования на разных этапах метаморфического цикла.

Как видно в таблице, для каждого этапа метаморфического цикла характерны свои условия температурного режима и концентрации CO₂ в рудообразующих растворах. Так, для этапа регионального метаморфизма на исследованных месторождениях характерны высокие температуры (880-640°) и концентрации CO₂ в растворах (13.8 - 59 моль/кг H₂O). На этапах регионального скарнирования и ультраметаморфизма существенно снижаются и температуры (750-480°), и концентрации CO₂ (1.8 - 4.1 моль/кг H₂O). Две стадии регрессивного метасоматоза резко различаются между собой. На стадии 1 (бедного, рассеянного оруденения) отмечаются температуры 550-320° и сравнительно низкие концентрации CO₂ – 1.2 - 6.4 моль/кг H₂O. Для стадии 2 (богатого, концентрированного оруденения) характерны более низкие температуры – 360-120° и намного более высокие концентрации CO₂ – 13.3 – 22.3 моль/кг H₂O. Высокие концентрации CO₂ на стадии 2 обусловлены прохождением «углекислотной волны» в закрытых геологических ловушках.

Условия рудообразования на разных этапах метаморфического цикла

Полезное ископаемое	Этапы метаморфического цикла									
	Региональный метаморфизм		Региональное скарнирование		Ультра-метаморфизм, мигматизация, гранитизация		Регрессивный метасоматоз			
	Тд	CO ₂	Тд	CO ₂	Тд	CO ₂	1 стадия		2 стадия	
	Тд	CO ₂	Тд	CO ₂	Тд	CO ₂	Тд	CO ₂	Тд	CO ₂
Диопсидовое сырье	820-640	59	640-480	4.1	720-600	1.8	480-320	1.2	320-140	13.8
Полевошпатовое сырье	Н-О	Н-О	660-500	2.1	750-550	2.4	550-320	6.4	320-140	13.3
Графит	880-720	13.8	720-520	3.4	760-660	2.8	550-360	5.1	360-120	22.3
Редкие металлы	Н-О	Н-О	Н-О	Н-О	600-480	2.3	480-320	2.9	320-140	17.3
Флогопит	Н-О	Н-О	660-480	4.9	640-480	4.9	480-320	1.2	320-100	14.0
Мусковит	Н-О	Н-О	Н-О	Н-О	Н-О	Н-О	480-300	2.6	300-100	13.1

Примечания: 1 – Тд – температура декрепитации газовой-жидких включений (в градусах Цельсия); 2 – CO₂ - концентрация CO₂ в газовой-жидких включениях (моль/кг H₂O);

редкие металлы – литий, рубидий, цезий, тантал, ниобий, бериллий. Н-О – полезное ископаемое на данном этапе не образовывалось. 1 стадия – рассеянного, бедного оруденения, 2 стадия – концентрированного, богатого оруденения.

Редкие металлы – Вороньтундровское рудное поле (Кольский полуостров), мусковит – Мамско-Чуйский район и Сев. Карелия, остальные полезные ископаемые – Алданский район.

3. Система количественного локального прогноза метаморфогенных месторождений.

За последние десятилетия в геологической отрасли произошли коренные изменения. В результате интенсивных поисково-разведочных работ фонд легко открываемых на поверхности ме-

сторождений в значительной мере исчерпан. На передний план уже давно выдвинулись проблемы глубинного прогноза месторождений. Это принципиально меняет задачи прогноза. Если на поверхности можно карьером рентабельно добывать и сравнительно мелкие и бедные месторождения, то для шахтной отработки нужны только достаточно крупные и богатые промышленные объекты. Таким образом, проблема глубинного прогноза, это проблема целенаправленного прогноза на глубине крупных и богатых месторождений, с высоким качеством минерального сырья.

Для решения указанной задачи автором разработана и в течение 30-ти лет апробирована система количественного локального прогноза метаморфогенных месторождений. Эта система позволяет после поисково-оценочных работ и до разведочных горно-буровых работ давать точные (количественные) ответы на следующие вопросы: 1) каковы размеры прогнозируемого рудного тела, 2) запасы в нем полезного ископаемого, 3) его содержания, 4) каково качества сырья. Кроме того, рассчитывается вероятность обнаружения рудного тела (определяется достоверность прогноза), и путем комплексирования поисково-оценочных критериев достоверность прогноза выводится на уровень выше 80%. Основой для такого точного прогноза является крупномасштабная геологическая карта, построенная по формально-однозначной методике Б.М. Роненсона. Установленный по такой карте геологический поисковый критерий обеспечивает достоверность прогноза на уровне 50-70%. Для достижения достоверности прогноза выше 80% к геологическому критерию добавлялся термобарогеохимический критерий (флогопитовые месторождения Алдана, мусковитовые месторождения Мамско-Чуйского района и Сев. Карелии, редкометальные месторождения Кольского полуострова); на графитовых месторождениях добавлялся геофизический критерий (Алдан, Ю. Карелия и Урал); на редкометальных месторождениях – геохимический критерий (Кольский полуостров).

Высокоточный прогноз основан на установлении закономерных количественных соотношений между исследованными параметрами (геологическими, геофизическими, геохимическими, термобарогеохимическими и др.) и промышленными параметрами (размерами и запасами рудных тел, содержаниями и качеством сырья).

В результате заверки 76-ти прогнозов, сделанных с применением разработанной системы количественного прогнозирования, открыто и разведано 70 промышленных тел 18-ти полезных ископаемых: флогопита, мусковита, графита, лития, рубидия, цезия, диопсидового и полевошпатового сырья, облицовочного камня и др. Общая стоимость минерального сырья в этих месторождениях 17 млрд. долларов, добыто сырья на 0.7 млрд. долларов. Среди открытых – 4 крупных месторождения государственного и мирового значения (самое богатое в мире месторождение высококачественного графита с его содержанием 27% и др.).

Эффективность геологоразведочных работ увеличилась с применением новой системы прогноза, в среднем, в 10 раз. Объемы поисково-разведочного бурения удалось сократить в 5-10 раз. Так, на графитовом месторождении Чебере на Алдане объемы бурения были сокращены на 10 000 пог. м, по сравнению с проектным объемом бурения, запланированным в соответствии с существующими инструкциями и методическими руководствами.

4. Методы исследований для установления условий образования метаморфогенных месторождений и для их количественного прогноза.

1) Формально-однозначное геологическое картирование рудных полей и месторождений.

Геологическая съемка по принятым в стране инструкциям и методическим руководствам характеризуется неоднозначностью результата, так как включает значительную роль субъективизма. Построение геологической карты производится на основе личного опыта авторов, а этот опыт часто весьма различный. В результате, по одной площади имеются многие, иногда принципиально различные варианты геологических карт. Как показывает опыт, по этим картам невозможно установить необходимые количественные критерии прогноза. Эти критерии были установлены только при использовании методики формально-однозначного геологического картирования, разработанной Б.М. Роненсоном. В этой методике все операции (составление классификации и легенды документации горных пород, стратиграфическое расчленение метаморфических комплексов, площадная геологическая съемка) производятся на строгой математической (статистической) основе. В результате, у различных авторов получаются одинаковые, достоверные геологические карты.

2) Геохимические работы должны проводиться обязательно с учетом минералого-петрографического состава горных пород. Так, в Вороньегундровском рудном поле (Кольский полуостров) при стандартной (по сетке) геохимической съемке масштаба 1 : 25 000 была пропущена крупная (1200 м x 500 м) аномалия редких щелочных металлов. При проведенном автором геохимическом опробовании с учетом минерально-петрографического состава горных пород во всех пробах вмещающих пород были установлены высокие содержания редких щелочных металлов (в частности – цезия от 0.01% до 0.10%).

3) Термобарогеохимические исследования и картирование должны базироваться на новой теории флюидного рудообразования под воздействием «углекислотной волны» [1, 2]. Так, для декрептометрической съемки и прогноза разработан «поисковый декрептометрический коэффициент»: $K_d = C(100-300^\circ) : C(100-600^\circ)$, где $C(100-300^\circ)$ и $C(100-600^\circ)$ – суммы микровзрывов газовой-жидких включений в интервалах температур 100-300° и 100-600°C. При использовании углекислотнометрического поискового критерия показателем рудоносности является концентрация CO₂ в интервале температур богатого оруденения (стадия 2 регрессивного метасоматоза) – 100-300°C. Этот критерий позволяет не только оконтуривать промышленные рудные тела, но и определять в них содержания полезного ископаемого.

Общие выводы.

1) В результате комплексных исследований метаморфогенных рудных полей и месторождений установлены важные общие закономерности их образования и разработаны критерии их высокоточного количественного прогноза.

2) Применение новой системы прогноза, с количественным определением промышленных параметров рудных объектов (их размеров и запасов, содержаний и качества сырья) позволило повысить эффективность прогноза в 10 раз. Об этом свидетельствуют результаты заверки 76-ти прогнозов, при которой открыты и разведаны 70 рудных тел 18-ти полезных ископаемых со стоимостью минерального сырья 17 млрд. долларов (добыто на 0.7 млрд. долларов).

3) Представляется, что дальнейшее развитие и применение разработанной методики позволит установить закономерности формирования многих метаморфогенных полезных ископаемых и осуществить высокоточный количественный прогноз не выходящих на поверхность метаморфогенных месторождений, что даст большой экономический эффект.

Литература

1. *Ройзенман Ф.М.* Условия образования и количественный локальный прогноз метаморфогенных месторождений. М.: Щит-М, 2004. 276 с.
2. *Ройзенман Ф.М.* Теория богатого флюидного рудообразования под воздействием «углекислотной волны». М.: МЮИ, 2008. 84 с.

**Особенности структуры свекофенских рудо-, пегматитоконтролирующих зон
сдвиговых дислокаций в гнейсах чупинской толщи
(беломорский комплекс пород Балтийского щита)**

Ручьев А. М.

Учреждение Российской академии наук Институт геологии КАР НЦ РАН, г. Петрозаводск,
e-mail: ruchyov@krc.karelia.ru

Совокупность гетерогенных геологических образований беломорского комплекса пород, охватывающая области распространения чупинской и хетоламбинской толщ беломорид, интерпретируется как позднеархейский рифтогенный энсиалический Беломорский зеленокаменный пояс (БЗП), подвергшийся повторному раннепротерозойскому рифтингу. Минерагеническая особенность БЗП – отчетливо выраженная пегматитовая, а также медно-никелевая и благороднометалльная специализация. Его площадь может рассматриваться как новая рифтогенная неоархейско-па-