

Особенности металлогении погребенных микрократонов (районов пологих дислокаций).

Районы пологих дислокаций широко распространены в пределах колымских террейнов [8]. Основание чукотских террейнов пассивных континентальных окраин, где развиты пологие складчатые дислокации, по нашему мнению, также представлено погребенным микрократоном (см. рис.1), разделенном на блоки «скрытыми» субмеридиональными и северо-восточными разломами. Эти разломы и антиклинальные поднятия в пределах раздробленных микрократонов контролируют и вмещают большинство золото-кварцевых (Совиное, Ичувеем, Сыпучее), золото-сульфидных-вкрапленных (Майское, Сильное, Туманное), золото-серебряных (Сопка Рудная, Купол и др.), касситерит-силикатных и касситерит-сульфидных (Валькумей, Кукеней, Пыркакай), сурьмяных и ртутных (Палянское) месторождений (рис.1). В этих же рудных полях выявлены ураноносные гранитоиды (массивы Кукенейский, Северный и др.). Пестрый набор рудных формаций, близкий к таковому у в пределах рудных зон по границам колымских погруженных микрократонов (Балагычано-Сугойский рифтогенный прогиб и рудоносные зоны Западного Верхоянья см. рис.1), позволяет предположить с высокой долей вероятности, что перечисленные выше месторождения развивались унаследовано от уран-многометальной линии раннего рифтогенеза (см. табл. 1).

Таким образом, металлогеническая эффективность окраинноморской литосферы Северо-востока Азии связана в значительной мере с рудноформационным разнообразием остаточных кратонов и микрократонов, определивших структурную особенность региона: выступы докембрийского фундамента, брахиоформность, антиклинальные поднятия, рифтогенез в периоды ТМА. Эти образования позволяют объяснить не только феномен унаследованности оруденения и условия формирования полихронных рудных месторождений, но и причины уникальной металлоносности окраинноморской литосферы Тихоокеанского рудного пояса.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ОНЗ №2 и Российского фонда фундаментальных исследований (проект 08-05-00135а).

Литература

1. Чехов А.Д., Сидоров А.А. Доклады РАН. 2009. Т. 424. № 3. С.
2. Сидоров А.А., Волков А.В., Алексеев В.Ю. Доклады РАН. 2008. Т. 423. № 6. С. 692-696.
3. Сидоров А.А. Рудные формации и эволюционно-исторический анализ благороднометалльного оруденения. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1998. С. 246.
4. Волков А.В., Сидоров А.А., Савва Н.Е., Томсон И.Н., Алексеев В.Ю. Тихоокеанский рудный пояс: материалы новых исследований (к 100-летию Е.А. Радкевич). Владивосток: Дальнаука, 2008. С. 36-51.
5. Гончаров В.И., Ворошин С.В., Сидоров В.А. Наталкинское золоторудное месторождение. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2002. С. 250.
6. Холмский А.И. // Экономическая геология. 1993. Г.35. №6. С. 467-480.
7. Чехов А.Д. Тектоническая эволюция Северо-Востока Азии (окраинноморская модель). М.: Научный мир, 2000. С. 204.
8. Тильман С.М. Сравнительная тектоника мезозойского севера Тихоокеанского кольца. Новосибирск: Наука, 1973. С. 326.

Сдвиговые зоны: формирование, метаморфогенно-метасоматические преобразования и рудоносность (ранний докембрий Фенноскандинавского щита)

Володичев О.И., Кулешевич Л.В.

Учреждение РАН ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск,
e-mail: volod@krc.karelia.ru; kuleshev@krc.karelia.ru

Процессы сдвиговых деформаций, формирующих систему shear-зон с сопутствующими проявлениями динамометаморфизма, метасоматоза и рудообразования являются характерной особенностью геологической истории раннего докембрия Карелии и сопредельных территорий. Выде-

ляются два главных периода их развития – позднеархейский (около 2.7 млрд. лет) и палеопротерозойский свекофеннский (около 1.8-1.9 млрд. лет). Такого типа структуры разных порядков, контролирующие концентрации полезных компонентов, играют значительную роль в металлогении раннедокембрийских комплексов.

Карельский массив (КМ) и Беломорский подвижный пояс (БПП) являются архейскими гранит-зеленокаменными образованиями, в которых зеленокаменные пояса (ЗП) и их фрагменты составляют не более 15-20% общего объема этих комплексов. При этом практически каждый ЗП является автономной структурой, характеризующейся своей геодинамической историей и индивидуальным набором стратотектонических ассоциаций, коллажированных на ранней стадии латеральной аккреции. Общим для ЗП и гранит-зеленокаменных областей в целом является всеобъемлющее региональное развитие деформаций, в результате которых образуется система дискретных сдвиговых (shear) зон. Формирование этих тектонических структур связывается с транспрессивной стадией развития позднеархейского (около 2.7 млрд. лет) Беломорского коллизионного орогена, в котором структурно-метаморфические преобразования этого периода проявились наиболее интенсивно. В КМ эти процессы, развитые повсеместно, но менее интенсивно относительно Беломорской коллизии, носят, вероятно, отраженный характер.

В сутуре архейского коллизионного цикла в БПП, обозначенной линейной шовной зоной глубинного столкновения террейнов или плит, представленной псевдостратифицированным комплексом чупинских глиноземистых гнейсов, условия метаморфизма ($T=700-710^{\circ}\text{C}$, $P=10-11$ кбар), в первую очередь, температурные, соответствуют глубинам около 30 км. На таком глубинном уровне представляется более вероятной фронтальная, а не покровная модель взаимодействия плит, о чем может свидетельствовать характерная для этой зоны ранняя система изоклинальных складок аккордеонного типа с вертикальными осевыми плоскостями и субгоризонтальными шарнирами. Последующая стадия коллизии носила трансдукционный характер (СВ-ЮЗ направления конвергенции) с образованием сложного сдвигового (левостороннего) транспрессивного пояса СЗ простираения, в ходе формирования которого складки ранней генерации трансформировались в иерархическую систему центральных структур с элементами вращения в обрамлении зон повышенной пластичности. Характерный для коллизионного этапа развития высокobarический кианитовый метаморфизм, таким образом, связывается с транспрессивной спецификой формирования такого типа структур.

В КМ в районе Центральной Карелии развита система субмеридиональных – СВ shear-зон, согласных с направлением конвергенции (трансдукции) в беломорской коллизии. В Западной Карелии – Восточной Финляндии система зон сдвиговых деформаций формирует две крупные центрические структуры с элементами вращения «по часовой стрелке». В менее глубинных условиях позднеархейские shear-зоны контролируют формирование структур «pull-apart», преимущественно развитых в Центральной Карелии. На примере Костомукшской и Большозерской структур можно говорить, по крайней мере, о двух фазах образования shear-зон в позднем архее. Деформации сопровождаются динамометаморфизмом в режиме повышенных давлений преимущественно в температурных условиях амфиболитовой фации, реже – гранулитовой (З. Карелия, р-н оз. Тулос) и зеленосланцевой (Ц. Карелия, Койкарская структура, м-ние Педролампи и др.). Относительно андалузит-силлиманитового типа метаморфизма, характерного для ЗП доколлизионного периода, наложенный динамометаморфизм соответствует кианит-силлиманитовому типу. В shear-зонах широко проявлены процессы метасоматоза и отложение рудных компонентов.

Не менее активная тектоническая деятельность с формированием системы shear-зон проявилась в свекофеннский период в течение двух возрастных эпизодов, связанных с коллизионными стадиями развития двух геодинамических систем – Лапландского (около 1.9 млрд. лет) и Свекофеннского (1.85-1.80 до 1.75 млрд. лет) орогенов. Наиболее интенсивно структурно-метаморфические преобразования и сопутствующие процессы метасоматоза и рудообразования проявились в шовных зонах – на границах КМ и Свекофеннской складчатой области (ССО), БПП и КМ, БПП и Лапландского гранулитового пояса (ЛГП). Свекофеннские деформационные зоны в пределах КМ и БПП нередко унаследуют позднеархейский структурный план, что часто создает определенные сложности в интерпретации возраста сдвиговых деформаций. Архейский возраст shear-зон устанавли-

ливается главным образом на основе их структурных соотношений с палеопротерозойскими супракратальными и интрузивными комплексами, а также на основе возрастных определений, свекофеннский – по их проявлению в палеопротерозойских комплексах, на основе возрастных определений и, в определенной степени, по особенностям метаморфизма. В свекофеннских shear-зонах барические условия динамометаморфизма также являются повышенными относительно метаморфизма доколлизийных образований. При вариациях температурных условий от зеленосланцевой до низко-среднетемпературной амфиболитовой фации, зеленосланцевый динамометаморфизм имеет большее распространение с более интенсивными проявлениями процессов метасоматоза и рудообразования.

Директивные shear-зоны и оперяющие их более мелкие структуры явились каналами для проникновения растворов, явившихся кондуктором в развитии процессов минеральных преобразований при динамометаморфизме, метасоматозе и отложении рудных компонентов. Эти процессы бывают наложенными на разные по составу породы, и тип оруденения в shear-зонах носит регенерационный метаморфогенно-метасоматический характер часто с неопределенным, неустановленным первичным источником полезных компонентов, проблематичным даже для случаев развития shear-зон в гранитоидных массивах и их обрамлениях. Развитие процессов динамометаморфизма, метасоматоза, рудообразования обычно имеет регрессивную направленность, при этом отложение рудных компонентов происходит при значительно сниженных температурах. В ряде случаев развитие рудообразующих процессов носит телескопированный характер с дискретными периодами их проявления. На примере Au-оруденения наиболее типичными месторождениями и рудопроявлениями в shear-зонах в раннем докембрии Фенноскандинавского щита являются Педролампи, Рыбозеро-№1, Главная жила уч. Таловейс, Юж.-Костомукшское, Золотые Пороги, Половнино и др., Майское, Воицкое, Маймъярви, проявления Падминской группы, проявления рудного поля (РП) Пякуля (С. Приладожье).

Архейские shear-зоны. Метаморфические преобразования в ЗП, обрамляющих Водлозерский блок, протекали близко по времени внедрения шилосского и шуйского комплексов гранитоидов (~2.86-2.88 млрд. лет). В Каменноозерской и Шилосско-Рыбозерской структурах ранние преобразования происходили при $P=1-3$ кбар и $T=450-500^{\circ}\text{C}$. На проявлениях Заломаевского РП ранние изменения пород представлены эпидозитами, пропилитами, березитами, лиственитами. На коллизийном этапе (~2.7 млрд. лет) сформировались наложенные метаморфические парагенезисы и метасоматиты в зонах СЗ и ССВ разломов (Кумбуксинском, Каменноозерском и Ю.-Выгозерском). В Каменноозерской структуре эти ассоциации представлены порфиробластами карбоната, хлорита, хлоритоида, альбита, серицита, иногда биотита (T до $420-490^{\circ}\text{C}$, P до 3 кбар), в коматиитах – хлорита, талька и карбоната ($T=400-420^{\circ}\text{C}$, $P=1.5$ кбар). Листвениты и березиты в shear-зоне уч. Золотые Пороги образовались при снижении T от ~400 до 220°C ($T_{\text{гом}}$ ГЖВ в карбонате $300-220^{\circ}\text{C}$). Они секутся кварц-карбонатными жилами с сульфоантимонидами и сульфоарсенидами Ni, Co, Fe, сам. сурьмой, акантитом, золотом. $T_{\text{обр}}$ рудных минералов снижается от 440 (арсенопирит) до $200-140^{\circ}\text{C}$.

В Сегозерско-Ведлозерском ЗП региональный метаморфизм достигал условий амфиболитовой–зеленосланцевой фаций ($P=2.2-3.9$ кбар), на коллизийном этапе в локальных зонах P повышалось до $4.6-7$ кбар. В условиях привноса K и V образовались дорудные метасоматиты хлорит-турмалин-мусковит-кварцевого парагенезиса (P от 1.5–4 кбар, $T=600-480^{\circ}\text{C}$, данные Б.Ю. Астафьева). К ССВ shear-зоне в кварц-серицитовых сланцах приурочены проявления Коруд, Новые Пески, метаморфогенно-метасоматические преобразования колчеданов.

В Ц. Карелии с ССВ shear-зонами связано заложение и формирование пулл-апарт структур, в которых накапливались конгломераты, граувакки (Койкары, Педролампи). На уч. Педролампи к узлу ССВ и СЗ зон рассланцевания приурочены лиственит-березитовые преобразования вмещающих толщ ($T=390-240^{\circ}\text{C}$). В них встречаются будинированные кислые дайки, кварцевые жилы, вкрапленно-прожилковое золото-пиритовое и Au-Ag-содержащее халькопиритовое оруденение кварц-турмалиновой стадии ($T=340-105^{\circ}\text{C}$).

Для Тунгудско-Воингозерской в ореолах гранитоидных массивов шобинского типа и поздних лейкогранитов (от 2.8 до 2.7 млрд. лет) развиты микроклинизация, грейзены ($T=500-360^{\circ}\text{C}$), биотиты, пропилиты ($T=440-360^{\circ}\text{C}$), березиты. Грейзены сопровождаются штокверковой Cu-Mo мине-

рализацией ($T=450-320^{\circ}\text{C}$). Золото-полисульфидное оруденение уч. Лобаш-1 локализуется в зонах пологого расщепления на контактах с порфировыми дайками. Дорудный парагенезис представлен паргаситом, гранатом, биотитом ($T=520-510^{\circ}\text{C}$). Сульфиды отлагались в карбонат-кварцевых прожилках при $T=310-145^{\circ}\text{C}$.

В Костомукшской структуре преобразования пород коллизионной стадии протекали в условиях амфиболитовой фации повышенных давлений. В ССВ shear-зонах они сопровождались изофациальными бластическими метасоматитами (уч. Восточный, Кургелампи). Внедрение тел и даек таловейского комплекса (2.72 млрд. лет) по ССВ и широтным зонам произошло после главной складчатости и метаморфизма. В ореоле массивов Центрального и Факторного уч. Таловейс развиты эпидозиты и биотититы, наложенные на амфиболиты и тремолитовые сланцы. Изменения диоритов и гранит-порфиров таловейского комплекса отвечают условиям березитизации и сопровождаются кварцевым штокверком с пиритом и золотом. Главная кварцевая жила, локализованная в ССВ shear-зоне, образовалась при снижении P и T от 380 до 130°C (по данным изучения ГЖВ). На уч. Ю.-Костомукшском синскладчатые парагенезисы содержат гранат, роговую обманку ($T=680-750^{\circ}\text{C}$), грюнерит, биотит, кварц. В субширотной shear-зоне, наложенной на смятые в складки вмещающие толщи вблизи контакта с геллефлинтами, развита Au-S-As-кварцевая вкрапленно-прожилковая минерализация. Околорудный парагенезис по дайке основного состава и сланцам представлен мусковитом, микроклином, биотитом, амфиболом, кварцем, турмалином ($T\sim 500^{\circ}\text{C}$). Прожилки содержат кварц, карбонат, арсенопирит, леллингит, пирротин, золото, аурустибит, мальдонит, сульфиды полиметаллов. В перекристаллизованных колчеданах присутствуют Bi-Te. $T_{\text{обр.}}=500-300^{\circ}\text{C}$, до 150°C .

В ЗП Ялонваара-Хатту метаморфизм ранней стадии сближен по времени с тоналитами-гранодиоритами комплекса Куйттила (2.745–2.725 млрд. лет). Он происходил в условиях $T=500-550^{\circ}\text{C}$ и $P=3-5$ кбар для пояса Хатту (Финляндия) и близких для Ялонваары. Порфиробласты граната, ставролита, кианита, биотита характеризуют повышение давлений. Дорудные изменения на контакте золото-кварцевых прожилков в гранитоидах и их ореоле представлены ассоциацией диопсида, скаполита, амфибола, плагиоклаза, биотита, микроклина ($T=500-400^{\circ}\text{C}$, $P=2-3$ кбар). Сульфиды отлагались при $T=445-370\div 105^{\circ}\text{C}$.

Палеопротерозойские shear-зоны. Более ранние преобразования пород (1.9-1.8 млрд. лет), сопровождавшиеся деформациями и метаморфизмом повышенных давлений, наиболее интенсивно проявились на границе БПП и КМ. В условиях метаморфизма кианит-мусковитовой фации образуются высокobarические метасоматиты-хизовариты ($T=500-590^{\circ}\text{C}$, $P=7-8$ кбар, по С.А. Бушмину), представленные кианитом, ставролитом, кварцем, гранатом, амфиболом. Они завершаются образованием арсенидно-сульфидной минерализации. Метаморфизм колчеданных руд кив-губского типа и рудной минерализации габброидов происходит с образованием вкрапленно-прожилковых существенно пирротиновых руд с примесью Co, Ni, иногда повышенными концентрациями благородных металлов (Au и ЭПГ). В их ореолах и зальбандах развиты диопсид, скаполит, гранат, роговая обманка, или мусковит и плагиоклаз. К этим же областям тяготеют пегматиты и кварцевые жилы с сульфидами. В БПП и Северо-Карельских структурах на участках Винга, Степанова Ламба, Хизоваара разнофациальные метасоматиты ($T=600-480^{\circ}\text{C}$) сопровождаются Sb-As-S прожилками с невысокими концентрациями золота ($T=520\div 465-200^{\circ}\text{C}$).

На Карельском кратоне ранние преобразования пород в палеопротерозойских структурах отвечают условиям зеленосланцевой-пренит-пумпеллитовой фации. В ореоле Центрально-Лапландского батолита орогенный метаморфизм достигал амфиболитовой фации, сопряжено заложилась зоны СЗ и СВ сдвиговых деформаций (линия Сиркка и shear-зона Куусамо, Финляндия). Shear-зоны сопровождаются изменениями пород и золото-сульфидной минерализацией. В районе Куусамо условия достигали гранат-ставролитовой субфации, условия образования метасоматитов отвечали $T=350-300^{\circ}\text{C}$. В Паана-Куолаярвинской структуре на уч. Майском изменения основных пород в СВ shear-зонах происходили при $T=500-520^{\circ}\text{C}$, $P=2.8-3.2$ кбар и сопровождались кварцевыми жилами. Синрудные метасоматиты представлены кварцем, Ва-калишпатом, гиалофаном, олигоклазом, биотитом, мусковитом, кальцитом, сульфиды отлагались при $T=220-105^{\circ}\text{C}$ (данные А.А. Вольфсона).

На территории Карелии в раннем протерозое на свекофенском коллизионном этапе мощные блоковые перемещения в фундаменте и складчато-разрывные пластические деформации в породах чехла карельского структурного этажа сопровождались СЗ и СВ сдвиговыми деформациями и интенсивными метасоматозом. Изменения в протерозойских породах в пределах зон разломов имеют региональную зональность. В Онежской структуре метаморфизм и метасоматоз происходил при $T=430\text{--}440^\circ\text{C}$, $P=1.7\text{--}2.1$ кбар (по Т.Н. Билибиной и др., В.С. Полеховскому, Н.В. Леденевой и др.). Щелочные метасоматиты (эйситы) представлены слюдитами (с Ст-V-слюдами) и кварц-карбонатными прожилками с сульфидами, селенидами, Vi-Te-соединениями, интерметаллидами, сам. золотом, серебром.

Для аккреционной стадии развития Свекофенской складчатой области характерен андалузит-силлиманитовый тип метаморфизма с зональностью от зеленосланцевой до амфиболитовой фации в условиях $P=2.5\text{--}4.5$ кбар, $T=450\text{--}650^\circ\text{C}$ в С. Приладожье и до гранулитовой фации с $T=750\text{--}800^\circ\text{C}$, $P=4\text{--}6$ кбар в Раахе-Ладужской зоне. В ЮВ части Раахе-Ладужской зоны (Рантасалминской площади) метаморфизм достигал амфиболитовой фации ($T=645^\circ\text{C}$, $P=3.4$ кбар, по Корсману). В этой зоне внедрились наиболее близкие золотому оруденению массивы тоналитов (1.89–1.88 млрд лет). В shear-зонах дорудные изменения представлены серицитом, хлоритом, эпидотом, кварцем, кальцитом, турмалином ($T=440^\circ\text{C}$, P до 2 кбар). Сульфиды и золото отлагались при снижении T от 400 до 105°C .

Таким образом, shear-зоны – это дислокационные структуры сопряженные с региональными сутурами. Для отложения золота более благоприятны shear-зоны в складчатых областях с эндогенной активностью. На КМ на заключительных этапах деформаций в позднем архее формировались зоны ССВ, субширотных, реже иных направлений, на этапе Свекофенской орогении – СЗ и СВ, как в ССО, так и на КМ. Дорудные метасоматиты shear-зон образуются при более высоких P и T и изофациальны зонам динамометаморфизма, синрудные и жильные ассоциации формируются при снижении P и T и обычно носят наложенный и дискретный характер и тяготеют к фациям не выше амфиболитовой, условиям среднетемпературным – мезотермальным.

Работа выполняется по Программе ФИ ОНЗ РАН № 2 «Эволюция литосферы, металлогенические провинции, эпохи и рудные месторождения: от генетических моделей к прогнозу минеральных ресурсов», проекту «Золоторудные системы в архейских зеленокаменных поясах: геодинамические обстановки, возрасты, минералого-геохимическая типизация».

Особенности формирования сульфидно-никелевых и платиноносных (Ni-PGE) руд в архейских провинциях

Вревский А.Б., Турченко С.И.

Учреждение Российской академии наук Институт геологии и геохронологии докембрия РАН,
г.Санкт-Петербург, e-mail: vrev@peterlink.ru

Наиболее важные факторы геологического контроля формирования массивных магматических Ni-PGE сульфидных руд относятся к составу магм и вмещающих их пород, также как и к их тектоническому положению [1]. Важно то, что массивные магматические сульфидные руды обычно принадлежат к мафит-ультрамафитовым породным ассоциациям, сформированным в обстановках рифтогенеза. Такие обстановки обычно способствуют быстрой доставке мантийных магм в земную кору. В результате рифтовые магмы имеют тенденцию быть менее чувствительными к дифференциации, ассимиляции и потере сульфидов во время прохождения через мантийную литосферу и нижние уровни коры и, таким образом, они могут быть более богатыми металлами при внедрении в верхнюю кору. Континентальные рифты могут также содержать богатые серой осадки, которые служат внешним источником для насыщения серой мантийных магм.