

Геодинамика и минерагения Карелии

Голубев А.И., Щипцов В.В.

Институт геологии Кар НЦ РАН, г. Петрозаводск, e-mail: golubev@krc.karelia.ru

Результаты многолетних исследований по металлогении и минерагении докембрия Карелии отображены в многочисленных публикациях и производственных отчетах, в которых определены направления дальнейших исследований, имеющих широкий круг взаимосвязанных теоретических, методических и производственных задач. Одной из кардинальных задач является установление закономерностей возрастной последовательности формирования и локализации полезных ископаемых и выявление их новых типов для развития горнорудного комплекса на территории республики. [1-5].

В докембрийской истории Карелии выделено пять тектоно-магматических циклов и соответствующих им металлогенических эпох от саамской до рифейской. [6,7]

Саамский тектоно-магматический цикл (>3,3 млрд. лет). Цикл выделен условно, так как формирование древнейших гнейсотоналит-трондьемитовых комплексов фундамента, как правило, носит спорный характер. В основу выделения положены данные по полученным возрастам. На основании этого вулканические комплексы Юго-Восточной Карелии с возрастом >3,3 млрд. лет отнесены к саамиию. Полезные ископаемые, соотносящиеся по возрасту к саамскому циклу не выявлены.

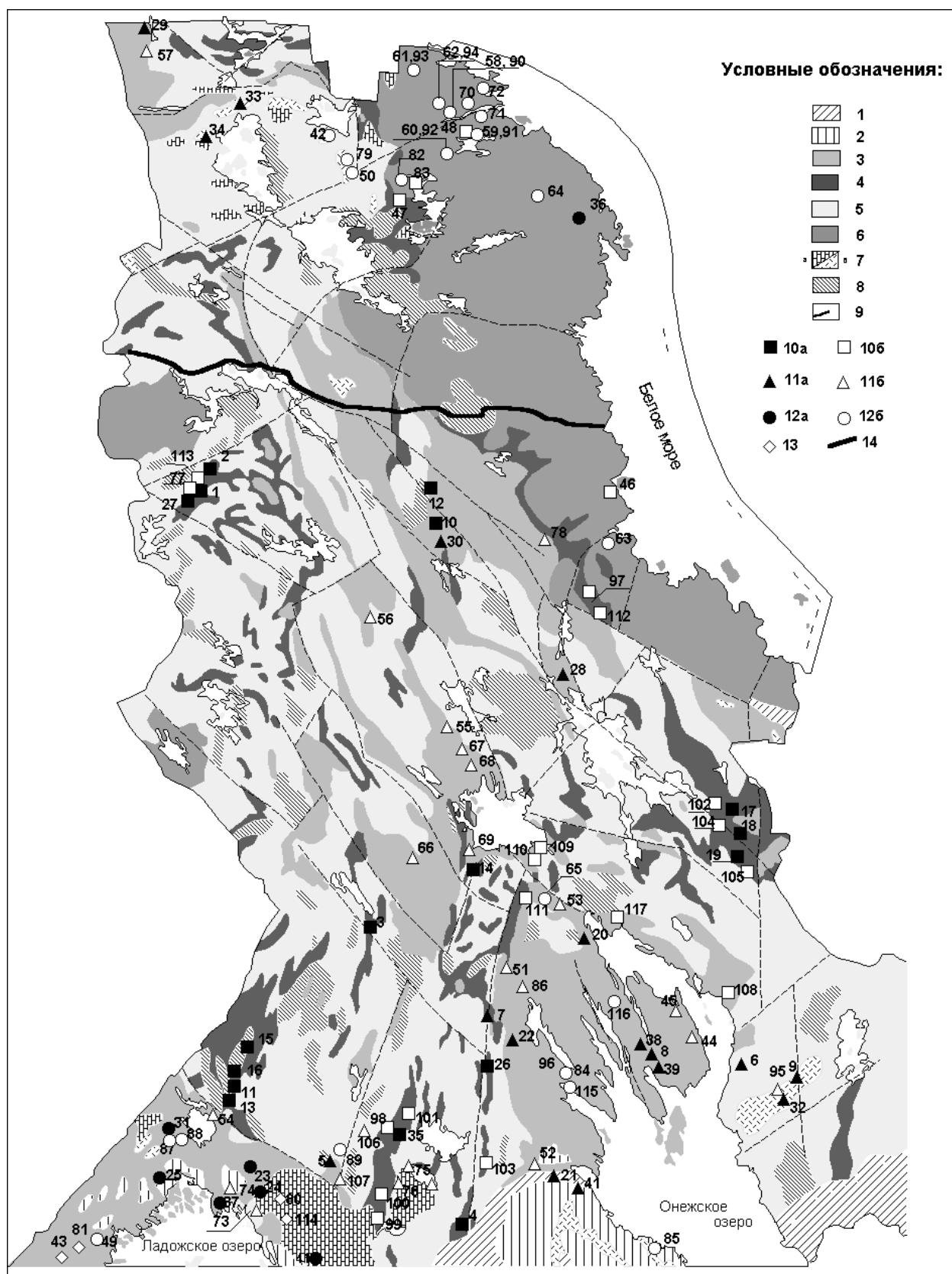
Лопийский тектоно-магматический цикл (3,3-2,5 млрд. лет). Для лопийского тектоно-магматического цикла характерно формирование вулканических поясов, которые в настоящее время получили название зеленокаменных. В современном эрозионном срезе они сохранились в виде многочисленных реликтовых структур протяженностью от сотен метров до десятков и сотен километров при ширине 10-22 км, тектонической основой которых является система сопряженных глубинных разломов. Лопийский тектоно-магматический цикл к концу архея в пределах Фенно-Карельской области завершился стадией инверсии и последующей стабилизации с образованием протоплатформы. Именно к этому геохронологическому рубежу относятся первые достоверные данные о наличии и функционировании главных магмо-, рудоконтролирующих и рудогенерирующих структур с высокой мобильностью, разнообразным магматизмом, значительной плотностью флюидно-теплового потока.

Специфика металлогении верхнеархейских зеленокаменных поясов лопийского цикла подчеркивается преобладанием примитивных по составу руд, к которым принадлежат оксиды и сульфиды железа вулканогенно-осадочного и осадочного генетических типов. К ним относятся месторождения формации железистых кварцитов – Костомукшское, Корпангское, Гимольское, Маньгинское (рис.).

Магматический класс связан с базит-ультрабазитовым (небольшие по масштабам проявления хромитовых, медно-никелевых, титаномагнетитовых с ванадием руд) и поздним гранитоидным магматизмом. Особенно богатая гамма типов оруденения принадлежит к гидротермально-жильному (молибденовое, золото-кварцевое, редкометалльные пегматиты). Широко распространен метаморфогенный класс месторождений полезных ископаемых, в формировании которых безусловна роль метаморфизма. Установлена метаморфическая регенерация ранее образованных вулканогенно-осадочных и осадочных (железородных, колчеданных) лопийского комплекса, магматических месторождений (медно-никелевых). При региональном метаморфизме происходит мобилизация химических элементов, в том числе рудогенных, которые на регрессивной стадии участвуют в метасоматических и рудообразующих процессах.

Подобными примерами являются золотоносная медно-вольфрам-молибденовая формация месторождений Лобаш и Ялонваара, проявления Пяяваара, Риутталампи; медно-колчеданная формация месторождений Бергаульское и Ялонваарское, проявления Хювя-Нойвисто; медно-никелевая формация месторождений Восточно-Вожминское, Лебяжинское и Западно-Светлоозерское; золото-металльная формация проявлений Педролампи и Таловейс; формация редкометалльных пегматитов в проявлении сподуменовых пегматитов Хаутаваара. [1]

Минерагения лопийских (верхнеархейских) зеленокаменных поясов характеризуется образованием различных типов индустриальных минералов. [8] В Северной Карелии установлена кианитовая минерализация в сланцевых толщах осадочно-вулканогенной формации лопия андезит-дацитового состава Парандовско-Тикшеозерского зеленокаменного пояса, метаморфизованных в условиях высоких давлений кианит-силлиманитовой фациальной серии.



К петрологическим и минерагеническим особенностям осадочно-вулканогенных формаций лопия принадлежит относительно простой состав серноколчеданных руд, представленный главным образом пирротин-пиритовым оруденением, поэтому под названием вида полезного ископаемого употребляется пирит как главный индустриальный минерал данного рудного комплекса (месторождения Парандовское, Хаутаваарское, Ведлозерское, Няльмозерское, Чалка, Верхнее Вожминское, Шуйское).[8]

Месторождения и проявления талька в границах кратона по минеральному составу объединены в две группы: апоультрамафитовые тальк-карбонатные породы и тальк-хлоритовые сланцы. К наиболее изученным месторождениям и проявлениям талька первой группы относятся месторождение Светлозерское (тальк-магнезитовые руды), проявление Рыбозеро. Общими чертами всех этих месторождений являются интрузии серпентинизированных дунитов и гарцбургитов покровного типа, в которых обнаруживаются крутопадающие обогащенные тальком рудные тела мощностью до 200 м. Вмещающими породами, как правило, выступают серпентиниты и хлоритовые сланцы. Тальк образуется обычно в широком диапазоне Р-Т условий щелочной среды. Все обсуждаемые месторождения и проявления талька относятся к метаморфогенному генетическому типу. К аналогичным комплексам принадлежит Краснополянское проявление щелочных амфибол-асбестов.

К лопийскому структурно-формационному комплексу Костомукшско-Гимольского зеленокаменного пояса относится пластово-секущее тело геллефлинты (кварц-альбитовые породы риолит-дацитового состава) натриевой и калиевой разновидностей, являющееся одной из разновидностей вскрышных пород Костомукшского железорудного месторождения. Геллефлинта представляет собой перспективный нетрадиционный вид полевошпатного сырья.

Карта-схема размещения месторождений и крупных рудопроявлений докембрия Карелии

(использована геологическая основа масштаба 1 : 2 000 000; Атлас Карельской АССР, 1989):

1 – палеозой; 2 – венд, рифей, вепсий; 3 – калевий, людиковий, ятулий, сариолий, сумий; 4 – лопий; 5 – нерасчлененный архей; 6 – саамий; 7а – раннепротерозойские интрузии кислого и среднего, 7б – основного и ультраосновного состава; 8 – архейские интрузии; 9 – разрывные нарушения различного возраста; лопийский тектоно-магматический цикл: 10а металлы, 10б – неметаллы; карельский тектоно-магматический цикл: 11а – металлы, 11б – неметаллы; свекофенский тектоно-магматический цикл: 12а – металлы, 12б – неметаллы; рифейский тектоно-магматический цикл: 13 – неметаллы; 14 – сейсмический профиль 4В

Месторождения полезных ископаемых докембрия Карелии Месторождения и проявления металлов Группа черных и легирующих металлов: Костомукшское (1), Корпангское (2), Гимольское (3), Маньгинское (4), Туломозерское (5), Пудожгорское (6), Койкарское (7), Средняя Падма (8), Аганозерское (9), Лобаш (10), Ялонваара (11), Пяяваара (12), Риутталампи (13); группа цветных металлов: Бергаульское (14), Ялонваарское (15), Хювя-Нойвисто (16), Восточно-Вожминское (17), Лебяжинское (18), Западно-Светлоозерское (19), Воронов Бор (20), Руданское (21), Кивач (22), Кителя (23), Уксинское (24), Латвасюрское (25); группа благородных металлов: Педролампи (26), Таловейс (27), Воицкий рудник (28), Майское (29), Лобаш-1 (30), Алатту (31), Бураковско-Аганозерский расслоенный комплекс (32), Луккулайсваара (33), Кивакка (34); группа редких металлов, редкоземельных и радиоактивных элементов: сподуменовые пегматиты: Хаутаваара (35), Плотная Ламбина (берилл-колумбит-танталитовый тип) (36), Импилахтинское пегматитовое поле (виикит) (37); уран — Царевское (38), Космозеро (39), Птицефабрика (40), Карху (41) Месторождения и проявления неметаллических полезных ископаемых Апатит: Тикшеозерский массив (Карбонатитовый) (42), Элисенваарская группа массивов (43); высокоуглеродистый шунгит: Зажогинское (44), Шуньгское (45); гранат: Тербеостровское (46), проявления - Высота 181 (47), Западно-Плотнинское (48); графит: Ихальское (49); ильменит: Суриваара (50); карбонатные породы: Пялозеро (51), Виданское (52), проявления — Остречье-Чебино (53), Янис-ярви (54), Елмозеро (55), Чирка-Кемь (56), Соватъярви (57); кварц: Малиновая Варакка (58), Плотина (59), Слюдозеро (60), Тэдино (61), Карельское (62), Слюдяной Бор (63), Пиртостров (64), Фенькин Лампи (65), кварциты: Мет чангъярви (66), Нестерова Гора (67), Шалговаара (68), Боконваара (69); полевошпатовое сырье (керамические пегматиты, нетрадиционные виды): Хетоламбино (70), Чкаловское (71), Уракка (72), Люппико (73), Линнаваара (74), Кюръяла (75), Брусничное (76); нетрадиционные типы: Костомукшское (геллефлинта) (77), Роза-Лампи (кварцевые порфиры) (78), Елетьозерское (нефелиновые сиениты) (79), Уксинское (рапакиви) (80), Райвимяки (сиениты и фениты) (81); кианит: Хизоваарское (Южная линза) (82), Хизоваарское (Северный участок) (83); кровельные сланцы, точильный камень: Нигозерское (84), Брусненское (85); мрамор: Белая гора (86), Рускеала 1 (87), Рускеала 2 (88), Туломозеро (89); мусковит: Малиновая Варакка (90), Плотина (91), Слюдозеро (92), Тэдино (93), Карельское (94); оливин: Аганозерское (95); петругическое сырье: Хавчезерское (96); серный колчедан: Парандовское (97), Хаутаваарское (98), Ведлозерское (99), Няльмозерское (100), Чалка (101), Верхнее Вожминское (102), Шуйское (103); тальк: Светлозерское (тальк-магнезитовые сланцы) (104), Рыбозеро (105); тальк-карбонатный комплекс: Игнойла (106), Палалахта (107), Пяльма (108); тальк-хлоритовый камень: Каллиево Муренаваара (109), Турган-Койван-Аллуста (110), проявления — Столбовая гора (111), Парандовское (112), Костомукшское (113); флюорит: Хопунваара (114); шунгитовые сланцы: Нигозерское (115), Мягрозерское (116); щелочной амфибол-асбест: Краснополянское (117)

Карельский тектоно-магматический цикл (2,5-1,95 млрд. лет). Тектоно-магматическая активность карельского цикла в пределах Кольского и Карельского геоблоков в этот период связана с заложением глубоких расколов в кратонизированной области, явившихся тектонической основой образования Фенно-Карельской рифтогенной системы, которая контролировала протерозойский магматизм, седиментогенез и рудообразование.[6] В их развитии можно выделить два крупных этапа: сумийско-сариолийский и ятулийско-людиковый. На рубеже 2,5-2,45 млрд. лет заложилась главная осевая рифтовая зона северо-западного простирания, проходящая сегодня в центральной части беломорского подвижного пояса (Кандалакшский грабен). С этим процессом связан подъем мантии, который фиксируется гравитационной аномалией в районе Кандалакшского залива Белого моря, а также базит-ультрабазитовым магматизмом, продукты которого представлены многочисленными интрузиями и дайками перцолит-габброноритов, габбродолеритов, чарнокитов. [1,6] На крыльях главной рифтовой зоны, по системе оперяющих разломов, были сформированы рифтовые зоны линейного простирания северо-западной ориентации: Имандра-Варзуга-Печенга и Ветреный Пояс-Паанаярви-Соданкюля (Финляндия)-Карасйок (Норвегия). Вулканиты этих структур имеют различный состав и относятся к андезит-базальтовой, пикрит-базальтовой, коматиит-базальтовой и дацит-риолитовой формациям, что свидетельствует о существовании самостоятельных разноглубинных магматических очагов, возникших при частичном плавлении мантии и нижнекорового вещества. [7] Интрузивный магматизм сумийско-сариолийского этапа носит типичный кратонный характер и уникален образованием расслоенных ультрамафит-мафитовых гипабиссальных плутонов, возраст которых укладывается в интервал от 2360 до 2480 млн. лет. Их внедрение связано с трансформными разломами и локализуется они в виде поясов северо-восточного простирания: Кеми-Койлима (Финляндия)-Кивакка-Кундозеро (С.Карелия) и Бураковско-Монастырский (ЮВ Карелия). Металлогению сумийско-сариолийского этапа определяют вязанные с расслоенными интрузиями собственно магматические месторождения. Их рудноэлементный набор типично мантийный, относится к ультрамафит-мафитовому ряду Ni, Cu, Сг, Au, МПГ, Ti, V и несет определенную преемственность с металлогенией лопийского базит-гипербазитового магматизма. Второй, ятулийско-людиковый этап карельского цикла проявился после региональной пенепленизации и образования доятулийских кор выветривания в связи с активностью глыбовых движений. Он характеризуется формированием продуктов толеит-базальтовой и пикрит-базальтовой вулканических формаций и осадконакоплением, свидетельствующим о палеофациальных обстановках мелководных замкнутых бассейнов. Интрузивный магматизм этого этапа представлен габбро-долеритовой с титаномagnetитовым оруденением и габбро-перидотитовой формациями. В металлогеническом отношении карельская эпоха характеризуется преобладанием типов оруденения сидерофильной и халькофильной группы металлов, относящихся к магматогенному, осадочному и вулканогенно-осадочному классам.[7]

Анализ материалов по металлогении региона при обобщении работ по благороднометаллоному оруденению дает основание для рудно-формационной типизации. К наиболее перспективным типам благороднометаллоного оруденения Карельского региона принадлежат:

малосульфидный платинометалльный тип с платино-палладиевой специализацией, приуроченный к ритмично-расслоенным и дифференцированным базит-гипербазитовым комплексам (Бураковский массив и интрузивы Олангской группы севера Карелии – Луккулуйсвара, Кивакка, Ципринга);

платиносодержащая хромитовая формация в Бураковском массиве, приуроченная к Главному хромитовому горизонту с хорошо выраженной Pt-Ru-Os-Ir специализацией; новая платиносодержащая титаномagnetитовая формация в дифференцированных интрузивах основного состава (месторождения Пудожгорское и Койкарское).

Нерудная минерация связывается с вулканическими и вулкано-осадочными

комплексами. Тип нетрадиционного высококалийного полевошпатового сырья представлен лейкократовой разновидностью кварцевых порфиров, слагающих штоки на месторождении Роза-Лампи Шуезерской структуры сумийского надгоризонта. [8]

В стратиграфической последовательности карельского комплекса ятулийский надгоризонт имеет отчетливые маркирующие толщи карбонатных и кварцитов образований. В Центральной Карелии карбонатные породы, среди которых оконтурены площади месторождений, залегают в пределах вулканогенно-осадочного бассейна или в линейных структурах нижнепротерозойского возраста (месторождения Пялозеро, Виданское, проявления Остречье-Чебино, Янисярви, Елмозеро, Чирка-Кемь, Коватъярви). Типичными морфологическими формами являются линзы мощностью 8–10 м при протяженности 400–500 м.

В ятулийское время возникали фациальные условия, благоприятные для накопления чистых кварцевых песков в бассейнах с длительным переывом и сортировкой обломочного материала. В этой обстановке происходило полное разрушение аркозовой составляющей, окисление железистых и удаление слюдистых минералов, что и стало причиной накопления в составе янгозерского горизонта ятулийского надгоризонта мощных пластов чистых кварцевых песков, метаморфизованных в дальнейшем в мономинеральные кварциты и кварцитопесчаники (месторождения Метчангъярви. Нестерова Гора, Боконваара, Шалговаара).

Шунгитсодержащие породы относятся к двум стратиграфическим уровням – людиковийскому и калевийскому надгоризонтам. Шунгит определяется как элементарный углерод с метастабильной структурой, неспособной к графитизации. Углерод связывается с подвижностью гидрокарбонатов из керогенов. Минеральную основу шунгитовых пород (10-70% шунгита в составе породы) составляют алюмосиликаты, кварц, реже – карбонат. На первом уровне в заонежской свите произошло формирование углеродсодержащих пород в бассейнах глинисто-карбонатного осадконакопления при резко восстановительных условиях, которое сопровождалось подводным вулканизмом. В Онежской мульде содержание углерода в породах достигает 70% (Забогинское и Шуньгское месторождения). Шунгитсодержащие породы калевийского уровня (кондопожская свита) слагают крупные месторождения – Мягрозерское и Нигозерское.

Комплекс метаморфизованных сланцево-гнейсовых толщ людиковийского надгоризонта включает в себя рудные тела на месторождении графита Ихальское. Амфиболито-сланцево-гнейсовая толща претерпела метаморфизм от амфиболитовой до гранулитовой фации андалузит-силлиманитовой фациальной серии, по В.А. Глебовицкому. Графитовый горизонт состоит из нескольких графитоносных пачек мощностью от 8 до 350 м протяженностью до 1500 м.

Свекофеннский тектоно-магматический цикл (1,95—1,65 млрд. лет) проявился в основном, на зарубежной части щита [7]. Рифтогенный режим связан с системой относительно коротких разломов субширотного, северо-западного простираний (рассеянный рифтогенез) на сиалической коре и характерен для средних стадий развития подвижного пояса. Развитие магматизма шло скорее всего «сверху вниз», т.е. магматические очаги смещались из коры в мантию, о чем свидетельствуют строение разреза (от кислых вулканитов к основным) и последовательность развития плутонического магматизма. Ладожско-Ботнический пояс, включающий Главный рудный пояс Финляндии, рудное поле Шеллефтео и протягивающийся в Северное Приладожье ближе соответствует молодым островным дугам с преобладающим андезитовым вулканизмом. Базит-ультрабазитовый интрузивный магматизм представлен интрузиями габбро-перидотитовой и габбро-щелочной с карбонатитами формациями (Елетьозеро, Тикшеозеро). Широко проявился разнообразный гранитоидный магматизм. Свекофеннская металлогеническая эпоха отличается от предшествующих большим разнообразием полезных ископаемых и возрастанием роли фосфора, группы халькофильных, отчасти литофильных и благородных элементов. [4, 5].

С раннеорогенным базит-ультрабазитовым магматизмом связано медно-никелевое и титано-магнетитовое с ванадием оруденение. На следующем этапе с палингенно-анатектическими гранитами проявляются вольфрамово-редкометалльное в скарнах и редкометалльное - в полевошпатовых метасоматитах, грейзенах и пегматитах оруденения. К этому времени относится начало формирования габбро-щелочной с карбонатитами формации.

Процессы свекофеннской активизации в пределах Карельского кратона выражены в виде линейных зон метасоматической переработки, с которыми связано сурьмяно-мышьяковое, уран-ванадиевое с платиноидами, золото-кварцевое оруденение в масштабах рудопроявлений и месторождений; формация комплексных медь-уран-молибден-ванадиевых руд (месторождения Средняя Падма, Космозеро, Царевское); ураноносная формация (месторождение Карху – в хлорит-карбонатных метасоматитах; рудопроявление Птицефабрика – в сероцветных песчаниках); формация редкометалльных и редкоземельных пегматитов (берилл-колумбит-танталитовый тип – проявление Плотная Ламбина, виикитовое оруденение – проявления на Импилахтинском пегматитовом поле).[8]

Минерагения свекофеннского цикла весьма широка и уникальна. Основной генетический тип месторождений БПП определяется эндогенными процессами пегматитообразования, проявленными в условиях диафтореза и связанного с ним метасоматоза гнейсов, амфиболитов и мигматитов, со-

ставляющих единый беломорский структурно-формационный комплекс. Индустриальные минералы (мусковит, гранат-альмандин, микроклин, плагиоклаз, кварц, кианит) включают в свой состав летрогенные элементы. Мусковитовые пегматиты жильного типа пространственно связаны с высокоглиноземистыми породами чупинской свиты лопия и контролируются узкими линейными зонами сжатых и изоклинальных складок, а также зонами расщеливания и кливажа.[9]

Рифейский тектоно-магматический цикл (1,65-1,1 млрд. лет). Соответствующая этому циклу металлогеническая эпоха проходила в условиях тектоно-магматической активизации стабилизированной платформы и формирования рифтогенных структур северо-восточного простирания. Выделены два этапа рудообразования: раннерифейский и позднерифейский. Раннерифейский этап обусловлен интрузиями многофазного анортзит-габбро-рапакиви-гранитного комплекса. С анортзитами и габброноритами этого комплекса связано железо-титановое оруденение, с гранитами - скарновые, цинково-железорудные, железо-цинк-оловорудные месторождения и рудопроявления, скарново-грейзеновые оловянно-редкометалльно-флюоритовые месторождения и оловянно-редкометалльные рудопроявления в альбититах. [4]

Позднерифейский этап характеризуется своеобразными интрузивно-диатремовыми калиевыми щелочными породами (ладогалитами) с фосфорно-редкометалльно-титановым оруденением и стронций-барийсодержащим полевошпатовым сырьем, а также внедрением даек лампроитов. В этих комплексах установлены признаки алмазности.[5]

Рифейский комплекс щелочно-полевошпатовых пород, названных ладогалитами, представляет собой новый вид комплексных магматических месторождений апатитового, стронций-барийсодержащего щелочно-полевошпатового, сиенитового щелочно-полевошпатового сырья и сфенового минерального сырья Элисенваарской группы. Внедрение щелочнокалиевой магмы с характерной недосыщенностью SiO_2 и высоким содержанием щелочей до 13,2% при преобладании калия над натрием ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 0,34-0,84$) произошло в интрузивную и диатремо-дайковую фазы.[5]

Литература

1. Рыбаков С.И., Голубев А.И., Слюсарев В.Д. и др. Металлогения Карелии. Петрозаводск. 1999. 340 с.
2. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Книга №1. Горючие полезные ископаемые. Металлические полезные ископаемые. Петрозаводск. «Карелия». 2005. Под. ред. Михайлова В.П., Аминова В.Н. 2005. 280 с.
3. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Книга №2. Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. Петрозаводск. «Карелия». Под. ред. Михайлова В.П., Аминова В.Н. 2006. 356 с.
4. Хазов Р.А. Металлогения Ладожско-Ботнического геоблока Балтийского щита. Л.:Наука, 1982. 192 с.
5. Хазов Р.А., Попов М.Г., Бискэ Н.С. Рифейский калиевый щелочной магматизм южной части Балтийского щита. С-Пб.: Наука, 1993. 218 с.
6. Рыбаков С.И., Голубев А.И., Слюсарев В.Д., Лавров М.М. Докембрийский рифтогенез и современная структура Фенноскандинавского щита // Отечественная геология №5, 1999, С.29-38.
7. Свириденко Л.П., Светов А.П., Голубев А.И. и др. Эволюция докембрийского магматизма. Л.: Наука, 1985. 253 с.
8. Голубев А.И., Щипцов В.В. Полезные ископаемые Карелии. //Глубинное строение и эволюция земной коры восточной части Фенноскандинавского щита: Профиль Кемь-Калеваля. Петрозаводск. 2001. С.29-38.
9. Гродницкий Л.Л. Рудогенерирующие пегматитовые системы Кольской части Беломорского пояса. Петрозаводск. 1991. 174 с.

Современные и палео напряжения в северной части Балтийского щита по данным исследований разреза Кольской сверхглубокой скважины

Горбачев Ф.Ф.¹, Савченко С.Н.², Головатая О.С.¹

¹Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты, E-mail: gorich@geoksc.apatity.ru

²Горный институт Кольского научного центра РАН, Апатиты

Современные напряжения являются очень важной частью геодинамики земной коры. Они определяют большое число разнообразных процессов на их окраинах, и в том числе наблюдаемых