

Таким образом, по большинству геолого-геофизических признаков Котуйканская кольцевая структура представляет собой след крупного палеопротерозойского ударного кратера, впервые выявленного на территории России. Она стоит в ряду с такими палеопротерозойскими импактными структурами как Вредефорт (Каапваальский кратон, 2023 млн. лет, диаметр 300 км) и Садбери (Канадский щит, 1850 млн. лет, диаметр 250 км) [2, 6-8].

ЛИТЕРАТУРА

1. Геологическая карта Сибирской платформы и прилегающих территорий масштаба 1:1 500 000. 1999 г. Главный редактор Н.С. Малич. С.-П.: ВСЕГЕИ. 2000.
2. Катастрофические воздействия космических тел. /Под ред. В.В.Адушкина и И.В.Немчинова/. Институт динамики геосфер РАН. М.: ИКЦ «Академкнига». 2005. 310 с.
3. Лутц Б.Г., Оксман В.С. Глубокоэродированные зоны разломов Анабарского щита. М.: Наука. 1990. 260 с.
4. Ронка Л.Б. Метеоритный удар и вулканизм. // Взрывные кратеры на Земле и планетах. М.: Мир. 1968. С. 174-183.
5. Эрнст Р.Э., Хейнс Дж.А.Б., Пучков В.Н. и др. Рекогносцировочное Ar-Ar датирование протерозойских долеритовых даек и силлов в Сибири и на Южном Урале: идентификация новых крупных магматических провинций и использование при реконструкции суперконтинента Нуна (Коламбия). // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. Матер. XLI Тектонического совещания. Т.1. М.: ГЕОС. 2008. С. 492-495.
6. The Earth Impact Database // <http://www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/index.html>
7. Turtle E.P., Pierazzo E. Constraints on the size of the Vredefort impact crater from numerical modeling // Meteorit. Planet. Sci. 1998. V. 33. № 2. P. 483-490.
8. Turtle E.P., Pierazzo E., O'Brien D.P. Numerical modeling of impact heating and cooling of the Vredefort impact structure. // Meteorit. Planet. Sci. 2003. V.38. № 2. P. 293-303.

РУДНЫЕ ФОРМАЦИИ И МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ КАРЕЛИИ

Голубев А.И., Иващенко В.И., Трофимов Н.Н., Кондрашова Н.И., Лавров О.Б.

Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, golubev@krc.karelia.ru; ivashche@krc.karelia.ru

Рудноформационный анализ является одним из наиболее эффективных методических подходов при металлогенических исследованиях [3, 4, 6, 7. и др.] и играет важную роль в прогнозе и поисках месторождений полезных ископаемых. И хотя он был зарожден на основе геосинклинальной теории (Ю.А. Билибин, М.Б. Бородаевская, Д.И. Горжевский, В.Н. Козеренко, Р.М. Константинов, А.И. Кривцов, В.А. Кузнецов, В.В. Попов, Д.В. Рундквист, В.И. Смирнов, Г.Н. Щерба, Г.Ф. Яковлев и др.), его научная значимость и востребованность налицо и в рамках, сменивших ее, новых «авангардных» геологических парадигм – рифтогенной, плейттектонической и плюмовой.

Методологической базой рудноформационного анализа является по существу широко применяемый в других отраслях науки системный анализ, предопределяющий в металлогеническом аспекте его главную задачу в выявлении, сравнении и анализе пространственно-временных соотношений и устойчивых связей геологических, метасоматических и рудных формаций в их иерархической соподчиненности (структурированности) с другими разноранговыми компонентами геологических, в том числе, и рудных систем. При рудноформационных исследованиях анализируется последовательный ряд соподчиненных признаков: рудная формация – метасоматическая формация – геологическая формация, в котором для каждой отдельно взятой пары соседних признаков слева, если следовать математической терминологии, располагается функция, а справа – аргумент [7]. Соответственно прогноз рудоносности осуществляется при движении от аргумента к функции. В качестве основного принципа рудноформационного анализа общепризнанным считается принцип соответствия геологических, метасоматических и рудных формаций, что позволяет решать вопросы о генетических связях и этапности образования оруденения, а также устанавливать региональные закономерности его размещения в тесной взаимосвязи с эволюцией тектонических, магматических, метаморфических и других процессов.

Карельский регион по совокупности признаков большинством исследователей подразделяется на три домена, в категориях металлогении соответствующих металлогеническим субпровинциям: Карельской, Свекофенской и Беломорской. В их пределах развито разнообразное оруденение, относящееся к различным рудным формациям, отражающим специфику геологического развития этих доменов и металлогеническое своеобразие эпох рудообразования, с которыми связано их формирование. Существенные различия геологических, структурно-тектонических, геодинамических, формационных, геохронологических и др. особенностей названных субпровинций нашли адекватное отражение и в их металлогении. За основу типизации рудных формаций и металлогенических комплексов взяты наиболее информативные в металлогеническом аспекте детерминационные признаки (табл.). Кроме этого, применялся также критерий масштабности, согласно которому определенная рудная формация выделялась только на основе имеющегося месторождения или высокоперспективного рудопроявления при условии наличия реальных предпосылок для перевода его в ранг месторождения при соответствующем доизучении.

Главные рудные формации и металлогенические комплексы Карельского региона

Металлогеническая эпоха (млн лет)	Металлогенический комплекс	Рудная формация	Типовые примеры
Карельская металлогеническая субпровинция			
Вендская (610-570)	Благороднометалльный конгломератовый авлакогенов	Золото-платинометалльная конгломератовая	Нименьга, Шапочка
Среднерифейская (1350-1000)	Алмазоносный кимберлит-лампроитовый плюмовый	Алмазоносная лампроитовая	Костомукша, Таловейс
Свекофеннская (вепсий: 1650-1800)	Алмазоносный кимберлитовый плюмовый	Алмазоносная кимберлитовая	Кимозеро
Свекофеннская (калевий: 1800-1920)	Титан-редкометалльный щелочногаббродный рифтовый	Железородно-титановая с МПГ	Елетьозеро, Тикшозеро
Свекофеннская (людикий: 1920-2100)	Комплексный (V,U,Ti,Au, МПГ, Cu, Mo) пикрит-долерит-черносланцевый палеорифтовый	Уран-благороднометалльно-ванадиевая зон СРД; МПГ-титаномагнетитовая с ванадием	Падма, Царевское, Пудожгора, Койкары-Святнаволоцкое
Сумийская (2400-2500)	Благороднометалльно-хромитовый расслоенных плутонов	Малосульфидная МПГ мафит-ультрамафитовая; Хромитовая расслоенных мафит-ультрамафитов	Бураковское, Луккулайсвара; Аганозерское, Шалозерское
Позднелопийская (2500-2800)	Золото-редкометалльный плутоногенно-гранитный Золото-железородный джеспилитовый Золото-хром-никелевый ультрамафитовый плюмовый	Комплексная молибден-порфировая Железистых кварцитов Золото-полисульфидная в shear-зонах Медно-никелевая сульфидная ультрамафит-мафитовая	Лобаш, Лобаш-1, Пяяаара, Ялонвара Костомукша Соайюки, Хатуноя Лебяжинское, Вожминское
Среднелопийская (2800-3000)	Медно-золоторудный вулканогенный Медно-никелевый коматиит-базальтовый зеленокаменных поясов	Золото-сульфидно-кварцевая в shear-зонах Медно-никелевая сульфидная в коматиитах	Педролампи, Берендей, Рыбозеро Рыбозерское, Лещевское, Золотопорожское
Свекофеннская металлогеническая субпровинция			
Среднерифейская (1000-1350)	Урановый зон несогласия авлакогенов	Урановая с полиметаллами в зонах несогласия	Карку
Раннерифейская (1350-1650)	Редкометалльно-оловорудный зон ТМА	Комплексная редкометалльно-оловорудная скарновая	Питкяранта, Кителя, Укса, Хопунвара,
Свекофеннская (1650-2100)	Редкометалльно-вольфрамовый коллизийный Титан-благороднометалльный активных континентальных окраин Комплексный (V, Mo, МПГ) черносланцевый островодужный	Вольфрамовая скарновая Титан-железородная Медно-никелевая благороднометалльная Комплексная молибден-ванадиевая черносланцевая	Латвасюръя, Менсунваара Вялимяки Сурисуо, Араминлампи Ковадьярви, Леппясюръя Ройконкоски
Беломорская металлогеническая субпровинция			
Свекофенская (1650-2100)	Редкометалльный зон тектоно-магматической активизации	Редкометалльных пегматитов	Плотнолабинское, Длиннолабинское
Позднелопийская (2500-2800)	Золото-хром-никелевый ультрамафитовый плюмовый	МПГ-малосульфидная ультрамафит-мафитовая	Травяная Губа
Среднелопийская (2800-3000)	Медно-никелевый ультра-мафит-мафитовый плюмовый	Сульфидная медно-никель-кобальтовая с Au и Ag	Кивгубское

Рудообразование в пределах **Карельской металлогенической субпровинции** происходило в обширном временном диапазоне (>3000-610 млн лет) в разнообразных геологических обстановках, доминирующими среди которых являются связанные с зарождением и эволюцией неогархейских и палеопротерозойских зеленокаменных поясов. Главными металлогеническими эпохами для данной субпровинции являются средне- и позднелопийская и сумийская, обусловливаемые этапностью ее геологической эволюции, а также свекофеннская, связанная с тектоно-магматической активизацией архейского Карельского кратона. Кроме этого известны проявления оруденения сарилий-ятулийской (2,4-2,1 млрд лет; *формации медистых песчаников, золото-ураноносных конгломератов и др.*), среднерифейской (1,35-1,0 млрд лет; *формации алмазоносных лампроитов и кимберлитов*) и вендской (610-570 млн лет; *формация золото-платинометалльная конгломератовая*) металлогенических эпох, но их перспективы, вследствие недостаточной изученности, представляются весьма неопределенными.

К наиболее важным и перспективным рудным формациям среднелопийской металлогенической эпохи (3,0-2,8 млрд лет) относятся *колчеданно-полиметаллическая* (Северо-Вожминское месторождение: Zn, C₁+P₂ ~200 тыс т), *железистых кварцитов* (м. Корпанга: Fe, C₁+C₂ – 166 млн т), *медно-никелевая сульфидная в коматиитах* (м. Лещевское: Ni, P₃ ~40 тыс т) и *золото-сульфидно-кварцевая в shear-зонах* (м. Рыбозеро: Au, C₂+P₃ ~20 т) (здесь и далее запасы и ресурсы даны по [5]).

Ведущими рудными формациями позднелопийской эпохи (2,8-2,5 млрд лет) являются *железистых кварцитов* (м. Костомукшское), *медно-никелевая сульфидная ультрамафит-мафитовая* (м. Восточно-Вожминское: Ni, P₃- 20 тыс т, МПГ – 1 т), *комплексная молибден-порфировая* (м. Лобаш и Лобаш-1: Mo, C₁+C₂- 140 тыс т, Au, C₂+P₂ – 40-60 т) и *золото-полисульфидная в shear-зонах* (Ялонварско-Соанлахтинская площадь: Au, P₂- 60-80 т).

Сумийская металлогеническая эпоха (2,5-2,4 млрд лет) одна из наименее продолжительных, но наиболее экономически значимых, характеризуются проявлением оруденения, связанного с расслоенными мафит-ультрамафитовыми плутонами – Бураковским и Олангской группой, представленного целым рядом рудных формаций. Среди них наиболее перспективными считаются *хромитовая в расслоенных мафит-ультрамафитах* (м. Аганозерское: Cr₂O₃, C₁-P₂ ~ 40 млн т), *малосульфидная платинометальная мафит-ультрамафитовая* (Бураковский массив: МПГ, P₁+P₂ ~ 300 т; Олангская группа интрузий: МПГ, P₁+P₂ ~ 30 т) и *никель-магниева серпентинитовая* (м. Аганозерское: кислоторастворимый никель, P₁+P₂ ~ 8 млн т).

Сариолий-ятулийская эпоха (2400-2100 млн лет), как проявление этапа деструкции консолидированного к этому времени архейского Карельского кратона, характеризуется соответствующими геотектоническими обстановками (интраконтинентальные впадины и рифты) со свойственными им преимущественно осадочными и гидротермально-метасоматическими генетическими типами оруденения, представленными несколькими малоперспективными рудными формациями.

Свекофеннская металлогеническая эпоха (2100-1650 млн лет) подразделяется на три этапа: людиковийский (2,1-1,92 млрд лет), калевийский (1,92-1,80 млрд лет) и вепсийский (1,80-1,75 млрд лет). Первый из них представлен несколькими рудными формациями (табл.), наиболее важными в экономическом аспекте среди которых являются *уран-благороднометалло-ванадиевая в метасоматитах зон СРД* (месторождения Падминской группы: V₂O₅, P₁+P₂ ~ 1 млн т; U, P₁+P₂ ~ 10-15 тыс т; МПГ, P₁+P₂ ~ 100 т) и *платиносодержащая титаномагнетитовая с ванадием* (Пудожгорское и Койкары-Святнаволоцкое месторождения: TiO₂, P₁+P₂ ~ 50-70 млн т; V₂O₅, P₁+P₂ ~ 2 млн т; МПГ, P₁+P₂ ~ 590 т; Au, P₁+P₂ ~ 160 т).

Главной рудной формацией калевийского этапа Свекофеннской эпохи в пределах Карельской металлогенической субпровинции является *комплексная железорудно-титановая в щелочных габброидах*, представленная рудными объектами Тикшозерско-Ельтозерского магматического комплекса щелочных габброидов и карбонатитов (м. Ельтозерское: Ti, C₁+C₂ ~ 10 млн т; V₂O₅ ~ 100 тыс т; прогнозируется МПГ ~ 50-100 т).

С вепсийским этапом Свекофеннской эпохи выделяется *алмазоносная кимберлитовая рудная формация* на базе *Кимозерского кимберлитового* проявления.

Рудообразование в **Свекофеннской металлогенической субпровинции**, в отличие от Карельской, происходило в сравнительно узком временном диапазоне (2100-1350 млн лет) в геологических обстановках, связанных с рифтингом архейского Карельского кратона по оси – Раахе-Ладога (от северной Швеции до Ладожского озера), новообразованием океанической коры и последующим их конвергентным взаимодействием с генерацией офиолитовых, островодужных и окраинно-континентальных комплексов и их аккрецией и коллизией во время свекокарельского орогенеза [8], а также с раннерифейской тектоно-магматической активизацией и платформенным этапом развития в среднем рифее. Соответственно выделяется три металлогенические эпохи – свекофеннская, раннерифейская и среднерифейская.

С людиковийским этапом Свекофеннской эпохи связано формирование нескольких высокоперспективных проявлений комплексной *молибден-ванадиевой черносланцевой рудной формации* (Леппяюрское, Ковадъярвинское и др.) в зоне сочленения Карельского архейского кратона и Свекофеннского складчатого пояса. Прогнозные ресурсы категорий P₁+P₂ для этой зоны оценены в количестве – 320 тыс т V₂O₅ [1] и ~100 тыс т Mo. Помимо высоких содержаний главных рудных элементов (V – 0,27%, Mo – 0,06%), на рудопроявлениях отмечаются повышенные концентрации Co (до 0,05%), Ni (0,15%), Sc (до 150 г/т), Pd (до 0,3 г/т), Ag (до 10 г/т), Ce, Y, Mo, Cu, Pb, As, Sb, Bi, Se и др.

Для калевийского этапа Свекофеннской эпохи характерны *медно-никелевая благороднометаллическая* (р. Сури-суо, Араминлаппи: Cu – 0,1-1,0%, Ni – 0,03-0,1%, МПГ – до 1 г/т, Ag – до 500 г/т, Au – до 0,5 г/т), *золото-теллуридная кварцевожильная в shear-зонах* (р. Райконкоски: Cu, Pb – до 5%, Zn, Bi – до 1%, Se – до 0,022%, Te – до 0,017%, Au – до 25 г/т, Ag – до 0,1%), *золото-арсенидная в березитоидах shear-зон* (р. Пякюля, Алатту, Янис: Au, P₂+P₃ ~ 40 т) и *вольфрамовая* (р. Латвасюръя: W, P₂ ~ 10 тыс т) и *полиметаллическая* (р. Йокиранта: Pb, Zn, P₃- 120 тыс т) *скарновые рудные формации*.

Раннерифейская металлогеническая эпоха (1,65-1,35 млрд лет) проявлена в Свекофеннской субпровинции исключительно в связи с Салминским и Улялегским массивами анортозит-рапакивигранитной формации. Главными рудными формациями этой эпохи являются *оловорудно-скарновая* (м. Питкярантского рудного узла: Sn, P₂ ~ 40-60 тыс т; Zn ~ 500 тыс т) и *комплексная редкометалло-оловорудная скарново-грейзеновая* (м. Питкярантского рудного узла: Sn, P₂ ~ 30 тыс т; Be ~ 20 тыс т, Zn ~ 400 тыс т).

Со среднерифейской металлогенической эпохой (1,35-1,0 млрд лет) связано формирование оруденения только одной рудной формации – *урановой с медью и полиметаллами в зонах несогласия* (м. Карку: U, P₁+P₂ ~ 7 тыс т; Zn+Pb ~ 10 тыс т) [2, 5].

Для **Беломорской металлогенической субпровинции** характерно крайне ограниченное распространение рудных проявлений металлических полезных ископаемых при доминировании неметаллических – слюда, гранат, кианит, керамическое сырье и др.

Раннелопийская металлогеническая эпоха представлена *сульфидной медно-никелевой мафит-ультрамафитовой рудной формацией* (р. Тристун: Ni – 0,1-0,5%, Cu – 0,1-1,14%) и бедной колчеданной и магнетитовой минерализацией вулканогенно-осадочного генезиса, по критериям масштабности и явной неперспективности, не соответствующая металлогенической категории – «рудная формация».

Для среднелопийской эпохи характерна *сульфидная медь-никель-кобальтовая с Au и Ag рудная формация* (р. Кивгубское: Ni – 0,09-0,6%, Cu – 0,1-1,85%, Co – 0,12-0,56%, Au – до 0,9, Ag – до 10 г/т), связанная с хетоламбинскими перидотит-габбро-анортозитами и их метаморфизованными производными.

К позднелопийской металлогенической эпохе относится *платинометальная малосульфидная ультрамафит-мафитовая рудная формация* (р. Травяная Губа: TiO₂ – 1,8-4,4%, V₂O₅ – 0,17-0,29%, МПГ+Au – 1,58 г/т) в перидотитах и др. ультрамафитах Палоярвинского дифференцированного массива.

Оруденением сумийской эпохи, вероятно, являются мелкие проявления МПГ (г. Панфилова, Чупинский) в кузёмском комплексе лерцолитов-габброноритов – формационном аналоге расслоенных комплексов в Карельской субпровинции.

Свекофеннская металлогеническая эпоха представлена преимущественно *формацией редкометальных пегматитов* (Плотноламбинское, Длинноламбинское, Слюдяноборское и др.) и комплексными благороднометальными проявлениями в их ореолах и зонах сдвиговых дислокаций – Хизоваара, Картеш, Степанова Ламба и др. (Ручьев А.М., Ахмедов А.М.), перспективы которых по состоянию изученности в настоящее время остаются неясными.

Главными металлогеническими комплексами *Карельской субпровинции* являются: среднелопийские медно-золоторудный вулканогенный и медно-никелевый коматитит-андезибазальтовый зеленокаменных поясов; позднелопийские золото-редкометальный плутоногенно-гранитный и золото-железорудный джеспилитовый; сумийский благороднометально-хромитовый расслоенных плутонов; свекофенские комплексный (V,U,Ti,МПГ,Au,Cu,Mo) пикрит-долерит-черносланцевый палеорифтовый и алмазоносный кимберлитовый плюмовый; среднерифейский алмазоносный кимберлит-лампроитовый плюмовый и вендский благороднометальный конгломератовый авлакогенов; *Свекофеннской субпровинции* – среднерифейский урановый зон несогласия авлакогенов; раннерифейский редкометально-оловорудный зон ТМА и свекофенский комплексный (V,Mo,МПГ) черносланцевый островодужный; *Беломорской субпровинции* – свекофенский редкометальный зон ТМА и позднелопийский золото-хром-никелевый ультрамафитовый плюмовый.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артамонова Н.А., Духовский А.А. Геологическое строение и полезные ископаемые Северо-Восточного Приладожья. Отчет. ТГФ Р. Карелия. Петрозаводск. 1989.
2. Величкин В.И. О новом для России типе урановых месторождений в Северо-западном Приладожье. В кн. Крупные и суперкрупные месторождения: закономерности размещения и условия образования. М. ИГЕМ РАН. 2004. с. 110-134.
3. Конкин В.Д., Новиков В.П., Ручкин Г.В., Бражник А.В. Ряды рудных формаций цветных и благородных металлов//Тез. докладов Всероссийского совещания «Методология и методы металлогенического анализа и прогноза рудных объектов – состояние и перспективы применения для воспроизводства фонда недропользования». 2000. Москва. ЦНИГРИ. с. 65-67.
4. Кривцов А.И. Прикладная металлогения. М. Недра. 1989. 288 с.
5. Минерально-сырьевая база Республики Карелия. кн.1. под ред. В.П.Михайлова и В.Н.Аминова. Петрозаводск. Карелия. 2005. 278 с.
6. Рудоносность и геологические формации структур земной коры. Под редакц. Д.В.Рундквиста. Л. Недра. 1982.
7. Филатов Е.И., Ширай Е.П. Формационный анализ рудных месторождений. М. Недра. 1988. 144 с.
8. Nironen M. The Svecofennian orogen: A tectonic model // Precambrian Research. 1997. V. 86. P. 21-44.

ЦИРКОНЫ ИЗ УГЛЕРОДИСТЫХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ЛЮДИКОВИЯ ОНЕЖСКОЙ СТРУКТУРЫ КАК ДЕТЕКТОР ГЛУБИННЫХ ЭНДОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Гольцин Н.А.¹, Полеховский Ю.С.², Прасолов Э.М.^{1,2}, Пресняков С.Л.¹, Салтыкова А.К.¹, Лохов К.И.^{1,2}

¹ Центр Изотопных Исследований ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург, Kirill_Lokhov@vsegei.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, геологический факультет. г. Санкт-Петербург, yuri1947@mail.ru

При помощи вторично-ионного масс-спектрометра SHRIMP-II мы проанализировали U-Pb возраст и спектры распределения REE в цирконах, выделенных из шунгитовых пород карьеров Максово и Загогино по стратиграфическому разрезу относящихся к 4 пачке средней подсвиты заонежской свиты [5] и из выше и ниже лежащих вулканитов.