

На правах рукописи

КОЛЯДИНА Анастасия Игоревна



**СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ
РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТО-УРАНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ
КУОЛАЯРВИНСКОЙ СТРУКТУРЫ (СЕВЕРНАЯ КАРЕЛИЯ)**

**Специальность 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых
полезных ископаемых, минерагения**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Санкт-Петербург – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель:

доктор геолого-минералогических наук, доцент

Козлов Александр Владимирович

Официальные оппоненты:

Щипцов Владимир Владимирович

доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН «Институт геологии Карельского научного центра Российской академии наук», отдел минерального сырья, заведующий

Петров Сергей Викторович

кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра геологии месторождений полезных ископаемых

Ведущая организация – ФГБУН «Геологический институт Кольского научного центра Российской академии наук».

Защита диссертации состоится 28 февраля 2018 г. в 18 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.01 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2, ауд. № 1163.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт - Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru

Автореферат разослан 28 декабря 2017 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КИРЬЯКОВА
Ирина Геннадьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Куолярвинская структура - это единственная площадь на территории Карелии, куда с пограничной территории Финляндии прослеживаются вулканогенно-осадочные комплексы с золото-урановым оруденением раннепротерозойского возраста. Сопредельные Куолярвинской структуре пояса Куусамо, Перапохиа, Киттиля имеют высокий промышленный потенциал. Они вмещают мелкие и средние золотые и комплексные (Fe-Co-Au-U) месторождения, а также крупное месторождение золота Суурикуусико, группу золото-урановых месторождений Ромпас, с ежегодной добычей - 5-8 тонн золота. В пределах Куолярвинской структуры выявлено только единственное месторождение золота Майское и ряд рудопроявлений золота и урана. Подобное резкое различие в рудоносности смежных зеленокаменных поясов может быть вызвано как недостаточной изученностью Куолярвинской структуры, так и отличиями в их геологическом развитии. Структурно-вещественный анализ Куолярвинской структуры необходим для выявления ее рудного потенциала, совершенствования методов прогнозирования, поисков и оценки золото-урановых месторождений, подобных промышленным объектам Финляндии.

Степень разработанности исследуемого направления. Куолярвинская структура имеет долгую историю изученности, начиная с 1950 г. В 1981 г. было открыто мелкое месторождение золота Майское. Наиболее эффективным с точки зрения поисков уранового оруденения является этап с 1977 по 1981 гг., когда специализированными работами ПГО «Невскгеология» было выявлено большое количество рудопроявлений урана. Несколько десятилетий рудные объекты в различных аспектах изучались специалистами ФГБУ «ВСЕГЕИ», СПбГУ, ИГЕМ РАН, ФГБУ ВИМС, ГП «Невскгеология», ОАО «Центрально-Кольская экспедиция», АО «Северо-Западное ПГО». Значительный вклад в изучение геологического строения и металлогении Куолярвинской структуры внесли Воинов А.С., Полеховский Ю.С., Турченко С.И., Минц М.В., Глебовицкий В.А., Куликов В.С., Куликова В.В., Кулешевич Л.В. и другие исследователи Карело-Кольского региона. Изучению рудной минерализации и связанных с ней метасоматитов в пределах Куолярвинской структуры посвящены работы Калинина А.А., Войтеховского Ю.Л., Сафонова Ю. Г., Вольфсона А.А. и других исследователей. На современном этапе

многие урановые объекты приобрели статус золото-урановых рудопоявлений. Однако вопрос перспективности Куоляярвинской структуры на выявление мелких и средних золото-урановых месторождений, подобных финским, по-прежнему остается актуальным.

Цель работы. Выявление закономерностей проявления золото-урановой минерализации в пределах Куоляярвинской структуры и их сопоставление с особенностями размещения промышленной рудной минерализации смежных районов Финляндии.

Задачи:

1. Анализ закономерностей размещения золото-урановой минерализации Карелии и смежных районов Финляндии по опубликованным и фондовым материалам.
2. Уточнение условий локализации золото-урановых рудопоявлений Куоляярвинской структуры.
3. Изучение состава руд и окорудных метасоматитов.
4. Определение последовательности и стадийности образования рудоносных минеральных ассоциаций.
5. Сравнительный анализ щелочных метасоматитов Куоляярвинской и Онежской структур.
6. Сравнительный анализ структурно-вещественных особенностей Куоляярвинского прогиба со структурами Куусамо, Перапохиа, Онежской на локальном и региональном уровнях.
7. Выявление пространственных и временных взаимоотношений золота и урана в рудных метасоматитах.

Фактический материал, методы исследования, личный вклад автора. В основу работы положен собранный автором в ходе геологосъемочных работ в пределах Куоляярвинской и Онежской структур геологический и каменный материал, а также результаты анализа и обобщения авторской геологической документации, фондовых и опубликованных данных по рассматриваемому району. Автором собрана коллекция руд, метасоматитов и вмещающих пород, насчитывающая порядка 150 образцов. Были изучены коллекции вмещающих и метасоматических пород АО «Северо-Западное ПГО» и ФГБУ «ВСЕГЕИ». Исследование каменного материала основано на комплексном минералогическом петрографическом изучении гидротермально-метасоматических образований и исходных пород. Выделение типов метасоматически преобразованных пород производилось посредством петрографического

изучения прозрачных шлифов изменённых и исходных горных пород в количестве 400 штук на оптическом микроскопе Leica DM2700 P. Порядка 100 препаратов были предоставлены АО «Северо-Западное ПГО», 30 препаратов предоставлены сотрудниками отдела урановых месторождений и геоэкологии ФГБУ «ВСЕГЕИ», порядка 100 препаратов для изучения метасоматических пород на месторождениях Падминской группы были предоставлены ФГУ «ТФГИ по СЗФО». Дополнительная диагностика минералов проводилась с использованием метода рамановской спектроскопии на приборе Invia Reflex фирмы Renishaw (Горный университет, аналитик Е.А. Васильев). Минераграфическое и микрозондовое исследование аншлифов (20 штук) и прозрачно-полированных шлифов (40 штук) для анализа последовательности образования минералов, выявления закономерностей локализации и определения состава золоторудной минерализации произведено на оптическом микроскопе Leica DM2700 P и на сканирующем электронном микроскопе модели CamScan MV 2300 с энергодисперсионным микроанализатором LINK Pentafet (Oxford Instr.) (ЦАЛ ВСЕГЕИ, аналитик Грузова Е.Л.). Химический состав пород определялся рентгено-флуоресцентным методом (XRF) в ЦАЛ ФГБУ «ВСЕГЕИ» (аналитик Цимощенко Б.А.). Для определения состава РЗЭ и редких элементов был использован масс-спектрометрический метод с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) в ЦАЛ ФГБУ «ВСЕГЕИ» (аналитики В.А. Шишлов, В.Л. Кудряшов). Анализ выявленных в ходе исследования минералогических, петрографических и геолого-структурных особенностей проявления рудной минерализации позволил описать стадийность рудно-метасоматического процесса, в рамках которой определена позиция золотого и уранового оруденения.

Защищаемые положения:

1. Комплексное золото-урановое оруденение в пределах Куолаярвинской структуры приурочено к участкам проявления многостадийного метасоматоза с последовательным развитием двух главных стадий: 1) дорудных натровых метасоматитов (альбититов) в зонах объемного катаклаза, 2) синрудных альбит-карбонатных, альбит-хлоритовых, анкеритовых метасоматитов в зонах катаклаза и брекчирования и рудоносных кварцевых жил.
2. В зонах проявления второй стадии метасоматического процесса последовательно образованы два типа рудной минерализации: ранняя

молибден-урановая в альбит-карбонатных метасоматитах и поздняя селенидно-теллуридно-золоторудная с анкеритовыми прожилками выполнения в альбититах и альбит-карбонатных метасоматитах.

3. Широкое развитие альбитизации в пределах разломных зон Куолаярвинской, Онежской, Куусамо и Перапохиа структур, проявление скаполитизации в карбонат-альбитовых метасоматитах и повышенное содержание хлора в биотите, актинолите, уранините и апатите указывают на важную роль древних эвапоритовых толщ в золото-урановом рудогенезе.

Научная новизна. Установлена последовательность рудно-метасоматического процесса в пределах Куолаярвинской структуры и закономерная связь урановой и золотой минерализации с определенными стадиями его проявления. Выявлены минералогическо-геохимические признаки участия древних эвапоритов в золото-урановом рудогенезе.

Практическая значимость. Установленная закономерная связь золото-уранового оруденения с определенными типами более широко проявленных метасоматитов может способствовать повышению эффективности геолого-поисковых и геологоразведочных работ на рудное золото в пределах Куолаярвинской структуры.

Апробация и реализация результатов работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на российских и зарубежных конференциях: «55-ая Международная Научная Конференция на базе Краковской горно-металлургической академии» (Краков, Польша, 2014), VIII Российско-Германская сырьевая конференция (Горный университет, 2015), Конференция молодых ученых «Freiberg-St.Petersburg Colloquium of young scientists», (Фрайбергская Горная академия, Фрайберг, Германия, 2015), Конференции «VI и VII Российская молодежная научно-практическая Школа с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования» (ИГЕМ РАН, Москва, 2016, 2017), Научная конференция «Геодинамика раннего докембрия: сходства и различия с фанерозоем» (Институт геологии Карельского НЦ РАН Петрозаводск). По теме научно-квалификационной работы автором опубликовано 3 статьи и 4 тезисов докладов, в том числе 3 статьи в журналах из списка ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Объем работы составляет 159 страниц, она содержит 11 таблиц, 63 иллюстрации; 2 приложения; список использованной

литературы включает 114 наименований. Защищаемое положение № 1 и № 2 раскрыты в главах № 2 и № 3, положение № 3 - в главе № 4.

В *первой главе* охарактеризованы геологическое строение, известные геолого-промышленные типы золото-уранового оруденения Куусамо-Панаярвинского рудного района и закономерности их размещения. Во *второй главе* рассмотрено геологическое строение Куоляярвинской структуры и золото-урановых рудопроявлений. В *третьей главе* приведено минералого-петрографическое описание гидротермально-метасоматических образований, их стадийности и рудоносности. *Четвертая глава* содержит сравнительную характеристику золото-уранового оруденения Куоляярвинской, Онежской, Перапохиа и Куусамо структур; закономерности размещения золото-уранового оруденения в пределах Куоляярвинской структуры.

Благодарности. Автор выражает благодарность своему научному руководителю д.г.-м.н. А.В. Козлову за его ценные консультации, помощь и поддержку в подготовке диссертации.

За возможность участвовать в полевых работах и помощь в сборе полевых материалов автор выражает благодарность руководству АО «Северо-Западное ПГО» – управляющему директору О.В. Васину, заместителю генерального директора – главному геологу В.А. Житникову, начальнику геологического отдела А. С. Рудому, начальнику геологосъемочной партии В.И. Михайлову, заместителю начальника Департамента по недропользованию по СЗФО Е.А. Боталовой. Многолетние полевые исследования осуществлялись совместно с сотрудниками АО «Северо-Западное ПГО», которым автор признателен за помощь и содействие. Отдельную благодарность автор выражает сотрудникам отдела урановых месторождений и радиоэкологии ФГБУ «ВСЕГЕИ» за профессиональные советы и предоставление коллекции препаратов метасоматических пород; куратору петрографического музея СпбГУ Е.В. Путинцевой за ценные консультации и помощь в получении коллекции препаратов ФГУ «ТФГИ по СЗФО».

Значительную помощь в проведении лабораторных исследований оказали Е.Л. Грузова (ФГБУ «ВСЕГЕИ»), к.г. - м.н. Е.А. Васильев (Горный университет), к.г. - м.н. В.И. Леонтьев (Горный университет), к.г. - м.н. Я.Ю. Бушуев (Горный университет), И.О. Лебедев (Горный университет) – всем автор выражает искреннюю благодарность. Автор душевно благодарит Е.Н. Колядину за постоянную моральную поддержку.

Описание объекта исследования. Куолаярвинская структура входит в состав зеленокаменного Лапландского пояса, сформированного в раннем протерозое (2,40-2,45 млрд. лет) в условиях континентального рифтинга (Володичев О.И., Король Н.Е., 2011, Ward P., Pankka H.S., 1989). Главная осевая зона трехлучевого рифта приурочена к Беломорскому подвижному и Лапландскому гранулитовому поясам (рис.1.), северо-восточное плечо к Кольскому кратону и юго-западное к Карельскому кратону. На северо-восточном плече рифта развита система раннепротерозойских палеорифтовых прогибов, образующая протяженный Лапландский пояс, среди которых: Онежская, Панаярвинская, Куолаярвинская (Россия), Куусамо (Финляндия) структуры. Выделяется два крупных этапа становления Куолаярвинского прогиба: рифтогенный – сумийско-сариолийский (2,5-2,3 млрд. лет) и этап формирования наложенной впадины - ятулийско-людиковый (2,3-2,0 млрд. лет; Трофимов Н.Н., Голубев А.И., 2009, Билибина Т.В. и др., 1991).

В пределах Куолаярвинской структуры в период с 70-х по 90-е годы было выявлено большое количество урановых рудопроявлений: Озерное, Лагерное, Алакурти, Алим-Курсуярви и другие (рис.2., Ю.С. Кондаков, 1980). Урановое оруденение связано с зональными щелочными метасоматитами, приуроченными к разрывным нарушениям северо-восточного и субширотного простираний, на пересечении с крупным субмеридиональным Нилуттиярвинским разломом. Начиная с 2000-х годов, на урановых рудопроявлениях были установлены повышенные концентрации золота (Ахмедов А.М., 2001). В результате работ в 2015-2016 годах ФГБУ «ВСЕГЕИ» и АО «Северо-Западное ПГО» эти данные были подтверждены содержаниями золота, достигающими 5,5 г/т (рудопроявление Лагерное), 20 г/т (Озерное), 90 г/т в кварцевых жилах рудопроявления Алим-Курсуярви (Афанасьева Е.Н., 2016). Это открытие повлекло за собой ряд новых вопросов в отношении генетической, временной и пространственной связи золота и урана, места золота в ряду метасоматической зональности. В ходе подготовки отчета по объекту «Выполнение геологосъемочных работ в пределах листов Q-35–XII, XVIII (Куола-Панаярвинская площадь)» АО «Северо-Западное ПГО» и ФГБУ «ВСЕГЕИ» в 2016 году было пробурено 7 поисково-картировочных скважин глубиной от 100 до 150 м на участках озер Вуоснаярви и Апарви. В скважинах № 3, № 4, № 5 были установлены породы, подобные метасоматитам, выделенным на урановых с золотом

рудопрооявлениях Нилуттиярвинской разломной зоны. Скважины № 3, № 4, № 5 расположены в 2-3 км западнее участка рудопрооявлений Алакурти, Алим-Курсуярви в зоне влияния разлома северо-восточного простираания. Новые данные свидетельствуют о том, что щелочные метасоматиты имеют более широкое распространение в тектонических зонах Куолаярвинской структуры, чем считалось ранее.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Первое защищаемое положение. Комплексное золото-урановое оруденение в пределах Куолаярвинской структуры приурочено к участкам проявления многостадийного метасоматоза с последовательным развитием двух главных стадий: 1) дорудных натровых метасоматитов (альбититов) в зонах объемного катаклаза, 2) синрудных альбит-карбонатных, альбит-хлоритовых, анкеритовых метасоматитов в зонах катаклаза и брекчирования и рудоносных кварцевых жил.

Исследование гидротермально-метасоматических ассоциаций реализовано с помощью комплексного минералого-петрографического изучения метасоматитов и исходных пород на четырех рудопрооявлениях Озерное, Лагерное, Алакурти, Алим-Курсуярви. На основании минералого-петрографического анализа минеральных ассоциаций и их взаимоотношений в щелочных метасоматитах Куолаярвинской структуры были выделены дорудная, синрудная (три синрудные подстадии) рудно-метасоматического процесса. Выявлена определенная направленность метасоматического процесса от натрового к железисто-магнезиальному, минералого-геохимические признаки скаполитизации.

Дорудная стадия характеризуется масштабно проявленной альбитизацией, с развитием разных типов альбитизированных пород и альбититов, в состав которых кроме альбита могут входить кальцит I-й генерации, хлорит, слюды (биотит, флогопит), актинолит. Альбит (№ 5) постепенно замещает более основной плагиоклаз (олигоклаз, андезин) и кварц. Выделяется две генерации альбита: *альбит I-й* генерации имеет таблитчатую форму, *альбит II-й* генерации отличается удлиненными лейстовыми кристаллами, с ясно проявленными полисинтетическими двойниками (табл. 1.). Возраст альбититов соответствует периоду свекофеннской тектоно-магматической активизации 1,75 млрд. лет (Калинин А.А., 2013). Отмечаются постепенные переходы от неизмененных пород через зону альбитизации к телам розовых и мясо-

красных альбититов в зонах катаклаза. Альбититы образуют серию кулисообразно расположенных линз размером до (10×90) м и на 85 % состоят из альбита (рис. 3.А, рис.4.А.). В зависимости от количественного преобладания определенного минерала формируются следующие типы метасоматитов: альбититы (Alb-85%, до 15 % - Bt/Ph, Carb), слюдисто-альбитовые (Alb – 70-75 %, Bt/Ph – до 25 %), альбит - биотитовые (Bt/Ph - до 60 %, Alb – 40 %), актинолит-альбитовые (Alb – 70%, Amf – до 30%), альбит-амфиболовые (Amf – до 70%, Alb – до 30%). Слюды – биотит и флогопит замещают актинолит и роговую обманку исходных пород.

Синрудная стадия включает в себя три подстадии: 1) альбит-карбонатных и альбит-хлоритовых метасоматитов с молибден-урановой минерализацией, 2) подстадию развития анкеритовых прожилков с селенидно-теллуридно-благороднометальной минерализацией, 3) подстадию золотоносных кварцевых жил.

Первая синрудная подстадия включает в себя альбит-карбонатные метасоматиты, брекчии (рис. 4.Б.), карбонатные жилы и альбит-хлоритовые метасоматиты. В карбонатных метасоматитах локализована молибден-урановая минерализация, представленная вкрапленностью уранинита (табл. 3.), браннерита (рис.7.), давидита и молибденита.

Процесс карбонатизации наиболее интенсивно проявлен в зонах катаклаза и брекчирования по альбититам. *Кальцит* II-й генерации, в отличие от мелкокристаллического бесцветного кальцита I-й генерации дорудной стадии, характеризуется крупными хорошо образованными кристаллами размером до 0,5 см, часто является цементным в брекчиях. Кальцит II-генерации содержит до 4 мас.% FeO (табл. 2.) и имеет медово-желтый цвет, выполняет прожилки мощностью от 0,5 до 5 см. Спорадически вокруг кальцитовых прожилков (до 20 см) формируются каймы актинолитового, биотитового и хлоритового состава (рис.5.Б.). Количество кальцита в метасоматитах варьирует от 10 до 80 %, вследствие чего можно выделить два типа метасоматитов: карбонат-альбитовых с содержанием альбита 50-75 %, кальцита – 25-35 %; альбит-карбонатных с содержанием кальцита от 50 до 80 %, альбита – 10-20%. В метасоматитах обоих типов в подчиненном количестве (до 10 %) могут содержаться актинолит, слюды, хлорит. В участках проявления дробления происходит перекристаллизация альбита I и II-й генераций с образованием III-й генерации этого минерала в виде крупных лейстовидных кристаллов размером до 4 мм. *Доломит* формируется в виде ромбоэдрических кристаллов размером от первых миллиметров до 1 см.

Во внешней зоне альбит-карбонатных метасоматитов и альбититов биотит псевдоморфно замещается светло-зеленым хлоритом. Содержание хлорита может достигать 70 % с формированием существенно хлоритовых метасоматитов. В хлорите часто фиксируются реликты оливково-светло-коричневого биотита, сохраняется его крупнокристаллическая пластинчатая форма. В альбититах и карбонат-альбитовых метасоматитах, образованных по габбродолеритам, происходит формирование порфиробластического актинолита. Актинолит имеет насыщенный зеленый цвет, образует призматические кристаллы ромбического сечения, достигающие 1 см и характеризуется примесью V_2O_3 (табл. 1.).

В альбит-карбонатных метасоматитах и кальцитовых жилах, вскрытых скважинами № 3, № 4, № 5 на участке оз. Вуоснаярви, выявлено проявление скаполитизации. Кристаллы скаполита в шлифах имеют призматический облик, часто наблюдается развитие по массе метасоматита в виде неправильных зерен и зернистых агрегатов (0,2-0,5 мм). Мелкозернистые агрегаты скаполита развиваются по альбиту, более крупные неправильные зерна по карбонатам (рис.5.А.). Оптически скаполит характеризуется низким рельефом, двулучепреломлением - не более 0,009, одноосностью, что позволяет его отнести к натриевому маршалуиту. Скаполитсодержащие карбонат-альбитовые метасоматиты вскрыты скважиной № 5 в интервале глубин 111,0-136,7 м. Также скаполит интенсивно развивается по кальциту в карбонатных жилах на глубинах от 63,7 м до 100 м. Важно отметить, что именно в интервалах кальцитовых жил со скаполитом атомно-абсорбционным методом (ААС) установлены содержания золота равные 0,18 г/т.

Ко *второй синрудной подстадии* относится развитие селенидно-теллуридной минерализации с самородным золотом в зонах трещиноватости по ранее образованным метасоматитам. Рудная минерализация приурочена к анкеритовым прожилкам. Коричневато-бежевый *анкерит* в мелкозернистой форме образует прожилки, просечки (рис. 6.), развивается в трещинном пространстве в альбититах и альбит-карбонатных метасоматитах. Встречаются и кристаллы ромбоэдрического облика с искривленными гранями. Содержание железа в анкерите достигает 42,11 мас.% (табл. 2.).

Третья синрудная подстадия проявлена в формировании кварцевых прожилков и жил, иногда содержащих сульфиды. В ходе полевых работ в 2016 году была установлена зона сульфидизации с содержанием более 5 %

сульфидов в кварцевой жиле рудопроявления Озерное. Сульфидизированные кварцевые жилы, субсогласные с простиранием горных пород, имеют мощность от 20 до 70 см. Сульфидная минерализация представлена халькопиритом и пиритом, образующим гнезда. В штучных пробах из кварцевых жил рудопроявления Озерное содержания золота, по данным Афанасьевой Е.Н., достигают - 20 г/т в штуфе, 0,7 г/т на 0,5 м в бороздовой пробе (Афанасьева Е.Н., 2015). Таким образом, в пределах рудопроявления Озерное возможно пространственное совмещение двух рудно-формационных типов: золото-кварцевого и золото-уранового в карбонатно-щелочных метасоматитах. Комплексный минералого-петрографический анализ метасоматических образований и вмещающих пород Куолярвинской структуры в зоне влияния Нилуттиярвинского разлома и обобщение материалов предшественников позволили выделить две главные стадии единого этапа рудно-метасоматического процесса. К стадии натрового метасоматоза относится образование альбитизированных пород и альбититов в зонах катаклаза. Стадия железисто-магнезиального метасоматоза включает в себя проявление карбонатизации, с образованием альбит-карбонатных метасоматитов в зонах брекчирования и катаклаза, хлоритизации, серицитизации и формирование анкеритовых прожилков.

Второе защищаемое положение. В зонах проявления второй стадии метасоматического процесса последовательно образованы два типа рудной минерализации: ранняя молибден-урановая в альбит-карбонатных метасоматитах и поздняя селенидно-теллуридно-золоторудная с анкеритовыми прожилками выполнения в альбититах и альбит-карбонатных метасоматитах.

В составе рудной минерализации золото-урановых рудопоявлений Куолярвинской структуры выявлен широкий спектр распространенных и редких минералов. Преобладающая часть минерализации изучена Полеховским Ю.С., Воиновым А.С., Григорьевой Л.В., Калининным А.А. и другими исследователями. Однако обнаружение золота в минеральной форме в метасоматитах на современном этапе изученности территории требуют дополнительного изучения и выявления пространственно-временной связи золотой и урановой минерализации.

Урановая минерализация Au-U рудопоявлений Куолярвинской структуры приурочена к телам альбит-карбонатных метасоматитов (I синрудная подстадия) и представлена уранинит-браннеритовым

минеральным типом. Она включает уранинит, настуран, браннерит, давидит, урансодержащий лейкоксен (табл. 3.).

Уранинит встречается в виде отдельных зерен и их скоплений, нередко обладает хорошо развитыми кристаллами кубооктаэдрического габитуса. Размер зерен варьирует от 2 мм до 0,5 см в поперечном сечении. Отражательная способность минерала - 16-18 %. В составе уранинита присутствует радиогенный свинец в количестве до 20 %. Часто зерна уранинита имеют зональное строение, за счет неравномерного замещения минерала (рис.7. А.). Уранинит, замещается настураном и казолитом, контуры зерен закругляются, становятся менее отчетливы. Предположительно, уранинит образуется совместно с кальцитом II-й генерации на второй подстадии рудного процесса. *Настуран* частично замещает зерна уранинита, окаймляет его (рис.7.А.). Настуран имеет серый с коричневым оттенком цвет в отраженном свете, умеренную отражательную способность, темно-коричневые внутренние рефлексy. *Браннерит* образует кристаллы длиннопризматического габитуса, гнездовидные зернистые скопления, редко малоомощные прожилки мощностью до 0,5 см (рис.7.Б., рис.8.). Минерал имеет коричневаточерный до буровато-коричневого цвет; смоляной, тусклый блеск. Часто минерал характеризуется ямчатой поверхностью. Браннерит повсеместно замещается полиминеральным агрегатом урансодержащего лейкоксена, в котором содержится от 3 до 16 % ванадия и до 2% хрома. Отмечаются частичные и полные псевдоморфозы лейкоксена по браннериту (рис.8.Б.). Урансодержащий лейкоксен представлен агрегатом светло-коричневого цвета, в котором сохраняется форма кристаллов уран-титанатов, а иногда и реликты браннерита. *Давидит* – сходный с браннеритом уранотитанат, также встречается в виде отдельных кристаллов, образует гнездовые обособления. Отражательная способность умеренная, составляет – 17,2 %. Давидит изотропен, характеризуется слабыми темно-коричневыми внутренними рефлексами. Минерал наблюдается в кубических кристаллах и в нехарактерных удлинённых формах. Давидит характеризуется сероваточерным цветом, металлическим блеском, большим по сравнению с браннеритом содержанием ванадия и железа. Микронзондовым анализом установлено содержания ванадия в давидите до 6 % (табл. 3.). Урановое оруденение является сопряженным и формируется позднее главного объема метасоматитов, но генетически, вероятно, связано с теми же гидротермальными растворами. Урановая минерализация выявлена только

в тех зонах, в которых наиболее полно и последовательно проявились все стадии метасоматического процесса.

В ассоциации с урановыми минералами часто наблюдается урансодержащий торит. В первую синрудную подстадию наряду с урановой минерализацией формируется сульфидная ассоциация: молибденит, пирит, халькопирит, галенит. *Молибденит* часто встречается на контакте с зернами уранинита и в сростаниях с ним. В большей мере молибденит характерен для рудопоявления Озерное, где наряду с урановой минерализацией является преобладающим минералом I-й синрудной подстадии рудно-метасоматического процесса. Форма минерала – пластинчатая, размером от 2 до 5 мм. Спецификой молибденита является высокое содержание селена (от 4 до 7 мас.%.). В минерале часто фиксируется мелкая вкрапленность клаусталлита, алтаита, мелонита. Для всех стадий рудно-метасоматического процесса характерно частое присутствие в метасоматитах пирита в кубических, октаэдрических кристалликах и в виде мелких зерен. *Галенит* представлен в виде мелкой точечной вкрапленности в крупных кристаллах браннерита. *Халькопирит*, как и молибденит содержит частую вкрапленность зерен мелонита. *Гематит* характерен для всех изученных Au-U рудопоявлений. Минерал представлен тонкодисперсной вкрапленностью в альбититах и альбитизированных породах, а также формирует микропрожилки и каймы вокруг урановых минералов. Гематит окрашивает альбититы и альбитизированные породы в розовый до мясо-красного цвет (рис. 4.А.). Вкрапленность мелких зерен апатита, циркона, ксенотима, монацита, торита (не более 1 %) развита на всех золото-урановых рудопоявлениях Куолаярвинской структуры.

Более поздней по отношению к урановой минерализации является *селенидно-теллуридно-благороднометалльная* минерализация, предположительно связанная с формированием анкерита II-й синрудной подстадии (табл.4.). *Самородное золото* в минеральной форме было выявлено только на рудопоявлении Озерное (табл. 5.). Золото наблюдается в виде микровыделений размером 0,025-0,03 мм в ассоциации с теллуридами и селенидами в анкеритовых прожилках в альбит-карбонатных метасоматитах (рис. 9.А.). Микровыделения золота обнаружены изолированно в анкерите и в сростании с клаусталлитом, алтаитом, мелонитом, в трещинном пространстве в уранините (рис.9.Б.), в молибдените (Калинин А.А., 2015, Афанасьева Е.Н.). По химическому составу золото – высокопробное, среднее содержание золота составляет

93,4 мас. % (табл. 5.). Подобное высокопробное золото установлено на месторождении Майское. Локализация золота в трещинном пространстве в уранините позволяет обоснованно относить золото к более поздней по сравнению с уранинитом ассоциации. Поскольку часто в трещинках в уранините развивается анкерит, а золото с Se-Te-ассоциацией локализуется в анкерите и изолированно в трещинном пространстве в уранините, можно предполагать связь данной ассоциации с образованием анкерита. Первое самородное золото в минеральной форме в мелонитовой прожилке было обнаружено Калининым А.А. в карбонатном метасоматите рудопоявления Озерное. В карбонатных метасоматитах единую ассоциацию с золотом составляет селенидно-теллуридная минерализация: мелонит, клаусталит, алтаит, скиппенит, кавачулит, фробергит, богдановичит, маттагамит (Калинин А.А., 2012). Многочисленные микровыделения сульфоселенидов никеля, кобальта, меди и железа были выявлены в метасоматитах рудопоявления Озерное.

Гипергенная минерализация. Минералы гипергенного происхождения образуются по ураниниту, пириту, халькопириту и галениту разных стадий метасоматического процесса. При окислении галенита образуются церуссит, англезит и ванадинит, по урановым минералам развивается тюямунит, по ураниниту – болтвудит. Порошковидный халькозин и делафоссит в почковидных агрегатах, корках и сферолитах формируются за счет халькопирита. По пириту развивается лимонит.

На основании комплексного минералого-петрографического анализа метасоматических образований Куолаярвинской структуры и обобщения материалов предшественников выделено два типа рудной минерализации: молибден-урановая в альбит-карбонатных метасоматитах, и селенидно-теллуридно-благороднометаллическая в анкеритовых прожилках. Оба типа оруденения зафиксированы изолированно и совместно, с развитием Se-Te-Au минерализации в трещинках по ураниниту и молибдениту.

Третье защищаемое положение. Широкое развитие альбитизации в пределах разломных зон Куолаярвинской, Онежской, Куусамо и Перапохия структур, проявление скаполитизации в карбонат-альбитовых метасоматитах и повышенное содержание хлора в биотите, актинолите, уранините и апатите указывают на важную роль древних эвапоритовых толщ в золото-урановом рудогенезе.

Раннепротерозойские зеленокаменные пояса Куусамо и Перапохиа расположены в обрамлении Центрально-Лапландского гранитоидного батолита и отделены от Куоляярвинской структуры государственной границей России и Финляндии (рис.2.). При сопоставлении структур обнаруживаются общие черты геологического строения: рифтогенная природа прогибов, сходное терригенно-карбонатное выполнение значительной мощности, присутствие в разрезе вулканогенных образований, специфических углеродистых толщ и эвапоритовой формации, установленное (Онежская депрессия) и предполагаемое (Куоляярвинская, Куусамо, Перапохиа структуры). Куоляярвинская, Онежская, Перапохиа, Куусамо структуры вмещают рудные объекты с комплексным характером оруденения (табл.6.). Рудные пояса в пределах финской территории вмещают Fe-Co-Au-U и Fe-Co-Au (пояс Куусамо) и Au-U (пояс Перапохиа) месторождения. В Онежской депрессии известны уникальные месторождения Падминской группы (U, V, Pt, Pd, Au, Ag, Se), в Куоляярвинском прогибе – многочисленные урановые и урановые с золотом рудопроявления. Для данных рудных объектов помимо сквозных металлов Au и U характерен повторяющийся комплекс сопутствующих рудных компонентов (Fe, Co, Cu, W, Mo, Pb, Te, Bi, As, S, V, Cr, Mo). Месторождения золота северной Финляндии, Норвегии и Швеции являются преимущественно эпигенетическими, мезотермальными. По результатам изучения изотопов свинца их формирование связывается с орогеническими событиями возрастом 1,86–1,81 млрд. лет либо с посторогенными – 1,8–1,77 млрд. лет (Vanhanen E., 2001). Значительное влияние при формировании комплексных Au-U рудных объектов в структурах как финской, так и российской части территории оказывают глубинные разломы, выступающие в качестве каналов при транспортировке рудоносного флюида с последующим осаждением металлов на геохимических барьерах различной природы. Для Куоляярвинской, Онежской, Куусамо, Перапохиа структур характерно полистадийное метасоматическое преобразование вмещающих комплексное оруденение пород с проявлением рудоподготавливающей альбитизации. Специфична многоэтапная альбитизация в пределах пояса Куусамо, начиная с периода диагенеза до свекофеннской орогении (Vanhanen E., 1998). Поздняя альбитизация сопровождалась скаполитизацией в сдвиговых зонах. Согласно Е. Ванханену, источником хлора и натрия в гидротермальных флюидах, приводящих к альбитизации и скаполитизации, являются ятулийские эвапориты (Pankka H., 2007,

Vanhanen E., 1998). Состав скаполита, включающий от 2,2 мас.% Cl и 6,3 мас.% - Na₂O, позволяет отнести его к мариалиту.

В результате бурения Онежской параметрической скважины на гранитоидах архейского фундамента был установлен полный разрез эвапоритовой формации ятулийского надгоризонта (Melezhik V.A., 2013). Ятулийские толщи пород в пределах пояса Куолаярвинской структуры включают переслаивание доломитов и известняков; в поясе Куусамо - доломиты, доломитсодержащие кварциты и строматолитовые доломиты, которые Е. Ванханен интерпретировал как метаморфизованные эвапоритовые осадки (Vanhanen E., 2001). В разрезе пояса Перапохиа также в отдельных работах описываются метаэвапоритовые породы (Kyle J.R., 1991). Большинство современных и древних отложений, являющихся производными эвапоритов, обогащены серой и группой металлов, включая Fe, Cu, Co, Pb, Zn, U, W, Ag и Au (Kyle J.R., 1991, Vanhanen E., 1992). Ряд зарубежных исследователей предполагают, что нижние осадочные толщи в поясе Куусамо были обогащены большинством вышеперечисленных элементов, которые также находят отражение в комплексном оруденении (Pankka H., 2007, Vanhanen E., 1998).

Альбитизация в пределах Куолаярвинской структуры проявлена вдоль субмеридионального Нилуттиярвинского разлома. В контуре альбитизированных пород локализованы все известные на площади золото-урановые рудопроявления. Альбитизация выступает в качестве важного рудопредгатавливающего процесса с последующим проявлением карбонатизации. В щелочных метасоматитах на участке рудопроявления Озерное, а также в карбонат-альбитовых метасоматитах, вскрытых скважинами № 3, № 4 на участке оз. Вуоснаярви (в 2 км западнее рудопоявления Алакурти, Алим-Курсуярви) впервые было выявлено проявление процессов скаполитизации. Микрорентгеноспектральным анализом в минералах метасоматитов были установлены повышенные содержания хлора, в биотите, уранините, апатите (от 0,01-0,1 до 1 мас.%).

На основании обобщения материалов предшествующих работ из российских и зарубежных источников, изучения минералого-геохимических особенностей Au-U объектов, сравнительного анализа на вещественном и структурном уровнях Куолаярвинского и Онежского прогибов, поясов Куусамо и Перапохиа было сделано предположение о наличии в разрезе Куолаярвинской структуры эвапоритовой толщи пород и их потенциальном вовлечении в рудно-метасоматический процесс.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённых исследований дана комплексная минералого-петрографическая и геолого-структурная характеристика золото-урановых рудопроявлений Куолаярвинской структуры. Особый акцент сделан на сравнительной характеристике золото-урановых рудных объектов России и Финляндии. Показано, что Куолаярвинская структура входит в состав Куусамо-Панаярвинского рудного района, который представляет собой сложно построенную структурно-металлогеническую зону. Специфической особенностью территории является значительная длительность ее геологического развития и многоэтапность проявления тектонических, магматических, метаморфических и гидротермально-метасоматических процессов.

Пространственное размещение золото-урановых объектов контролируется зонами пересечений крупного субмеридионального Нилуттиярвинского разлома с разрывными нарушениями северо-восточного и субширотного простираний, зонами складчатых и складчато-разрывных дислокаций. Золото-урановое оруденение связано с единым этапом развития многостадийного карбонатно-щелочного метасоматоза, проявившегося в две главные стадии: 1) стадия натрового метасоматоза с формированием дорудных альбититов, 2) стадия железисто-магнезиального метасоматоза, включающая альбит-хлоритовые и альбит-карбонатные метасоматиты с поздними анкеритовыми метасоматитами и прожилками выполнения, а также кварц-светлослюдистые изменения, свидетельствующие об эволюции флюида от железисто-магнезиального к калиевому.

Выделено два типа рудной минерализации: молибден-урановая в зонах катаклаза и брекчирования по альбит-карбонатным метасоматитам; селенидно-теллуридно-благороднометалльная в связи с наложенными на ранние метасоматиты анкеритовыми прожилками. Выявлено развитие поздней кварц-светлослюдистой ассоциации в метасоматических зонах на рудопроявлениях Кварцевое и Алим-Курсуярви, которые аналогично Fe-Co-Au-U месторождениям Финляндии в кварц-серицитовых метасоматитах могут быть продуктивны на золото.

Уточнены и конкретизированы закономерности размещения золото-урановой минерализации в пределах Куолаярвинской структуры. Выявлена взаимосвязь селенидно-теллуридно-золоторудной ассоциации с

анкеритом и ее наложенный характер относительно молибден-урановой минерализации.

Проведен сравнительный анализ Куоляярвинской структуры с геологическими и металлогеническими особенностями сопредельных поясов Куусамо и Перапохиа, а также Онежского прогиба. Куоляярвинский прогиб является промежуточным звеном между крупными поясами Куусамо и Перапохиа на северо-западе и Онежской депрессией на юго-востоке. Обосновано предположение о возможности существования эвапоритов в пределах Куоляярвинской структуры в ятулийское время и об их существенной роли в золото-урановом рудогенезе. Эвапоритовая модель образования комплексных (Fe, Co, Au, U) месторождений пояса Куусамо предложена финскими исследователями, а также освещена в зарубежной литературе для мировых объектов этого типа (Barton M., Eilu P., Pankka H., Vanhanen E.). В Онежской структуре посредством бурения была установлена галит-ангидрит-магнезитовая толща ятулийского времени (Melezhic V.A.). В Куоляярвинской структуре были выявлены следующие минералогеохимические признаки наличия древних эвапоритов: развитие масштабной альбитизации в зоне влияния крупного Нилуттиярвинского разлома с последующим проявлением более локальной карбонатизации и скаполитизации; содержание в биотите, уранините, апатите хлора от 0,01-0,1 до 1 мас.%; сходный со структурами Онежская, Куусамо и Перапохиа разрез. Уникальным маркером людикийского времени этих четырех структур является черносланцевая формация. Геохимический спектр черносланцевых толщ (U, Mo, Se, V, Ni, Zn, As, Co, Cu, Au, Pt, Pd) находит свое отражение в комплексных (Fe, Co, Au, U) месторождениях пояса Куусамо, Онежского прогиба и Au-U рудопроявлениях Куоляярвинской структуры. Потенциально Cl- и Na-содержащие флюиды, связанные с вовлечением эвапоритовой толщи в эндогенные процессы на завершающем этапе свекофенской орогении, способствовали проявлению альбитизации, карбонатизации, скаполитизации в тектонических зонах, мобилизации и миграции рудных компонентов.

Практическое значение полученных результатов исследования заключается в том, что выявленная закономерная связь золото-уранового оруденения с определенными типами более широко проявленных метасоматитов может способствовать повышению эффективности геолого-поисковых и геологоразведочных работ на рудное золото в пределах Куоляярвинской структуры.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России

1. **Колядина А.И.** Урановая минерализация в эйситах рудопроявлений Лагерное и Озерное (Северная Карелия) / А.И. Колядина // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск. – 2017. – Т.40. – № 1. – С. 83-96.

2. **Колядина А.И.** «Особенности размещения золото-уранового оруденения Куола-Панаярвинской площади» (Северная Карелия) / А.И. Колядина // Естественные и технические науки. – Москва. – 2016. – № 12. – С. 49-52.

3. **Колядина А.И.** Золото-сульфидная минерализация кварцевых жил месторождения Майское / А.И. Колядина // Естественные и технические науки. – Москва. – 2016. – № 11. – С. 71-75.

В других изданиях

4. **Kolyadina A.I.** Promising of Kuola-Panayarvinskaya area gold mineralization (North Karelia) / A.I. Kolyadina // Scientific Reportson Resource Issues. – Freiberg. – 2015. – V.1. – P. 43-46.

Колядина А.И. Перспективы золотоносности в пределах Куола-Панаярвинской площади (Северная Карелия) / А.И. Колядина // Scientific Reportson Resource Issues. – Freiberg.-2015. – Т.1. – С. 43-46.

5. **Колядина А.И.** Ураноносные эйситы рудопроявлений Лагерное и Озерное (Северная Карелия) / А.И. Колядина // Сборник материалов VI Российской молодежной научно-практической школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования». - М.- ИГЕМ РАН, - 2016. – С. 144-145.

6. **Колядина А.И.** Сравнительный анализ золото-уранового оруденения палеопротерозойских зеленокаменных структур на примере Лапландского пояса, пояса Куусамо, пояса Перапохиа, Куолаярвинского и Онежского прогибов / А.И. Колядина // Материалы научной конференции «Геодинамика раннего докембрия: сходство и различия с фанерозоем». – Петрозаводск. – Кар НЦ РАН, – 2017. – С. 131-134.

7. **Колядина А. И.** Минералого-петрографические особенности рудоносных метасоматитов Куолаярвинской структуры (СЗ Карелии, ЮЗ Мурманской области) / А.И. Колядина // Сборник материалов VII Российской молодежной научно-практической школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования». – М: ИГЕМ РАН, – 2017. – С. 160-164.

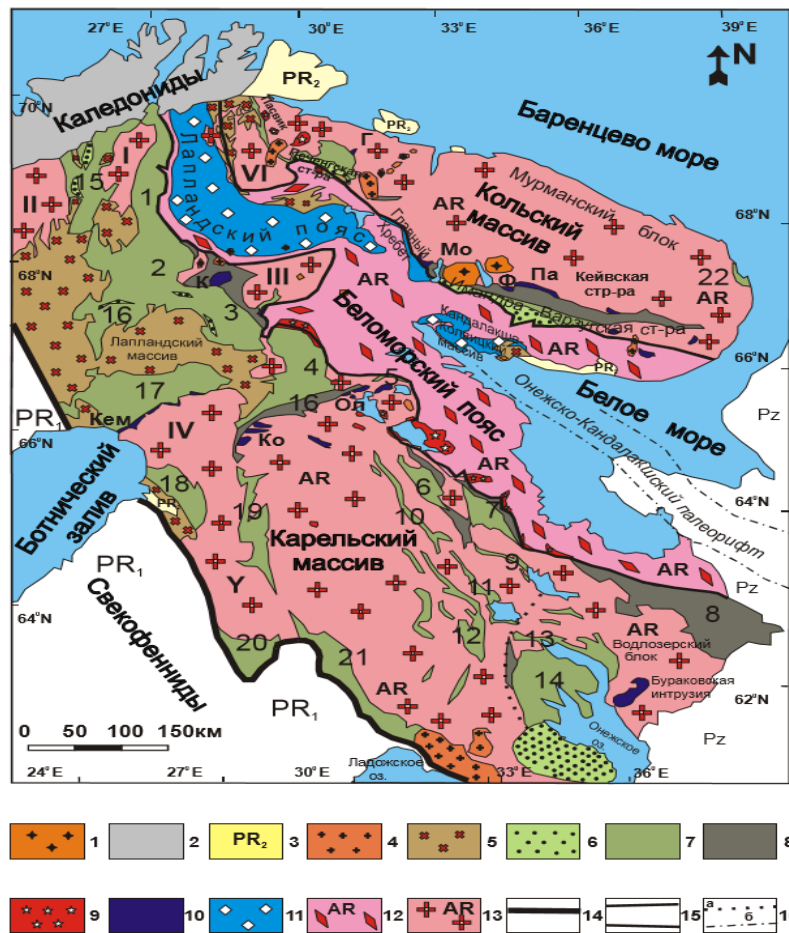


Рис. 1. Схема расположения зеленокаменных поясов раннего протерозоя России и Финляндии (Терехов Е.Н., 2007, Щеглов А.Д., Москалева В.Н., 1993). 1 – девонские интрузии, 2 – каледониды, 3 рифейский чехол, 4 – постскладчатые и анорогенные интрузии (1,8-1,55 млрд.лет), 5 – синскладчатые гранитоиды (1,9-1,8 млрд.лет), 6-8 – карельский комплекс: 6 – калевий, 7 – ятулий-сарнилий, 8 – сумий, 9 – доскладчатые граниты (2,5-2,4 млрд.лет), 10 – расслоенные интрузии, 11 – гранулиты Лапландского пояса (2,6-1,8 млрд. лет), 12 – мигматит-амфиболитовый комплекс Беломорского пояса (3,0-1,8 млрд.лет), 13 – гранито-гнейсы и зеленокаменные пояса (нерасчлененные) архейского докарельского фундамента, 14 – граница свекофенской и Карело-Кольской геотектонических провинций – контур провинций, 15 – контур Лапландско - Беломорского подвижного пояса, 16 – границы: а – древнейшего блока земной коры (Водлозерского), б – Онежско-Кандалашского палеорифта. Архей: I – Яргул, II – Кируна, III – Савуоски, IV – Подосярви, V – Иисалми, VI – Инари. Рифтогенные структуры: 1- Карасйок, 2 – Киттиля, 3 – Салла, 4 – Пана-Куоляярвинская, 5 – Кукаозерская, 6 – Шомбозерская, 7 – Лехтинская, 8 – Ветреный Пояс, 9 – Выгозерский, 10 – Чирко-Кеми, 11 – Сегозерская, 12 – Селецкая, 13 – Медвежьегорская, 14 – Онежская, 15 – Каутокейна, 16 – Куусамо, 17 – Перапохиа, 18 – Похинмаа, 19 – Кайнуу, 20 – Саво, 21 – Янис-Ярвинская, 22 – Усть-Понойская. Расслоенные массивы: Г – горы Генеральской, Мо – Мончегорский, Ф – Федоровский, Па – Панский, Ол – Олаганский группы, К – Койтелайнен, Ко – группа Койлисмая, Кем – группа Кемпи.

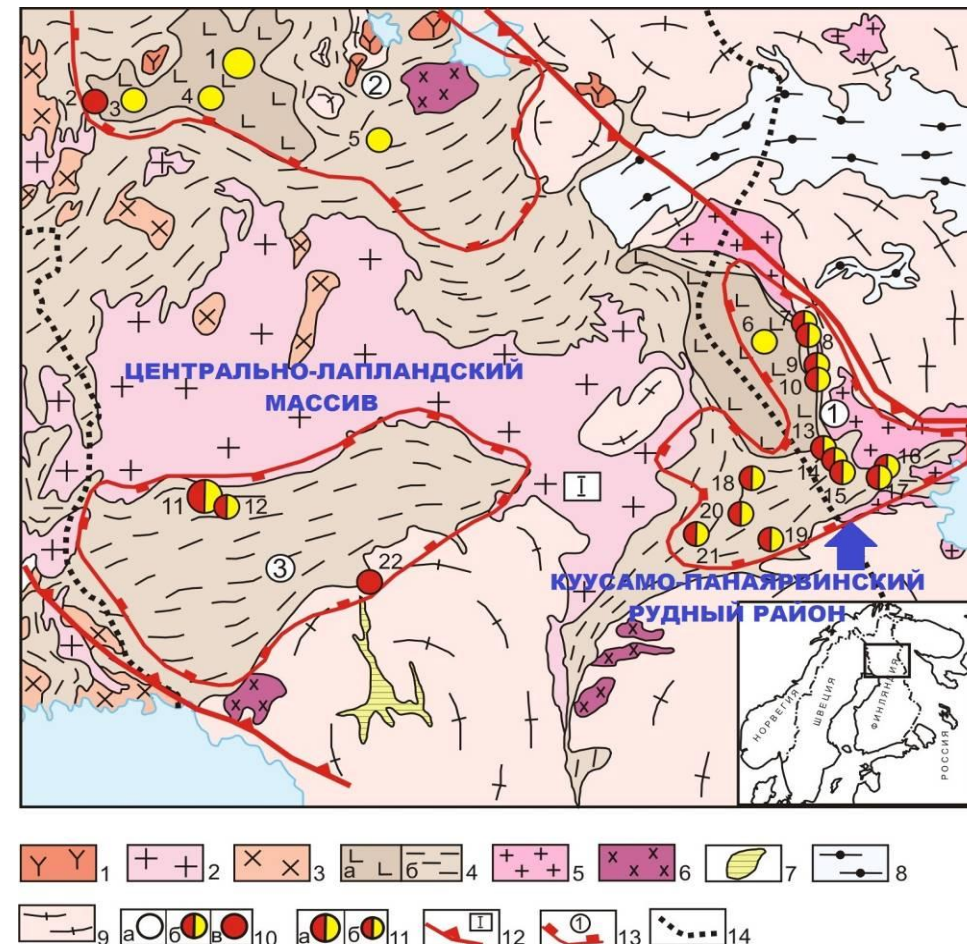


Рис. 2. Положение Куусамо-Панаярвинского рудного района в региональных структурах (Афанасьева Е.Н., 2016) : 1-4 – ранний протерозой: 1 – граниты, гранодиориты, кварцевые монциты, 2 – граниты, пегматиты, 3 – гранодиориты, тоналиты, граниты, монциты, 4 – толеитовые базальты, риолиты, кремнистые сланцы, прослои железистых кварцитов (а), черные сланцы, грауваки, кварциты, песчаники, аркозовые песчаники, конгломераты, гравелиты (б); 5-9 – архей: 5 – граниты, пегматиты, 6 – граниты, гранодиориты, кварцевые диориты, 7 – коматиты, базальты, андезиты, 8 – слюдяные сланцы и гнейсы, амфиболовые гнейсы, амфиболиты, 9 – тоналиты, трондьемиты, гранодиориты; 10, 11 – рудные объекты: 10 – месторождения и рудопроявления золота (а), золота и урана (б), урана (с), 11 – крупные месторождения (а), мелкие месторождения и рудопроявления (б); 12, 13 – металлогеническое районирование: 12 – Восточно-Карельская структурно-металлогеническая зона, 13 – рудные районы: 1 – Куусамо-Панаярвинский (Au, U), 2 – Киттелля-Сиркку (Au), 3 – Кеми-Торнио (Au, U, Cu); 14 – государственная граница. Рудные объекты: 1 – Суурикуусикко; 2 – Пахтавуома; 3 – Саатапора; 4, 5 – Пахтаваара; 6 – Майское; 7 – Алим-Курсуярви; 8 – Алакурти; 9 – Озерное; 10 – Лагерное; 11 – Ромпас; 12 – Палокас; 13 – Альбит; 14 – Хейкинярви; 15 – Мянтуйоки; 16 – Ляппеля; 17 – Корпела; 18 – Сувалаппи; 19 – Юомасуо; 20 – Конттиахо; 21 – Коуверваара; 22 – Кухонки.

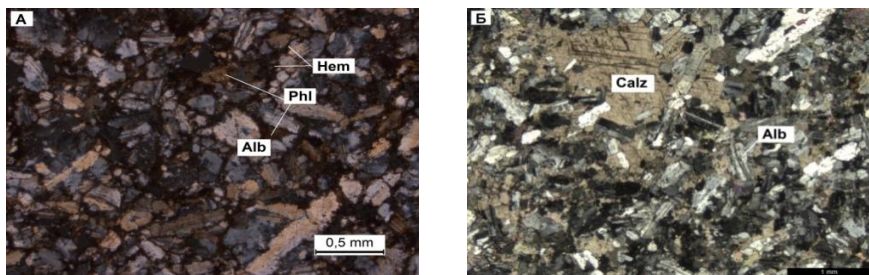


Рис.3. А. Альбитит по долериту с сохранением микродолеритовой структуры. Ш.161.2. Б. Карбонат-альбитовый метасоматит. Рудопроявление Озерное. Ш.5020/7. Снимки шлифов в поляризованном проходящем свете с анализатором.

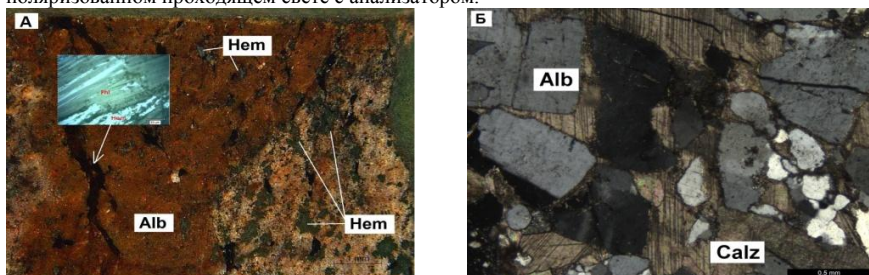


Рис. 4. А. Альбитит с развитием наложенного флогопита и актинолита. Ан.11. Рудопроявление Лагерное. Макроснимок с наложением фото-фрагмента аншлифа в отраженном свете. Б. Альбит-карбонатная брекчия с кальцитовым кристаллическим цементом. Рудопроявление Лагерное. Ш.4848/3. Фото шлифа в поляризованном проходящем свете с анализатором.

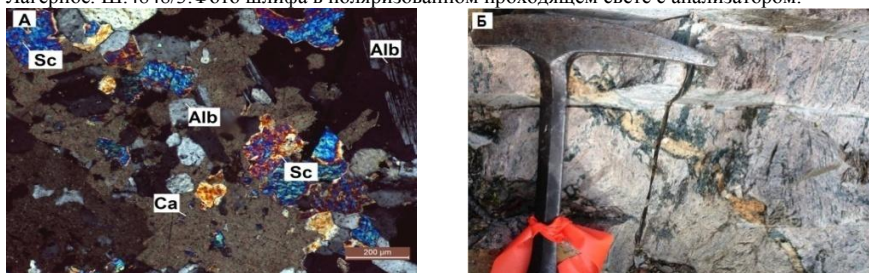


Рис.5. А. Кварц-карбонат-альбитовый метасоматит со скаполитом. Развитие скаполита по кальциту и альбиту. Скв. № 5. Ш.5/111,0. С анализатором. Б. Кальцитовый прожилок с актинолитовой оторочкой, секущий тело альбитита. Зона вскрыта канавой предшественников на рудопроявлении Лагерное (2015 г.).

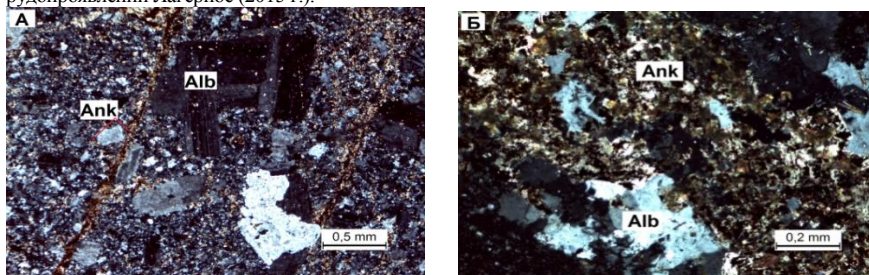


Рис.6. А. Развитие анкеритовых прожилков и анкерита по массе в альбитите. Скв. № 4, Ш. 4/28,4. Б. Анкеритизация альбитита. Скв. № 3. Ш. 3/127,7. С анализатором.

Химические составы минералов (мас. %) по данным микрорентгеноспектрального анализа

Таблица 1.

Минерал	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	FeO	MgO	TiO ₂	V ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Cl	Сумма
биотит	37,43	13,98	1,4	7,35		10,15	8,95	1,59	0,26	1,2	0,1	82,3
биотит	38,81	14,63		10,29		14,17	12,47	1,69	0,36		0,15	92,43
биотит	40,12	15,26		10,22		12,79	13,79	2,28	0,58	0,27	0,18	95,3
биотит	39,42	15,94		10,71		16,73	15,26	1,86	0,8			100,72
флогопит	43,43	19,25		7,02		12,51	15,62	0,77	1,44			100,17
альбит I	68,17	20,86	10,11		0,86							100
альбит I	68,46	20,12	11,17		0,25							100
альбит II	65,63	20,18	13,3		0,24	0,65						100
хлорит	29,34	15,27			0,54	39,15	29,34					88,28
хлорит	27	20,15				20,42	23,05					90,62
актинолит	56,31	2,02	1,33		12,38	8,42	15,83	0,25	0,42			96,96
актинолит	57,99	2,09			13,39	9,57	15,96		0,39			99,39
актинолит	57,44	1,81			12,65	9,03	16		0,58			98,5

Химические составы карбонатов (мас. %) по данным микрорентгеноспектрального анализа

Таблица 2.

Минерал	SiO ₂	CaO	FeO	MgO	MnO	CO ₂	P ₂ O ₅	S	Сумма
кальцит I	0,56	50,82	0,98	0,94	0,25	46,05	0,41		100
кальцит I		58,57			2,74	34,17		0,29	98,12
кальцит I		56,88	0,98		0,63	41,51			100
кальцит II		42,11	4,83	1,11		51,61		0,2	100
анкерит		31,48	31,08			37,44			100
доломит		29,35	4,53	16,76	0,45	48,91			100
доломит		28,22		17,35		54,43			100
доломит		25,83	15,76	25,83	8,24	50,17			100

Химические составы урановой минерализации (мас. %) по данным микрорентгеноспектрального анализа

Таблица 3.

Минерал	UO ₂	SiO ₂	TiO ₂	FeO	CaO	PbO	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Cl	Сумма
уранинит	69,03					23,59			0,1	92,72
уранинит	71,37				0,91	21,40			0,3	93,71
настуран	64,10					18,21				82,31
браннерит	47,62	4,59	40,04	3,33	1,49	1,35	1,58			52,38
браннерит	65,03	6,44	20,58	3,22		2,08	2,65			100,00
браннерит	45,53		43,03	4,75	3,01	1,98	1,72			100,00
давидит	3,23		66,98	22,59			6,52			99,32
лейкоксен	9,84	2,58	48,46	14,59	0,68	3,56	3,72	0,62		84,05
лейкоксен	1,80	2,15	51,22	16,29	0,98	4,16		0,63		77,22
лейкоксен	12,63	0,84	48,98	13,58	0,72	2,15	21,11			100,00
лейкоксен	9,70	-	46,78	22,22	0,48	2,49	16,29	2,04		100,00
лейкоксен	10,19		47,77	19,08	0,61	3,69	15,98	2,70		100,00
тюямунит	69,00	0,73	0,55	1,16	5,14		21,10			100,16
казолит	42,42	4,2				36,06				90,44

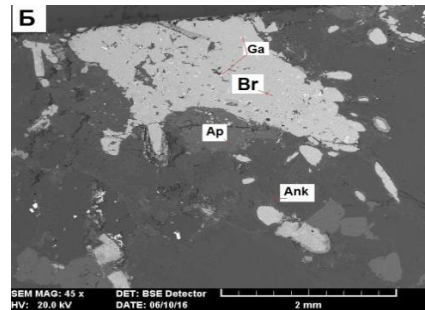
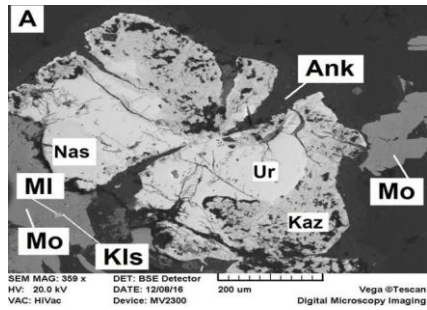


Рис. 7. А. Зональный кристалл уранинита, замещающийся настураном. По периферийной зоне зерна развивается казолит. В левой части поля зрения – молибденит с включениями мелонита и клаусталита. Ан. 24. Б. Призматические кристаллы и ксеноморфные выделения браннерита в альбит-карбонатном метасоматите. Рудопоявление Озерное. Ан. 7725/12 (препарат предоставлен Афанасьевой Е. Н. ФГБУ «ВСЕГЕИ»). Снимки в обратно-рассеянных электронах.

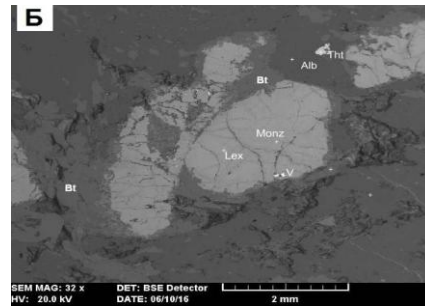
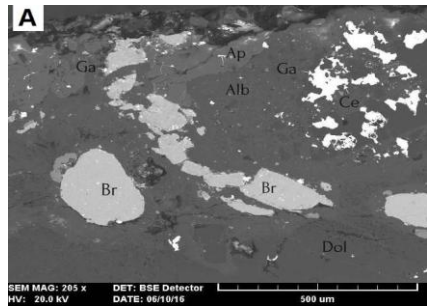


Рис. 8. А. Призматические кристаллы и ксеноморфные выделения браннерита в альбит-карбонатном метасоматите. Рудопоявление Озерное. Ан. 7725/12. Б. Развитие урансодержащего лейкоксена по браннериту в слюисто-карбонат-альбитовом метасоматите. Лагерное. Ан. 7720/9 (препараты предоставлены Афанасьевой Е. Н., ФГБУ «ВСЕГЕИ»). Снимки в обратно-рассеянных электронах.

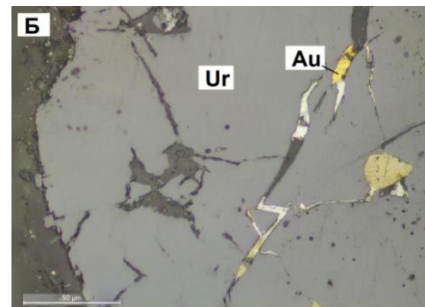
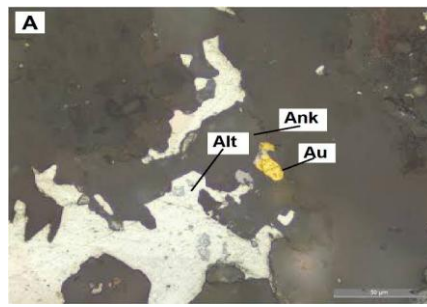


Рис. 9. А. Золото и алтаит в анкерите. Озерное. Б. Золото и алтаит в трещинном пространстве в уранините. Рудопоявление Озерное (по результатам работ ФГБУ «ВСЕГЕИ» в 2016-2017 гг.). Снимки в отраженном свете.

Таблица 4.

Au-U рудопоявления	Озерное		Алим-Курсуярви, Алакурти		уч. Вуоснаярви (Скв. № 3, № 4, № 5)	
Вмещающие комплексы	биотит-кварц-актинолитовые, актинолит-плагноклазовые сланцы, габбродолериты		габбродолериты, амфиболовые сланцы, углеродсодержащие сланцы		актинолит- плагноклазовые сланцы, габбродолериты	
Минеральные ассоциации	рудная ассоциация	жильная ассоциация	рудная ассоциация	жильная ассоциация	рудная ассоциация	жильная ассоциация
Дорудная (альбититовая) Na	магнетит, ильменит, пирит I, гематит	альбит I, альбит II, биотит, флогопит, кальцит I, кварц I, хлорит I	магнетит, пирит, ильменит	альбит I, кварц I, кальцит I, кварц II, актинолит, биотит, хлорит I, флогопит	пирит I, магнетит	альбит I, альбит II, кальцит I, биотит, хлорит I, кварц I
Синрудная стадия I Подстадия (альбит- карбонатных и альбит- хлоритовых метасоматитов карбонатных жил) Mg-Fe (V)	уранинит, настуран, браннерит, молибденит, галенит, халькопирит, пирит I, гематит, циркон, торит, буланжерит	альбит III, кальцит II, доломит, хлорит II, актинолит, апатит, ксенотим, монацит	уранинит, браннерит, торит, пирит I, гематит, ксенотим, монацит	альбит III, кальцит II, доломит, хлорит II, актинолит, монацит	пирит I	кальцит II, доломит, хлорит II, актинолит,
II подстадия анкеритизация Fe	алтаит, мелонит, клаусталит, скиппенит, фробергит, гессит, золото	анкерит, кварц II, гидрослюда		серицит, кварц II, анкерит	гематит	анкерит
III подстадия кварцевых жил	халькопирит II, пирит II, (Au)	кварц II		кварц II		
Гипергенные преобразования	церуссит, халькозин, ванадинит, тюямунит, делафоссит, англезит, халькозин					

Химические составы Se-Te-Au ассоциации (мас. %) по данным микрорентгеноспектрального анализа

Таблица 5.

Минерал	Au	Ag	S	Pb	Se	Ni	Te	Fe	Co	Сумма
золото	96,04	6,56								99,60
золото	92,43	7,08								99,51
золото	94,79	5,21								100
гессит		62,8					37,19			100
клаусталит			11,17	84,84	3,99					100
клаусталит			9,16	83,88	6,98					100
мелонит			0,3		8,59	19,21	71,88			100
мелонит					7,18	18,36	72,73	0,51	1,22	100

Сравнительный анализ комплексного золото-уранового оруденения Онежской, Куолярвинской, Перапохиа, Куусамо структур

Таблица 6.

Признаки сравнения	Онежская структура	Куолярвинская структура	Структура Куусамо	Структура Перапохиа
	Россия		Финляндия	
Тип региональных геологических структур	синклиновый – вулканогенно-тектоническая депрессия			
Вмещающие комплексы	углеродистые сланцы и алевролиты, доломиты, габбродолериты	биотит-актинолит-плагиоклазовые сланцы, углеродистые сланцы, доломиты, долериты, гранитоиды	серицитовые кварциты, сланцы, доломиты, углеродсодержащие сланцы	карбонат-кварцевые жилы, карбонатные породы, черные и слюдяные сланцы, метабазальты
Рудоконтролирующие структуры	складчато-разрывные дислокации разломных зон	зоны пересечения крупного Нилуттиярвинского разлома оперяющимися разломами северо-восточного простирания	сдвиговые зоны, зоны брекчирования, антиклинали СВ простирания, зоны пересечений антиклиналей разломами	разломные и сдвиговые зоны, секущие антиклинальные структуры
Тип месторождения (проявления)	метасоматический (U, V, Au, Pt, Pd МР Падминской группы: Средняя Падма, Космозеро)	метасоматический (Au-U рудопоявления Лагерное, Озерное и другие)	метасоматический (Fe-Co-Au-U МР типа Юомасуо, Контиаххо)	жильный (группа Au-U МР Ромпас, Паяпалот)
Связь с магматизмом	Не установлена габбродолериты, диориты, лейкогаббро койкарского комплекса	Не установлена дайки габбро, перидотитов куолярвинского комплекса; тела гранитоидов SV возраста – 1,74 лет (Житникова И.А.2017)	Предполагаемая лейкогаббро, гонблендиты; граниты, лейкограниты SV возраста	Предполагаемая дайки габбро и перидотитов позднеорогенные и посторогенные граниты SV возраста
Метаморфические преобразования	региональный метаморфизм зеленосланцевой фации	региональный метаморфизм от зеленосланцевой до амфиболитовой фации	региональный метаморфизм амфиболитовой фации; регрессивный метаморфизм зеленосланцевой фации	региональный метаморфизм зеленосланцевой фации на юге до амфиболитовой - на севере
Метасоматические преобразования	полистадийный щелочной метасоматоз: 1) дорудная альбитизация, 2) рудные эгирин-альбитовые метасоматиты (U), 3) рудные карбонат-слюдистые метасоматиты и слюдиты (V, U, Au, Pt, Pd)	полистадийный от щелочного к Mg-Fe-метасоматозу: 1) дорудная альбитизация, 2) синрудные альбит-карбонатные метасоматиты (Mo-U); анкерит в прожилках выполнения (Se-Te-Au); серицитизация; 3) кварцевые жилы (Au)	полистадийный от Mg-Fe к K-метасоматозу: 1) региональная альбитизация, 2) карбонатизация, 3) биотитизация, 4) хлоритизация (Co-Au-U), 5) серицитизация (U, Au-Te-Se), окварцевание	1) региональная альбитизация, 2) карбонатизация, 3) биотитизация, 4) хлоритизация 5) образование асфальтенов
Типоморфные минералы оруденения	роскоэлит, уранинит, браннерит, давидит, коффинит, настуран, карнотит, клаусталит, самородное золото, молибденит, селениды, сульфоселениды, селеносульфиды и сульфиды Ag, Bi, Pb, Си, Fe, Bi	уранинит, браннерит, давидит, самородное золото, мелонит (NiTe2), клаусталит (PbSe), алтаит (PbTe), кавацулит (Bi2Te2Se), фробергит (FeTe2), богдановичит (AgBiSe2), маттагамит (CoTe2)	пирротин, пирит, магнетит, кобальтин, Со-пентландит, халькопирит, уранинит, ильменит, золото, рутил, теллуриды, висмутиды, молибденит	уранинит, золото, хунчунит, галенит, алтаит и никелин, мальдонит, молибденит, кобальтин, пирротин, пентландит, пирит и халькопирит
Типоморфные жильные минералы	альбит, рибекит, доломит, эгирин, роскоэлит, хромфенгит, доломит	альбит, кальцит, биотит, флогопит, актинолит, хлорит анкерит, кварц, серицит	кварц, альбит, серицит, кальцит, доломит, хлорит, биотит, актинолит, шеелит	кальцит, кварц, альбит, биотит, шеелит
Возраст рудоносных метасоматитов	1,8-1,6 млрд. лет (Калинин А.А., 2013, Шмураева Л.Я., 1990, Vanhanen E., 2001, Ward P., Harkonen I., Nurmi P.A., Pankka H.S., 1989).			