

На правах рукописи

ДМИТРИЕВА Антонина Васильевна



**МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ
НЕОАРХЕЙСКОГО УМЕРЕННОЩЕЛОЧНОГО
МАГМАТИЗМА ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАРЕЛИИ**

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

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург – 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии Карельского научного центра Российской академии наук.

Научный руководитель:

кандидат геолого-минералогических наук, доцент

Кулешевич Людмила Владимировна

Официальные оппоненты:

Волков Александр Владимирович

доктор геолого-минералогических наук, ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии», лаборатория геологии рудных месторождений полезных ископаемых, заведующий лабораторией

Чекулаев Валерий Петрович

доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Институт геологии и геохронологии РАН», лаборатория геологии и геодинамики, главный научный сотрудник

Ведущая организация – ФГБУН «Геологический институт Кольского научного центра РАН»

Защита диссертации состоится 26 апреля 2017 года в 16 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. № 1171а.

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

Автореферат разослан 22 февраля 2017 года.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КИРЬЯКОВА
Ирина Геннадьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Неоархейские высоко-Mg умереннощелочные породы, обогащенные как совместимыми, так и несовместимыми элементами, впервые были описаны на Канадском щите (Shirey, Hanson, 1984) и получили название «санукитоиды». В настоящее время они установлены на большинстве древних кратонов мира. К санукитоидам и их ореолам приурочены месторождения золота в Канаде (Wyman, Kerrich, 1988; Lin, Beakhouse, 2003, 2013; Naderi, 2013), Юго-Восточной Африке (Kwelwa et al., 2013), Западной Австралии (Mueller, 2007; Kirkland et al., 2015), Финляндии (Nurmi, Sorjonen-Ward, 1993) и др.

В Карелии впервые к санукитоидам был отнесен Панозерский массив (Чекулаев, 1999). Позднее выделению и петрологическому изучению санукитоидов Фенноскандинавского щита был посвящен ряд работ (Лобач-Жученко и др., 2005; Самсонов и др., 2004; Ларионова и др., 2007; Halla, 2005; Lobach-Zhuchenko et al., 2005; Heilimo et al., 2010-2013 и др.). Среди них установлены две разновозрастные группы: ~2.74 и ~2.72 млрд лет (Lobach-Zhuchenko et al., 2005). В Карелии выделено около 20 массивов санукитоидов, имеющих существенные отличия состава пород. С некоторыми из них известны мелкие месторождения и проявления золота, молибдена, полиметаллов (работы производственных организаций; Иващенко, Лавров, 1994; Кожевников и др., 1998; Кулешевич, Фурман, 2009 и др.). Несмотря на то, что санукитоиды Карелии рассматривались как потенциальные индикаторы золоторудной минерализации (Чекулаев и др., 2002; Лохов и др., 2008; Lobach-Zhuchenko et al., 2000), их изучение было направлено в основном на решение петрологических вопросов, определение возрастной позиции, условий метасоматоза мантии и реконструкцию геодинамических режимов. В связи с этим, возникла необходимость анализа разновозрастных массивов санукитоидов Центральной Карелии, для выявления сходства и различия их вещественного состава, геохимических особенностей и установления металлогенической специализации. Актуальность темы определяется возможностью прогнозирования рудной минерализации, связанной с массивами санукитоидов.

Объекты исследования: разновозрастные неоархейские (~2.74 млрд лет) массивы санукитоидов Центральной Карелии (рисунок 1): Сяргозерский и Шаравалампи, объединяемые в Сяргозерский комплекс

(Ондозерско-Сегозерская площадь), Эльмусский и Хаутаваарский (Ведлозерско-Сегозерский зеленокаменный пояс, ЗП). В сравнительном аспекте рассматриваются интрузивы Панозерский, Западно-Хижъярвинский, Чалка, Коруд и разные типы гранитоидов, развитые в пределах изучаемых площадей, а также более молодой санукитоидный массив Таловейс (~2.72 млрд лет), расположенный в северо-западной части Карелии, с которым связано одноименное месторождение золота.

Цель и задачи исследования. Целью работы является установление металлогенических особенностей неорархейских умереннощелочных массивов санукитоидной серии Центральной Карелии и их перспективности.

Для достижения цели исследования был поставлен и решен ряд задач: (1) изучение геологического строения массивов и особенностей их локализации; (2) петрографическая и петро-геохимическая характеристика различных интрузивных фаз; (3) выделение типов рудной минерализации, связанной с умереннощелочными санукитоидными комплексами, изучение рудных ассоциаций и околорудных изменений; (4) установление металлогенической специализации массивов санукитоидов и изучаемых территорий.

Фактический материал и методы исследования. В работе использованы полученные автором данные: химические (100) и ICP-MS (95) анализы пород, шлифы (76), аншлифы (85), монофракции, а также материалы, предоставленные В.Д. Слюсаревым, Л.В. Кулешевич и опубликованные в литературных источниках.

Содержание петрогенных, редких и редкоземельных элементов в породах определено силикатным и ICP-MS анализами (ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск), ЭПГ – пробирным анализом (ЦНИГРИ, г. Москва). Породообразующие и рудные минералы изучались на электронном микроскопе VEGA II LSH Tescan с ЭДС приставкой INCA Energy 350 (ИГ КарНЦ РАН, г. Петрозаводск). U-Pb возраст титанита определен классическим методом на многоколлекторном масс-спектрометре Triton TI (ИГГД РАН, г. Санкт-Петербург).

Личный вклад автора. В работе использованы геологические материалы, полученные автором в ходе полевых работ в рамках трех тем НИР Института геологии Карельского научного центра РАН № 189, 201 и 204 на Ондозерско-Сегозерской площади (2010-2011, 2013 гг.), Эльмусской (2012-2014 гг.) и Хаутаваарской (2012-2016 гг.) структурах Ведлозерско-Сегозерского ЗП в западном обрамлении Ведлозерского

блока. Было изучено более 200 шлифов (в том числе из коллекции коллег), получен большой массив данных химического состава пород, рудных зон и метасоматитов, исследованы породообразующие и рудные минералы, определен возраст Р-Тi-оруденения массива Шаравалампи. Проведен металлогенический анализ различных массивов Центральной Карелии.

Научная новизна и практическая значимость. Среди разновозрастных (~2.74 млрд лет) массивов, развитых в Центральной Карелии и отвечающих по составу санукитоидной серии, выделены две группы – *северная* и *южная*, имеющие принципиально разную геохимическую и, как следствие, металлогеническую специализацию, что необходимо учитывать при поисковых работах.

Впервые с использованием современных методов детально описаны рудные ассоциации различных магматических фаз, метасоматитов и зон оруденения умереннощелочных массивов Ондозерско-Сегозерской площади. Определен U-Pb возраст Р-Тi минерализации массива Шаравалампи. В пироксенит-сиенитовых интрузивах выделены комплексные REE, Ba, Sr проявления. Проведен сравнительный анализ пород санукитоидной серии с разновозрастными и более древними ТТГ-гранитами, развитыми на изучаемых территориях. В ранней фазе Хаутаваарского массива выделены габброиды. Показано зональное строение штокверка Центрального Хаутаваарского Au-Mo-S-проявления, дана детальная характеристика рудной минерализации и стадийности образования, определен состав золота. Установлено, что рудная нагрузка массивов санукитоидов зависит от состава и мощности коры, в которую они внедрялись.

Результаты исследования переданы и внедрены в производственно-геологические организации ООО «Онего-золото» (по Хаутаваарскому массиву), ООО «РМ-2013» (по массивам Эльмус и Шаравалампи).

Защищаемые положения:

1. *Неоархейские массивы санукитоидов Центральной Карелии разделяются на две группы – северную и южную. Массивы северной группы-I (Сяргозерский, Шаравалампи, Панозерский, Эльмусский, Западно-Хижъярвинский) сложнодифференцированные, представлены пироксенитами, габбро, монцонитами и сиенитами, они прорывают разновозрастные вмещающие лопийские толщи, сопровождаются калишпатизацией и биотитизацией. Массивы южной группы-II*

(Хаутаваарский, Чалкинский, Коруд) развиты вдоль западной окраины Водлозерского блока, дифференцированы от габбро-монцодиоритов до граносиенитов и монцогранитов, они прорывают вмещающие толщи возраста 3.0-2.85 млрд л.; изменения пород – эпидот-биотитовые и кварц-серицитовые.

2. Санукитоиды **северной группы-I** характеризуются высокой суммой щелочей (до 11.5 %) и $mg\#$ (0.73-0.51), выделяются высокими концентрациями Ba (до 4300 ppm), Sr (до 4000 ppm), REE (до 1460 ppm) и одновременно высокими содержаниями Cr, Ni, V, Co. Особенности состава пород обусловлены их формированием из обогащенного мантийного источника. Санукитоиды **южной группы-II** характеризуются более низкими содержаниями REE (до 350 ppm), Ba (до 2000 ppm), Sr (до 1200 ppm) и повышенными концентрациями Th, Zr, Mo. Особенности состава пород обусловлены участием в процессе магмогенерации корового вещества.

3. Редкоземельная минерализация санукитоидных комплексов **северной группы-I** представлена алланитом, Се-содержащими эпидотом, титанитом и апатитом, бастнезитом; рудная – сульфидами (халькопиритом, борнитом), теллуридами Pt, Pd и Au ($\Sigma ЭПГ + Au$ до 0.46 г/т). Жильная или штокверковая рудная минерализация массивов **южной группы-II** представлена пиритом, молибденитом, золотом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, пирротином, **Bi-Te-Ag-Pb-фазами** в разных соотношениях. К Хаутаваарскому массиву приурочено штокверковое молибденит-золото-сульфидное проявление Центральное Хаутаваарское.

4. Металлогеническая специализация санукитоидных массивов **северной группы-I** – Ba-Sr-REE-P-Ti, их габбро-пироксенитовые дифференциаты сопровождаются (Au-Pt)-Cu минерализацией. Металлогеническая специализация санукитоидов **южной группы-II** – Au, Mo, полиметаллы, Bi, Te. Геологическое строение, петро-геохимические особенности и металлогенический анализ изучаемой территории позволяет северную часть площади рассматривать как область, формировавшуюся в условиях трансенции, обеспечившей поступление основных ультрамафитов. Внедрение массивов южной группы происходило вдоль окраины древнего Водлозерского блока в уже сформировавшуюся более мощную земную кору, что обеспечило значительное участие в области магмогенерации корового вещества.

Апробация работы. Результаты исследования были представлены в устных и стендовых докладах, опубликованы в тезисах на молодежной конференции, посвященной памяти чл.-корр. К.О. Кратца и акад. РАН Ф.П. Митрофанова (Апатиты, 2011, 2016; Санкт-Петербург, 2014; Петрозаводск, 2015), международной конференции «Рудный потенциал щелочного, кимберлитового и карбонатитового магматизма» (Москва, 2011-2013), Всероссийской (с международным участием) Ферсмановской научной сессии (Апатиты, 2011, 2012), Всероссийской конференции, посвященной 150-летию акад. Ф.Ю. Левинсона-Лессинга и 100-летию проф. Г.М. Саранчиной (Санкт-Петербург, 2012), международной конференции «Золото Фенноскандинавского щита» (Петрозаводск, 2013), Всероссийском петрографическом совещании (Петрозаводск, 2015), международной науч. конференции «Федоровская сессия 2016» (Санкт-Петербург, 2016). Полученные результаты опубликованы в 7 научных статьях, 6 из которых в рецензируемых журналах из списка ВАК.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения и библиографического списка использованной литературы, содержащего 222 наименования. Общий объем текста диссертации составляет 160 страниц, в том числе 57 рисунков, 22 таблицы и 10 таблиц в приложении. Первое защищаемое положение обосновывается в третьей главе, второе защищаемое положение раскрыто в четвертой и пятой главах, третье защищаемое положение – в шестой главе, четвертое защищаемое положение – в седьмой главе.

В *первой главе* приводится история изучения санукитоидов мира и Карелии в частности, а также некоторые примеры золоторудных месторождений, связанных с санукитоидным магматизмом. Во *второй главе* дана возрастная позиция и геологическое положение санукитоидов Фенноскандинавского щита. В *третьей главе* рассматривается геологическое строение изучаемых площадей и санукитоидных комплексов. В *четвертой главе* приводятся петрографо-петрохимические особенности пород, слагающих массивы санукитоидов. В *пятой главе* дана их геохимическая характеристика. В *шестой главе* описаны типы рудной минерализации, связанные с изучаемыми массивами санукитоидов. *Седьмая глава* посвящена металлогенической специализации санукитоидов Центральной Карелии и изучаемой территории в целом. В *заключении* приведены основные результаты настоящего исследования и полученные из них выводы.

Благодарности. Автор признателен за помощь и поддержку научному руководителю диссертации, к. г.-м. наук, доценту Людмиле Владимировне Кулешевич; а также искренне благодарит заведующего лабораторией д. г.-м. н. В.Н. Кожевникова за обсуждение результатов, позволившее улучшить качество работы, и редакционные замечания к статьям; д. г.-м. н. А.И. Слабунова и д. г.-м. н. О.И. Володичева за ценные замечания; руководителя музея Геологии докембрия ИГ КарНЦ РАН, н.с. О.Б. Лаврова за помощь в проведении и организации полевых работ; коллег из ИГГД РАН: к. г.-м. н. Ю.С. Егорову за обсуждение результатов и предоставление отдельных проб для анализа; с. н. с., к. г.-м. н. С.А. Бушмина и с. н. с., к. г.-м. н. Н.Г. Ризванову за определение U-Pb возраста титанита; сотрудников аналитической лаборатории ИГ КарНЦ РАН (А.И. Михайлову, А.Н. Тернового, А.Н. Сафронова, А.С. Парамонова); геологов производственных организаций, оказывавших помощь в выполнении работ. Автор признателен директору ИГ КарНЦ РАН, д. г. м.-н. В.В. Щипцову за помощь и поддержку настоящего исследования.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

1. Геологическое строение, локализация и петро-геохимические особенности массивов санукитоидов.

Сяргозерский комплекс. На Ондозерско-Сегозерской площади (рисунок 1) развиты лопийские метабазальты и разнообразные сланцы гимольской серии (2.84-2.78 млрд лет). Они прорываются дифференцированными умереннощелочными массивами (~2.74 млрд лет, по *Vibikova et al., 2005* и др.): Сяргозерским и Шаравалампи Сяргозерского комплекса, Панозерским плутоном и близкими им по возрасту (~2.73 млрд лет, по *Бибикова и др., 2006*) гранитоидами Устьволомского комплекса: массивы Устьволомский, Северо-Сяргозерский и Восточно-Шаравалампинский (рисунок 2). Севернее изучаемой площади расположен умереннощелочной пироксенит-сиенитовый массив Западно-Хижъярвинский.

Умереннощелочные дифференцированные массивы представляют собой вытянутые тела, протягивающиеся до 3-3.5 км в субмеридиональном и СЗ направлении (Сяргозерский комплекс), либо образуют концентрические зональные плутоны (например, Панозерский массив).

Сяргозерский комплекс включает пироксениты и габбро (I-фаза), диориты (II-фаза), сиениты и кварцевые сиениты (III-фаза).

В пироксенитах массива Шаравалампи (рисунок 2) выделяется ряд апатит-магнетитовых и существенно апатитовых рудных зон, мощностью 10-60 м. Содержание магнетита и ильменита в них увеличивается до 20 %, апатита – до 10 %. В сиенитах и кварцевых сиенитах количество этих минералов незначительное.

Становление сиениновой фазы сопровождается щелочным метасоматозом по пироксенитам I-фазы, проявленным в их амфиболитизации, эпидотитизации, обогащением титанитом (до 15 %) и апатитом, наложением биотита, флогопита, Ba-содержащих полевых шпатов и более поздних барита и REE-F-карбонатов бастнезит-паризитового ряда.

Гранитоиды Устьволомского комплекса образуют более крупные массивы, с которыми известны проявления полиметаллов и молибдена (Ганин, Бондарев, 1983; Минерально..., 2005). Некоторые исследователи рассматривают гранитоиды как заключительную фазу Сяргозерского умереннощелочного комплекса (Ранний докембрий..., 2005; Егорова, 2014), что кардинально меняет его специализацию. В связи с этим проведен их сравнительный анализ.

Сяргозерский комплекс. В породах Сяргозерского комплекса содержание SiO_2 возрастает от 41 в пироксенитах до 64 % в кварцевых сиенитах, а сумма щелочей от 1.55 до 11.39 % (рисунок 3). Для них характерно резкое снижение mg\# при увеличении SiO_2 от 0.56 до 0.36, высокие содержания P_2O_5 (0.2-2.2 %), Ba (до 3100 ppm), Sr (2200 ppm), REE (до 1500 ppm; $\text{La}_N/\text{Yb}_N=23-52$), а также Cr, Ni, V, Co (рисунок 3). Подобные химические особенности пород обусловлены составом источника санукитоидных магм – обогащенной мантией (Лобач-Жученко и др., 2007; Kovalenko et al., 2005 и др.).

Устьволомский комплекс представлен плагиогранитами и гранодиоритами. Сумма щелочей в плагиогранитах участка Шаравалампи составляет 6.69-6.96 % и увеличивается в гранодиоритах Устьволомского – 8.18-8.25 и Северо-Сяргозерского массивов – 8.86-9.29 % ($\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}=1.65-2.53$). Для плагиогранитов и гранодиоритов характерны низкие содержания REE (28-80 ppm, обеднены HREE; рисунок 3), Y, Nb и Ta. Содержания Ba 675-1650 ppm, Sr 475-1150 ppm, P_2O_5 0.01-0.19 %, mg\# варьирует от 0.38 до 0.58. Для гранитов характерны отрицательные аномалии Nb, Ti и положительная – Sr.

Такие особенности химического состава соответствуют ТТГ-гранитоидам, сформированным в условиях высокого давления (>20 кбар) с образованием Grt-cPx-Ru реститовой фазы (Моуен, 2011).

Сравнительный анализ показал, что пироксенит-сиенитовые умереннощелочные массивы и гранитоиды имеют существенные различия, обусловленные составом магматического источника и не могут рассматриваться как единый комплекс.

Эльмусский массив. Эльмусская структура расположена в северной части Ведлозерско-Сегозерского ЗП (3.05-2.85 млрд лет, Светов, 2005; 2010), сложена вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами (рисунок 4). Лопийские толщи в СВ части структуры прорываются Орехозерским диорит-гранодиоритовым плутоном, в центральной – плагиогранит-порфирами массива Талпус, в ВЗ – Эльмусским умереннощелочным санукитоидным интрузивом.

Эльмусский массив (~2.74 млрд лет, по Bibikova et al., 2005) имеет размер 2×3 км, вытянут в СВ направлении. Он сложен преимущественно монцодиоритами и кварцевыми монцодиоритами II фазы. Пироксениты ранней фазы развиты в СЗ части интрузива.

В пределах площади выделяются субмеридиональные и СВ сдвиговые зоны позднеархейского и СЗ – раннепротерозойского возраста (Кулешевич, Лавров, 2007). К ним приурочены проявления золота, формирование которых некоторые исследователи связывают с Эльмусским массивом (Лохов и др., 2008).

В ходе полевых работ на Эльмусской площади, помимо санукитоидного массива, попутно были изучены другие типы гранитоидов с целью установления возможных генетических связей с проявлениями золота.

Породы Эльмусского массива от диоритов, гранодиоритов Орехозерского плутона и сопровождающих его кислых даек, а также плагиогранит-порфиров интрузива Талпус отличаются повышенным содержанием щелочей в поздней фазе и более низким – SiO₂. Для них характерны высокие концентрации REE (до 800 ppm, La_N/Yb_N=45-59), Ba (до 4300 ppm) и Sr (до 4000 ppm), количество P₂O₅ 0.3-0.7 %, mg# уменьшается от 0.73 в пироксенитах до 0.60 в кварцевых монцодиоритах.

Плагиогранит-порфиры массива Талпус, как оказалось, имеют более древний возраст (предполагался моложе) – 2.86 млрд лет (Иванов, Лохов, 2015). Породы относятся к Na-серии, содержание в них REE 50-

250 ppm ($La_N/Yb_N=8-23$), отмечается умеренное обеднение HREE, наличие отрицательных аномалий Eu, Nb, Sr и Ti. Подобный состав плагиогранит-порфиров соответствует гранитоидам ТТГ-серии низкого давления (<10 кбар), образующимся в равновесии с безгранатовым амфиболовым (Hbl+Pl) реститом (Moyn, 2011). В массиве Талпус и его ореоле установлены повышенные содержания Au (1-2 г/т – массив, 10 г/т – ореол), Pb и As (Олейник и др., 2013).

Хаутаваарский массив. Хаутаваарская структура расположена в южной части Ведлозерско-Сегозерского ЗП (3.05-2.85 млрд лет; Светов, 2005 и ссылки в ней). Она сложена вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами. Санукитоидный магматизм (~2.74 млрд лет, по Bibikova et al., 2005; Овчинникова и др., 1994) в центральной части структуры представлен Хаутаваарским умереннощелочным массивом, в СЗ – крупным Чалкинским гранодиоритовым интрузивом, в южной – небольшим массивом Коруд.

Хаутаваарский интрузив прорывает лопийские толщи, имеет овальную форму (3×6 км), вытянут в меридиональном направлении, сложен преимущественно породами II-фазы (рисунок 5). Первая фаза представлена монцогаббро и монцодиоритами, развитыми в южной и ЮЗ краевых зонах, вторая – кварцевыми монцодиоритами, граносиенитами и монцогранитами, слагающими центральную часть массива. К граносиенитам приурочен линейный кварцевый штокверк с Mo- и Au-минерализацией. Вторичные изменения пород эпидот-биотитовые и кварц-серицитовые, сопровождаются вкрапленностью сульфидов.

Породы Хаутаваарского санукитоидного массива имеют высокую mg# (0.57-0.60), обогащены Cr (162-222 ppm), Ni (51-70 ppm), щелочами (6.2-10.2 %), а также REE (217-250 ppm), Ba (1751-2054 ppm) и Sr (586-1124 ppm).

На основании вышеизложенного сформулировано **первое защищаемое положение:**

*Неоархейские массивы санукитоидов Центральной Карелии разделяются на две группы – северную и южную. Массивы **северной группы-I** (Сяргозерский, Шаравалампи, Панозерский, Эльмусский, Западно-Хижъярвинский) сложнодифференцированные, представлены пироксенитами, габбро, монцонитами и сиенитами, они прорывают разновозрастные вмещающие лопийские толщи, сопровождаются калишпатизацией и биотитизацией. Массивы **южной группы-II***

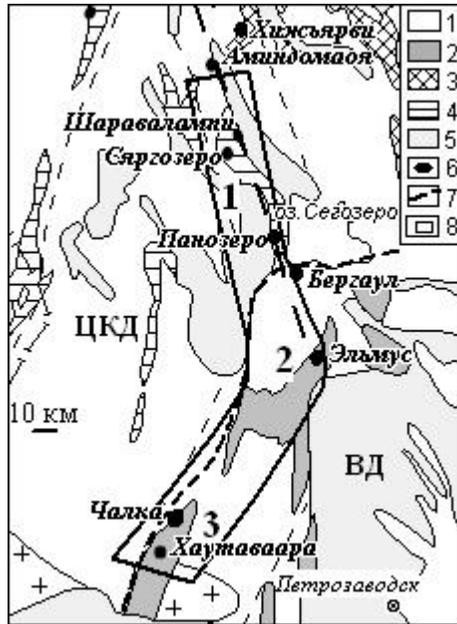


Рисунок 1 – Схема расположения изучаемых массивов санукитоидов:

AR: 1 – гранитоиды, 2-4 – зеленокаменные пояса (2 – 3.0-2.85, 3 – 2.9-2.8, 4 – 2.8-2.75 млрд лет), 5 – PR породы, 6 – массивы санукитоидов, 7 – границы доменов, 8 – площадь работ: 1 – Ондозерско-Сегозерская, 2 – Эльмусская, 3 – Хаутавааро-Ведлозерская. Домены: ВД – Водлозерский (3.5-2.7 млрд лет), ЦКД – Центрально-Карельский (2.8-2.7 млрд лет)

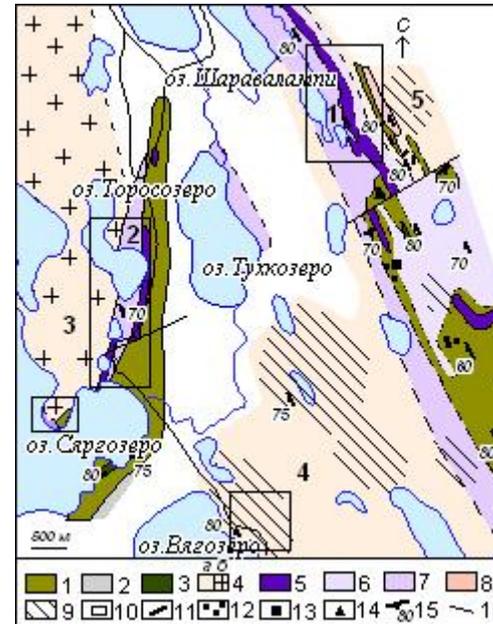


Рисунок 2 – Геологическое строение района оз. Сяргозеро, по (Слюсарев и др., 2001) с дополнениями:

1 – метабазальты, 2 – черные сланцы, 3 – метагаббро, 4 – Устьволомский комплекс: граниты порфириовидные (а), массивные (б), 5-7 – Сяргозерский комплекс (5 – пироксениты, 6 – диориты, 7 – сиениты, кварцевые сиениты), 8 – аплиты, 9 – калишпатизация, 10 – участки работ, 11 – дайки кварцевых диоритов, 12 – альбититы. Минерализация: 13 – сульфиды полиметаллов, 14 – молибденит, 15 – элементы залегания, 16 – разломы. Массивы: 1 – диориты, 7 – сиениты, 2 – Сяргозерский, 3 – Северо-Сяргозерский, 4 – Устьволомский, 5 – Восточно-Шаравалампинский

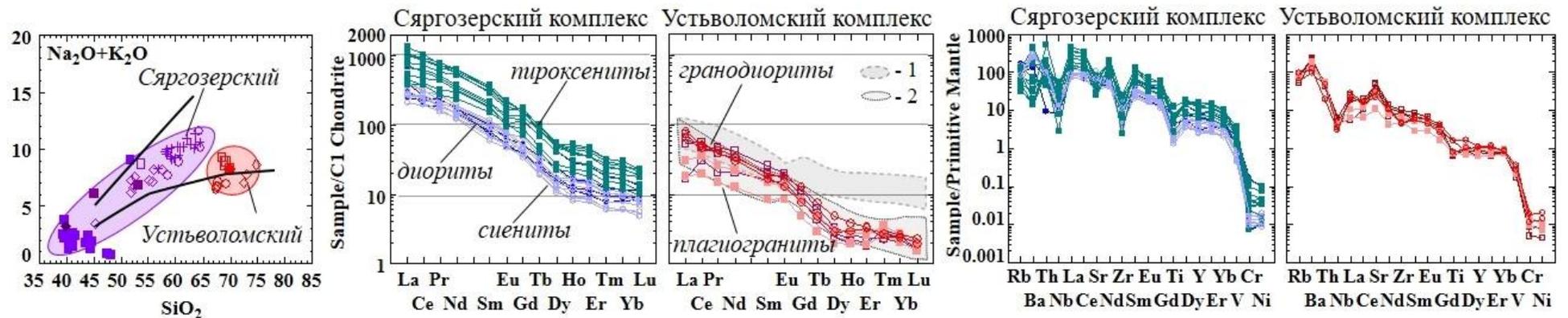


Рисунок 3 – Петро-геохимические диаграммы для пород Сяргозерского и Устьволомского комплексов: 1 – ТТГ с высоким содержанием HREE, 2 – ТТГ с низким содержанием HREE, по (Heilimo et al., 2010)

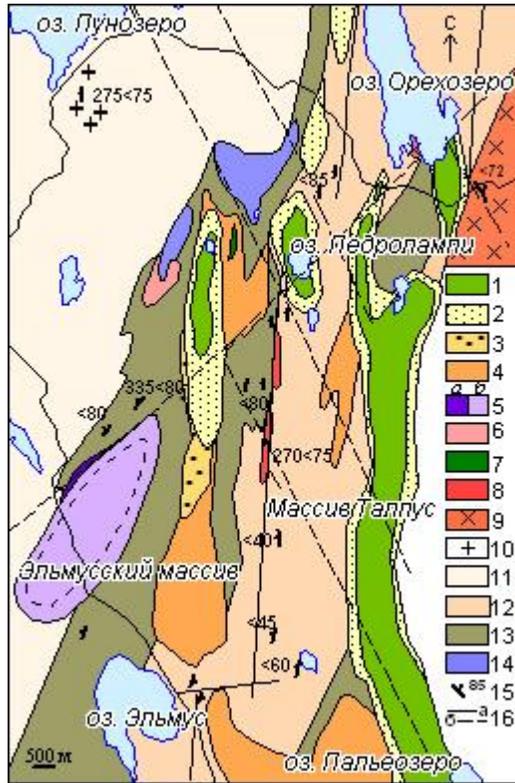


Рисунок 4 – Схема геологического строения Эльмусской площади, по (Кулешевич, Лавров, 2007) с дополнениями:

PR: 1-2 – ятулий (1 – метабазальты, 2 – кварцевые конгломераты, кварциты), 3-4 – сариолий (3 – полимиктовые конгломераты, 4 – метаандезибазальты). 5 – **Эльмусский массив** (а – метапироксениты, б – монцоидориты, в – кварцевые монцоидориты), 6 – граниты, 7 – габбро, 8 – плагиогранит-порфиры массива Талпус, 9 – гранодиориты Орехозерского массива, 10 – К-граниты, 11 – гранито-гнейсы. AR₂, лопий: 12 – сланцы по туфам и вулканитам андезитового и дацитового состава, углеродистые сланцы, метапесчаники и конгломераты бергаульской свиты, 13 – метабазальты семчереченской свиты, 14 – метакоматииты и сланцы по интрузивным ультрабазитам, 15 – элементы залегания, 16 – тектонические зоны AR (а) и PR (б)

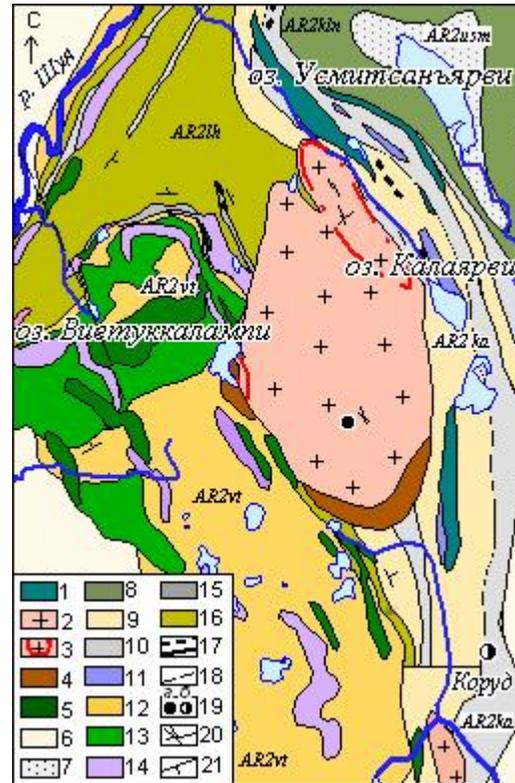


Рисунок 5 – Схема геологического строения Хаутаваарской структуры и одноименного массива, по (Сиваев и др., 1988) с дополнениями:

1 – габбро (комплекс Кайнооя). 2-4 – **Хаутаваарский массив** (2 – монцограниты, 3 – граносиениты, 4 – монцогаббро, монцоидориты), 5 – феррогаббро (Виетуккалампинский комплекс), 6 – граниты, гранито-гнейсы (Шуйский комплекс). AR₂, лопий: 7 – усмитсанъярвинская свита (туфогенно-осадочные породы), 8 – кульонская свита (базальты), 9-11 – капаярвинская свита (9 – туфогенно-осадочные породы, риолиты, дациты, 10 – углеродистые сланцы, 11 – коматииты, интрузивные ультрабазиты), 12-13 – виетуккалампинская свита (12 – андезиты, дациты, риолиты, 13 – базальты), 14-16 – лоухиваарская свита (14 – коматииты, интрузивные ультрабазиты, 15 – углеродистые сланцы, хемогенные осадки, 16 – базальты, андезибазальты), 17 – руды колчеданные (пунктир) и S-Cu-Ni (сплошная), 18 – разломы, 19 – рудопроявления Mo-Au-S (а), полиметаллические (б), 20 – кварцевый штокверк, 21 – элементы залегания

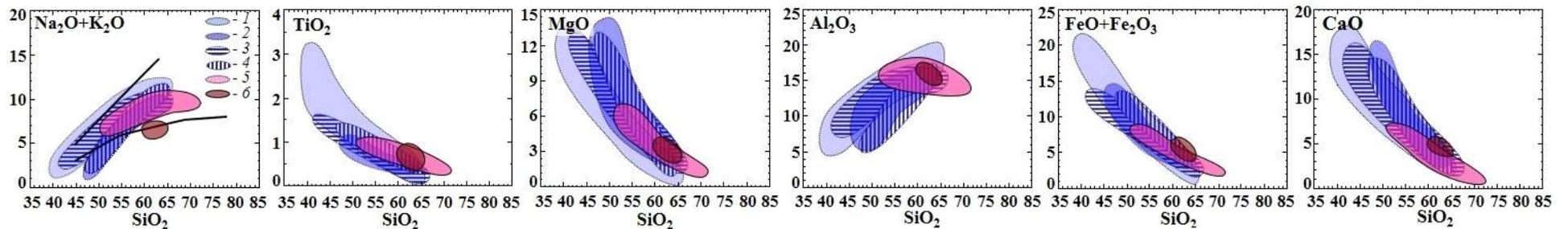


Рисунок 6 – Петро-геохимические диаграммы для пород санукитоидных массивов северной и южной группы:

1 – Сяргозерский комплекс, массивы: 2 – Эльмусский, 3 – Панозерский, 4 – Западно-Хижъярвинский, 5 – Хаутаваарский, 6 – Чалка

(Хаутаваарский, Чалкинский, Коруд) развиты вдоль западной окраины Водлозерского блока, дифференцированы от габбро-монцодиоритов до граносиенитов и монцогранитов, они прорывают вмещающие толщи возраста 3.0-2.85 млрд л.; изменения пород – эпидот-биотитовые и кварц-серицитовые.

2. Геохимическая характеристика массивов санукитоидов северной и южной группы. На петро-геохимических диаграммах составы пород массивов Сяргозерский, Шаравалампи, Эльмусский, Панозерский, Западно-Хижьярвинский (*северная группа*) и Хаутаваарский, Чалка (*южная группа*) занимают две контрастные области (рисунок 6-8).

Для пород массивов северной и южной групп наблюдаются противоположные петрохимические тренды дифференциации Al_2O_3 , обусловленные различным составом родоначального расплава и фракционированием разной минеральной ассоциации (рисунок 6).

Массивы северной группы выделяются высоким содержанием REE (до 1500 ppm), Ba (до 3800 ppm) и Sr (до 4300 ppm, рисунок 7). Кроме того, для них характерны высокие концентрации Cr (50-700 ppm), Ni (30-260 ppm), V (40-500 ppm), Co (10-70 ppm), в отличие от южной (рисунок 8). В свою очередь массивы южной группы имеют повышенные концентрации Th (до 55 ppm), Mo (1-13 ppm), Pb (до 66 ppm) и более низкие содержания – Cr (20-222 ppm), Ni (13-76 ppm), Co (5-30 ppm), V (28-200 ppm), REE (155-346 ppm), Ba (837-1780 ppm) и Sr (210-110 ppm).

Санукитоидные магмы, как показали предшествующие многочисленные петрологические исследования, являются продуктом частичного плавления обогащенной мантии. Появление в составе пород повышенных содержаний гранитофильных элементов – Mo, Zr, Th, Bi, свидетельствует об участии в магмогенерации корового вещества. Эти же выводы подтверждаются изотопными данными и петрологическими расчетами (Егорова, 2014).

Из анализа химического состава пород вытекает **второе защищаемое положение:**

Санукитоиды северной группы-I характеризуются высокой суммой щелочей (до 11.5 %) и $mg\#$ (0.73-0.51), выделяются высокими концентрациями Ba (до 4300 ppm), Sr (до 4000 ppm), REE (до 1460 ppm) и одновременно высокими содержаниями Cr, Ni, V, Co. Особенности состава пород обусловлены их формированием из обогащенного

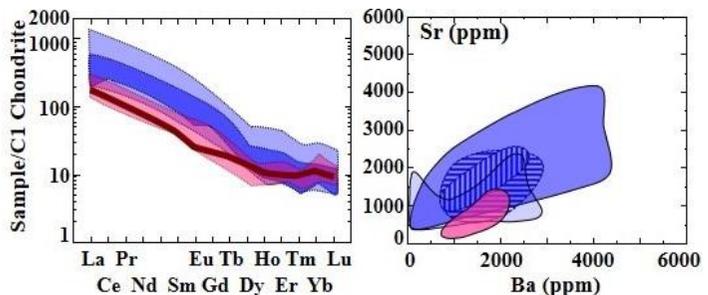


Рисунок 7 – Спектры распределения REE и бинарные диаграммы (Na₂O+K₂O)-ΣREE, Ba-Sr для пород массивов санукитоидов северной и южной группы: условные обозначения как на рисунке 6

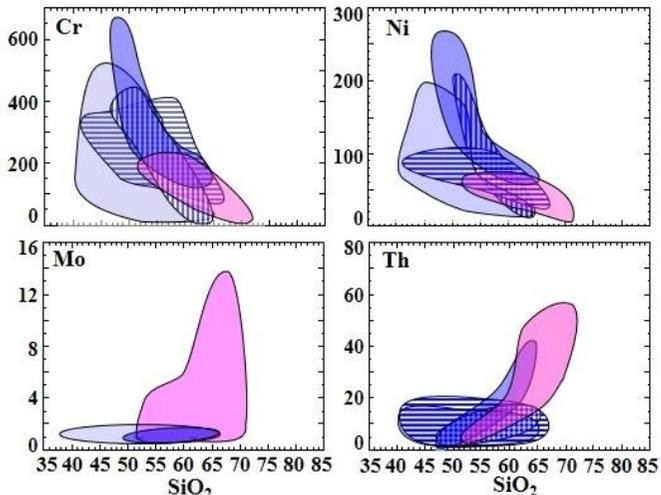


Рисунок 8 – Диаграммы распределения Cr, Ni, V, Co, Mo и Th в породах массивов санукитоидов северной и южной группы: условные обозначения как на рисунке 6

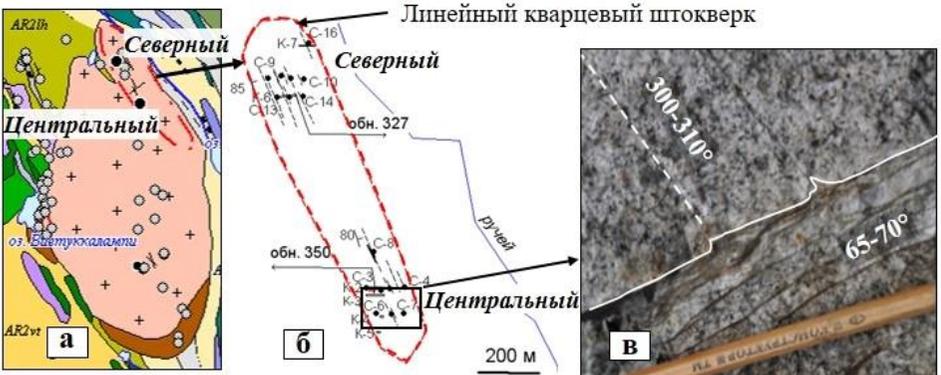


Рисунок 12 – Форма локализации оруденения в Хаутаваарском массиве

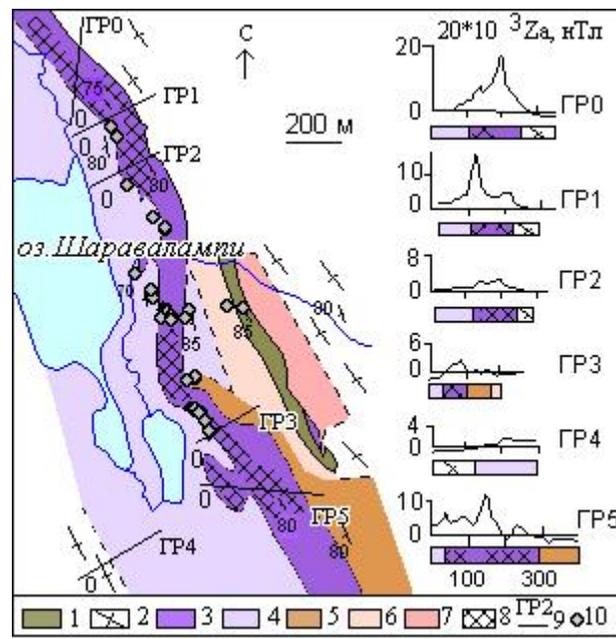


Рисунок 9 – Локализация оруденения на схеме детального участка Шаравалампи, по (Слюсарев и др., 2001) с дополнениями:

- 1 – базальты, 2 – гранитоиды, 3 – пироксениты, 4 – сиениты, 5 – диориты, 6 – плагиограниты, 7 – гранит-аплиты, 8 – рудная зона, 9 – магнитный профиль, 10 – точки отбора проб

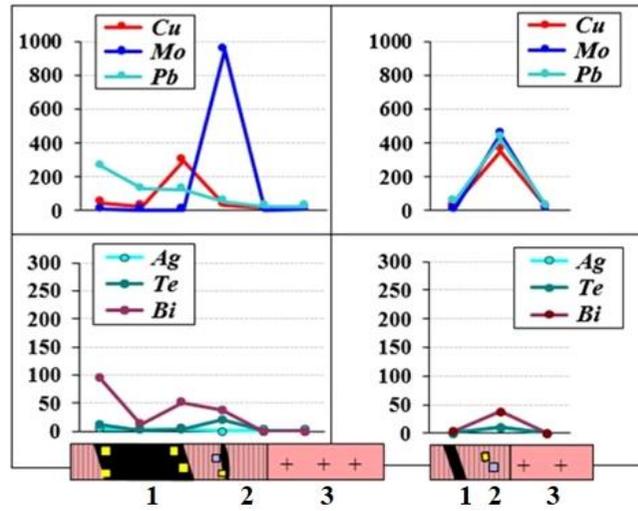


Рисунок 13 – Распределение рудогенных элементов (в ppm) на контакте с Au-S-кварцевой жилой (проявление Центральное Хаутаваарское):

- 1 – кварцевая жила с пиритом, 2 – околорудная зона изменения, 3 – граносиениты

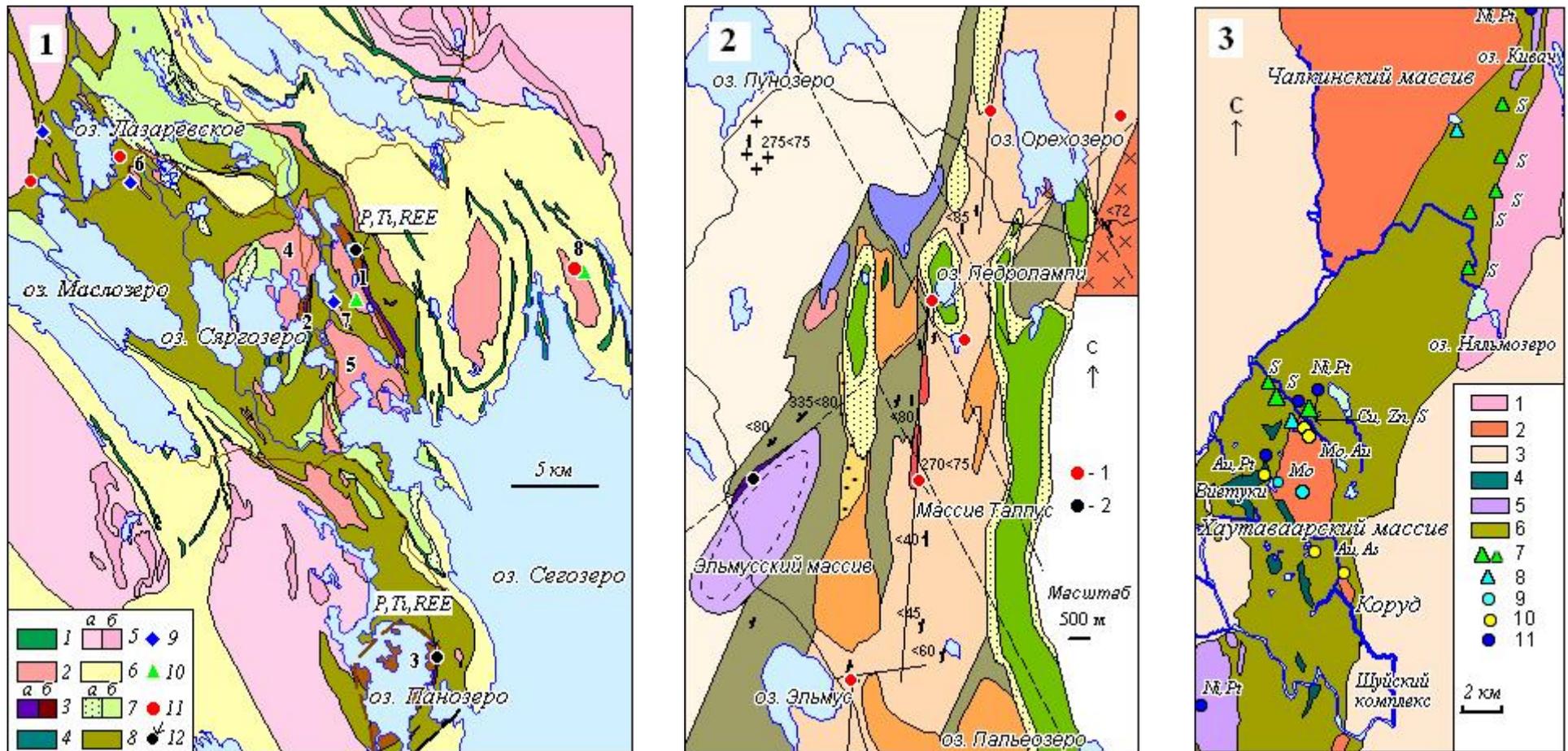


Рисунок 15 – Полезные ископаемые Ондозерско-Сегозерской (1), Эльмусской (2) и Хаутавауро-Ведлозерской (3) площадей:

1: 1 – габбродолериты (PR₁), 2 – граниты (AR₂, ~2.72 млрд л.), 3 – умереннощелочной комплекс (а – пироксениты, б – монзониты, сиениты; ~2.74 млрд л.), 4 – габбро (AR₂), 5 – синтетектонические гранитоиды (а – диориты, гранито-гнейсы, б – К-граниты, мигматит-граниты; 2.74-2.61 млрд л.); 6-7 – PR₁ отложения, 8 – метавулканыты (AR₂ Ip). 9-12 – проявления (9 – Mo, 10 – полиметаллические (Pb, Zn, Cu, Bi-Au-содержащие), 11 – Au, 12 – Ba-Sr-P-Ti-REE, Cu-Pt-содержащие). Массивы: 1 – Шаравалампи, 2 – Сяргозерский, 3 – Панозерский, 4 – Северо-Сяргозерский, 5 – Устьволомский. Рудопроявления: 6 – Лазаревское, 7 – Тухкозеро, 8 – Лебедева гора (Лебедевогорское)

2: условные обозначения как на рисунке 4; 1 - Au, Au-S-As, 2 – Ba-Sr-REE, Cu-S

3: 1 – граниты, 2 – умереннощелочные массивы, 3 – ТТГ комплекс, 4 – феррогаббро, 5 – ультрабазиты, 6 – метавулканыты. Рудопроявления: 7 – колчеданные, 8 – полиметаллические, 9 – Mo, 10 – Au, 11 – S-Cu-Ni

мантийного источника. Санукитоиды южной группы-II характеризуются более низкими содержаниями REE (до 350 ppm), Ba (до 2000 ppm), Sr (до 1200 ppm) и повышенными концентрациями Th, Zr, Mo. Особенности состава пород обусловлены участием в процессе магмогенерации корового вещества.

3. Типы рудной минерализации, связанные с санукитоидами.

С массивами санукитоидов северной группы можно выделить несколько типов рудной минерализации: *Fe-P-Ti*-, *Cu-S*- и *Ba-Sr-REE*.

Наиболее перспективным является интрузив Шаравалампи. В пироксенитах I-фазы выявлено *P-Ti*-оруденение с редкоземельной и *Pt-Cu-S*-минерализацией. Длина рудного тела достигает 1.5 км при средней мощности 50 м (рисунок 9), к нему приурочены максимальные содержания REE, Ba и Sr. Возраст *P-Ti*-оруденения определен по титаниту и составляет 2726.1 ± 1.3 млн лет.

Ba-Sr-REE-P-Ti-минерализация в габбро-пироксенитах. *Fe-Ti-P*-минерализация представлена магнетитом, F-апатитом, ильменитом; *REE*-минерализация – минералами группы эпидота, монацитом, титанитом, апатитом, бастнезитом (рисунок 10). Высокие содержания *Ba-Sr* контролируются К-полевым шпатом, баритом и целестином.

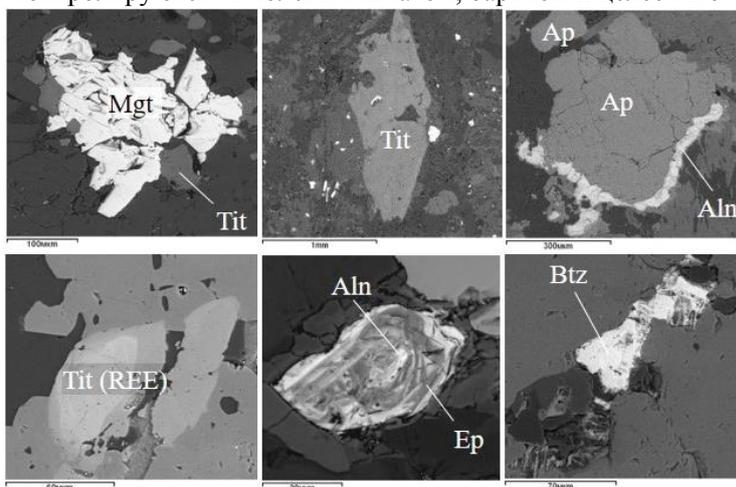


Рисунок 10 – *Ba-Sr-REE-P-Ti* минерализация массива Шаравалампи

Благороднометалльная-Cu-S-минерализация в пироксенитах массива Шаравалампи ($\Sigma \text{ЭПГ} + \text{Au} = 0.11 - 0.46$ г/т) представлена

халькопиритом, борнитом, мончеитом, кейтконнитом, Pd-Bi-фазами, электрумом и другими более редкими минералами (рисунок 11).

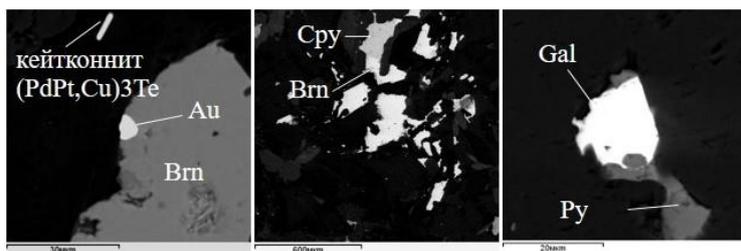


Рисунок 11 – Pt-Pd-Cu-S минерализация массива Шаравалампи

Для габбро-пироксенитовой части массивов Сяргозерский, Эльмуцкий и Панозеро характерна вкрапленная *P-Ti* и *Cu-S*-минерализация, высокие содержания Ba, Sr и REE, в Эльмуцком, кроме этого, – повышенные концентрации Th.

К массивам южной группы относится Хаутаваарский интрузив. С граносиенитами П-фазы связаны проявления штокверковой вкрапленно-прожилковой молибденитовой и Au-S-кварцевой минерализации – проявления Хаутаваарское молибденное, Северное и Центральное (рисунок 12а-б). Золоторудная минерализация приурочена к кварцевому штокверку в СВ части массива. Штокверк представлен системой трещин двух направлений с аз. 300° и 70° (рисунок 12в). Простираение центральной жилы – СВ, мощность – 10-30 см. Незначительные пликативные смещения отдельных фрагментов жилы по направлению 300° свидетельствуют о близко-одновременном формировании рудоконтролирующих деформаций (300° и 70°).

Наиболее богатая золоторудная минерализация связана с Центральной пирит-кварцевой жилой, зонами рассланцевания и изменения в ее ореоле. На контактах кварцевых жил в измененных гранитоидах развиваются тонкозернистый микроклин, биотит, серицит, эпидот; иногда встречаются хлорит, турмалин; серицит тяготеет к кальбандам жил, эпидот распространен шире. Изменения пород среднетемпературные эпидот-кварц-серицитовые. Во внешнем ореоле в менее измененных породах развиты эпидот, биотит, эпидот-биотит-кварцевые прожилки с сульфидами мощностью ~0.1-1 см.

В околорудной зоне относительно слабоизмененных граносиенитов увеличивается содержание ряда рудогенных элементов – Mo, Pb, Cu, Te, Bi, Ag (рисунок 13), которые сопровождают

золоторудную минерализацию и являются индикаторами Au-оруденения. В зальбандах кварцевой жилы, в более мелких линзах и в ближайшем околожильном ореоле концентрация Mo увеличивается до 454-948 ppm, Pb до 132-426, Cu до 355, Te до 11-21, Bi до 38-96, Ag до 9.77 ppm. Содержание Au в рудном теле достигает 20-28 г/т, в зальбандах жилы – 0.02-0.2 г/т. Уровень Rb, Ba, Sr, Zr, Hf, Nb, Th, U и REE в околожильных метасоматитах резко снижается.

На удалении от кварцевой жилы в измененных граносиенитах содержание близко к таковому в неизмененных разностях. Концентрации этих элементов, так же, как и в граносиенитах, обеспечиваются присутствием монацита, REE-эпидота, торита, циркона, реже барита, паризита. В рудной зоне (кварц-пиритовой) Σ REE снижается до 63.25-5.5 ppm относительно слабоизмененных граносиенитов (201-237 ppm). В рудной зоне, в области штокверкового окварцевания (жил и прожилков), резко снижается содержание Th и U относительно средних концентраций в граносиенитах.

Рудная минерализация на проявлении Центральное Хаутаваарское представлена золотом, пиритом, молибденитом, халькопиритом, галенитом, единичными Bi-Te и сульфосолями (рисунок 14). Первым выделяется пирит, затем молибденит, образуя каймы и заполняя трещинки в пирите, далее халькопирит и пирротин, галенит и золото, на поздней стадии – гессит и электрум. Золото высокопробное, в 80 % проб (n=71) содержание Ag не превышает 10 %.

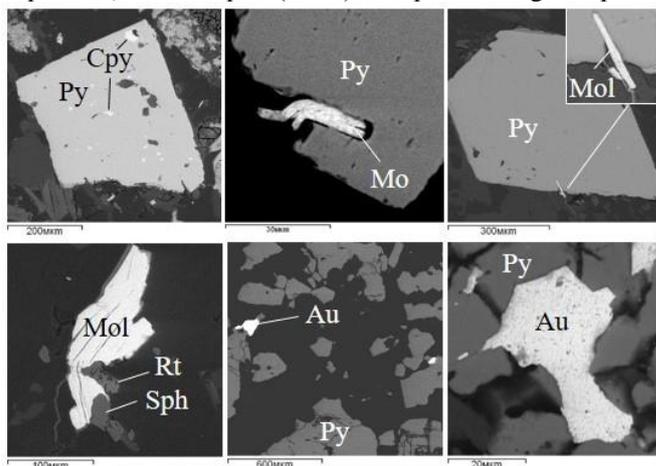


Рисунок 14 – Mo-Au-S-минерализация проявления Центральное Хаутаваарское

В ореоле всех санукитоидных массивов Хаутаваарской площади развита Au-содержащая полиметаллическая минерализация.

Из выше изложенного вытекает **третье защищаемое положение:**

*Редкоземельная минерализация санукитоидных комплексов северной группы-I представлена алланитом, Се-содержащими эпидотом, титанитом и апатитом, бастнезитом; рудная – сульфидами (халькопиритом, борнитом), теллуридами Pt, Pd и Au ($\Sigma ЭПГ + Au$ до 0.46 г/т). Жильная или штокверковая рудная минерализация массивов южной группы-II представлена пиритом, молибденитом, золотом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, пирротинном, *Bi-Te-Ag-Pb-фазами* в разных соотношениях. К Хаутаваарскому массиву приурочено штокверковое молибденит-золото-сульфидное проявление Центральное Хаутаваарское.*

4. Металлогенический анализ. На Ондозерско-Сегозерской площади развиты преимущественно 2 группы массивов, прорывающие лопийские толщи и определяющие металлогению территории: 1 – умереннощелочные массивы пироксенит-сиенит-монцонитового состава (Сяргозерский, Шаравалампи, Панозерский) и 2 – близкие им по времени формирования гранитоиды ТТГ-серии Устьяломского комплекса (рисунок 15.1). Умереннощелочные массивы отличаются наличием пироксенитовой фазы, высокими содержаниями совместимых (Cr, Ni, Co, V) и несовместимых элементов (REE, Ba, Sr). Формирование их происходило в условиях растяжения коры, что обеспечило поступление расплава из глубинного обогащенного источника. Умереннощелочные массивы сопровождаются **Ba-Sr-REE-P-Ti** проявлениями, их габбро-пироксенитовые дифференциаты – (**Au-Pt**)-**Cu-S** минерализацией. Вторая группа массивов сопровождается небольшими проявлениями Pb, Cu, Zn, Mo, (Минерально..., 2005).

На Эльмусской площади одноименный умереннощелочной пироксенит-монцодиоритовый массив расположен на СЗ окраине древнего Водлозерского блока (рисунок 1). Для пород интрузива характерны высокие содержания Ba, Sr, REE и повышенные Th (рисунок 15.2). Габбро-пироксенитовые дифференциаты обнажены плохо, в них на данный момент установлена медно-сульфидная вкрапленная минерализация. Изученные внутрискелетные плагиогранит-порфиры массива Талпус и ряд даек оказались более древними по возрасту. По петро-геохимическим особенностям они относятся к ТТГ-серии. Массив Талпус (возможно, апофиз более

крупного интрузива) представляет собой узкое вытянутое в субмеридиональном направлении тело, прослеживающееся южнее оз. Педролампи. С ним связана Au-Pb-S-As минерализация. Большинство Au-S проявлений Эльмусской площади приурочены к позднеархейским субмеридиональным сдвиговым зонам деформаций, сопровождаемых метасоматитами (Кулешевич, Лавров, 2007; Олейник и др., 2013). Формирование этих зон, как предполагается, связано с позднеархейской коллизией. Рудоконтролирующие деформации и сопровождающие их рудоносные метасоматиты (возраст по циркону с месторождения Педролампи равен 2705 ± 57 млн л., по Лохов и др., 2008) не прослеживаются в вышележащих ятулийских отложениях. Соответственно, время формирования метасоматитов и Au-оруднения в ССВ зонах расланцевания несколько отдалено от времени внедрения Эльмусского массива (~2.74 млрд л.), имеющего СВ простирание. Источником ремобилизованного в зонах расланцевания золота, вероятно, являются вмещающие толщи бергаульской свиты, колчеданы и рудная минерализация, связанная с ореолами плагиогранит-пофиров (типа массива Талпус), а не Эльмусский умереннощелочной массив, который обладает иной геохимической специализацией (Th-Ba-Sr-REE).

В обрамлении Водлозерского блока преобладают умереннощелочные массивы существенно гранитоидного состава. Они отличаются более низкими содержаниями совместимых элементов и более высокими – Si, Th, Mo, Zr, Pb. На Хаутаваарской площади выделен ряд массивов санукитоидов различных размеров (рисунок 15.3). С Хаутаваарским интрузивом связана Au-Mo-S-кварцевый штокверк. К ореолам массивов (Хаутаваарский, Чалка, Коруд) приурочена Au-полиметаллическая минерализация.

Проведенный сравнительный анализ Хаутаваарского массива (~2.74 млрд л.) с диорит-гранит-порфировым массивом Таловейс, представителем более молодых (~2.72 млрд л.) санукитоидов и расположенным в СЗ Карелии, показал, что для последнего характерен Au-малосульфидный и Au-Te типы минерализации (Кулешевич, Дмитриева, 2014 и др.).

В итоге сформулировано **четвертое защищаемое положение:**

Металлогеническая специализация санукитоидных массивов северной группы-I – Ba-Sr-REE-P-Ti, их габбро-пироксенитовые дифференциаты сопровождаются (Au-Pt)-Cu минерализацией. Металлогеническая специализация санукитоидов южной группы-II –

Аи, Мо, полиметаллы, Вi, Те. Геологическое строение, петро-геохимические особенности и металлогенический анализ изучаемой территории позволяет северную часть площади рассматривать как область, формировавшуюся в условиях трансенциии, обеспечившей поступление основных ультрамафитов. Внедрение массивов южной группы происходило вдоль окраины древнего Водлозерского блока в уже сформировавшуюся более мощную земную кору, что обеспечило значительное участие в области магмогенерации корового вещества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Одновозрастные неорархейские (2.74 млрд л.) санукитоидные массивы Центральной Карелии разделены на две группы: северную и южную. Интрузивы северной группы сложнодифференцированные, прорывают разновозрастные лопийские толщи, образуют вытянутые дайкообразные тела, либо концентрически зональные плутоны, отличаются наличием габбро-пироксенитовых фаз, высокими содержаниями REE, Ва, Sr. Массивы южной группы имеют преимущественно гранитоидный состав, более низкие содержания REE, Ва, Sr и повышенные Th, Zr, Мо.

2. С пироксенит-монцонит-сиенитовыми массивами северной группы связана Ва-Sr-REE-P-Ti и (Au-Pt)-Cu-S минерализация. В то время как с монцодиорит-граносиенит-монцогранитовыми и гранодиоритовыми интрузивами южной группы – жильная или штокверковая Мо-Au-S минерализация и Au-содержащая полиметаллическая в их ореоле.

3. Особенности строения массивов, химический состав пород и рудная нагрузка позволяют сделать следующие выводы: 1 – интрузии северной группы, расположенные в пределах относительно молодого Центрально-Карельского домена (2.8-2.7 млрд л., по Лобач-Жученко и др., 2000; рисунок 1), внедрялись в условиях растяжения коры, что обеспечило поступление расплава из глубинного обогащенного мантийного источника; 2 – массивы южной группы, формировавшиеся вдоль западной окраины Водлозерского блока, внедрялись в более древнюю (3.5-2.7 млрд л., по Лобач-Жученко и др., 2000), мощную кору и являются продуктом взаимодействия обогащенного мантийного и корового источников.

Следовательно, рудная нагрузка массивов санукитоидов зависит от состава и мощности коры, в которую они внедрялись.

4. Таким образом, Северную часть изучаемой территории можно рассматривать, как металлогеническую зону, перспективную на комплексные Ba-Sr-REE-P-Ti (с Pt-Cu-S) проявления, связанные с массивами габбро-пироксенит-монцонит-сиенитового типа, южную – перспективную на Au, Mo, полиметаллы, связанные с умереннощелочными массивами гранитоидного типа.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки России

1. *Дмитриева, А.В.* Геохимия и рудная минерализация Сяргозерского умереннощелочного комплекса (Центральная Карелия) / А.В. Дмитриева // Ученые записки ПетрГУ. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – № 6. – С. 45-50.

2. *Дмитриева, А.В.* Петрохимические особенности и рудная специализация Хаутаваарского массива (Южная Карелия) / А.В. Дмитриева, Л.В. Кулешевич, А.С. Вихко // Труды КарНЦ РАН. – 2016. – № 2. – С. 52-72.

3. Кулешевич, Л.В. Геохимические особенности и золоторудная минерализация позднеархейского диорит-гранит-порфирового комплекса Таловейс (Костомукшская структура, Карелия) / Л.В. Кулешевич, А.В. Дмитриева // Труды КарНЦ РАН. – 2014. – № 1. – С. 63-75.

4. Кулешевич, Л.В. Минералы и источники редкоземельных элементов в Карелии / Л.В. Кулешевич, А.В. Дмитриева // Ученые записки ПетрГУ. Серия: Естественные и технические науки. – 2012. – № 4. – С. 62-66.

5. Кулешевич, Л.В. Типоморфные минеральные ассоциации руд докембрийского месторождения золота Таловейс, Карелия / Л.В. Кулешевич, О.Б. Лавров, А.В. Дмитриева // Руды и металлы. – 2013. – № 4. – С. 30-36.

6. Кулешевич, Л.В. Au-S-кварцевое Mo-содержащее проявление Центральное в Хаутаваарском дифференцированном массиве, Южная Карелия / Л.В. Кулешевич, А.В. Дмитриева // Руды и металлы. – 2015. – № 3. – С. 38-50.

В других изданиях

7. *Дмитриева, А.В.* Новые данные по геохимии и минералогии Сяргозерского умереннощелочного комплекса (Центральная Карелия) / А.В. Дмитриева // Геология и полезные ископаемые Карелии. – 2012. – № 15. – С. 102-115.