

УДК 553.411 + 553.24 + 553.078 (470.22)

## **БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЗАПАДНОГО ЭКЗОКОНТАКТА ХАУТАВААРСКОГО МАССИВА (ЮЖНАЯ КАРЕЛИЯ)**

**Л. В. Кулешевич<sup>1</sup>, О. Б. Лавров<sup>1</sup>, А. В. Дмитриева<sup>1</sup>, В. М. Тытык<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Институт геологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск

<sup>2</sup> ООО «Онега-золото», Петрозаводск

В экзоконтакте Хаутаваарского граносиенит-монцогранитового массива (Южная Карелия) установлены зоны окварцевания и метасоматические изменения пропилитового типа с Au-Bi-Te-содержащей полиметаллической и сульфоарсенидной минерализацией. Рудная минерализация северо-западного экзоконтакта массива представлена пирротинном, халькопиритом, сфалеритом, галенитом, встречаются висмутотеллуриды, гессит, электрум (Ag 30–35 %), алтаит, пиросмалит (редкий Mn-Fe-силикат). Зоны изменения выделяются повышенными концентрациями Mn, Cu, Zn, Ni и менее проявленными – Pb, Bi, Te, Mo, Au, Co, As. В юго-западном экзоконтакте массива к зоне биотит-хлорит-кварцевых метасоматитов по габбро приурочена сульфоарсенидная минерализация, представленная арсенопиритом, галенитом, халькопиритом, шеелитом, пиритом, кобальтином, сфалеритом, тонкодисперсным золотом (~18–23 % Ag) и Au-Bi ассоциациями. Юго-западный ореол массива выделяется повышенными концентрациями As, Co, Pb, Cu, Zn, W, Bi, Au, Te.

**Ключевые слова:** золото-полиметаллические, золото-сульфоарсенидные проявления; метасоматические изменения; экзоконтакт; Хаутаваарский массив; Карелия.

### **L. V. Kuleshevich, O. B. Lavrov, A. V. Dmitrieva, V. M. Tytyk. PRECIOUS-METAL MINERALIZATION AT THE WESTERN EXOCONTACT OF THE HAUTAVAARA MASSIF, SOUTH KARELIA**

Intense silicification zones and metasomatic alterations (propylitic-type) with Au-Bi-Te-bearing base-metal and sulfoarsenide mineralization were revealed at the exocontact of the Hautavaara granosyenite-monzogranite massif, South Karelia. Ore mineralization at the northwestern exocontact of the massif consists of pyrrhotite, chalcopyrite, sphalerite and galena. There also occur bismuth tellurides, hessite, electrum (30–35 % Ag), altaite and pyrosmalite (rare Mn-Fe-silicate). Alteration zones display elevated Mn, Cu, Zn and Ni concentrations and lower Pb, Bi, Te, Mo, Au, Co and As concentrations. Sulfoarsenide mineralization, consisting of arsenopyrite, galena, chalcopyrite, scheelite, pyrite, cobaltite, sphalerite and finely-dispersed gold (~18–23 % Ag) and Au-Bi associations, is confined to a biotite-chlorite-quartz metasomatic rock zone over gabbro at the southwestern exocontact of the massif. The southwestern aureole of the massif contains elevated As, Co, Pb, Cu, Zn, W, Bi, Au and Te concentrations.

**Key words:** gold-base metal; gold-sulfoarsenide occurrences; metasomatic alterations; exocontact; Hautavaara massif; Karelia.

## Введение

Металлогению Хаутаваарской структуры определяют разнообразные типы руд и зоны вкрапленной минерализации. К ним относятся колчеданные, колчеданно-полиметаллические, Cu-Ni-сульфидные, Au-S-кварцевые, молибденовые руды, медно-сульфидная с благородными металлами минерализация в феррогаббро виетуккалампинского комплекса [Минерально-сырьевая..., 2005; Слюсарев и др., 2007; Кулешевич и др., 2009; Кулешевич, Дмитриева, 2015]. Никелевые, колчеданные и некоторые золоторудные проявления в пределах Хаутаваарской площади были обнаружены благодаря геологоразведочным работам, проводимым Карельской ГЭ в 1970–1995 годах (представлены в отчетах С. А. Морозова и др. за 1971 г.; В. В. Сиваева и А. Ф. Горошко за 1982 и 1988 гг.; А. Ф. Горошко за 1993 и 1995 гг.), и изучались ИГ КарНЦ РАН и ЦНИГРИ [Робонен и др., 1978; Рыбаков, 1987]. Ревизионное переопробование колчеданных руд Карелии позволило выявить повышенные концентрации золота в колчеданах, обогащенных полиметаллами (отчет И. Н. Рундквист за 1976 г.). При завершении межведомственной темы «Золото Карелии» Хаутавааро-Ведлозерская площадь была признана перспективной для поисков золота (отчет А. Г. Леонтьева за 1997 г.). С конца 90-х годов геологоразведочные работы на Хаутаваарской площади были направлены в основном на поиски благородных металлов и проводились ООО «Онего-золото» (Ю. Н. Новиковым, В. М. Тытыком). Геохимические поиски осуществлялись СПбГУ (И. А. Алексеевым, А. В. Сергеевым). Изучение рудной минерализации Хаутаваарского массива и его обрамления, а также общие металлогенические исследования проводились авторами статьи.

Целью данной работы было установление типа оруденения в зонах рассланцевания и области гидротермально-метасоматического влияния Хаутаваарского массива на вмещающие толщи. В задачи работы входило изучение рудной минерализации и метасоматических изменений пород в зонах рассланцевания в экзоконтакте массива, последовательности рудообразования и минералого-геохимических индикаторов оруденения. В результате исследований авторами получены новые данные по золото-полиметаллической и золото-сульфоарсенидной рудной минерализации в западном и юго-западном экзоконтактах Хаутаваарского массива, установлены минералого-геохимические индикаторы и условия рудообразования.

## Материалы и методы

Фактическим материалом (рис. 1) для данной работы были образцы, отобранные на участках Лоухиваара, ЛЭП и Раялампи в западном и юго-западном обрамлении Хаутаваарского массива и южнее – вплоть до участка Коруд. Химический состав вмещающих и измененных пород, содержание петрогенных, редких и благородных элементов в породах определялись силикатным и ICP-MS анализами в химической лаборатории ИГ КарНЦ РАН (г. Петрозаводск). Породообразующие и рудные минералы изучались на электронном микроскопе VEGA II LSH, Tescan с ЭДС приставкой INCA Energy 350. Результаты датирования пород приводятся по опубликованным в литературе материалам.

### Геологическое строение, магматизм и полезные ископаемые Хаутаваарской структуры

#### *Вулканогенно-осадочные комплексы и связанные с ними полезные ископаемые*

В геологическом строении Хаутаваарской структуры (рис. 1) выделяют несколько свит лопийского возраста (мезоархей), относимых к хаутаваарской серии [Раевская и др., 1992]. К ним относятся (снизу-вверх): 1) виетуккалампинская, 2) лоухиваарская, 3) калаярвинская, 4) кульюнская и 5) усмитсанъярвинская.

Виетуккалампинская свита (3,0–2,94 млрд л., табл. 1) представлена базальтами, андезибазальтами, андезитами, дацитами, риолитами. К толще среднего состава (с возрастом 2,94 млрд л. [Матреничев, 1990], Игнойльского некка – 3,0 млрд л. [Сергеев, 1989]) и углеродсодержащим сланцам приурочена стратифицированная послойно-вкрапленная колчеданная минерализация. Лоухиваарская свита близкого возраста (3,0–2,98 млрд л.) объединяет метаморфизованные коматииты и амфиболиты по базальтам северо-западнее Хаутаваарского массива [Светов, Хухма, 1999; Светов, 2005]. Обе свиты прорываются дайками феррогаббро и ультрабазитами западнее оз. Виетуккалампи (комплекс Виетуккалампи) и гранитоидами. Калаярвинская свита представлена переслаивающейся толщей кислых-средних вулканитов, агломератовыми, лапиллиевыми и псаммитовыми туфами и туффитами с прослоями углеродсодержащих сланцев и горизонтами колчеданных руд, образующих стратифицированные залежи в восточном борту структуры. Толща прорывается телами

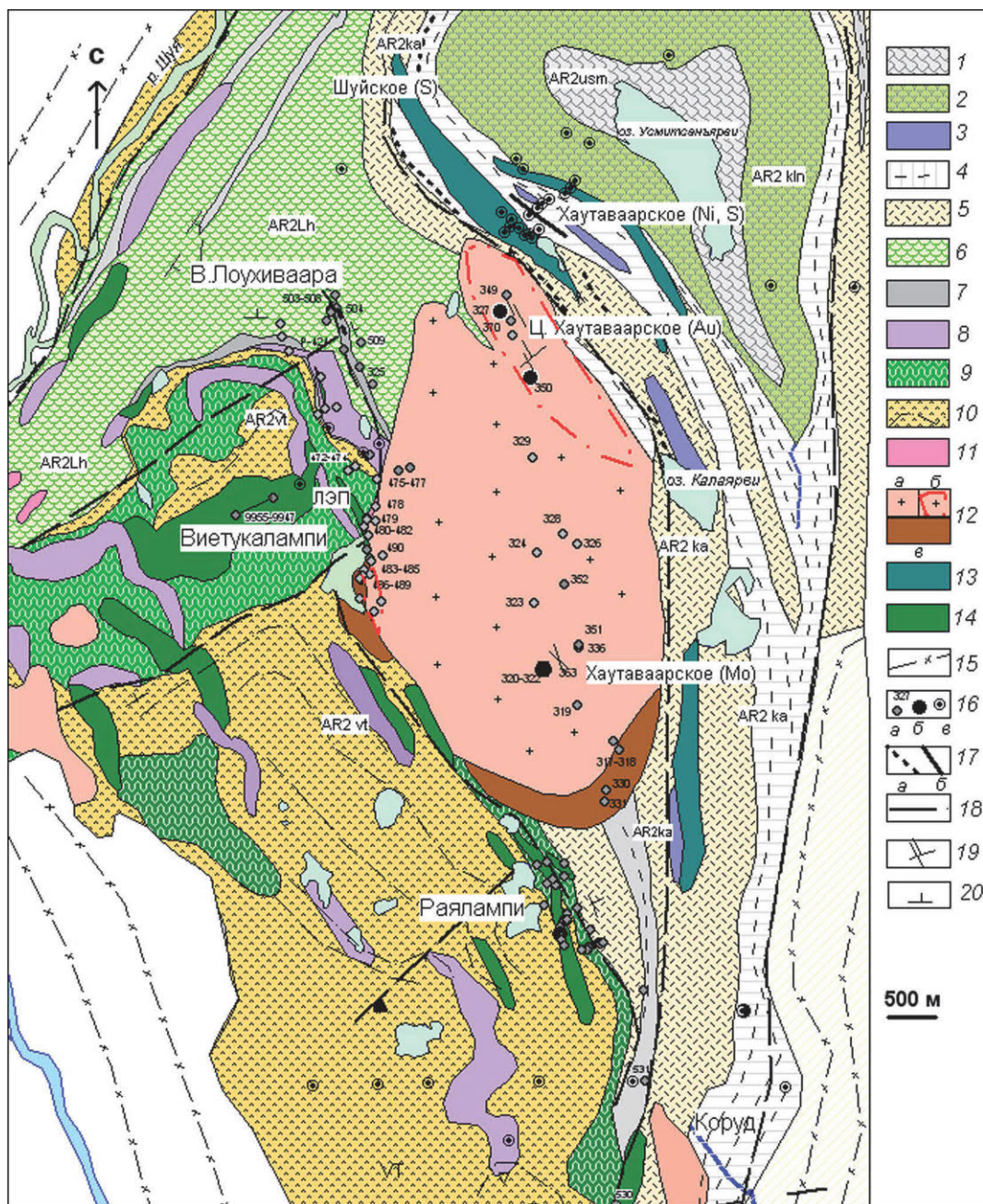


Рис. 1. Схема геологического строения Хаутаваарской структуры (составлена с использованием материалов КГЭ, материалов В. В. Сиваева и А. Ф. Горошко за 1988 год и авторских работ)

Лопийский надгоризонт, свиты (породы): 1 – усмитсаньярвинская ( $AR_{2usm}$ , туфы, туфогенно-осадочные породы); 2 – кульонская ( $AR_{2kln}$ , базальты); 3–5 – каляярвинская ( $AR_{2ka}$ , 3 – ультрабазиты; 4 – углеродсодержащие черные сланцы с сульфидной минерализацией; 5 – туфогенно-осадочная толща, риодациты, дациты); 6–8 – лоухиваарская ( $AR_{2lh}$ , 6 – базальты; 7 – углеродсодержащие сланцы, хемогенные кварциты с конкрециями, магнетитовые горизонты; 8 – коматиты, отчасти интрузивные ультрабазиты); 9–10 – виетукалампинская ( $AR_{2vt}$ , 9 – андезитобазальты, 10 – андезиты, дациты, риолиты). 11 – дайки и малые тела К-гранитов (комплекс Виртаоя). 12 – хаутаваарский комплекс (а – монцограниты, б – граносиениты, в – монцогаббро-монцодиориты). 13 – комплекс Кайнооя (габбро). 14 – виетукалампинский комплекс (феррогаббро). 15 – граниты, гранитогнейсы (шуйский комплекс). 16 – обнажения и их номера (а), рудопоявления (б), скважины (в), 17 – руды (а – колчеданные, б – сульфидные медно-никелевые). 18 – разломы. 19 – жилы и штокверки. 20 – элементы залегания

габброидов, ультрабазитов и граносиенитами Хаутаваарского массива. Отложение вулканогенно-осадочных пород каляярвинской свиты

происходило до 2,85–2,86 млрд лет, судя по возрасту прорывающих их даек [Сергеев, 1989; Овчинникова и др., 1994].

Таблица 1. Возраст вулканогенных и интрузивных пород Хаутаваарской структуры

Интрузивные тела, свита	Порода	Возраст (млн лет)	Ссылка
Хаутаваарская структура: виетуккалампинская свита (1)	обломки дацитов в агломератах	2944 ± 7,9	Матреничев, 1990
лоухиваарская свита (2)	коматииты, базальты	2921 ± 55	Светов, Хухма, 1999
Игнойльский субвулканический некк: андезиты, дациты, сопоставимые с (1)	крупнопорфировые дациты	2995 ± 20	Сергеев, 1989
массив Виетуккалампинский	габбро, феррогаббро	2914 ± 9	Носова и др., 2013
массив ТТГ (шуйский комплекс, секущий калаярвинскую свиту)	гранодиориты	2850 ± 50	Тугаринов, Бибилова, 1980
дайки кислых пород, секущие калаярвинскую свиту и сопряженные с шуйским ТТГ комплексом	риолиты, риодациты	2854 ± 14; 2862 ± 45	Сергеев, 1989; Овчинникова и др., 1994
массив Хаутаваарский	монцогаббро- граносиениты	2742 ± 23 (1 фаза) 2743 ± 8 (2 фаза)	Bibikova et al., 2005

Кульонская свита объединяет толщи базальтов, расположенные северо-восточнее дер. Хаутаваара. Усмитсанъярвинская свита представлена углеродсодержащими сланцами, туфами, туффитами дацитового состава и кремнистыми породами вблизи оз. Усмитсанъярви. Метаморфизм вмещающих толщ не превышает эпидот-амфиболитовой фации. В построениях КГЭ хаутаваарская серия (нижняя и верхняя) объединяет четыре свиты: 1) нижняя – лоухиваарскую и калаярвинскую (последняя объединена с виетуккалампинской), 2) верхняя – кульонскую и усмитсанъярвинскую. Основные полезные ископаемые Хаутаваарской структуры связаны с первыми тремя свитами. Горизонты вкрапленно-прожилковых, полосчатых и массивных колчеданных руд калаярвинской свиты, а также небогатая сульфидная минерализация на контакте порфировых даек показывают устойчивый повышенный фон и иногда аномальные повышенные концентрации золота в ассоциациях с полиметаллами (Zn, Cu). Вулканогенно-осадочные толщи выделяемых свит формировались в разных геологических обстановках в интервале времени 3,02–2,86 млрд лет [Светов, 2005]. Интрузии, прорывающие вулканогенно-осадочные комплексы, внедрялись в интервале времени от 3,0 до 2,7 млрд лет. Модели геодинамического развития структуры, в составе Сегозерско-Ведлозерского зеленокаменного пояса, разработаны В. Н. Кожевниковым и С. А. Световым [Кожевников, 2000; Светов, 2005].

*Интрузивные комплексы и связанные с ними полезные ископаемые*

Интрузивные комплексы Хаутаваарской структуры (рис. 1) представлены габброидами и ультрабазитами двух уровней, дайками и ТТГ Шуйского комплекса, умереннощелочными

дифференцированными массивами Хаутаваарским, Коруд и наиболее поздними телами и пегматитовыми жилами Виртаоя.

Базит-гипербазитовые интрузии представлены ультрабазитами и габбро двух возрастных уровней, секущими вмещающие толщи разных стратиграфических уровней. Изучением ультрабазит-базитового магматизма начиная с 60-х годов занимались С. А. Морозов, В. В. Сиваев, А. Ф. Горошко, М. Г. Попов, М. М. Лавров, В. Д. Слюсарев (КГЭ, ИГ КарНЦ РАН). Ультрабазиты и габбро, прорывающие калаярвинскую свиту с колчеданным оруденением, сопровождаются Cu-Ni-S-минерализацией. В восточном обрамлении Хаутаваарского массива в зоне СЗ расщепления они подвергаются изменениям и перекристаллизации. Cu-Ni-проявление Хаутаваарское характеризуется содержанием Ni 0,48–1,5 %, Cu 0,59 – до 7 % [Минерально-сырьевая..., 2005]. В слабоминерализованных серпентинизированных ультрабазитах и сланцах по ним ΣЭПГ не превышает 0,045–0,007 г/т, в пентландит-халькопирит-пирротинных рудах С-154 установлено 0,8–1,1 г/т, в С-152 – 2,85 г/т (по данным М. М. Лаврова), в С-51-53ЮК – до 2–8 г/т ΣЭПГ (на интервал 3–10 м, по данным КГЭ). Платиноиды представлены меренскитом, Pd-мелонитом, сперрилитом, Pd-Bi-Sb-Te-фазами [Кулешевич, 2015].

Габброиды виетуккалампинского комплекса (феррогаббро) образуют массив изогнутой формы в центральной части структуры и дайковые тела южнее оз. Виетуккалампи (рис. 1). Дайки прослеживаются до участка Коруд. Возраст Виетуккалампинского массива габбро равен 2914 ± 9 млн лет (определен по циркону U-Pb-методом, табл. 1) [Носова и др., 2013]. Массив прорывают кислые дайки, в ореоле которых в габброидах встречается сульфидная минерализация и отмечено повышенное

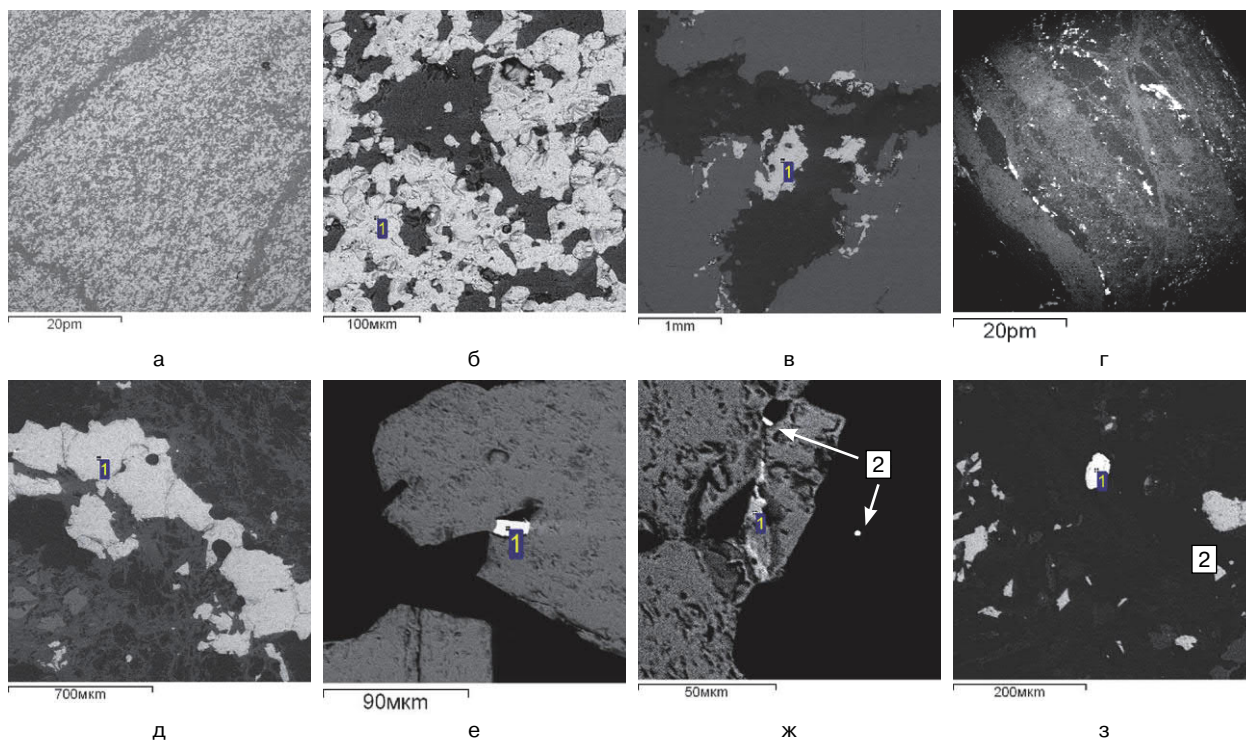


Рис. 2. Полиметаллическая минерализация проявления «Железистые кварциты»:

а – полосчатые магнетитовые руды (обр. 504); б – магнетит (1) в кварце; в – кварцевый прожилок с халькопиритом (1) и пирротинном (обр. 504-2-2); г – вкрапленно-прожилковая халькопирит-пирротинная минерализация (504-3-1); д – пирротинный прожилок (1) в кварц-хлоритовой массе (504-3-2); е – галенит (1) в пирротине (504-3-6); ж – монацит (1) и алланит (2) в пирротине и кварце (504-3-8); з – вкрапленность арсенопирита (1) и пирротина (2) в кварц-хлоритовых околорудных метасоматитах (504-3-13)

содержание благородных металлов [Слюсарев и др., 2007; Кулешевич и др., 2009].

В Хаутаваарской структуре выделяется несколько типов гранитоидов, представляющих основание и прорывающих вмещающие толщи. К наиболее древним относятся гранито-гнейсы Сямозерского комплекса в обрамлении структуры. Вмещающие толщи калаярвинской свиты прорывают серые ТТГ и дайки Шуйского комплекса (~2,86 млрд лет, табл. 1) [Тугаринов, Бибикова, 1980; Сергеев, 1989; Овчинникова и др., 1994]. Внутрискруктурные дифференцированные массивы санукитоидов (Хаутаваарский и расположенный севернее массив Чалка) внедрились около 2,74 млрд лет назад [Bibikova et al., 2005]. Они прорывают виетуккалампинскую, лоухиваарскую и калаярвинскую свиты. В обрамлении структуры (вне представленной площади) встречаются красные калишпатовые граниты (~2,7–2,68 млрд лет, по материалам КГЭ), образующие небольшие массивы среди наиболее древних гранито-гнейсов Сямозерского комплекса.

Хаутаваарский умереннощелочной дифференцированный массив расположен в центральной части Хаутаваарской структуры.

Восточный контакт массива крутой, западный контакт более полого погружается на запад. Массив дифференцирован от монцогаббро и субщелочных диоритов до монцогранитов-граносиенитов, относимых к санукитоидной серии: при этом содержание  $\text{SiO}_2$  в разных фазах меняется от 53,32–57,83 до 68,22–69,94 %,  $\Sigma\text{alk}$  – от 6,55–8,09 до 9,1–9,78 %,  $\text{K} > \text{Na}$ ,  $\text{mg\#}$  снижается от 0,59 до 0,53. Расположенный южнее массив Коруд содержит  $\text{SiO}_2$  65,34 %, характеризуется повышенной щелочностью –  $\Sigma\text{alk}$  7,81 % и магнезиальностью. Для пород Хаутаваарского комплекса (особенно ранних фаз внедрения) характерны высокие концентрации Ba (от 1862 до 913 ppm) и Sr (от 1121 до 290 ppm) [Дмитриева и др., 2016а]. Хаутаваарский массив сопровождается Au-Mo-S-штокверковым оруденением проявления Центральное Хаутаваарское и полиметаллической минерализацией в его ореоле, массив Коруд – золото-сульфоарсенидной минерализацией [Минерально-сырьевая..., 2005; Кулешевич и др., 2009; Кулешевич, Дмитриева, 2015; Дмитриева и др., 2016б]. Околожильные изменения в штокверковой зоне Хаутаваарского массива представлены кварц-серицитовыми

Таблица 2. Содержание элементов в зонах рудной минерализации и вмещающих их измененных породах в СЗ экзоконтакте Хаутаваарского массива (% , ppm)

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ti, %	0,018	0,204	0,384	0,014	0,59	0,22	0,10	0,30	0,93	0,60	0,14
Mn, %	0,18	0,15	0,143	0,421	0,15	0,10	0,10	0,13	0,21	0,19	0,017
P, ppm	432	214	180	265	470	655	88	275	717	456	296
V	12	105	236	10	328	76		215	363	347	23
Cr	14	167	390	13	32	510	2707	38	9	15	25
Co	6,54	29,4	43,3	90	41,4	35,1	90	38,2	35,4	47,9	3
Ni	10	37,7	163	204	41,6	219	956	63	4	36,6	11
Cu	8	257	110	269	6,2	113	1,4	49,2	37	23,2	23
Zn	276	159	69	458	86,4	856	68	137	119	228	75
As	-	-	10,4	-	-	-	-	-	-	14,7	-
Mo	1,39	5,45	1,87	-	0,95	2,97	0,87	2,5	0,62	3,22	22
Ag	0,21	-	0,22	2,1	0,13	0,60	0,15	0,15	0,16	0,12	0,23
Sb	0,21	0,14	0,51	0,14	0,19	0,23	0,77	0,27	0,31	0,26	0,08
Te	-	0,73	-	2,63	-	0,85	-	0,21	-	-	0,21
ΣREE	10,2	50,4	28,2	32,8	44,8	55,1	8,3	33,3	60,1	42,7	44
W	0,35	0,37	0,92	0,22	0,45	3,96	1,16	0,54	1,65	0,95	0,6
Pb	1,3	4,6	3	5,1	3,1	39,7	4,6	9,3	7,9	3,8	9,2
Bi	0,1	0,35	0,06	2,78	0,05	0,26	0,14	0,42	0,14	0,4	0,12
Au	-	-	0,031	-	-	0,14	0,11	0,064	-	-	0,071
Pt	0,013	0,044	0,034	-	0,05	0,14	-	0,011	-	-	0,075
№ обр.	504	504/3	506	507	474	473	472	482	481	480	478

Примечание. Проявление «Железистые кварциты»: 1 – магнетитовый кварцит, 2 – халькопирит-кварцевые прожилки. Восточная Лоухиваара: 3 – измененный андезибазальт с сульфидами, 4 – полиметаллическая минерализация в измененных туфах. Участок ЛЭП: 5 – измененный андезибазальт, 6 – полиметаллическая минерализация в андезибазальтах, 7 – метаморфизованный ультрабазит. Участок СВ Виетуккалампи: 8–10 – габбро Виетуккалампинского комплекса, биотитизированные (среди них 9 и 10 – с сульфидной вкрапленностью), 11 – гранит-аплит, секущий габбро.

и пропилитовыми изменениями. Массив оказал влияние на вмещающие толщи, в том числе на колчеданные и Cu-Ni-S-руды восточного экзоконтакта [Кулешевич, 2015].

Малые гранитные тела и жилы пегматитов комплекса Виртаоя (~2,7–2,68 млрд лет, по данным КГЭ), секущие вмещающие толщи преимущественно в западной части структуры, сопровождаются редкометалльной минерализацией.

### Метасоматические изменения вмещающих пород, сопровождающие Хаутаваарский массив и зоны расланцевания в его ореоле

Внедрение Хаутаваарского массива в смятые и метаморфизованные вмещающие толщи хаутаваарской серии сопровождалось локальным развитием в его ореоле и по зонам расланцевания метасоматических изменений, представленных главным образом пропилитами. Характер этих изменений определяется составом пород, развитых в западном и юго-западном контактах массива, – метабазальтами и андезибазальтами лоухиваарской

и виетуккалампинской свит, а также прорывающих их габбро. По метакоматиитам (серпентинитам) развиты тремолитовые и хлорит-карбонат-тремолитовые, реже фукситсодержащие сланцы. Околорудные изменения, сопровождающие сульфидно-кварцевые прожилки и наложенную вкрапленно-гнездовую халькопирит-пирротин-пиритовую минерализацию, представлены ранней биотитизацией и более поздней пропилитизацией (альбит-эпидот-хлорит-актинолитовыми ассоциациями метасоматитов). В центральной части пропилитовых зон развиваются кварц-хлоритовые метасоматиты.

Плагиоклаз основных пород раскисляется до альбита-олигоклаза, роговая обманка замещается актинолитом, затем хлоритом. Жилы на всех изученных участках в зальбандах сложены кварцем и хлоритом, иногда эпидотом. Карбонат в зонах деформаций и расланцевания образуется как более поздний минерал, реже встречаются поздние кальцитовые прожилки. Рудная минерализация в зонах изменения на изученных детальных участках несколько варьирует в зависимости от состава первичных пород и типа наложенных ассоциаций.

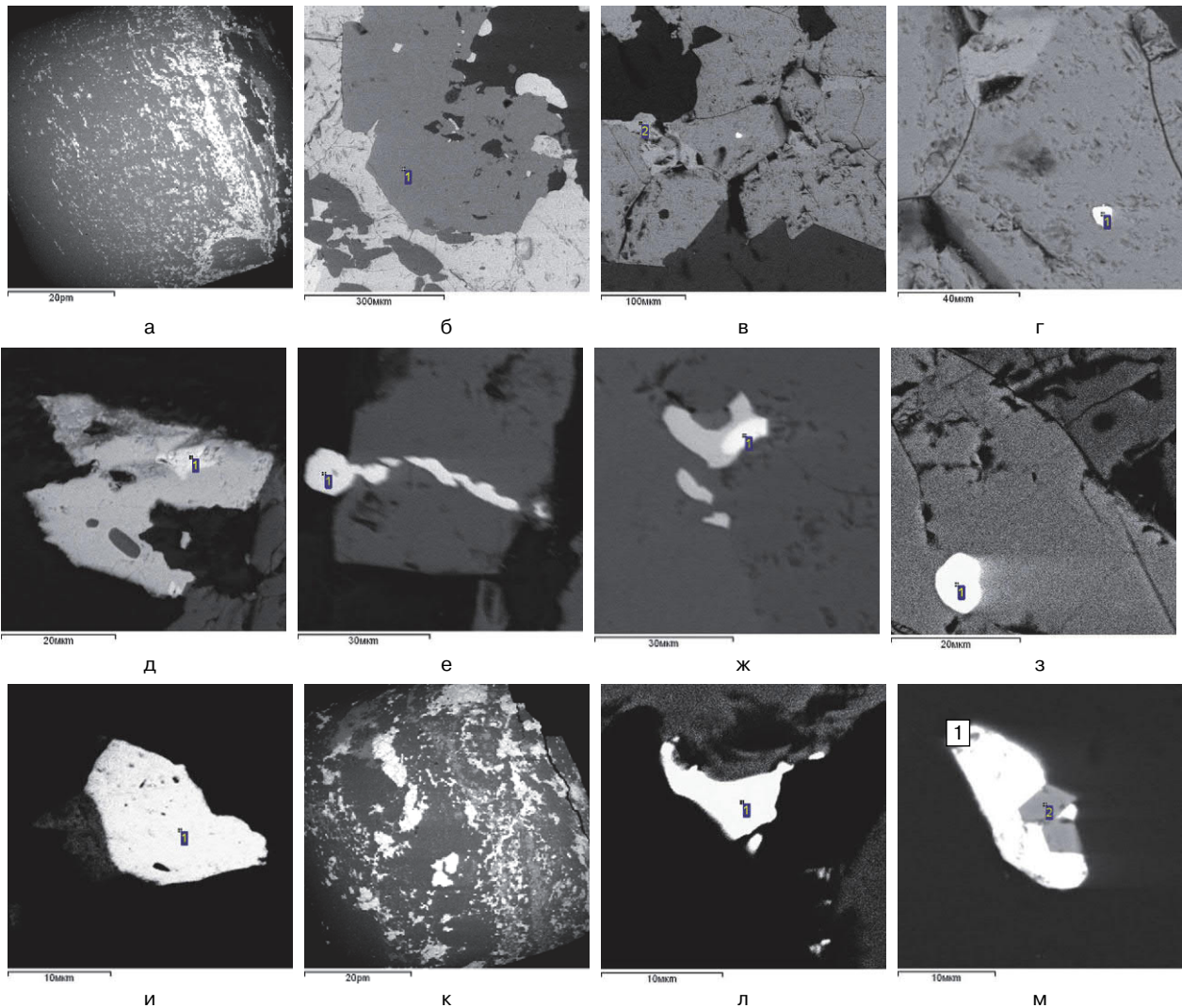


Рис. 3. Рудная минерализация проявления Восточная Лоухиваара:

а – халькопирит-пирротиновая вкрапленно-прожилковая минерализация (обр. ХТВ507-5-1); б – пирросмалит (1), окруженный сульфидами; в – пирротин (1), сфалерит (2), электрум (белый) (507-57); г – золото (1), сфалерит, пирротин; д – пильзенит (1) в гессите, сульфиды (темно-серые); е – галенит сечет халькопирит (507-33); ж – пильзенит (1) в гессите, на границе халькопирита и пирротина (507-40); з – гессит в халькопирите; и – сульфоцумоит (1) (Х507-9); к – вкрапленно-прожилковая текстура (К-578-3); л – пильзенит (1) (578-3); м – в галените (1) кристаллы Со-арсенопирита (2) (578-1)

### Рудная минерализация в западном ореоле Хаутаваарского массива

#### Участок Лоухиваара

#### Проявление «Железистые кварциты».

Северо-западнее Хаутаваарского массива на восточном склоне горы Лоухиваара к туфам среднего состава вьетуккалампинской свиты приурочен стратифицированный горизонт железистых кварцитов (руды подсечены канавой). Железистые кварциты образуют маломощный пласт (около 0,5 м) в туфогенно-осадочном прослое среди метабазальтов (обн. 504, 504/1-3). В рудном прослое магнетит выделяется в форме мелких кристаллов

(рис. 2, а, б) в ассоциации с актинолитом и Mg-Fe-куммингтонитом.

Магнетит-амфибол-кварцевые полосчатые руды секутся кварцевыми жилами с сульфидной гнездово-вкрапленной минерализацией (рис. 2, в, г). Вблизи кварцевых жил и гнезд развиты актинолит, хлорит, встречается титанит, в зальбандах жил выделяются халькопирит, сфалерит, пирротин (рис. 2, д-з), реже галенит, алтаит, арсенопирит. Для железистых кварцитов характерны низкие концентрации халькофильных элементов (табл. 2/1), тогда как зоны с наложенными на них секущими жилами и вкрапленно-прожилковой минерализацией выделяются повышенными концентрациями Cu, Zn и незначительно – Pb, Mo (табл. 2/2).

Таблица 3. Состав Ni, Co-сульфидов и сульфоарсенидов участка Восточная Лоухиваара и в скважинах С-144, -145 (ЛЭП) (мас. %)

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S	21,14	37,02	44,60	35,92	37,73	38,42	20,65	20,95	22,89	22,15
Fe	25,81	24,25	18,29	25,65	34,37	31,36	4,61	6,75	3,77	4,87
Co	6,48	10,93	10,89	7,82	4,35	4,53	21,34	22,15	25,74	23,77
Ni		27,80	26,23	29,36	23,55	29,03	5,10	5,63	3,68	3,92
As	46,57						44,55	45,11	43,91	45,29
Σ	100	100	100	100	100	100	96,25	100,59	99,99	100
Обр.	578	144–10	144–10	145–8	145–8	145–4	145–4	145–8	145–6	145–6
Уч.	1	1	12	4	7	2	10	20	3	6

Примечание. 1 – Co-арсенопирит, 2–6 – пентландит Co-содержащий, 7–10 – кобальтин (Co, Fe, Ni) AsS. Проявления: 1 – В. Лоухиваара, 2–10 – ЛЭП (С-144, -145).

Таблица 4. Состав теллуридов Bi, Pb проявления Восточная Лоухиваара (мас. %)

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
S				0,35	0,51								
Fe	1,12	1,94											
Te	35,23	31,08	31,82	28,11	26,75	29,56	36,57	44,62	42,13	39,18	38,76	38,97	39,30
Bi	63,65	66,99	68,18	71,54	71,37	70,44	63,43	48,69	57,87				
Pb								6,69		60,82	61,24	61,03	60,70
Σ	100	100,01	100	100	98,63	100	100	100	100	100	100	100	100
Обр.	X507	X507	X507-2	X507	507	X507	X507-2	507	X507	578–2	144–10	144–10	144–12
Уч.	6–2	7–1	23	13–1	52–1	9	8–1	53–1	19	8–1	12–1	16–1	5–1

Примечание. 1–3 – пильзенит  $Bi_4Te_3$ ; 4, 5 – сульфоцумоит  $Bi_3Te_2S$ ; 6, 7 – цумоит  $Bi_2Te_2$ ; 8, 9 – теллуrowисмутит  $Bi_2Te_3$ ; 10–13 – алтаит  $PbTe$ .

Таблица 5. Состав золота и минералов серебра (мас. %)

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Te	37,76	38,52	38,91	36,78	42,08								
Ag	61,46	60,27	61,09	63,22	57,92	33,87	35,68	35,68	35,01	36,13	33,67	35,00	33,67
Au						63,98	64,32	65,32	64,99	64,87	66,33	64,99	66,33
Σ	99,22	98,99	100	100	100	97,86	100	100	100	100	100	100	100
Обр.	X507	X507-2	507	578–1	578–1	507	507	507	507x-1	507x-1	507x-1	507x	507x
Уч.	6–1	17–1	52–2	10–2	12–1	2	3	58	1	5	6–3	2–1	6–3

Примечание. 1–4 – гессит, 5 – шютцит, 6–13 – электрум.

**Проявление Восточная Лоухиваара.** Севернее железистых кварцитов вкрапленно-прожилковая полиметаллическая минерализация была подсечена канавами (обр. 507, 506, 578, рис. 1). Сульфидная минерализация, приуроченная к меридиональной зоне рассланцевания, прослеживается по простиранию также и на юг, вплоть до северного контакта Хаутваарского массива, где пересекается в скважинах С-144, -145 и обнажениях на линии ЛЭП. Полиметаллическая минерализация проявления В. Лоухиваара приурочена к зоне рассланцеванных и деформированных туфов андезибазальтов с прослоем углеродсодержащих сланцев ССЗ простирания. Нерудная ассоциация измененных туфов представлена актинолитом, альбитом, кварцем, хлоритом. Породы в этой

зоне мощностью 1–2 м интенсивно окварцованы, амфиболы замещены клинохлором. В ассоциации с ними встречается редкий Mn-Fe-силикат – пиросмалит  $(Fe, Mn)_8 [Si_6O_{15}] (Cl, OH)_{10}$ , характерный для пород, обогащенных Mn и Fe (первая находка в Карелии).

Сульфиды (15–30 %) приурочены к зальбандам тонких сближенных кварцевых прожилков, рудная минерализация вкрапленно-прожилковая (рис. 3, а, к). Сульфиды цементируют в том числе и пиросмалит (рис. 3, б, в). Рудная минерализация представлена халькопиритом, пирротинном, сфалеритом, пиритом, реже встречаются висмутотеллуриды, галенит, гессит и единичные мелкие ромбические зерна Co-арсенопирита (Co до 6,48 %, табл. 3/1). Вкрапленность наиболее ранних кристаллов



Таблица 6. Состав Pd-содержащих минералов участка ЛЭП (С-144) (мас. %)

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pd	2,59	2,20	2,78	3,58	2,49	2,75	13,91	8,51	29,84
Ni	21,53	20,33	19,38	18,77	20,65	20,45	11,18	9,45	
Sb	23,49	24,19	22,89	24,24	24,42	24,74	27,42	18,51	26,14
Pb							12,79	25,65	
Te	52,39	53,28	54,40	50,85	52,53	52,06	33,52	37,88	36,75
Bi									7,26
S			0,55	2,56			1,19		
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Обр.	144-4	144-4	144-12	144-12	144-12	144-12	144-12	144-12	144-12
Уч.	4-1	4-2	22-1	22-4	22-7	22-8	22-2	22-3	28-1

Примечание. 1-6 – Pd-содержащий вавринит  $Ni_2SbTe_2$ ; 7, 8 – (Ni, Pd) (Te, Sb) – фаза промежуточного состава; 9 – теллурибиопалладит Pd (Sb, Bi, Te).

арсенопирита замещается сульфидами, на его зерна нарастает галенит (рис. 3, м). Теллуриды представлены пильзенитом, цумоитом, сульфоцумоитом, теллуриовисмутитом, алтаитом (табл. 4; рис. 3, д, ж-и, л). Пирротин замещается халькопиритом и сфалеритом (Fe 7,63–10,06 %), затем выделяются галенит (Pb 85,31–85,77; S 14,69–14,46 %), висмутотеллуриды и минералы серебра – штютцит, гессит (табл. 5/1–5), которые непосредственно сопровождают тонкодисперсное золото (размером 5–10 мкм). Золото в ассоциации с полиметаллами обычно высокосеребристое – это электрум (табл. 5/6–13; рис. 3, в, г). Пирротин при окислении замещается марказитом. В рудной зоне в измененных туфах, а также в железистых кварцитах содержание Mn достигает 0,42 % (табл. 2/1–4), что обеспечивает появление Mn-содержащих амфиболов и пирросмалита (табл. 2/4, обр. 507). Содержание рудогенных элементов составляет (в ppm): Ni – 204; Co – до 90; Cu – 269–322; Zn – 458; невысокое Pb – 5; Bi – 2,8; Te – 2,6; Ag – 2,1; Mo – 0,6–5,5; As – до 10. Содержание Au в ореоле рудной зоны с полиметаллами составляет 0,03 г/т.

**Проявление Фукситовое.** Сланцы и листовиты по ультрабазитам и их туфам проявления Фукситовое содержат тремолит, хлорит, фуксит, кварц, карбонат. Мощность зоны изменения достигает 3–6 м, протяженность – первые десятки метров. Измененные породы с вкрапленными сульфидами содержат ΣЭПГ 0,02–1,5 г/т и до 4,1 г/т (Pt – 0,72–0,62; Pd – 2,1–3,4; Au – 0,02–0,12), что в 2–2,5 раза выше относительно безрудных коматиитов, по данным В. Д. Слюсарева [Кулешевич и др., 2009].

Участок Виетуккалампи

**Проявление ЛЭП, скважины С-144, -145.** На линии ЛЭП, имеющей начало от небольшого

озера в центральной части Хаутаваарской структуры и прослеживаемой на запад, в метаморфизованных андезитобазальтах, ультрабазитах и секущих их габброидах установлена наложенная вкрапленно-прожилковая минерализация (до 20 % сульфидов, обн. 473–474, 472). Оруденение представлено пирротинном, сфалеритом, халькопиритом, галенитом, в ассоциации с которыми установлены алтаит, висмутотеллуриды, молибденит, единичные зерна шеелита. Измененные ультрабазиты в этом разрезе выделяются повышенным содержанием Cr, Ni, Co (табл. 2/7).

Скважины С-144, -145 подсекли интенсивно измененные сланцы по коматиитам и андезитобазальтам в зоне, наиболее близкой к северному эндоконтакту Хаутаваарского массива. Биотитизация и окварцевание пород развиваются локально по рассланцованным вмещающим толщам. Изменения в С-144 (по ультраосновным и средним по составу толщам) сопровождаются вкрапленно-прожилковой сульфидной минерализацией (рис. 4), представленной Со-пентландитом (Со до 7–14 %, табл. 3/2, 3), халькопиритом, кобальтином, галенитом, алтаитом, редкими Pd-Ni-Te-Sb-фазами (рис. 4, г; табл. 6) с включениями или самостоятельными зернами Te-Sb-палладита [Кулешевич, 2015]. Pd-Ni-Te-Sb-фазы – сростания теллурионисбита  $Ni(Sb, Te)_2$  и вавринита  $(Ni, Pd)_2SbTe_2$ . В этих минералах изоморфны Sb-Te, Ni-Pd. Встречаются реликтовые зерна хромита, который замещается магнетитом.

В С-145 наложенная прожилковая метасоматическая ассоциация представлена кальцитом, эпидотом, кварцем, повышенным количеством акцессорных минералов (рутил, апатит, монацит, циркон, бастнезит). Рудная минерализация представлена пирротинном, халькопиритом, сфалеритом, кобальтином, галенитом, реже встречаются молибденит, алтаит, единичные

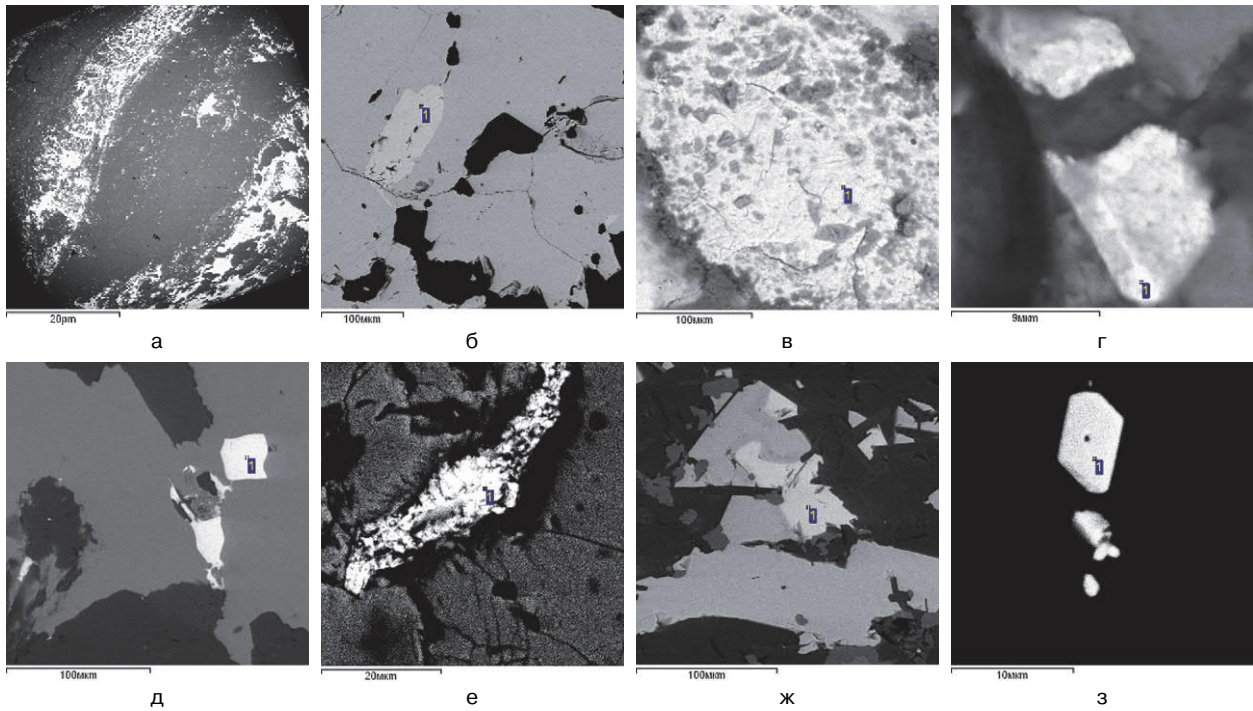


Рис. 4. Рудная минерализация скважин С-144, -145:

а – вкрапленно-прожилковая халькопирит-пирротиновая минерализация (С-144/10); б, в – пентландит (1) в пирротине (б – С-144/10, в – С-144/12); г – Pd-содержащая фаза в ваврините (1) (144/12-22); д – алтаит (1) в пирротине (С-144/12); е – молибденит (1) в пирротине; ж – сфалерит (1) в сростании с пирротинном (С-145/6-10); з – кобальтин (С-145/6-3)

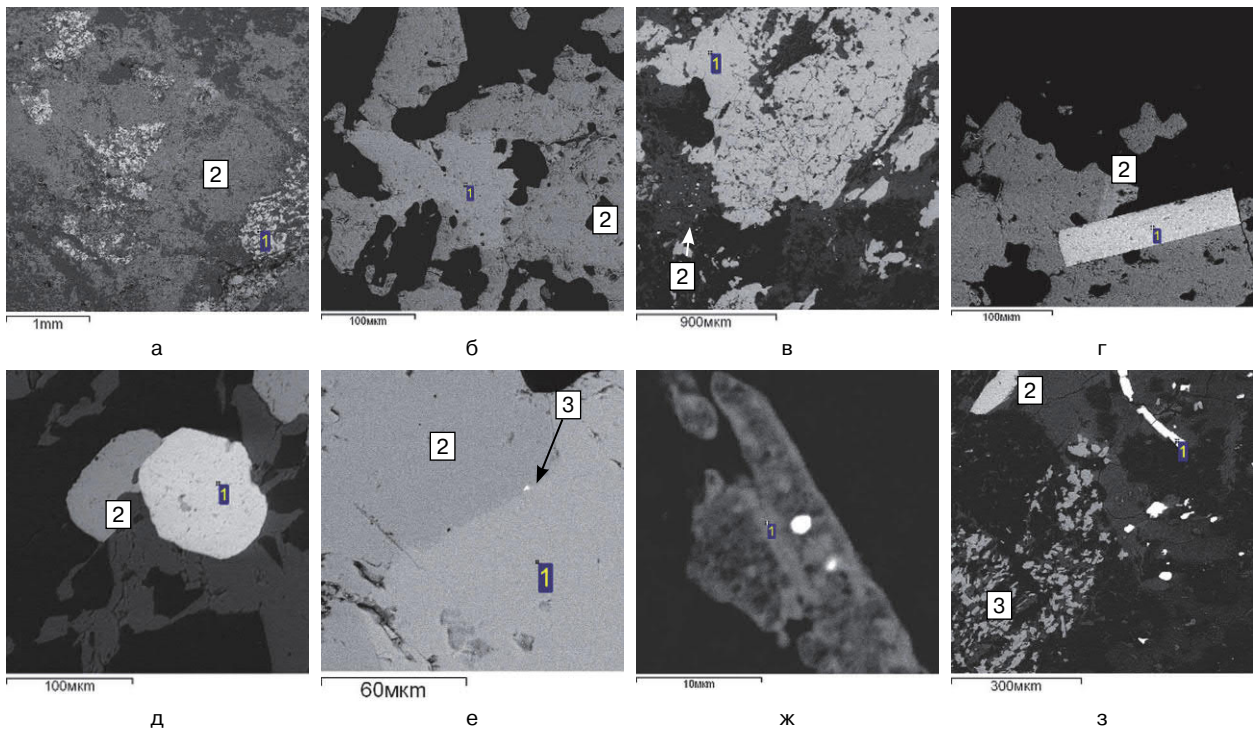


Рис. 5. Рудная минерализация внешней метасоматической зоны изменений по габбро:

а – пластинчатый ильменит (1) по титаномagnetиту в амфиболизированных габбро, роговая обманка (2) (498); б – халькопирит (1), пирротин (2) в измененном габбро (обр. 500); в – гнезда пирита (1) и точечный арсениопирит (2, белые точки) в роговой обманке (499-5-3); г – кобальтин (1) и халькопирит (2) в пирротине (обр. 500); д – кобальтин (1) в сростании с пирротинном (2) (498-9-1); е – тонкодисперсное золото (3) на границе халькопирита (1) и пирротина (2); ж – циркон (1) с включением селеногаленита (500-11); з – игольчатый арсениопирит (1, белый), пирит (2), ильменит (3) в измененных габбро (499-5-6)

Таблица 7. Химический состав основных типов пород участка Раялампи (мас. %)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO <sub>2</sub>	56,68	57,2	73,1	69,5	70,32	65,36	62,52	62,18	52,56	55,12	52,98	50,92	49,96
TiO <sub>2</sub>	0,81	1,34	0,46	0,35	0,49	0,53	0,72	0,67	1,62	1,5	1,35	1,57	1,77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,41	11,25	14,16	10,77	13,04	15,88	16,02	15,53	11,8	14,23	13,02	13,66	11,44
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,9	2,13	0,5	4,53	1,31	1,06	2,18	1,66	4,95	2,48	3,63	3,8	6,18
FeO	5,31	12,64	1	1,79	1,94	3,09	3,73	2,73	13	8,97	10,33	10,69	13,28
MnO	0,142	0,182	0,02	0,022	0,075	0,055	0,075	0,112	0,255	0,161	0,214	0,177	0,226
MgO	3,07	3,21	0,85	0,6	1,06	2,55	1,61	2,46	2,88	3,88	4,21	3,82	4,46
CaO	11,97	5,64	1,47	2,4	3,01	2,44	5,88	3,94	6,81	6,95	6,6	8,89	7,1
Na <sub>2</sub> O	1,31	3,3	6,18	2,58	4,18	4,52	2,15	4,73	3,52	3,43	2,96	2,62	2,48
K <sub>2</sub> O	0,43	0,8	1,06	1,32	1,53	2,7	1,75	1,58	0,64	1,04	0,33	0,42	0,65
H <sub>2</sub> O	0,09	1,86	0,2	0,59	0,42	0,11	0,14	0,22	0,18	0,12	0,21	0,1	0,18
ппп	1,6	0,22	0,67	5,39	2,34	1,33	2,8	3,76	1,64	1,68	3,62	3,17	2,15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1		0,2	0,07	0,25	0,28	0,29	0,27		0,14	0,13	0,16	0,1
Сумма	99,82	99,97	99,87	99,91	99,97	99,91	99,87	99,84	99,86	99,7	99,58	100	100
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	1,74	4,16	7,24	3,9	5,71	7,22	3,9	6,31	4,1	4,47	3,29	3,04	3,13
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	3,05	5,50	5,83	1,95	2,73	1,67	1,23	2,99	4,13	3,30	8,97	6,24	3,82
№ обр.	542	333	558/1	558	554	544/1	550	557	332	543	500	499/3	492

Примечание. 1 – андезибазальт; 2 – андезибазальт с сульфидами и ильменитом; 3–5 – риодациты, кварц-плагиопорфиры (3, 5 – массивные, 4 – рассланцованные); 6 – дациты; 7, 8 – андезиты (плагиопорфириты); 9–13 – габбро (вьетуккалампинский комплекс).

зерна Se-галенита (Se 3,5 %) (рис. 4, д–з). В связи с присутствием в геологических разрезах измененных ультрабазитов и габброидов (табл. 2/7–10) достаточно широко распространены Co-Ni-Fe-сульфоарсениды. Вмещающие породы прорываются кислыми дайками, для которых характерно повышенное содержание Mo (до 22 ppm, табл. 2/11).

Полиметаллическое оруденение, подсеченное скважинами, внесено в кадастр рудных объектов Карелии как проявление *Виетуккалампи* (Cu 0,35 %, Zn до 2,6 % и повышенные концентрации Mo, Ag, Ga), по данным В. В. Сиваева [Минерально-сырьевая..., 2005].

#### Участок Раялампи

Южнее Хаутаваарского гранитоидного массива на участке Раялампи (**проявление Озерки**) вблизи небольших озер развиты преимущественно метаандезибазальты, базальты и прорывающие их габбро (табл. 7). Восточнее этих озер прослеживается полоса пород калаярвинской свиты, представленных плагиопорфирами (риодацитами-дацитами), андезитовыми порфиридами, туфами и сланцами по ним. Габброиды выделяются повышенной магнитностью, содержат вкрапленность титаномагнетита (TiO<sub>2</sub> 1,35–1,77 %, табл. 7). Метаморфическая ассоциация габбро представлена Са-роговой обманкой или

актинолитом, плагиоклазом (андезин-битовнит и раскисленным), эпидотом, кварцем, титаномагнетитом, замещенным ильменитом. На габброиды в зонах их деформаций преимущественно и наложился более поздние метасоматические изменения пропилитового типа.

По результатам комплексных (геолого-гидрохимических и геофизических) работ, проводимых еще в 70-х годах прошлого столетия с участием авторов, в Хаутаваарской структуре, и в частности на участке Раялампи, были выявлены аномалии полиметаллов. Однако рудная минерализация участка Раялампи была обнаружена только на современном этапе работ при опробовании сильно окисленных и измененных габброидов и метабазальтов Карельской рудной компанией. Вблизи небольших озер была установлена зона рассланцевания по габбро: в западной части участка обнаружены кварц-хлоритовые изменения с арсенопиритом, в восточной части участка – окварцевание и висмутовые ассоциации (рудопроявление названо Озерки). Во внешней окolorудной зоне более распространена халькопирит-пирротиновая минерализация. Рудная минерализация на участках западном (Au-Pb-Cu-S-As) и восточном (Au-Pb-Cu-Te-Bi) Раялампи отличается: в статье рассматривается оруденение западного участка, рудная ассоциация восточного требует доизучения.

Таблица 8. Содержание рудогенных элементов во вмещающих толщах, метасоматитах по ним и в рудной зоне участка Раялампи (% , ppm)

Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ti %	0,61	1,08	0,92	1,87	0,62	0,24	1,16	1,12	1,15	0,83	0,81	0,93	0,86
Mn %	0,058	0,16	0,12	0,078	0,03	0,016	0,12	0,13	0,07	0,068	0,14	0,14	0,12
P ppm	392	270	409	298	165	150	636	556	531	418	399	701	923
V	162	750	580	882	377	144	499	559	531	486	575	173	56
Cr	31	16	17	11	16	22	12	22	9	27	9,3	16	17
Co	15	52	46	11	126	30	63	39	458	569	42,2	40	21
Ni	38	10	17	11	14	18	74	27	78	78	26,2	17	21
Cu	14	16	288	234	1082	469	387	11	539	1166	322	167	122
Zn	32	101	62	64	59	161	78	70	92	77	75	101	74
As	-	-	18	5632	43660	20810	22	14	3143	2421	10,5	1,3	5,4
Mo	0,76	-	0,68	1,5	0,77	1,66	0,74	0,71	1,1	1,5	0,63	0,92	10,6
Ag	0,14	0,22	0,34	0,97	1,4	2,14	0,49	0,1	0,94	1,24	0,51	0,51	24,1
Sb	0,67	0,49	0,92	5,52	77,5	28,8	1,73	1,46	15,3	11,7	0,66	0,87	6,1
Te	-	-	-	0,43	2,57	0,85	-	-	2,01	1,75	0,21	0,13	151
ΣREE	38	48	52	24	12	9	69	70	34	35	61	81	69
W	0,88	1,16	0,91	34,46	6,78	6,46	3,87	12,28	3,88	3,74	1,25	0,78	2,66
Pb	5,5	4,9	4,9	514	506	1693	7,7	4,8	11,4	12,5	5,4	6,5	1520
Bi	0,22	0,43	0,25	0,94	7,35	3,67	0,45	0,15	2,88	2,43	0,16	1,54	7891
Au	-	0,092	-	-	1,37	0,42	0,04	0,1	0,19	0,15	-	-	н/о
Pt	0,043	0,058	-	0,075	0,021	-	0,051	0,031	0,079	-	-	0,066	0,08
№ обр.	496	492	498/1	536	536/1	536/2	499	499/3	499/5	499/5а	500	ВРa1	ВРa2

Примечание. Западный участок: 1 – метабазалты; 2 – метагаббро; 3, 8, 11 – метагаббро с сульфидами; 4–7, 9, 10 – рудная зона, окварцованные измененные габбро с арсенопиритовой минерализацией; 10 – измененные габбро с пиритовой минерализацией. Восточный участок: 12 – измененные метабазалты, внешняя зона, 13 – рудная зона с Au-Bi-минерализацией. Прочерк – ниже предела обнаружения, н/о – не определялось.

На **участке западное Раялампи** метасоматические изменения наложались на габбро, среди них можно выделить две основные зоны: 1 – зону кварц-хлоритовую, непосредственно примыкающую к окварцованным породам, представленным сближенными кварцевыми жилами, и 2 – внешнюю зону, удаленную от центральной части метасоматической колонки. Изменения проявлены неравномерно и прослеживаются по простиранию на значительное расстояние (до 1,5 км), накладываясь в том числе и на вмещающие андезибазальты и базальты.

Изменения габбро во внешней метасоматической зоне-2 (обр. 331–333, 349, 543) представлены эпидотом, альбитом, актинолитом. В пределах зоны встречаются также кварцевые прожилки с хлоритом, гнезда и вкрапленность сульфидов, а также минералы ранней метаморфогенной стадии образования. Актинолит замещает роговую обманку, альбит и эпидот – плагиоклаз, ильменит – титаномагнетит (рис. 5, а). Локально образуются лейкократовые полевошпатовые (альбитовые) зонки, эпидозиты, а также наложенная биотитизация

и окварцевание. Биотитизация сопровождается привнесением К (выделяется по увеличению биотита в составе габбро, табл. 7) и предшествует окварцеванию. К внешней зоне метасоматического изменения пород приурочены пирротин, сфалерит (Fe 3,7–9,7%), халькопирит, пирит-1, кобальтин, встречаются галенит, висмутотеллуриды, гессит, алтаит, реже микронное золото и Se-галенит (рис. 5, б–з). Кобальтин (рис. 5, г, д) выделяется первым, образуя призматические кристаллы, он сростается с пиритом-1, цементируется пирротинном и халькопиритом. Вблизи зоны-1 появляются кристаллы арсенопирита (рис. 5, з). Пирротин при окислении замещается пиритом-2 и марказитом.

Метасоматиты околорудной зоны приурочены к сильно рассланцованным породам, они представлены кварцем, хлоритом, в них встречаются альбит, биотит, в незначительном количестве присутствуют турмалин, шеелит и акцессорные минералы, такие как циркон, торит, монацит и более поздние барит, бастнезит.

Рудная арсенопирит-кварцевая зона имеет мощность около 5 м. Центральная часть рудной зоны интенсивно окварцована – пронизана

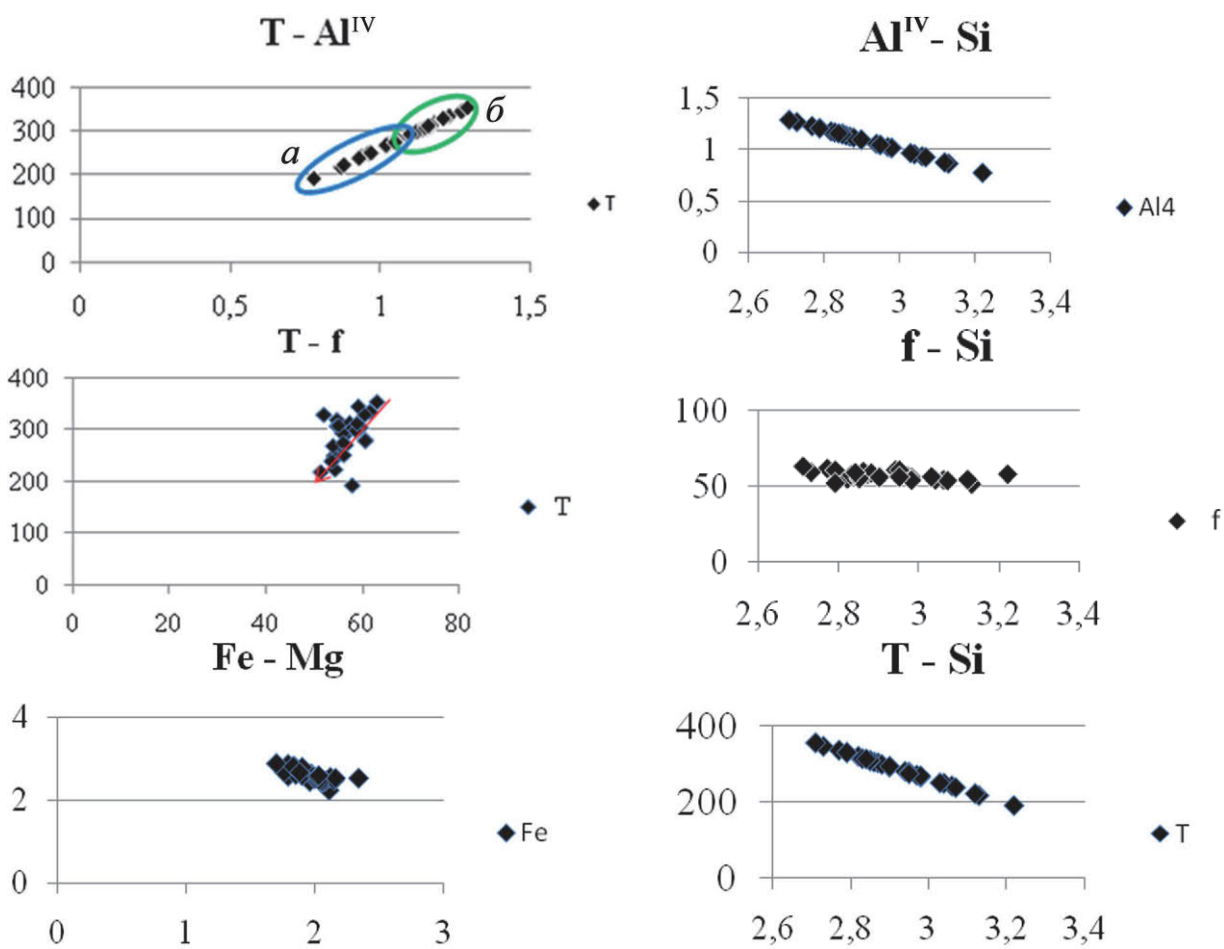


Рис. 6. Соотношение компонентов (ф. ед.), железистость (f, %) и  $T_{\text{обр.}}$  (°C) хлоритов измененных пород: контур а – репидолит из измененных габбро (ореолы), контур б – прохлорит из рудной зоны проявления западное Раялампи

кварцевыми жилами с арсенопиритом. Кварц содержит многочисленные включения хлорита и других силикатов. Арсенопирит выделяется в маломощных кварцевых жилках (шириной 1–10 см) и в измененных околожильных породах. Аз. пр. кварцевых жил и прожилков 320–330° СЗ и 70° СВ. Оруденение сопровождается литохимической аномалией As, Cu, Pb. Опробование руд и окolorудно-измененных пород западного участка, проведенное авторами, позволило выявить повышенные концентрации As, Pb, Cu, Co, Sb, W и менее значимые, но отчетливо повышающиеся в рудоносных метасоматитах – Bi, Te, Au, Ag (табл. 8).

Распределение Ti, V, элементов, типоморфных для габбро, неравномерное: в зонах с хлоритом их содержание возрастает за счет ильменита, в зонах окварцевания вблизи рудных тел – снижается. В рудной окварцованной зоне снижается также содержание  $\Sigma\text{REE}$ . По данным «Карельской рудной компании», содержание Cu достигает 3200 г/т, Zn 150–400 г/т, Pb до 2800 г/т.

Начальная температура образования определялась по составу хлорита из окolorудно-измененных пород и арсенопирита. Хлориты (табл. 9) из измененных габбро (зона-2 с сульфидами) имеют магнезиально-железистый состав (средний в %, n=15): MgO – 11,21; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 19,69; SiO<sub>2</sub> – 25,24; FeO – 27,31;  $\Sigma = 83,45$  %; f = 52–63 % (среднее 60 %);  $T_{\text{обр.}} = 305$  °C. В рудной зоне-1 вблизи арсенопирит-кварцевых прожилков состав хлорита незначительно изменяется (средний состав в %, n=12): MgO – 12,41; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 20,01; SiO<sub>2</sub> – 27,10; FeO – 28,80;  $\Sigma = 88,32$  %; f = 51–59 % (среднее 55 %); средняя  $T_{\text{обр.}} = 265$  °C. Вблизи карбонатного прожилка Mg-Fe-хлорит содержит: MgO – 10,13 %; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 18,41 %; SiO<sub>2</sub> – 23,56 %; FeO – 25,58 %;  $\Sigma = 77,68$  %;  $T_{\text{обр.}} = 220$ –240 °C.

Проанализированные составы хлоритов из окolorудных метасоматитов, а также метасоматитов внешней зоны колонки, относятся к железисто-магнезиальным хлоритам с f = 51–63 % – прохлоритам-репидолитам (рис. 6), по

Таблица 9. Состав хлоритов из околорудных метасоматитов западного участка (в мас. %)

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mg (%)	7,75	8,1	8,04	7,87	8,81	8,56	8,94	8,48	8,38	9,25	8,66	8,85
Al	11,3	12,49	11,51	12,54	12,53	12,28	11,53	11,99	12,39	11,16	11,12	11,7
Si	14,34	14,14	14,02	14,18	14,17	14,35	15,05	14,34	14,78	14,75	14,94	15,16
Fe	27,3	25,44	27,16	25,59	24,42	24,81	24,25	25,35	24,17	24,89	25,38	23,95
O	39,31	39,83	39,28	39,82	40,08	40,01	40,23	39,84	40,29	39,95	39,89	40,35
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Атомное количество												
Mg	0,32	0,33	0,33	0,32	0,36	0,35	0,37	0,35	0,34	0,38	0,36	0,36
Al	0,42	0,46	0,43	0,46	0,46	0,46	0,43	0,44	0,46	0,41	0,41	0,43
Si	0,51	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51	0,54	0,51	0,53	0,53	0,53	0,54
Fe	0,49	0,46	0,49	0,46	0,44	0,44	0,43	0,45	0,43	0,45	0,45	0,43
ΣК	1,74	1,76	1,74	1,75	1,77	1,76	1,77	1,76	1,76	1,76	1,75	1,77
О. д.	0,17	0,18	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Коэффициенты формул												
Mg	1,84	1,90	1,90	1,85	2,05	2,00	2,08	1,98	1,96	2,16	2,03	2,06
Al	2,41	2,64	2,45	2,65	2,63	2,58	2,42	2,53	2,61	2,34	2,35	2,46
Si	2,94	2,87	2,86	2,88	2,85	2,90	3,04	2,90	2,98	2,98	3,03	3,06
Fe	2,81	2,60	2,79	2,62	2,47	2,52	2,46	2,58	2,45	2,53	2,59	2,43
Al <sup>4</sup>	1,06	1,13	1,14	1,12	1,15	1,10	0,96	1,10	1,02	1,02	0,97	0,94
Al <sup>6</sup>	1,35	1,51	1,31	1,54	1,48	1,48	1,46	1,43	1,59	1,32	1,38	1,51
f, %	60,5	57,8	59,5	58,6	54,7	55,8	54,1	56,5	55,7	53,9	56,1	54,1
T <sub>обр.</sub>	280	302	304	298	307	293	249	291	265	268	250	242
Обр.	498	499_4	499_4	499_4	499-5а	500	Раял <sup>3</sup>	536	536	536-1	536-1	Раял1
уч.	5-1	3-4	3-10	6-3	3-2	5-5	3-4	6-1	6-3	4-3	5-3	13-7

Примечание. 1–6 – хлориты из зоны метасоматического изменения (внешней зоны), 7–12 – хлориты из зоны околорудного (околорудного) изменения. Микронзондовые анализы выполнены в ИГ КарНЦ РАН. Сумма приведена к 100 % (без учета воды), кислород добавляется при пересчетах, ΣК – сумма катионов, О. д. – общий делитель. Железистость хлорита (ат. %) =  $Fe^*100 / (Fe+Mg)$ . T<sub>обр.</sub> рассчитана по геотермометру [Cathelineau, Nieva, 1985].

составу близким к составу хлоритов проявления Восточная Лоухиваара. От внешней зоны метасоматитов по габбро к околорудной арсенопирит-кварцевой зоне в хлоритах снижается содержание (ф. ед.) Al<sup>IV</sup> и увеличивается Si, тогда как соотношение Fe-Mg и железистость (f %) меняются незначительно. Температура образования хлоритов в рудной зоне ниже, чем в околорудных метасоматитах, условия образования отвечают среднетемпературным (табл. 9).

**Рудная минерализация.** Сульфоарсенидная минерализация в рудной зоне представлена арсенопиритом, пиритом, ильменитом, в ассоциации с ними встречаются шеелит, сфалерит, галенит, реже золото, висмутотеллуриды, антимонит. Текстура руд вкрапленная и гнездово-прожилковая, неоднородная (рис. 7).

Арсенопирит образует мелкие игольчатые, ромбические и более крупные метакристаллы размером до 1–5 мм (рис. 7; табл. 10). К арсенопириту-1 относятся мелкие игольчатые кристаллы 1-й генерации, к арсенопириту-2 – более крупные ромбические кристаллы. Игольчатые кристаллы иногда образуют двойники

прорастания (рис. 7, б–д). Арсенопирит-3 образует более крупные метакристаллы, представленные срастанием мелких индивидов (рис. 7, е–з). Он содержит включения кварца, хлорита, ильменита. Арсенопирит сечется тонкими просечками пирита. В составе арсенопирита установлено 28,3–31,8 ат. % As (табл. 10), что соответствует интервалу начальной температуры образования 420–280 °С [Скотт, 1984]. Игольчатые кристаллы 1-й генерации наиболее высокожелезистые, в них среднее содержание As – 29,6 ат. %, T<sub>обр.</sub> = 330 °С. Более крупные ромбические кристаллы содержат As 30,3–30,8 ат. %, T<sub>обр.</sub> = 370 °С. Самые крупные метакристаллы образовались при перекристаллизации мелких игольчатых и ромбических зерен, они содержат As 29,6–31,8 ат. % (T<sub>обр.</sub> = 320–420 °С, средняя 380 °С). Крупные кристаллы арсенопирита обычно несколько более высокотемпературные, чем игольчатые.

Таким образом, температура образования оруденения по арсенопириту находилась в интервале 420–280 °С, средняя по разным генерациям 380–330 °С. Она близка к температуре

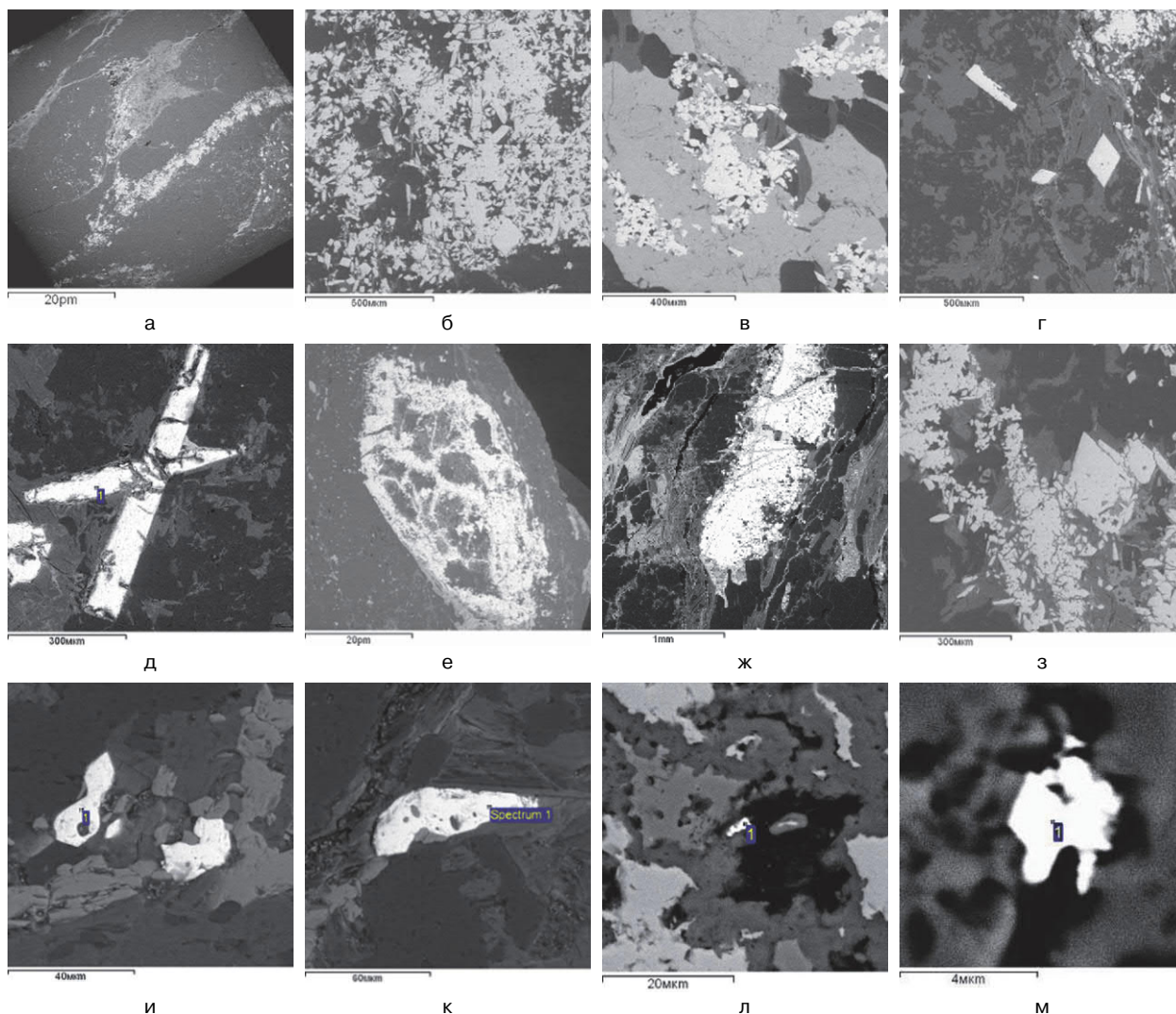


Рис. 7. Рудная минерализация проявления западное Раялампи (арсенопирит, шеелит, золото):

А – вкрапленная и гнездово-прожилковая текстура арсенопиритовой минерализации (обр. 536); б – игольчатый арсенопирит-1 (обр. L38-15); в – сростание игольчатого арсенопирита-1 и пирита (536-1-6, 5); г – ромбические кристаллы арсенопирита-2 в сростании с биотитом, альбитом (L38-18); д – двойник прорастания игольчатого арсенопирита (Рая8-2); е, ж – метакристаллы арсенопирита-3 (536-4, L38-2); з – строение метакристаллов, состоящих из арсенопирита-1 и ромбических кристаллов-2, ильменит (темно-серый); и, к – шеелит (1), окружен ильменитом (серый), хлоритом и альбитом (и – образцы Раял-1-13; к – Раял-1-11-1); л, м – тонкодисперсное золото (1) в арсенопирите и скородите (образцы Раял1-8-1, Рая8-3-1)

образования хлорита (средняя 354 °С) из внешней зоны окolorудно-измененных пород. Хлориты поздних ассоциаций с кальцитом более низкотемпературные (220 °С).

Пирит образует вкрапленность и прожилки в метагаббро во внешних зонах метасоматической колонки. Во внутренней зоне он обрастает и сростается с игольчатым арсенопиритом, сечется халькопиритом, содержит включения единичных зерен пирротина, сфалерита и мелких зерен галенита, которые проникают в микропоры кристаллов. Сульфиды полиметаллов представлены халькопиритом, галенитом, реже сфалеритом, они выделяются

после пирита и арсенопирита. В более поздних хлорит-кальцитовых прожилках встречается пирит-2.

Шеелит развит в окolorудных метасоматитах в сростании с арсенопиритом в кварце (рис. 7, и, к). Он образует неправильные зерна (1–15 мкм), реже хорошо ограненные зональные кристаллы. Ильменит иногда содержит микронные включения шеелита. Содержание W в рудной зоне возрастает до 34,5 ppm (табл. 8).

Галенит образует мелкие зерна (размером 1–60 мкм) в сростании с арсенопиритом, пиритом, реже выделяется самостоятельно

Таблица 10. Состав сульфоарсенидов проявления западное Раялампи (мас. %)

Комп.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S	22,44	20,84	20,77	21,30	20,72	22,74	24,34	24,81	22,66	23,17	24,04	21,87	22,52	23,34
Fe	2,61	4,57	4,78	3,53	33,21	33,58	34,2	33,19	34,07	33,62	31,91	33,47	34,1	34,42
Co	31,59	27,33	27,23	30,11	2,43	0,67								
Ni		2,98	3,62											
As	43,35	44,28	43,61	45,07	43,63	43,01	41,46	42,0	43,27	43,2	44,06	44,66	43,38	42,24
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
As, ат. %							28,8	29,1	30,5	30,3	30,80	31,8	30,6	29,6
T °C							300	300	375	370	380	420	375	320
Обр.	498	498	498	499-5	499-5	499-5	Рая8	Рая8	Раял1	536	536	536	536	536
Уч.	6-1	9-1	11-1	5-4	3-6	6-3	2-1	9-3	15-1	8-1	5_3	5_2	5-4	8-2

Примечание. Метасоматиты внешней зоны-2: 1-4 – кобальтин; 5, 6 – Co-содержащий арсенопирит. Рудная зона-1: 7-9 – игольчатый арсенопирит, 7 – двойник прорастания; 10, 11 – ромбические кристаллы; 12-14-метакристаллы. T рассчитана по: [Скотт, 1984].

Таблица 11. Состав золота проявления западное Раялампи (мас. %)

Комп.	1	2	3	4	5	6	7	8
Ag	21,31	19,12	18,69	23,3	22,94	19,23	20,47	15,93
Au	78,69	80,88	81,31	76,67	77,06	80,77	79,53	84,07
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100
Обр.	38-6					38a	Раял1	
Уч.	6_1	7-1	7-2	8-1	8-2	8-1	7-1	8-1

Окончание табл. 11

Комп.	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ag	33,35	5,10	5,47	5,37	9,96	29,72	28,84	12,41	15,45
Au	66,65	94,90	94,53	94,63	90,04	70,28	71,16	87,59	84,55
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Обр.	Раял1	Рая8			536-1				
Уч.	9-1	4-1	4-2	4-3	4-4	6-1	6-2	9_1	6-1

в силикатах околорудно-измененных пород. Содержание Pb достигает 1693 ppm. Антимонит встречается редко в мелких единичных включениях в арсенопирите. Содержание Sb достигает 77,5 ppm. Bi-Te минералы в зоне арсенопиритовой минерализации также достаточно редкие, содержание соответствующих элементов не превышает Bi 7,4 и Te 2,6 ppm, Ag 2,2 ppm. При окислении арсенопирит замещается скородитом, галенит – церусситом, золото сохраняется в скородите (рис. 7, л).

Тонкодисперсное золото (размером 1-4 мкм) встречается в ассоциации с сульфоарсенидами (рис. 7, л, м). Золото содержит 5,10-33,35 % Ag (преимущественно 16-23 % Ag, табл. 11). Содержание золота в руденелых зонах низкое, не превышает 0,10-1,33 (табл. 8; близкие значения ~0,97-1 г/т, получены ООО «Онего-золото»).

## Заключение

Хаутаваарский массив оказал существенное влияние на метаморфизованные породы

хаутаваарской серии. Геохимические аномалии (Cu, Zn, Pb, Bi, Te, Au, Mo, W, As) позволяют выделить наиболее перспективные зоны в его ореоле для поиска золота. Однако, в связи с широким развитием габброидов и приуроченности к ним повышенных концентраций Cu, Zn, эти элементы не являются прямыми индикаторами, но в целом оконтуривают перспективную зону. К зонам деформаций и расщепления в экзоконтакте массива приурочены наложенные среднетемпературные метасоматические преобразования (типа пропилитов) и рудная минерализация.

В западном контакте массива во вмещающих породах установлены актинолитовые, эпидотовые, биотитовые и кварц-хлоритовые изменения, наложившиеся на метаморфизованные андезибазальты, базальты, туфы и прорывающие их габбро. На участке Восточная Лоухиваара с ССЗ зоной расщепления связаны биотитизация и кварц-хлоритовые изменения. Вкрапленно-прожилковое окварцевание сопровождается халькопирит-сфалерит-пирротиновой минерализацией с повышенными



концентрациями Pb, Bi, Te, Au. В рудной зоне установлены галенит, гессит, висмутотеллуриды, алтаит, тонкодисперсное золото, кобальтин. Зоны изменения по породам ультраосновного состава (тремолит-талк-хлоритовые) сопровождаются вкрапленностью сульфидов с Pd-Co-Ni-минерализацией, иногда с повышенным содержанием платиноидов. Локально в этих зонах фиксируются также и повышенные концентрации Mo (и молибденит).

В юго-западном экзоконтакте Хаутаваарского массива в районе озер участка Раялампи метасоматические изменения накладываются на рассланцованные габбро виетуккалампинского комплекса. К зонам рассланцевания приурочена биотитизация, в околорудных зонах развиты кварц-хлоритовые метасоматиты, на удалении – эпидозиты (изменения, однотипные с участком Лоухиваара). Оруденение западной части участка Раялампи относится к Au-содержащему арсениопиритовому минеральному типу, в восточной части доминируют Au-Bi-Pb-Cu-ассоциации. Рудная минерализация западного Раялампи представлена арсениопиритом, галенитом, халькопиритом, пиритом, сфалеритом, в небольшом количестве встречаются шеелит, золото, висмутотеллуриды, антимонит и сопровождается As, Pb, Cu, Zn, Co, W, Au, Sb, незначительно Bi, Te, Ag. Элементами – индикаторами золота в западной части Раялампи являются As, Pb, Cu, W, Sb, однако его концентрации здесь низкие, до 1 г/т. В восточной части начинают преобладать Bi, Pb, Cu, W, Te, Ag, Au (требуется доизучение рудной минерализации). В удаленной околорудной зоне развита сфалерит-халькопирит-пиритовая вкрапленная и вкрапленно-прожилковая с кобальтином минерализация (Cu, Zn, Co, As).

Оценка температур образования оруденения участков западное Раялампи и Восточная Лоухиваара по минеральным ассоциациям (арсениопирит, хлорит) позволяет считать, что температура образования снижалась от 420 до 220 °С: при более высоких температурах образуются арсениопирит, кобальтин, пирит, при снижении температуры выделяются галенит, висмутотеллуриды, золото.

## Литература

Дмитриева А. В., Кулешевич Л. В., Вихко А. С. Петрохимические особенности Хаутаваарского массива и его рудная специализация (Южная Карелия) // Труды КарНЦ РАН. 2016а. № 2. С. 52–72. doi: 10.17076/geo160

Дмитриева А. В., Кулешевич Л. В., Лавров О. Б. Зональность в размещении молибден-золото-сульфидных и полиметаллических проявлений, Хаута-

ваарский массив и его ореолы (Южная Карелия) // Федоровская сессия 2016: Материалы конф. СПб. 2016б. С. 126–128.

Кожевников В. Н. Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2000. 223 с.

Кулешевич Л. В. Платиноиды в сульфидно-медно-никелевых и хромитовых рудах ультрабазитов архейских зеленокаменных поясов Карелии // Петрография магматических и метаморфических горных пород: XII Всерос. петрографическое совещание. Петрозаводск, 2015. С. 438–441.

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

Кулешевич Л. В., Слюсарев В. Д., Лавров М. М. Благороднометалльная минерализация Хаутавааро-Ведлозерской площади // Геология и полезные ископаемые Карелии. 2009. Вып. 12. С. 12–25.

Матреничев В. А., Сергеев С. А., Левченков О. Д., Яковлева С. З. Возраст дацитов Хаутаваарской зеленокаменной структуры (Центральная Карелия) // Изв. АН. Серия геол. 1990. № 8. С. 131–133.

Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 1. Петрозаводск: Карелия, 2005. 278 с.

Носова А. А., Самсонов А. В., Ларионова Ю. О., Ковальчук Е. В., Ларионов А. Н. Архейский возраст габбро и гранат-биотит-амфибол-кварцевых метасоматитов Au-PGE проявления Виетуккалампи в Хаутаваарской структуре // Золото Фенноскандинавского щита: Материалы конф. Петрозаводск, 2013. С. 131–134.

Овчинникова Г. В., Матреничев О. А., Левченков С. А., Сергеев С. З., Яковлева Б. М., Гороховский В. А. U-Pb и Pb-Pb изотопные исследования кислых вулканитов Хаутаваарской зеленокаменной структуры, Центральная Карелия // Петрология. 1994. Т. 2, № 3. С. 266–281.

Раевская М. Б., Горьковец В. Я., Светова А. И., Володичев О. И. Стратиграфия докембрия Карелии. Опорные разрезы верхнеархейских отложений. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1992. 190 с.

Робонен В. И., Рыбаков С. И., Ручкин Г. В., Конкин В. Д., Светова А. И., Сергеева Н. Е. Серноколчеданные месторождения Карелии. Л.: Наука, 1978. 192 с.

Рыбаков С. И. Колчеданное рудообразование в раннем докембрии Балтийского щита. Л.: Наука, 1987. 269 с.

Светов С. А. Магматические системы зоны перехода океан-континент в архее восточной части Фенноскандинавского щита. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005. 229 с.

Светов С. А., Хухма Х. Геохимия и Sm-Nd-систематика архейских коматиит-толеитовых ассоциаций Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса (Центральная Карелия) // ДАН. 1999. Т. 369, № 2. С. 261–263.

Сергеев С. А. Геология и изотопная геохронология гранит-зеленокаменных комплексов архея Центральной и Юго-Восточной Карелии: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Л., 1989. 24 с.

Скотт С. Д. Использование сфалерита и арсениопирита для оценки температур и активностей серы в гидротермальных месторождениях // Физико-химические модели петрогенеза и рудообразования. Новосибирск: Наука, 1984. С. 41–48.

Слюсарев В. Д., Кулешевич Л. В., Лавров М. М. Благороднометалльная минерализация в габброидном массиве оз. Виетуккалампи (Хаутаваарская структура) // Минералогия, петрология и минералогия докембрийских комплексов Карелии: Матер. юбил. науч. сессии. Петрозаводск, 2007. С. 112–116.

## References

Dmitrieva A. V., Kuleshevich L. V., Vikhko A. S. Petrokhimicheskie osobennosti Khautavaarskogo massiva i ego rudnaya spetsializatsiya (Yuzhnaya Kareliya) [Petrochemical characteristics and ore specialization of the Hautavaara massif, South Karelia]. *Trudy KarNTs RAN* [Trans. of KarRC of RAS]. 2016. No. 2. P. 52–72. doi: 10.17076/geo160

Dmitrieva A. V., Kuleshevich L. V., Lavrov O. B. Zonal'nost' v razmeshchenii molibden-zoloto-sul'fidnykh i polimetallicheskikh proyavlenii, Khautavaarskii massiv i ego oreoly (Yuzhnaya Kareliya) [Zoning in the location of molybdenum-gold-sulphide and polymetallic mineralization (the Hautavaara massif and its haloes, South Karelia)]. *Materialy konf. Fedorovskaya sessiya 2016* [Proceed. of the Conf. Fedorov session 2016]. St. Petersburg, 2016. P. 126–128.

Kozhevnikov V. N. Arkheiskie zelenokamennye poyasa Karel'skogo kratona kak akkretsiyonnye orogeny [The Archean greenstone belts as accretionary orogens]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2000. 223 p.

Kuleshevich L. V. Platinoidy v sul'fidno-mednonikelevykh i khromitovykh rudakh ul'trabazitov arkheiskikh zelenokamennykh poyasov Karelii [Platinoids in sulphide-copper-nickel and chromite ores of the Archean greenstone belts in Karelia]. *XII Vseross. petrograficheskoe soveshchanie "Petrografiya magmaticheskikh i metamorficheskikh gornykh porod"* [XII All-Russ. Petrographic Meeting *Petrography of Magmatic and Metamorphic Rocks*]. Petrozavodsk, 2015. P. 438–441.

Kuleshevich L. V., Dmitrieva A. V. Au-S-kvartsevoe Mo-soderzhashchee proyavlenie Tsentral'noe v Khautavaarskom differentsirovannom massive, Yuzhnaya Kareliya [Tsentralnoe, an Au-S quartz Mo-bearing occurrence in the Hautavaara massif, South Karelia]. *Rudy i metally* [Ores and Metals]. 2015. No. 3. P. 38–50.

Kuleshevich L. V., Slyusarev V. D., Lavrov M. M. Blagorodnometall'naya mineralizatsiya Khautavaaro-Vedlozerskoi ploshchadi [Noble-metal mineralization of the Hautavaara-Vedlozero prospect]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Karelii* [Geology and Mineral Resources of Karelia]. 2009. Iss. 12. P. 12–25.

Matrenichev V. A., Sergeev S. A. Levchenkov O. D., Yakovleva S. Z. Vozrast datsitov Khautavaarskoi zelenokamennoi struktury (Tsentral'naya Kareliya) [Age of the dacites from the Hautavaara greenstone structure (Central Karelia)]. *Izv. AN. Seriya geol.* [Proceed. AS. Ser. Geol.]. 1990. No. 8. P. 131–133.

Тугаринов А. И., Бибилова Е. В. Геохронология Балтийского щита по данным цирконометрии. М.: Наука, 1980. 130 с.

Bibikova E. V., Petrova A., Claesson S. The temporal evolution of the sanukitoids in the Karelian Craton, Baltic Shield: an ion microprobe U-Th-Pb isotopic study of zircons // *Lithos*. 2005. Vol. 79. P. 129–145.

Cathelineau M., Nieva D. A chlorite solid solution geothermometer: Los Azufres (Mexico) geothermal system // *Contr. Mineral. Petrol.* 1985. Vol. 91. P. 235–244.

Поступила в редакцию 20.06.2017

Mineral'no-syr'evaya baza Respubiki Karelija [Mineral raw materials base of the Republic of Karelia]. Vol. 1. Petrozavodsk: Karelija, 2005. 278 p.

Nosova A. A., Samsonov A. V., Larionova Yu. O., Koval'chuk E. V., Larionov A. N. Arkheiskii vozrast gabbro i granat-biotit-amfibol-kvartsevykh metasomatitov Au-PGE proyavleniya Vietukkalampi v Khautavaarskoi strukture [The Archean age of gabbro and garnet-biotite-amphibole-quartz metasomatic rocks from Vietukkalampi Au-PGE occurrence in the Hautavaara structure]. *Zoloto Fennoskandinavskogo shchita: Materialy konferentsii* [Gold of the Fennoscandian Shield: Mat. of the Int. Conf.]. Petrozavodsk, 2013. P. 131–134.

Ovchinnikova G. V., Matrenichev O. A., Levchenkov S. A., Sergeev S. Z., Yakovleva B. M., Gorokhovskii V. A. U-Pb i Pb-Pb izotopnye issledovaniya kislykh vulkanitov Khautavaarskoi zelenokamennoi struktury, Tsentral'naya Kareliya [U-Pb and Pb-Pb isotope studies on acid volcanites from the Hautavaara greenstone structure, Central Karelia]. *Petrologiya* [Petrology]. 1994. Vol. 2, no. 3. P. 266–281.

Raevskaya M. B., Gor'kovets V. Ya., Svetova A. I., Volodichev O. I. Stratigrafiya dokembriya Karelii. Opornye razrezy verkhnearkheiskikh otlozhenii [The Precambrian stratigraphy of Karelia. The Upper Archean reference sections]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 1992. 190 p.

Robonen V. I., Rybakov S. I., Ruchkin G. V., Konkina V. D., Svetova A. I., Sergeeva N. E. Sernokolchedannye mestorozhdeniya Karelii [Pyrite deposits of Karelia]. Leningrad: Nauka, 1978. 192 p.

Rybakov S. I. Kolchedannoe rudoobrazovanie v ranem dokembrii Baltiskogo shchita [Pyrite ore formation in the Early Precambrian of the Baltic Shield]. Leningrad: Nauka, 1987. 269 p.

Svetov S. A. Magmaticheskie sistemy zony perekhoda okean-kontinent v arkhee vostochnoi chasti Fennoskandinavskogo shchita [Magmatic systems in the ocean – continent transition zone in the Archean of the eastern Fennoscandian Shield]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2005. 229 p.

Svetov S. A., Khukhma Kh. Geokhimiya i Sm-Nd-sistematika arkheiskikh komatiit-toleitovykh assotsiatsii Vedlozersko-Segozerskogo zelenokamennogo poyasa (Tsentral'naya Kareliya) [Geochemistry and Sm-Nd systematic of the Archean komatiitic-tholeiitic associations of the Vedlozero-Segozero greenstone belt (Central

Karelia)]. *DAN* [Proceed. RAS]. 1999. Vol. 369, no. 2. С. 261–263.

Sergeev S. A. Geologiya i izotopnaya geokhronologiya granit-zelenokamennykh kompleksov arkheya Tsentral'noi i Yugo-Vostochnoi Karelii [Geology and isotope geochronology of the Archean granite-greenstone complexes in central and southeastern Karelia]: Summary of PhD (Cand. of Geol.) thesis. Leningrad, 1989. 24 p.

Skott S. D. Ispol'zovanie sfalerita i arsenopirita dlya otsenki temperatur i aktivnostei sery v gidrotermal'nykh mestorozhdeniyakh [The use of sphalerite and arsenic pyrite for the assessment of sulphur temperature and activity in hydrothermal deposits]. *Fiziko-khimicheskie modeli petrogeneza i rudobrazovaniya* [Physical and Chemical Models of Petrogenesis and Ore Formation]. Novosibirsk: Nauka, 1984. P. 41–48.

Slyusarev V. D., Kuleshevich L. V., Lavrov M. M. Blagorodnometall'naya mineralizatsiya v gabbroidnom massive oz. Vietukkalampi (Khautavaarskaya struktura)

[Noble-metal mineralization in the gabbroid massif, Lake Vietukkalampi area (the Hautavaara structure)]. *Minerologiya, petrologiya i minerageniya dokembriiskikh kompleksov Karelii: Materialy yubil. nauchnoi sessii* [Mineralogy, Petrology, and Minerageny of the Precambrian Complexes in Karelia]. Petrozavodsk, 2007. P. 112–116.

Tugarinov A. I., Bibikova E. V. Geokhronologiya Baltiiskogo shchita po dannym tsirkonometrii [Geochronology of the Baltic Shield: zirconometry data]. Moscow: Nauka, 1980. 130 p.

Bibikova E. V. The temporal evolution of the sanukitoids in the Karelian Craton, Baltic Shield: an ion microprobe U-Th-Pb isotopic study of zircons. *Lithos*. 2005. Vol. 79. P. 129–145.

Cathelineau M., Nieva D. A chlorite solid solution geothermometer: Los Azufres (Mexico) geothermal system. *Contr. Mineral. Petrol.* 1985. Vol. 91. P. 235–244.

Received June 20, 2017

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### **Кулешевич Людмила Владимировна**

ведущий научный сотрудник, к. г.-м. н.  
Институт геологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: kuleshev@krc.karelia.ru  
тел.: 89114071685

### **Лавров Олег Борисович**

научный сотрудник, рук. музея геологии докембрия  
Институт геологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: petrlavrov@mail.ru

### **Дмитриева Антонина Васильевна**

младший научный сотрудник  
Институт геологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: dmitrieva-a-v@yandex.ru

### **Тытык Владимир Михайлович**

главный геолог  
ООО «Онего-золото», «Карельская рудная компания»  
ул. Фридриха Энгельса, 10, оф. 507, Петрозаводск,  
Республика Карелия, Россия, 185035  
эл. почта: tytyk.vladimir@yandex.ru

## CONTRIBUTORS:

### **Kuleshevich, Lyudmila**

Institute of Geology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: kuleshev@krc.karelia.ru  
tel.: +79114071685

### **Lavrov, Oleg**

Institute of Geology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: petrlavrov@mail.ru

### **Dmitrieva, Antonina**

Institute of Geology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: dmitrieva-a-v@yandex.ru

### **Tytyk, Vladimir**

“Onego-zoloto”, “Karelian Ore Company”  
10 Friedrich Engels St., of. 10, 185035 Petrozavodsk,  
Karelia, Russia  
e-mail: tytyk.vladimir@yandex.ru