

УДК 552.3+553.411+553.462 (470.22)

## **ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И РУДНАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ ХАУТАВААРСКОГО МАССИВА (ЮЖНАЯ КАРЕЛИЯ)**

**А. В. Дмитриева, Л. В. Кулешевич, А. С. Вихко**

*Институт геологии Карельского научного центра РАН*

Хаутаваарский санукитоидный массив, расположенный в южной части Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса (Карелия), дифференцирован от монцогаббро до умереннощелочных гранитов. Обсуждается его строение, приводятся петрографо-петрохимические характеристики всех типов пород. Граносиениты сопровождаются среднетемпературными изменениями, имеют Au-Mo-геохимическую специализацию, к ним приурочено золото-сульфидно-кварцевое жильное и вкрапленное молибденитовое оруденение.

**Ключевые слова:** Хаутаваарский санукитоидный массив; изменения пород; кварцевые жилы; золото; молибденит.

### **A. V. Dmitrieva, L. V. Kuleshevich, A. S. Vihko. PETROCHEMICAL CHARACTERISTICS AND ORE SPECIALIZATION OF THE HAUTAVAARA MASSIF, SOUTH KARELIA**

The Hautavaara sanukitoid massif, located in the southern Vedlozero-Segozero greenstone belt, Karelia, is differentiated from monzogabbro to moderately alkaline granite. Its structure and the petrographic and petrochemical characteristics of all its rock types are discussed. The granosyenites are subjected to mean temperature variations and display Au-Mo-geochemical specialization. Gold-sulphide-quartz vein mineralization and molybdenite mineralization are confined to them.

**Key words:** Hautavaara sanukitoid massif; rock alterations; quartz veins; gold; molybdenite.

#### **Введение**

Хаутаваарская зеленокаменная структура находится в южной части Ведлозерско-Сегозерского архейского зеленокаменного пояса (ЗП) (рис. 1/врезка). На формирование этой структуры большое значение оказало внедрение Хаутаваарского массива, дифференцированного от габбро-монзонитов-монцодиоритов

до умереннощелочных гранитов, выделяемых в хаутаваарский комплекс (см. рис. 1).

Хаутаваарский комплекс был отнесен к неархейским санукитоидам – серии пород повышенной щелочности и магнезиальности [Lobach-Zhuchenko et al., 2005]. С поздней гранитной фазой комплекса связаны интенсивные гидротермальные изменения пород, образование кварцевых штокверков и двух типов рудной

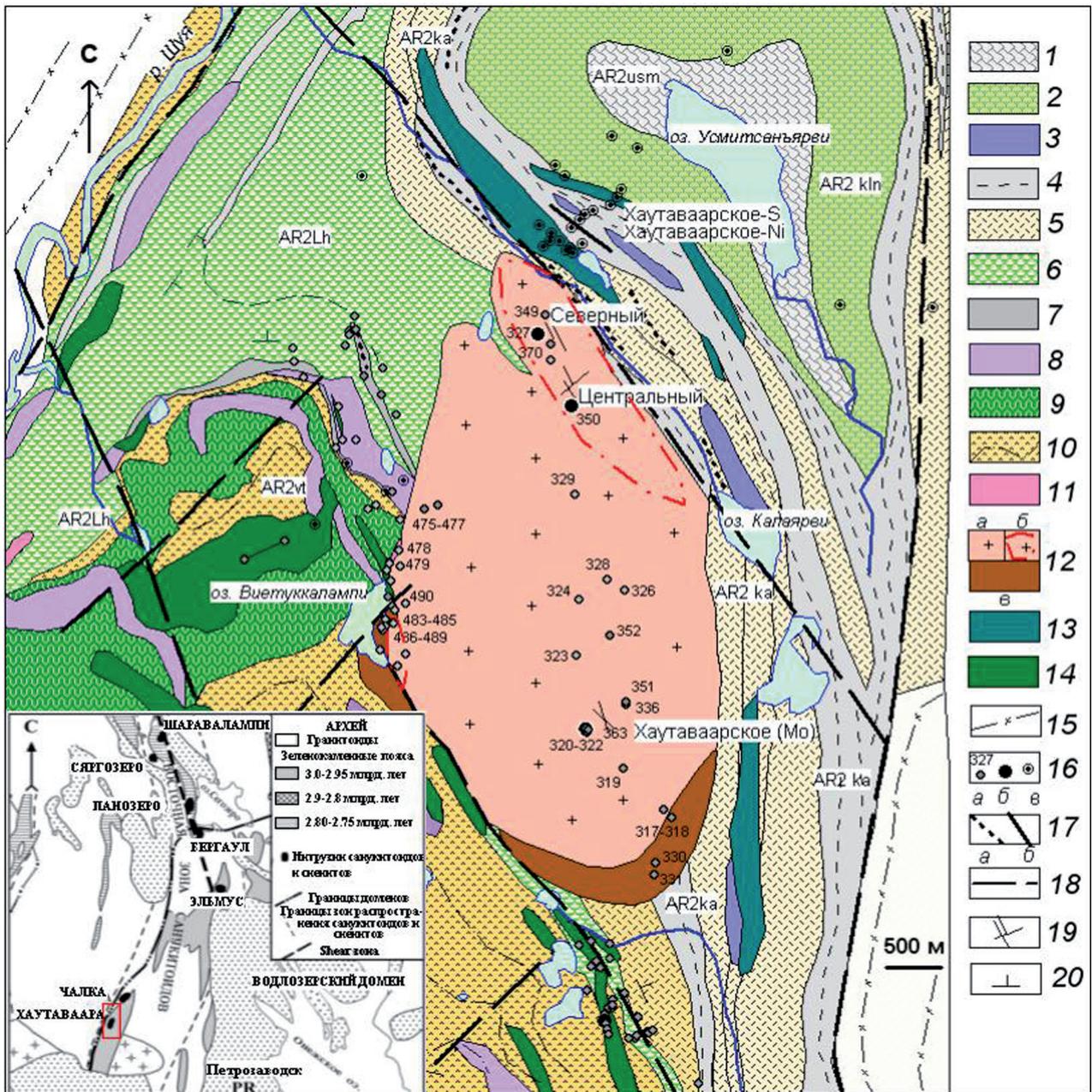


Рис. 1. Схема геологического строения Хаутаваарской структуры (составлена с использованием материалов КГЭ [Сиваев, Горошко, 1988], В. И. Робонена, С. И. Рыбакова, А. И. Световой и авторских работ; врезка из [Лобач-Жученко и др., 2007]).

Лопийский надгоризонт, свиты: 1 – усмитсаньярвинская (AR2usm, туфы, туфогенно-осадочные породы); 2 – кульонская (AR2kln, базальты); 3–5 каляярвинская (AR2ka, 3 – коматиты, отчасти интрузивные ультрабазиты, 4 – углеродсодержащие черные сланцы с сульфидной минерализацией; 5 – туфогенно-осадочная толща, риодациты, дациты); 6–8 – лоухиваарская (AR2Lh, 6 – базальты, андезибазальты, 7 – углеродсодержащие сланцы, хемогенные кварциты с конкрециями, магнетитовые горизонты, 8 – коматиты, отчасти интрузивные ультрабазиты); 9–10 – виетуккалампинская (AR2, 9 – базальты, 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 – виетуккалампинский 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 штокерки. 20 – элементы залегания

минерализации – молибденитовой и золото-сульфидно-кварцевой Центрально-Хаутаваарского проявления [Минерально-сырьевая база..., 2005].

В задачи настоящей работы входили: 1 – выделение и петрографо-геохимическое изучение всех фаз внедрения Хаутаваарского массива; 2 – изучение околожильных изменений,

сопровождающих кварцевый штокверк, зон рассланцевания и катаклаза в гранитах и минерального состава руд; 3 – установление геохимической (металлогенической) специализации пород хаутаваарского комплекса, характера распределения и закономерностей локализации Mo-S и Au-S оруденения.

Для решения поставленных задач в аналитическом центре ИГ КарНЦ РАН (г. Петрозаводск) были выполнены силикатный и ICP-MS анализы пород, определение редкоземельных элементов и микрокомпонентного состава руд. Изучение рудных парагенезисов осуществлялось на электронном сканирующем микроскопе VEGA II LSH с микроанализатором INCA Energy-350. Содержание благородных металлов и элементов-спутников при литохимическом опробовании проводилось на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой в аналитическом центре ЦНИГРИ (г. Москва).

### Геологическое строение Хаутаваарской структуры

Геологическое строение, магматизм и оруденение Хаутаваарской зеленокаменной структуры подробно рассмотрены в работах С. И. Рыбакова, В. И. Робонена, А. И. Световой и в производственных отчетах С. А. Морозова, В. В. Сиваева и А. Ф. Горошко [Робонен и др., 1978; Рыбаков, 1980, 1987; Светова, 1988; Сиваев, Горошко, 1988; Горошко, 1993, 1995]. Геодинамическая реконструкция архейского развития структуры была выполнена В. Н. Кожевниковым и С. А. Световым [Кожевников, 2000; Светов, 2005, 2009].

В опорном стратиграфическом разрезе хаутаваарской серии выделяют пять свит: нижняя *вьетуккалампинская* (базальты, андезиты, дациты, риолиты и сопутствующие им вулканогенно-осадочные ассоциации, объединяемые в БАДР-серию [Светов, 2005], *лоухиваарская* (коматииты, базальты, вулканогенно-осадочные и осадочные породы в верхней пачке), *калаярвинская* (сланцы по туфогенно-осадочным толщам среднего-кислого состава, дациты, силициты, углеродсодержащие сланцы и колчеданные руды), *кульюнская* (базальты) и верхняя *усмитсаньярвинская* (осадочная) [Робонен и др., 1978; Сиваев, Горошко, 1988; Светова, 1988; Стратиграфия..., 1992]. Следует отметить, что вьетуккалампинская свита, выделяемая в работах сотрудников ИГ КарНЦ РАН, геологами КГЭ объединена с калаярвинской.

Возраст наиболее древних вулканитов вьетуккалампинской свиты оценивается по крупнопорфировым дацитам Игнойльского некка

( $2995 \pm 20$  млн лет [Сергеев, 1989]) и дацитовым обломкам в агломератах и граувакках Хаутаваарской структуры ( $2944 \pm 7,9$  млн лет [Матреничев, 1990]). Sm-Nd изохронный возраст вулканитов океанической коматиит-базальтовой ассоциации лоухиваарской свиты –  $2921 \pm 55$  млн лет [Светов, Хухма, 1999]. Породы калаярвинской свиты прорываются дайками мезоархейских риолитов ( $2854 \pm 14$  млн лет [Сергеев, 1989]), риодацитов ( $2862 \pm 45$  млн лет [Овчинникова и др., 1994]) и Хаутаваарским санукитоидным комплексом ( $2743 \pm 8 \div 2742 \pm 23$  млрд лет [Bibikova et al., 2005]). Выше по разрезу залегает кульюнская свита, сложенная подушечными и массивными базальтами и их туфами. Завершает разрез Хаутаваарской структуры осадочная усмитсаньярвинская свита, распространенная ограниченно в северо-восточной части и представленная вулканогенно-осадочными сланцами по туфам среднего состава, туффитам и углеродсодержащими сланцами. По мнению С. А. Светова, формирование БАДР-серии вьетуккалампинской ( $3,1-2,95$  млрд лет) и коматиито-базальтов лоухиваарской ( $3,05-2,9$  млрд лет) свит происходило одновременно [Светов, 2005]. Формирование зеленокаменного пояса завершилось складчатостью и метаморфизмом зеленосланцевой-амфиболитовой фаций умеренных давлений [Рыбаков, 1980].

**Интрузивный магматизм** Хаутаваарской структуры представлен базит-гипербазитовым и гранитоидными комплексами. Ультрабазит-базитовые интрузии развиты в центральной части Хаутаваарской структуры и севернее деревни Хюрсюля. Ультрабазиты образуют пластовые тела, секущие породы вьетуккалампинской, лоухиваарской и калаярвинской свит. Они представлены серпентинизированными перидотитами, в меньшем объеме оливинитами и пироксенитами. Ультрабазиты прорываются пластовыми телами мезо- и меланократовых габбро. Меланократовые габбро Вьетуккалампинского массива, расположенного западнее оз. Вьетуккалампи, и пластовые интрузии в пределах площади выделяются по повышенной магнитности как феррогаббро и относятся к вьетуккалампинскому комплексу (по В. Д. Слюсареву). В пределах восточного борта Хаутаваарской структуры также выделяются детально не изученные тела габброидов (комплекс Кайнооя), которые внедрились позднее, чем вьетуккалампинские габбро.

Ультрабазиты и феррогаббро прорываются кислыми порфировыми дайками и санукитоидами хаутаваарского комплекса.

В обрамлении Хаутаваарской структуры развиты древний шуйский тоналит-трондьемит-гранодиоритовый (ТТГ) комплекс, граниты и гранито-гнейсы. Смятые и метаморфизованные зеленокаменные толщи хаутаваарской серии прорывают породы Хаутаваарского умереннощелочного дифференцированного комплекса, представленного Хаутаваарским и Чалкинским массивами санукитоидов [Lobach-Zhuchenko et al., 2000]. Чалкинский массив ( $2745 \pm 5$  млрд лет [Овчинникова и др., 1994]) расположен севернее изучаемой площади. Он дифференцирован от монцонитов до сиенитов и умереннощелочных гранитов. Хаутаваарский массив имеет двухфазное строение, возраст монцонитов 1-й фазы оценивается в  $2742 \pm 23$  млн лет, умереннощелочных гранитов 2-й фазы –  $2743 \pm 8$  [Bibikova et al., 2005]. Около 2,7–2,68 млрд лет назад произошло внедрение калиевых гранитов и пегматитов виртаойского комплекса. В южной части структуры архейские толщи Хаутавааро-Ведлозерского зеленокаменного пояса прорываются Улягским массивом гранитов-рапакиви и пегматитами (~1,5 млрд лет).

#### **Тектонические нарушения, деформации.**

Архейские деформации, выделяемые в Хаутаваарской структуре, имеют субмеридиональное, субширотное и СЗ простирания, менее распространены СВ деформации. В северо-восточной части структуры на Хаутаваарском месторождении установлены ССЗ шир-зоны: формирование зон рассланцевания сопровождается метаморфогенно-метасоматическими изменениями коматиитов и колчеданных руд. Рассланцованные вмещающие породы обрамляют Хаутаваарский массив, его контакт с вмещающими толщами в восточной части площади подсекается лишь скважинами, в западной части – наблюдается на восточном берегу оз. Виетуккалампи. Субмеридиональные деформации более широко представлены в южной, восточной и юго-западной частях площади. Зоны деформаций выделяются по наличию интенсивного рассланцевания (шир-зоны) и метаморфогенно-метасоматических преобразований во вмещающих толщах: к ним тяготеют золоторудные проявления Коруд, С-77ЮК, Хюрсюля [Горошко, 1993]. Субширотные деформации и разломы блокируют в целом всю структуру. Эти деформации хорошо выделяются в западном обрамлении и южной части структуры, где ограничивают гранито-гнейсовый блок и разделяют Хаутаваарскую и Хюрсюльскую часть зеленокаменного пояса. Деформации также фиксируются в массивах позднеархейских умереннощелочных гранитов,

где выделяются по трещиноватости и наличию кварцевых жил и имеют аз. пр. от  $\sim 90^\circ$  до  $70^\circ$  ВСВ и ЗЮЗ. Именно к ним обычно приурочены более крупные кварцевые жилы с рудной минерализацией. Северо-восточные зоны рассланцевания выделяются в СЗ части Хаутаваарской структуры.

**Металлогению** Хаутаваарской структуры определяют разнообразные типы руд – колчеданные, полиметаллические, Cu-Ni-сульфидные, Fe-Ti-окисные (титаномагнетитовые), Au-S-кварцевые, молибденовые [Робонен и др., 1978; Рыбаков, 1987; Сиваев, Горошко, 1988; Минерально-сырьевая база..., 2005; Слюсарев и др., 2007; Кулешевич и др., 2009]. Метаморфизованные колчеданные руды содержат повышенные концентрации золота в участках, обогащенных полиметаллами. Поисковые работы на золото на Хаутавааро-Ведлозерской площади осуществляются с 2008 года [Дягтерев, Гриневиц, 2008; Рогальский и др., 2009] и по настоящее время компанией ООО «Онего-Золото».

#### **Строение Хаутаваарского массива и петрохимические особенности пород**

Хаутаваарский массив формирует штокообразное тело размером 6 x 3 км, имеет двухфазное строение и дифференцирован от монцогаббро до монцогранитов (см. рис. 1). Названия пород даются в соответствии с Петрографическим кодексом России [2009]. Монцогаббро-монцодиориты 1-й фазы представлены только в южной и западной краевых зонах массива. Центральная часть массива (2-я фаза) сложена преимущественно монцогранитами, а в краевых зонах и прогибах кровли встречаются граносиениты и в небольшом объеме кварцевые монцодиориты (рис. 2). Породы 1-й и 2-й фаз внедрения секутся аплитовидными розовыми полевошпатовыми жилами.

Кровля западной части массива погружается под углом  $\sim 45^\circ$  на запад, в связи с этим в эндоконтакте массива на восточном берегу оз. Виетуккалампи наблюдаются сложные соотношения пород и многочисленные секущие порфиновые дайки и полевошпатовые жилы, интенсивная калишпатизация и биотитизация пород, то есть проявлено метасоматическое воздействие массива на вмещающие толщи и породы более ранних фаз.

Восточный контакт массива субвертикальный, монцограниты 2-й фазы прорывают породы калаярвинской свиты. В эндоконтактах массива и его прикровельной части встречаются измененные ксенолиты вмещающих



1. Монцогаббро западной части массива



2. Монцодиориты южной части массива



3. Граносиениты северной части массива, уч. Центральный



4. Монцограниты центральной части массива



5. Метасоматические изменения габброидов виетуккалампинского комплекса в западном ореоле массива



6. Розово-белые калишпатовые метасоматиты в западном ореоле массива

Рис. 2. Основные типы пород Хаутаваарского массива

пород (андезитов, базальтов) и более ранних фаз внедрения.

**Первая фаза** комплекса дифференцирована от монцогаббро до монцодиоритов. *Монцогаббро* встречаются в южной части массива и на восточном берегу оз. Виетуккалампи (см. рис. 2/1–2). Монцогаббро представляют собой меланократовые черные породы, с более крупными вкрапленниками калиевого полевого шпата розового цвета. Породы имеют среднезернистую неоднородную порфировидную с вкрапленниками микроклина либо

равномернозернистую структуру. Монцогаббро содержат плагиоклаз (50–55%), частично замещенный эпидотом, К-полевым шпатом (4–5%), роговую обманку (25–30%), биотит (10–15%), кварц (~3%), акцессорные апатит (до 0,5–1%), титанит (2%), ильменит, циркон и монацит.

Калиевый полевой шпат образует более крупные ориентированно вытянутые сдвойникованные кристаллы с пертитами распада. Плагиоклаз раскислен и замещается эпидотом. По роговой обманке и биотиту развивается

актинолит, хлорит, кальцит. Монцогаббро секутся кварцевыми монцодиоритами 2-й фазы и калишпатовыми жилами.

В южном контакте интрузива развиты *монцодиориты* (см. рис. 2; табл. 1/4–5). Породы зеленовато-коричневые, однородные или пятнистые, часто с порфиroidной или трахитоидной структурой, обусловленной расположением калишпата. Иногда они содержат ксенолиты более мелкозернистых темных пород близкого состава. Монцодиориты представлены биотитовыми или амфибол-биотитовыми разностями: количество меланократовых компонентов составляет 30–35 %. Породы содержат плагиоклаз (50–60 %), частично замещенный эпидотом, К-полевым шпат (15–20 %), роговую обманку (10–15 %), биотит (15–20 %), кварц (~3 %), титанит (1–2 %), акцессорный апатит (0,5 %), циркон и монацит. К-полевым шпат порфиroidных вкрапленников образует простые двойники, коричневый биотит содержит тонкие включения ильменита или титанита. Вторичные и наложенные минералы представлены эпидотом, кварцем, актинолитом, хлоритом, кальцитом, встречаются тонкие эпидотовые прожилки и единичные сульфиды. Монцодиориты на удалении от контактовой зоны отличаются порфиroidной структурой, обусловленной наличием более крупных ориентированно расположенных кристаллов К-полевого шпата (2 мм) с пертитами распада.

**Вторая фаза.** Центральную часть массива слагают преимущественно умереннощелочные граниты второй фазы, представленные равномернозернистыми или порфиroidными розовыми и серыми, средне- и крупнозернистыми разновидностями преимущественно массивной текстуры (см. рис. 2/3–4). Вторая фаза дифференцирована от лейкократовых кварцевых монцодиоритов до граносиенитов и монцогранитов. Кварцевые монцодиориты встречаются в небольшом объеме в приконтактной части и в прогибах кровли массива. Граносиениты развиты в северной и северо-восточной части массива, умереннощелочные граниты (монцограниты) слагают центральную и южную часть массива. Состав пород близкий, переходы между ними не отчетливые. Умереннощелочные граниты секут монцодиориты 1-й фазы, а также в них отмечаются ксенолиты сильно измененных мелкозернистых монцодиоритов.

*Кварцевые монцодиориты* содержат плагиоклаз (30–35 %), К-полевым шпат (40–45 %), биотит (~8 %) и кварц (5–10 %). Плагиоклаз образует крупные удлиненные кристаллы, замещается эпидотом и серицитом. Калиевый полевой шпат формирует крупные кристаллы

с микроклиновой решеткой (1-я генерация) и более мелкие ксеноморфные зерна в интерстициях (2-я генерация). Биотит мелкозернистый, окрашен в коричневатозеленый цвет. Акцессорные минералы представлены титанитом (1–2 %), апатитом (0,5 %), цирконом, редко ортитом. Вторичные изменения представлены эпидотом и серицитом (до 1 %), единичными выделениями хлорита, развивающимися по плагиоклазу, биотиту и в зонах рассланцевания.

Северная часть массива сложена светло-серыми среднезернистыми *граносиенитами*, состоящими из плагиоклаза (30–35 %), микроклина (35–45 %, среднее 40 %), кварца (20 %) и биотита (5–10 %). Акцессорные минералы представлены титанитом (1–2 %), апатитом, цирконом, монацитом. При вторичных изменениях микроклин незначительно замещается серицитом по плагиоклазу, и в интерстициях образуются эпидот (до 3–8 %), серицит (1–2 %), хлорит (до 1 %), выделяются единичные зерна кальцита и REE-карбонаты, хлорит замещает биотит и сопровождается мелкими зернами рутила. В зонах рассланцевания наблюдается наиболее интенсивное образование эпидота, иногда встречается Се-эпидот и ортит, увеличивается содержание мусковита (до 2–10 %) и кварца. По микротрещинам в породах развиваются кварц, биотит, серицит, по более поздним тонким прожилкам – хлорит, эпидот, кальцит и более поздние карбонаты группы бастнезит-паризит. Изменения сопровождаются вкрапленностью сульфидов. Для измененных гранитов характерно присутствие рассеянной ториевой и редкоземельной минерализации.

Центральная часть массива сложена розово-красными средне- и крупнозернистыми, порфиroidными *монцогранитами*. Породы отличаются несколько большим, чем в серых граносиенитах, содержанием К-полевого шпата (40–55 %, среднее 50 %) и кварца (20–25 %), меньшим – плагиоклаза (20–30 %, среднее 25 %). Темноцветные минералы представлены биотитом (5–10 %). Акцессорные минералы – титанит (до 3 %), апатит (до 0,5 %), циркон, монацит. Плагиоклаз (олигоклаз-альбит) в незначительной степени замещается эпидотом. В зонах рассланцевания образуются эпидот, мусковит (до 10 %) и кварц. В породах 2-й фазы иногда встречаются ксенолиты сильно измененных мелкозернистых монцодиоритов 1-й фазы с более высоким содержанием титанита и апатита (до 4–5 и 1 % соответственно, обр. 328/3).

**Жильная фаза.** Дайки и аплитовидные жилы, проявленные в западном эндоконтакте массива, секут монцогаббро 1-й фазы. Они

представлены тонкозернистыми и микропорфировыми породами, содержащими микроклин (55 %), альбит (20–15 %), кварц (20–15 %) и биотит (5–10 %). На контакте жил в измененных монцогаббро увеличивается количество биотита. Возможно, эти жилы представляют более позднюю существенно калиевую дайковую фазу массива.

**Петрохимические особенности пород.** Монцогаббро и монцодиориты 1-й фазы (табл. 1/1–5; рис. 3). Монцогаббро содержат  $\text{SiO}_2$  52–54,45 %, сумма щелочей составляет 6,21–6,73 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  15,29–15,92 %, CaO 6,82–6,96 %, MgO 5,46–6,74 % (mg# 0,57–0,6), Mn 0,144–0,132 %,  $\Sigma(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$  7,45–8,37 %,  $\text{TiO}_2$  1,03–0,73 %,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0,1–0,61 %. Монцодиориты отличаются чуть большим содержанием  $\text{SiO}_2$  и щелочей ( $\Sigma\text{alk}$  7,73–8,44 %), меньшим – MgO и суммарного железа.

Монцогаббро от феррогаббро вьетуккалампинского комплекса отличаются более низким содержанием  $\text{TiO}_2$  (1–0,7 %), V (200–176 ppm), суммарного железа ( $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 8,4–7,5$  %), высокой магнезиальностью (mg# 0,58–0,6) и фракционированным спектром распределения REE (табл. 2; рис. 4). Ранее на геологических картах монцогаббро, отнесенные нами к хаутаваарскому комплексу, выделялись как феррогаббро вьетуккалампинского комплекса. Для феррогаббро характерны  $\Sigma\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 13–17$  % (mg# 0,3–0,35),  $\text{TiO}_2$  1–2,9 %, V 400–1310 ppm,  $\Sigma\text{alk} = 1,8–3,1$  % и низкое содержание редких земель (рис. 5; табл. 2 [Слюсарев и др., 2007; Кулешевич и др., 2009]).

**Кварцевые монцодиориты 2-й фазы** (обр. В-8, 370) содержат  $\text{SiO}_2$  61,74–65,80 %,  $\Sigma\text{alk}$  в них составляет 9,41–10,15 %, CaO 1,98–2,04 %, MgO 2,13–2,38 % (mg# 0,56–0,49), MnO 0,058 %,  $\Sigma(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}) = 3,5–4,16$  %,  $\text{TiO}_2$  0,5–0,62 %,  $\text{P}_2\text{O}_5$  0,1–0,27 %. Для кварцевых монцодиоритов характерны более низкие, чем в породах 1-й фазы, концентрации Ba – 950–1225 ppm и Sr – 341–438 ppm и повышенное содержание Rb – 179–248 ppm и Zr – 402–458 ppm. Сумма REE (218–346 ppm) в них несколько выше, чем в умереннощелочных гранитах (218–346 ppm).

В граносиенитах и монцогранитах содержание  $\text{SiO}_2$  составляет 66,9–70,6 % (в серых граносиенитах незначительно ниже, чем в розовых монцогранитах). Суммарное содержание щелочей 8,46–9,57 %, CaO 0,73–2 %, MgO 0,71–2 %, магнезиальность (mg#) снижается от 0,56 до 0,45–0,33,  $\Sigma(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$  1,37–3,72 %,  $\text{TiO}_2$  0,3–0,48 %, MnO 0,056–0,028 %.

На диаграммах Харкера (см. рис. 3) в распределении петрогенных элементов наблюдается единый эволюционный тренд

дифференциации. В измененных граносиенитах и монцогранитах отмечается небольшое отклонение по содержанию  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , суммы оксидов Fe и Mg, а также щелочей, что связано с небольшой разницей в количестве плагиоклаза и замещающего его эпидота и темноцветных минералов.

**Дайки и аплитовидные жилы** западного эндоконтакта выделяются высокой калиевой щелочностью ( $\text{K}_2\text{O}$  10,64 %,  $\Sigma\text{alk}$  13,58 %, CaO 0,15 %) и более низким суммарным содержанием REE относительно кислых дифференциатов Хаутаваарского массива.

**Геохимические особенности пород комплекса.** LIL, REE-элементы. Монцогаббро и монцодиориты 1-й фазы выделяются высоким содержанием Ba (1751–2054 ppm), Sr (586–1208 ppm), умеренным Rb (98–227), невысоким и низким Zr и Hf,  $\Sigma\text{REE}$  равна 218–252 ppm (см. табл. 1; рис. 4, 6). Спектры распределения редких земель сильно дифференцированы, породы обогащены легкими и обеднены тяжелыми элементами (см. рис. 4). В монцодиоритах 1-й фазы содержание REE несколько ниже, чем в монцогаббро. Наибольшая концентрация редких земель, особенно легких, характерна для ксенолитов измененных монцодиоритов, встречающихся в гранитах 2-й фазы. Это вызвано обогащением их апатитом, титанитом, REE-эпидотами ( $\Sigma\text{REE}$  792 ppm, La 168 ppm, обр. 328/1). Монцогаббро относительно габбро вьетуккалампинского комплекса и вмещающих их андезибазальтов обогащены REE и характеризуются высокой степенью фракционирования (см. рис. 4, а; рис. 5). В кварцевых монцодиоритах 2-й фазы содержание REE (228–346 ppm), Zr (402–458 ppm) и Th (45–49 ppm) выше, чем в породах 1-й фазы, тогда как концентрация Ba (951–1225 ppm) и Sr (341–438) – несколько ниже. Суммарная концентрация REE незначительно снижается от граносиенитов (201–318 ppm) к монцогранитам (156–230 ppm) и становится наиболее низкой в зонах окварцевания гранитов (<63 ppm). Обоеднение пород тяжелыми редкими землями, наличие отрицательной Eu-аномалии, высокая магнезиальность и обогащение литофильными элементами предполагает плавление обогащенного мантийного источника с фракционированием граната и плагиоклаза.

REE входят преимущественно в акцессорные минералы, такие как Zr-Th-силикаты, и фиксируются в поздних TR-F-карбонатах (бастнезите и паризите) (рис. 7).

Мультиэлементные диаграммы (см. рис. 4) для пород обеих магматических фаз схожи, что также отражает кристаллизационную

Таблица 1. Химический состав пород Хаутаваарского массива (мас. %, ppm)

Комп.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
№ обр.	В-3/1	В-3/2	Хтв-318	Хтв-330	Хтв-331	Хтв-328/3	В-8	Хтв-370	В-6	В-7	Хтв-327	Хтв-327/1	Хтв-350/1
Порода	монцонаббро			монцодиорит		ксенолит *	кварцевый монцодиорит		граносиенит				
SiO <sub>2</sub> (%)	51,98	53,52	54,45	58,50	57,16	61,04	61,74	65,80	68,16	66,90	69,24	67,02	67,94
TiO <sub>2</sub>	1,03	0,88	0,73	0,67	0,65	0,92	0,62	0,50	0,43	0,48	0,44	0,46	0,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,83	15,92	15,29	15,20	14,87	13,62	17,66	15,13	14,61	15,15	13,86	14,47	14,68
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,91	3,10	3,22	2,27	2,69	3,06	2,15	1,35	1,42	1,18	1,48	1,57	0,73
FeO	5,46	4,45	4,23	3,59	3,30	2,51	2,01	2,15	1,72	1,94	1,58	2,15	1,68
MnO	0,144	0,135	0,132	0,111	0,098	0,132	0,059	0,058	0,045	0,054	0,042	0,053	0,051
MgO	6,74	5,46	5,56	4,70	4,21	4,11	2,13	2,38	1,55	1,92	1,73	2,00	1,65
CaO	6,82	6,96	6,82	4,91	4,39	4,1	1,98	2,04	1,76	1,83	1,53	1,90	1,60
Na <sub>2</sub> O	2,88	3,49	3,70	3,71	3,50	2,22	4,09	3,80	3,81	3,78	3,26	3,58	4,15
K <sub>2</sub> O	3,33	3,22	3,03	4,02	4,94	6,1	6,06	5,61	5,43	5,55	5,73	5,38	5,42
ппп	1,72	1,6	1,56	1,63	3,10	1,28	1,02	0,94	0,72	0,76	0,79	0,8	1,32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,61	0,56	0,58	0,42	0,44	0,84	0,27	0,10	0,2	0,22	0,2	0,23	0,07
Total	99,53	99,51	99,50	99,88	99,64	99,98	99,99	99,98	100,00	99,93	100,0	99,62	99,96
mg#	0,60	0,58	0,58	0,60	0,57	0,58	0,49	0,56	0,48	0,54	0,52	0,50	0,56
Σalk	6,21	6,71	6,73	7,73	8,44	8,32	10,15	9,41	9,24	9,33	8,99	8,96	9,57
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	0,86	1,08	1,22	0,92	0,71	0,36	0,67	0,68	0,70	0,68	0,57	0,67	0,77
al <sup>l</sup>	1,05	1,22	1,18	1,44	1,46	1,41	2,81	2,57	3,12	3,01	2,89	2,53	3,62
Li (ppm)	34,4	27,36	18,50	23,31	36,59	46,90	27,46	19,58		17,58	17,40	24,17	18,8
V	200,9	178,7	175,88	130,3	127,9	97,20	78,64	53,52		63,80	57,92	66,12	43,72
Cr	179,9	162,7	166,32	222,5	181,4	120,80	53,92	66,3		43,36	37,80	44,28	50,96
Co	30,27	27,14	27,09	23,66	21,54	18,27	11,19	9,27		11,00	8,64	9,26	6,63
Ni	60,64	51,27	56,93	70,1	49,28	76,97	22,22	28,5		19,10	18,85	22,06	22,98
Cu	18,06	35,35	57,07	118,4	61,2	7,74	17,67	14,03		16,26	12,27	10,30	17,96
Zn	156,5	130,6	105,75	99,9	103,8	70,27	43,43	37,81		40,35	34,44	38,99	39,36
As	13,75	20,88	29,30	34,53	28,55	<ПО	<ПО	<ПО		<ПО	<ПО	9,06	< ПО
Rb	196	120,3	98,30	101,7	226,8	449,6	248,3	179		217,18	257,22	281,78	226,1
Sr	1032	1124	1207,6	585,7	692,8	700,0	438,0	341,1		282,82	207,18	420,42	276
Y	22,61	21,26	19,76	19,25	19,72	42,68	23,10	18,16		16,46	21,00	20,39	19,94
Zr	90,31	122,6	69,37	168,4	167,6	677,45	458	401,7		363,14	328,09	393,98	319,2
Nb	7,95	8,52	5,62	9,75	11,06	25,68	24,12	13,35		15,87	17,60	18,12	16,14
Mo	0,99	4,08	1,56	<ПО	4,36	2,68	1,04	1,79		2,17	3,50	1,96	1,78
Ag	0,34	0,57	<ПО	0,66	0,64	< ПО	< ПО	1,63		< ПО	< ПО	< ПО	1,42
Ba	1782	2054	1751,39	1920	1782	1259	1224,6	951		1067,2	910	915,8	763
La	41,05	44,93	47,42	45,43	45,19	167,5	74,38	47,29		53,26	71,46	55,98	43,87
Ce	97,58	103,5	104,20	92,09	95,75	354,1	157,1	104,5		111,68	139,28	121,76	87,2
Pr	12,68	12,56	13,38	10,93	10,86	40,12	17,14	10,72		12,27	16,13	13,80	9,56
Nd	55,21	52,72	57,36	41,9	40,26	155,76	62,96	41,39		44,88	60,00	51,66	36,77
Sm	12,42	11,43	11,52	7,90	7,57	25,13	10,8	8,35		7,78	10,05	9,35	7,89
Eu	3,72	3,58	2,82	2,50	2,34	5,42	1,90	1,77		1,55	1,61	1,64	1,52
Gd	10,48	10,19	5,32	7,17	6,86	20,62	8,8	5,32		6,47	8,23	7,80	5,68
Tb	1,21	1,12	1,02	0,84	0,82	2,10	1,00	0,61		0,69	0,90	0,86	0,67
Dy	4,66	4,29	4,28	3,40	3,47	9,03	4,59	2,61		3,22	3,89	4,10	2,99
Ho	0,84	0,80	0,78	0,69	0,70	1,54	0,84	0,63		0,56	0,77	0,74	0,73
Er	2,39	2,27	2,04	2,09	2,18	4,16	2,38	1,99		1,62	2,13	2,05	2,13
Tm	0,3	0,29	0,25	0,28	0,31	0,54	0,34	0,42		0,22	0,30	0,28	0,21
Yb	2,07	2,03	1,81	2,10	2,18	5,43	3,60	2,19		2,53	2,79	2,95	2,12
Lu	0,23	0,23	0,23	0,25	0,26	0,55	0,36	0,28		0,25	0,28	0,29	0,28
Ta	0,38	0,37	0,64	0,58	0,75	2,08	2,29	0,93		1,38	2,70	1,94	1,15
W	1,29	0,78	0,93	1,70	1,82	0,77	3,11	2,42		0,48	1,49	1,45	2,06
Pb	17,63	15,23	24,61	17,64	66,49	41,37	14,86	11,22		30,13	21,52	27,29	21,81
Bi	0,70	0,24	0,16	0,35	0,37	0,15	0,36	0,23		0,11	0,14	0,08	0,24
Th	4,58	5,49	7,01	12,39	13,65	28,83	45,38	49,33		30,57	28,48	32,48	47,23
U	1,47	1,86	2,06	2,01	3,67	14,08	4,41	3,59		6,96	16,42	11,04	7,52
ΣREE	244,86	249,94	252,43	217,57	218,76	791,98	346,29	227,7		246,99	317,82	273,25	201,68

Окончание табл. 1

Комп.	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
№ обр.	Хтв-350/2	Хтв-350/4	Хтв-350/9	Хтв-319	Хтв-322	Хтв-320	Хтв-320/3	Хтв-336	Хтв-352	Хтв-363/2	Хтв-363/3	В-4	
Порода	граносиенит			монцогранит									аплит
SiO <sub>2</sub> (%)	68,32	70,60	67,70	70,38	69,46	70,22	70,50	69,32	69,62	70,32	69,70	66,26	
TiO <sub>2</sub>	0,39	0,43	0,43	0,32	0,34	0,34	0,30	0,35	0,35	0,39	0,38	0,17	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,42	14,40	14,90	14,20	14,14	14,19	14,21	13,98	14,44	13,70	13,90	16,38	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,1	1,35	1,05	0,86	1,46	1,15	0,49	1,19	0,92	0,70	0,84	1,03	
FeO	2,01	0,93	1,86	1,29	1,29	1,22	1,44	1,58	1,79	1,43	1,86	0,57	
MnO	0,056	0,028	0,052	0,037	0,038	0,035	0,032	0,038	0,043	0,039	0,049	0,085	
MgO	1,76	1,50	1,86	1,19	1,24	1,03	1,04	1,26	0,71	1,66	1,62	0,90	
CaO	1,31	0,73	2,0	1,54	1,76	1,32	1,47	1,61	1,60	1,60	1,60	0,15	
Na <sub>2</sub> O	4,93	3,62	3,65	3,78	3,94	3,87	4,21	3,76	3,90	3,88	3,94	2,94	
K <sub>2</sub> O	4,08	4,84	5,55	5,30	5,13	5,50	5,31	5,50	5,20	5,43	5,10	10,64	
ппп	1,22	1,33	0,78	0,66	0,88	0,59	0,70	0,64	0,83	0,64	0,76	0,05	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,09	0,08	0,06	0,20	0,19	0,22	0,16	0,17	0,07	0,11	0,12	0,40	
Total	99,82	99,96	99,97	99,89	100,0	99,82	99,98	99,55	99,65	99,92	99,99	99,94	
mg#	0,51	0,56	0,54	0,51	0,46	0,45	0,50	0,46	0,33	0,59	0,53	0,52	
Σalk	9,01	8,46	9,2	9,08	9,07	9,37	9,52	9,26	9,1	9,31	9,04	13,58	
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	1,21	0,75	0,66	0,71	0,77	0,70	0,79	0,68	0,75	0,71	0,77	0,28	
al <sup>1</sup>	2,96	3,81	3,12	4,25	3,54	4,17	4,78	3,47	4,22	3,61	3,22	6,55	
Li (ppm)		20,48	18,13	32,26	19,38	15,30		32,07	39,97	10,65	17,27	3,0	
V		46,88	46,59	42,24	40,50	39,05		45,73	30,34	27,82	32,67	10,29	
Cr		41,11	67,97	20,46	25,92	19,60		34,53	47,38	46,28	65,59	16,08	
Co		3,38	8,67	5,54	5,86	5,69		7,55	6,27	5,47	7,43	5,31	
Ni		9,64	32,56	13,51	14,79	13,95		15,11	23,7	25,11	36,62	6,05	
Cu		29,28	18,56	22,78	16,80	5,59		10,51	17,47	11,03	13,01	26,66	
Zn		39,92	32,46	28,62	25,10	20,94		29,30	38,22	20,58	21,16	34,68	
As			<ПО	<ПО	7,34	8,80		<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	28,93	
Rb		203,5	240,5	239,38	221,38	250,10		281,38	212,4	151,1	165,0	311,8	
Sr		170,6	383,9	430,42	424,02	410,82		320,18	446,4	342,40	387,10	89,95	
Y		15,32	21,68	14,66	14,10	15,14		16,94	13,73	14,55	15,86	7,91	
Zr		375,5	316,0	250,02	224,62	250,41		271,37	224,6	203,40	229,60	154,5	
Nb		17,62	15,71	13,68	13,27	13,45		16,45	11,99	10,93	11,89	17,1	
Mo		<ПО	13,16	4,41	3,44	1,20		1,73	2,07	6,84	5,41	2,87	
Ag		2,03	1,24	<ПО	<ПО	<ПО		<ПО	0,78	0,95	1,01	0,58	
Ba		1014	805,4	1013,4	1009,8	1080,8		863,2	919,3	884,10	836,70	2145	
La		10,17	48,41	49,66	47,26	49,70		44,22	39,07	30,87	41,53	10,46	
Ce		23,9	106,40	103,92	95,56	98,88		95,36	73,36	66,37	73,63	31,76	
Pr		2,89	11,47	11,74	10,77	11,59		11,32	7,91	8,00	9,66	2,39	
Nd		11,85	43,68	42,76	40,05	42,40		41,48	29,32	31,21	37,55	11,54	
Sm		3,45	9,62	7,17	6,80	7,13		7,19	6,24	6,59	7,55	4,79	
Eu		0,87	1,72	1,39	1,36	1,38		1,24	1,35	1,44	1,54	1,94	
Gd		2,84	5,92	5,94	5,60	5,88		6,06	3,81	4,09	4,50	3,92	
Tb		0,4	0,71	0,62	0,60	0,63		0,67	0,45	0,49	0,54	0,38	
Dy		2,25	3,11	2,51	2,41	2,55		3,16	1,97	2,16	2,40	1,37	
Ho		0,57	0,77	0,53	0,50	0,52		0,57	0,48	0,52	0,59	0,248	
Er		1,76	2,30	1,49	1,46	1,48		1,66	1,47	1,58	1,71	0,723	
Tm		0,17	0,16	0,22	0,20	0,21		0,23	0,04	0,34	0,37	0,132	
Yb		1,9	2,23	2,21	2,00	2,14		2,35	1,35	1,69	1,81	1,214	
Lu		0,24	0,29	0,22	0,21	0,21		0,24	0,19	0,20	0,21	0,149	
Ta		1,26	1,21	1,69	1,52	1,61		1,77	0,95	0,97	1,03	1,253	
W		5,81	3,86	0,93	6,04	4,40		1,39	5,15	0,82	1,35	1,365	
Pb		52,53	23,25	38,67	17,83	24,74		30,40	44,71	18,77	10,99	40,53	
Bi		2,62	0,26	0,17	0,18	0,12		0,11	0,25	0,06	0,19	0,18	
Th		54,12	54,47	37,45	34,31	34,48		36,84	43,02	43,75	43,55	54,96	
U		7,24	9,22	11,61	6,30	6,38		7,69	8,55	6,16	2,20	9,45	
ΣREE		63,25	236,8	230,38	214,81	224,71		215,75	167,0	155,53	183,6	71,02	

Примечание. \*Ксенолит измененных пород 1-й фазы в монцогранитах. <ПО – ниже предела обнаружения (здесь и далее), mg# = MgO / (FeO + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + MgO) и al<sup>1</sup> = Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + FeO + MgO) в молекулярных количествах, Σalk = Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O.

Таблица 2. Химический состав вмещающих пород и ранних интрузивных тел (мас. %) и содержание в них микрокомпонентов (ppm)

Комп.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ обр.	В-2/1	ХТВ-332	9947/2	9948/1	9951	9950	В-1	В-3	ХТВ-333
SiO (%)	51,78	52,56	47,78	48,22	46	42,82	73,60	73,50	57,20
TiO <sub>2</sub>	0,94	1,62	1,54	1,52	2,04	2,86	0,22	0,25	1,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,55	11,80	12,38	12,65	11,27	10,23	13,22	13,72	11,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,46	4,95	4,78	3,57	5,91	8,5	0,55	1,02	2,13
FeO	10,55	13,00	13,41	13,89	14,61	16,52	1,01	1,15	12,64
MnO	0,257	0,255	0,2	0,22	0,22	0,24	0,021	0,021	0,182
MgO	5,65	2,88	5,17	5,17	5,89	5,48	0,62	1,62	3,21
CaO	7,92	6,81	9,35	9,35	9,35	9,2	1,32	0,81	5,64
Na <sub>2</sub> O	3,30	3,52	2,27	2,5	1,79	1,52	4,13	4,23	3,30
K <sub>2</sub> O	1,09	0,64	0,44	0,63	0,4	0,3	4,17	2,23	0,80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,19	0,18	0,08	0,09	0,09	0,08	0,59	0,86	1,86
nnn	1,68	1,64	2,09	2,14	2,22	1,94	0,12	0,06	0,22
Total	99,53	99,93	99,49	99,95	99,79	99,69	99,71	99,64	99,89
mg#	0,44	0,23	0,34	0,35	0,35	0,29	0,43	0,59	0,28
Σalk	4,39	4,16	2,71	3,13	2,19	1,82	8,3	6,46	4,1
Na <sub>2</sub> O/K <sub>2</sub> O	3,03	5,50	5,16	3,97	4,48	5,07	0,99	1,9	4,13
al <sup>l</sup>	0,73	0,57	0,53	0,56	0,43	0,34	6,06	3,62	0,63
Li (ppm)	15,58	13,35	18,58	18,58	21,83	16,26	10,03	20,01	11,55
V	393,8	509,28	745,05	705,84	1041,95	1310,84	22,96	25,48	202,56
Cr	9,45	<ПО	34,21	34,21	27,37	27,37	19,58	34,93	<ПО
Co	43,72	51,77	94,38	55,06	47,19	117,98	2,20	7,62	42,85
Ni	43,43	6,59	31,43	23,57	31,43	39,29	6,54	18,38	3,60
Cu	48,79	16,08	79,88	71,90	71,90	95,86	14,5	15,76	201,71
Zn	198,3	117,15	120,51	232,98	144,61	136,57	34,4	35,96	91,15
As	26,85	25,68					27,54	32,4	7,86
Rb	83,28	14,13	14,63	182,88	15,54	11,89	138,2	69	23,06
Sr	256,3	199,38					219,1	398,9	228,18
Y	16,87	27,18					4,79	7,67	34,35
Zr	43,75	108,99					127,2	242,1	146,85
Nb	3,35	4,81					4,94	5,76	5,62
Mo	1,37	0,80					62,03	1,13	1,03
Ag	0,21	< ПО					0,45	0,86	0,08
Ba	310,6	205,99					1142,0	3327,0	221,01
La	5,0	10,19					6,39	17,36	12,86
Ce	12,76	22,62					16,36	45,24	28,64
Pr	1,77	3,0					2,17	4,19	3,76
Nd	8,34	13,64					9,27	15,25	16,89
Sm	2,47	3,66					2,37	3,98	4,71
Eu	1,0	1,34					0,95	1,88	1,49
Gd	2,79	3,71					1,75	3,70	4,87
Tb	0,48	0,75					0,22	0,41	0,98
Dy	2,78	4,87					0,89	1,52	6,30
Ho	0,63	1,04					0,17	0,28	1,31
Er	1,91	3,05					0,50	0,79	3,86
Tm	0,30	0,45					0,10	0,13	0,57
Yb	2,12	3,15					0,85	1,10	3,96
Lu	0,266	0,43					0,07	0,12	0,54
Ta	0,206	0,61					0,40	0,64	0,60
W	0,504	0,45					0,44	4,19	0,52
Pb	3,73	3,66					12,58	6,26	6,65
Bi	0,232	0,12					0,20	0,17	0,50
Th	1,01	2,26					10,65	39,65	3,12
U	0,238	0,56					5,40	2,38	0,80
ΣREE	42,62	71,89					42,04	95,95	90,74

Примечание. 1–6 – габбро вьетуккалампинского комплекса (3–6 – феррогаббро, по [Слюсарев и др., 2007]). 7–8 – кислые дайки западного экзоконтакта Хаутаварского массива. 9 – андезибазальт южного обрамления.

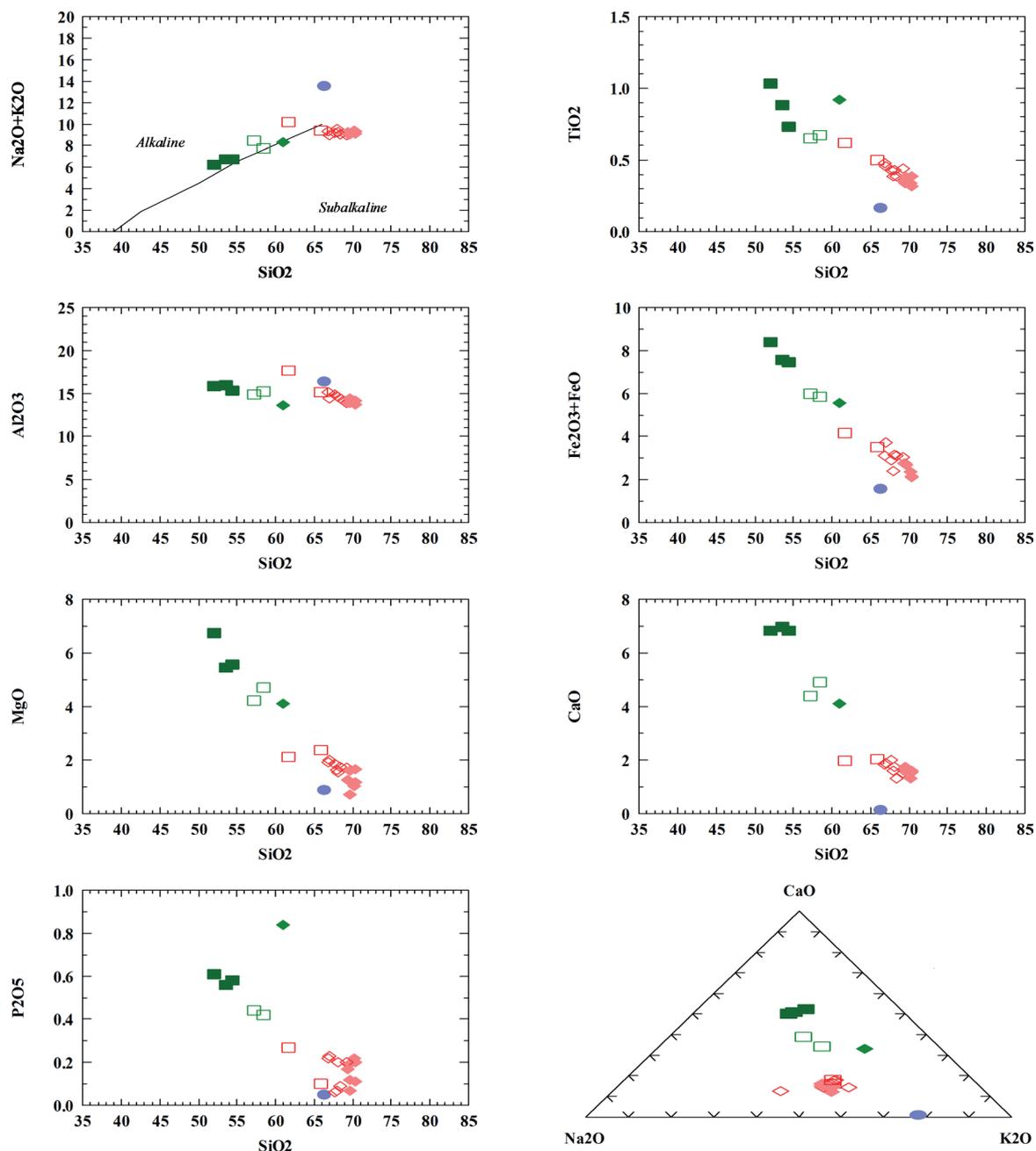


Рис. 3. Петрохимические особенности пород Хаутаваарского массива.

Породы 1-й фазы: ■ – монцогаббро (В-3/1, В-3/2, Хтв-318), □ – монцодиориты (Хтв-330, 331), ◆ – ксенолит монцодиоритов; породы 2-й фазы: □ – кварцевые монцодиориты, ◇ – граносиениты, ◆ – монцограниты; жильная фаза: ● – аплитовая калишпатовая жила

дифференциацию из единого магматического расплава. Широкие вариации составов пород Хаутаваарского массива могут быть связаны с контаминацией мантийных санукитоидных расплавов древними породами ТТГ в результате смешения расплавов из разных источников [Егорова, 2014]. Содержание Ва и Sr снижается от более основных фаз к кислым, тогда как Zr и Th – возрастает (см. табл. 1; рис. 6). В монцогаббро и монцодиоритах содержание

Ва достигает 1225–2054 ppm, в граносиенитах и монцогранитах – 763–1081 ppm. Ва и Sr входят в состав полевых шпатов, а также в барит, образующийся в поздних процессах. В монцодиоритах 1-й фазы в микроклине содержание Ва возрастает от десятых долей процента до 2–2,4 % (реже 5 %). Содержание Zr (69,4–168,4 ppm), Hf (1–4 ppm), Th (4,58–13,7 ppm), Rb (98–196 ppm) возрастает от пород 1-й фазы к кислым дифференциатам (Zr 225–394 ppm,

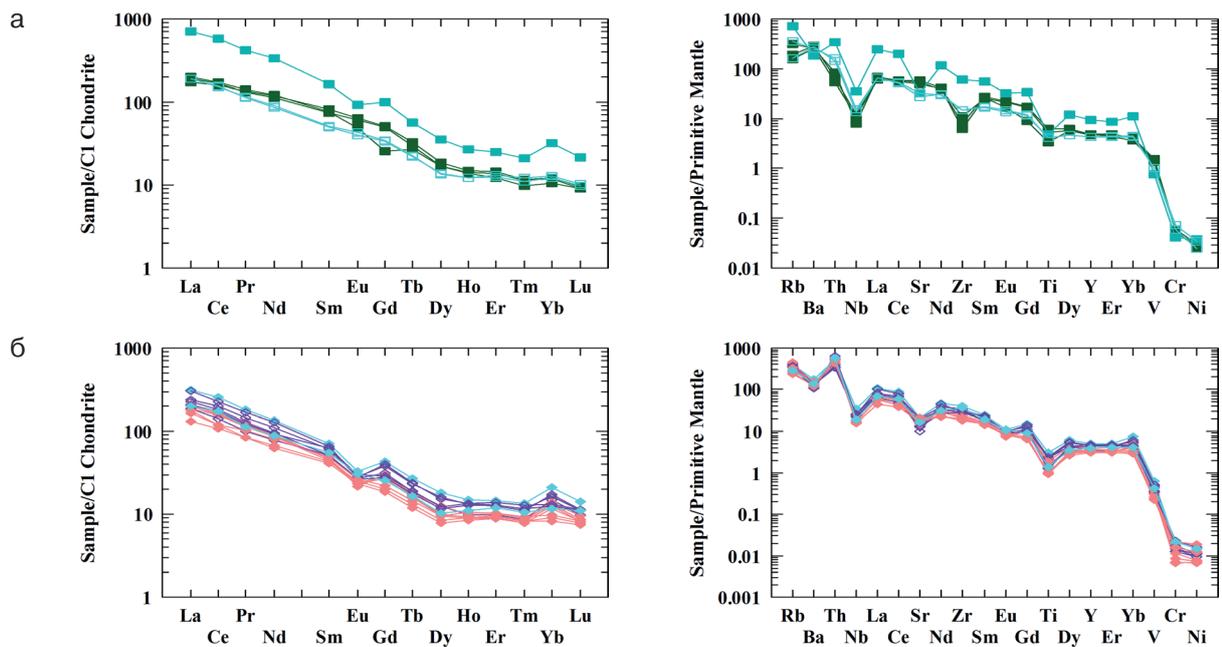


Рис. 4. Спектры распределения REE и спайдерграммы для пород Хаутаваарского массива, нормированные по C1 и PM соответственно [Sun, McDonough, 1989]

Здесь и на рис. 6 – 1-я фаза (а): ■ – монзогаббро, □ – монзодиориты, ■ – ксенолит монзодиоритов в монзогранитах (328/3); 2-я фаза (б): ◆ – кварцевые монзодиориты, ◇ – граносиениты, ◇ – монзограниты

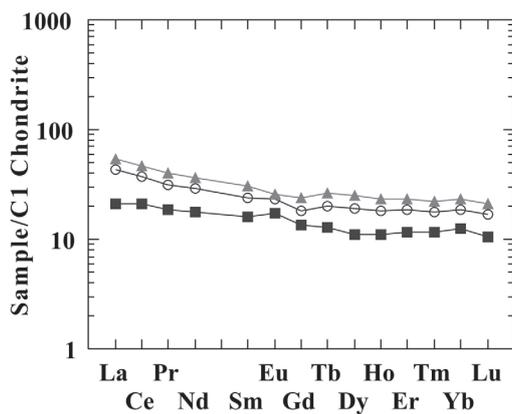


Рис. 5. Распределение REE в габбро вьетуккалампинского комплекса и вмещающих андезитобазальтах (нормированы по хондриту примитивной мантии [Sun, MacDonough, 1989]):

▲ – андезитобазальты южного контакта; феррогаббро вьетуккалампинского комплекса: ○ – габбро южного и ■ – западного контактов

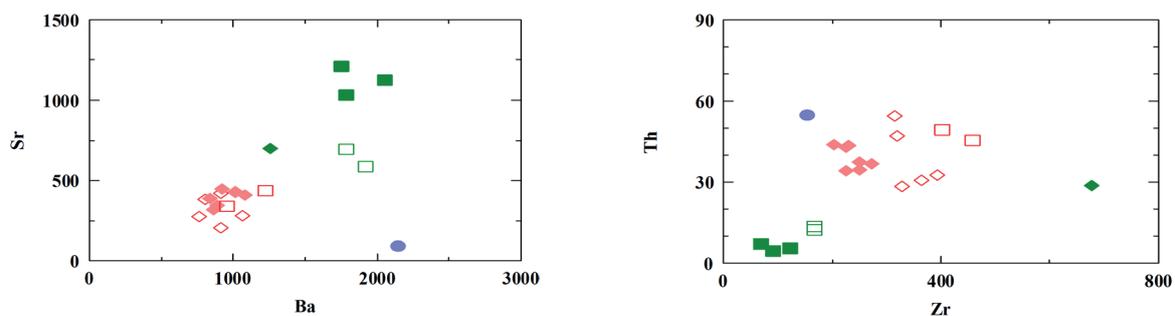


Рис. 6. Диаграммы Ba-Sr и Zr-Th для пород (в ppm) Хаутаваарского комплекса

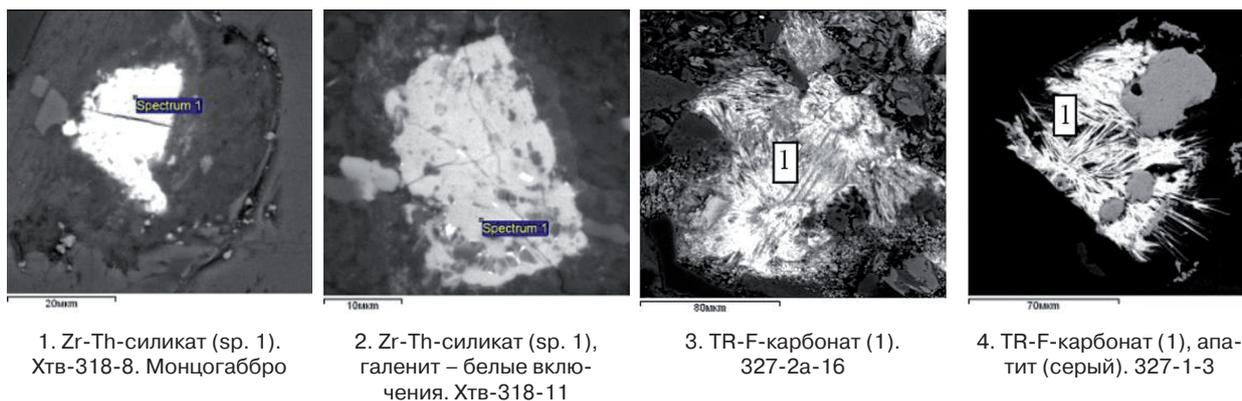


Рис. 7. Акцессорные минералы Zr, Th, TR в породах Хаутаваарского комплекса

Hf 4–9,3 ppm, Th 28,5–45,5 ppm, Rb 204–282 ppm). Концентрации Th и Zr в породах 2-й фазы контролируются появлением большего количества циркона, торита и Th-Zr-силикатов (см. рис. 7).

**Транзитные и халькофильные элементы.** Для монцогаббро и монцодиоритов ранней фазы характерно некоторое обогащение  $P_2O_5$  (0,56–0,61 %),  $TiO_2$  (0,73–1,03 %) и V (176–201 ppm), что связано с наличием в породах апатита и титанита. Монцогаббро и монцодиориты 1-й фазы содержат более высокие концентрации Cr (163–223 ppm), Ni (51–77 ppm), Co (18–30 ppm), Cu (18–118 ppm) относительно монцогранитов и граносиенитов (Cr до 19,6–51; Ni до 9,6–32,6; Co до 3,4–11, Cu 5,6–29 ppm) (см. табл. 1). Максимальное содержание Cr, Cu, Ni зафиксировано в монцодиоритах вблизи южного контакта Хаутаваарского массива. Это может быть обусловлено непосредственным обогащением этими элементами магматического источника (характерная особенность санукитоидов), а также контаминацией вмещающих пород (коматиитов и базальтов лоухиваарской свиты), которые они прорывают. Содержание Pb (15,2–52 ppm), As (до 7,3–34,5 ppm), Mo (1–4,4 ppm), W (0,78–6,04 ppm), Te и Bi низкое. Содержание Zn в породах 1-й фазы (43–156,5 ppm) обычно несколько выше, чем в кислых дифференциатах (21–40,35 ppm). Среди халькофильных элементов в некоторых анализах иногда наблюдаются отклонения от средних фоновых значений, что связано с появлением в породах сульфидов, особенно вблизи рудных зон. Даже самые незначительные колебания концентраций Pb, W, Te, Bi обычно бывают связаны с появлением рассеянной вкрапленности соответствующих минералов. Зоны штокверкового окварцевания и изменения гранитов выделяются аномальными концентрациями Mo, Cu, Bi, Te, Pb, Ag (см. ниже геохимию рудных зон).

**Литохимические ореолы.** Все установленные закономерности находят отражение в первичных литохимических ореолах. При этом состав пород массива вносит наиболее значительный вклад в формирование факторов-1–2: наблюдается значимая положительная корреляция между элементами Zr, Nb, La, Na, Ba, Ce. Рудогенные элементы формируют геохимические ореолы и четкие зависимости, группируясь в кластеры [Вихко, 2014]. Геохимический ореол элементов-спутников и повышенные концентрации золота совпадают с зонами штокверкового окварцевания в граносиенитах.

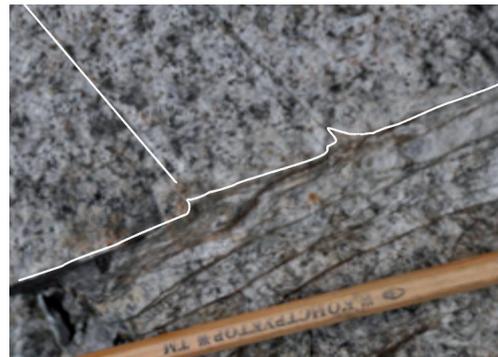
#### Рудная минерализация Хаутаваарского массива

**Рудная минерализация в породах 1-й фазы.** Бедная вкрапленная сульфидная минерализация в монцогаббро и монцодиоритах 1-й фазы Хаутаваарского массива представлена пиритом, пирротинном, халькопиритом в количестве 1–5 %, значительных скоплений сульфидов не обнаружено. В них иногда встречаются единичные выделения галенита, молибдошеелита, шеелита, реже отмечается скуттерудит (Co, Ni, Fe)  $As_3$ . Содержание Mo в породах 1-й фазы не превышает ~1–4,36 ppm, W 0,5–3,1 ppm, Pb 15–66,5 ppm, Cu от фоновых концентраций (16 ppm) до 61–118 ppm. Содержание As в породах 1-й фазы (13,75–34,53 ppm) несколько выше, чем в гранитах. Галенит встречается в сростании с пиритом и цирконом, в котором он образует включения во внешних зонах кристаллов. Редкие арсениды выделяются в сростании с халькопиритом и секут пирит. Изменения пород сопровождаются образованием эпидота, хлорита и поздних минералов, таких как Zr-Th-силикаты, REE-F-карбонаты – бастнезит и паризит (см. рис. 7).

**Рудная минерализация в породах 2-й фазы.** С граносиенитами 2-й фазы



1. Au-S-кварцевая жила. Аз. пр. 70°



2. Незначительное смещение кварцевых прожилков по системе трещин с аз. пр. 310°



3. Кварцевые прожилки, аз. пр. 70°



4. Кварцевые прожилки в зоне расланцевания граносиенитов, аз. пр. 70°

Рис. 8. Главная кварцевая жила и деформации граносиенитов в ее ореоле, рудопроявление Центральное Хаутаваарское

в центральной и северной части массива связаны проявления штокверковой вкрапленно-прожилковой молибденитовой и Au-S-кварцевой минерализации – проявления Хаутаваарское молибденовое, Северное и Центральное Хаутаваарское золото-сульфидно-кварцевое. Для рудопоявлений молибденового Хаутаваарского и Центрального Хаутаваарского по данным работ В. В. Сиваева и А. Ф. Горошко (КГЭ) были подсчитаны прогнозные ресурсы: для молибденового –  $P_3$  100 тыс. т (Mo 0,032 %), золоторудного –  $P_2$  4,5 т (Au 0,03–20 г/т) [Минерально-сырьевая база..., 2005].

Рудопоявление Au-S-кварцевое Центральное Хаутаваарское находится в 2 км южнее ст. Хаутаваара. Золоторудная минерализация приурочена к кварцевому штокверку в северо-восточной части Хаутаваарского массива (см. рис. 1, 8).

На проявлении Центральном наиболее богатая золоторудная минерализация связана с пирит-кварцевой жилой и зонами расланцевания и изменения в ее ореоле (см. рис. 8). Простирающие жилы СВ (65–70°), падение крутое СЗ (85°). Мощность основной жилы колеблется от 30 до 10 см, при длине 20 м, мощность прожилков – первые мм. На глубину она прослеживается

почти на 100 м (по данным бурения ООО «Онего-Золото»). Граниты в пределах рудопоявления в северо-восточном эндоконтакте массива катаклазированы, расланцованы (аз. пр. 310°) и изменены, по этому же направлению происходит небольшое пликативное смещение кварцевых жил (см. рис. 8/2). Зоны СЗ расланцевания и СВ брекчирования пород сопровождаются маломощными кварцевыми прожилками. Незначительные наблюдаемые перемещения отдельных фрагментов более крупных жил СВ простирающие позволяют рассматривать формирование рудоконтролирующих деформаций (300–310° и 65–70°) как близко-одновременное.

**Метасоматические изменения гранитов** (околожилные и в зонах расланцевания). На контактах кварцевых жил в измененных гранитах развиваются тонкозернистый микроклин, биотит, серицит, эпидот; иногда встречаются хлорит, турмалин; серицит тяготеет к зальбандам жил, эпидот распространен шире. Акцессорные минералы представлены зональным, обычно раздробленным цирконом, апатитом, монацитом, реже встречаются более поздние минералы – паризит, барит. Изменения гранитов среднетемпературные эпидот-кварц-серицитовые. В кварцевых жилах, прожилках

Таблица 3. Содержание малых элементов (в ppm) в измененных гранитах вблизи Au-S-кварцевой жилы рудопроявления Центральное Хаутаваарское

№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8
№ обр.	Хтв-350/4	Хтв-350/5	Хтв-350/6	Хтв-350/7	Хтв-350/8	Хтв-350/3	Хтв-350/1	Хтв-350/9
Cu	29,28	354,8	45,93	21,54	293,2	33,89	17,96	18,56
Zn	39,92	12,15	15,82	2,80	5,65	10,17	39,36	32,46
As	<ПО	<ПО	30,23	30,26	14,36	<ПО	<ПО	<ПО
Rb	203,5	40,05	66,63	7,07	24,48	32,03	226,1	240,5
Sr	170,7	47,16	26,23	11,97	15,93	72,89	276	383,9
Y	15,32	2,22	1,06	0,26	0,42	2,75	19,94	21,68
Zr	375,5	58	63,59	6,67	12,98	40,51	319,2	316
Nb	17,62	2,67	3,04	0,34	1,19	1,56	16,14	15,71
Mo	<ПО	454,9	8,38	3,33	4,38	948,1	1,78	13,16
Ag	2,03	9,77	3,41	2,42	4,02	0,97	1,42	1,24
Sn	3,05	1,09	0,79	0,38	0,53	0,82	2,67	2,79
Sb	<ПО	0,19	0,25	0,01	0,13	<ПО	0,24	<ПО
Te	1,16	11,1	11,28	1,31	3,37	21,2	0,88	<ПО
W	5,81	1,18	1,69	0,40	0,94	1,63	2,06	3,86
Pb	52,53	425,7	264,1	131,9	124,2	53,17	21,81	23,25
Bi	2,62	38,32	95,6	13,08	50,58	37,85	0,24	0,26
Th	54,12	10,15	10,04	0,58	1,62	5,79	47,23	54,47
U	7,24	2,26	0,76	0,16	0,35	1,60	7,52	9,21
ΣREE	63,25	12,41	18,43	6,81	5,5	12,97	201,68	237,0

Примечание. 1 – рассланцованные серые граносиениты с кварцевыми прожилками, 2 – измененные граносиениты с сульфид-кварцевыми прожилками с вкрапленными молибденитом и халькопиритом, 3 – околожильные метасоматиты в зальбандах пирит-кварцевой жилы, 4 – пирит-кварцевая жила, 5 – зальбанды пирит-кварцевой жилы, 6 – измененные граносиениты с молибденитом, 7 – измененные граносиениты, 8 – граносиениты слабоизмененные.

Таблица 4. Химический состав сульфидов и ряда редких минералов, рудопроявление Центральное Хаутаваарское (мас. %)

Эл.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
S	55,71	37,56	14,25	39,35	16,58	6,48	16,21	14,47	16,81	15,94	16,61	11,24	12,0	
Fe	44,29	30,04												
Cu		32,40			3,95									
Pb			85,75		35,28	20,33	31,70	31,93	33,31	28,63	26,63			
Mo				60,65										
Te						26,87								39,05
Bi					44,19	46,32	39,95	40,83	39,09	43,60	48,67			
Ag							12,14	12,76	10,79	11,84	8,09	88,76	88,0	60,95
Σ	100	100	100	100	100	100	100	99,99	100	100	100	100	100	100
Обр.	CX-2 6-2	CX-1 10-1	ЦX-2 8-1	350-5 49	350-7 2-1	CX1 11-1	350-7 8-2	350-7 8-1	350-7 9-1	350-7 9-2	350-5 17-1	350- 8a-3	350- 8a-5	350-5 20-2

Примечание. Сульфиды: 1 – пирит, 2 – халькопирит, 3 – галенит, 4 – молибденит. Сульфосоли: 5 – виттит  $Pb_5Bi_6S_{14}$ , 6 – алексит  $PbBi_2Te_2S_2$ , 7–9 – ряд оурэйт (7–9) – эскимоит (10) – викингит (11), 12–13 – акантит  $Ag_2S$ , 14 – гессит  $Ag_2Te$ .

и их зальбандах содержание всех акцессориев снижается.

**Геохимия рудных зон.** В околорудной зоне наблюдается увеличение ряда рудогенных элементов относительно слабоизмененных граносиенитов (табл. 3); к ним относятся Mo, Pb, Cu, Te, Bi, Ag. Эти элементы сопровождают золоторудную минерализацию и, соответственно, являются индикаторами Au-оруденения. В зальбандах кварцевой жилы, а также в более мелких линзах и в ближайшем околожильном

ореоле содержание Mo увеличивается до 454–948 ppm, Pb до 132–426 ppm, Cu до 355, Te до 11–21, Bi до 38–96, Ag до 9,77 ppm (см. табл. 3). 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 (см. табл. 3).

На удалении от кварцевой жилы в измененных гранитах их содержание близко к таковому в неизмененных гранитах. Концентрации этих

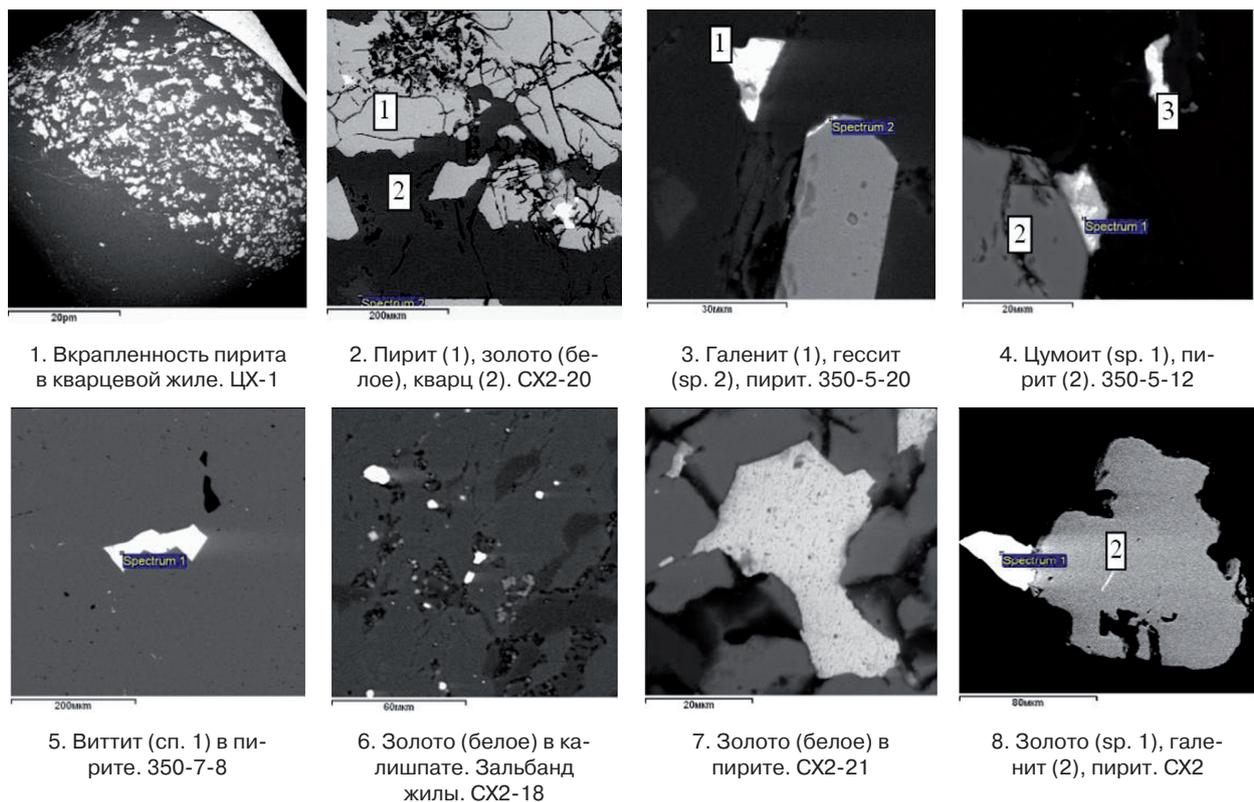


Рис. 9. Типоморфные ассоциации и морфология золота рудопроявления Центральное Хаутаваарское

Таблица 5. Химический состав золота рудопроявления Центральное Хаутаваарское (мас. %)

Эл.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ag	7,22	8,09	13,86	5,21	5,34	2,26	2,20	0,0	33,02	6,80	4,98	3,87	5,74	7,29	20,78
Au	92,78	93,91	86,14	94,79	94,66	90,59	97,8	100	66,98	93,20	95,02	96,13	94,26	92,71	79,22
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Обр.	СХ1-7	13-1	15-2	17-1	18-1	19-1	19-3	19-4	20-2	ЦХ1-21	СХ2-2	4-1	5-1	6-1	7-1

Окончание табл. 5

Эл.	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Ag		6,43	7,6	5,56	21,81	1,85	3,80	2,31	13,04	12,29		9,75		2,67
Au	100	93,57	92,4	94,44	78,20	98,15	96,20	97,69	86,96	87,71	100	90,25	100	97,33
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Обр.	СХ-2-13-4	ЦХ2-6-1	18-1	24-1	350-5-10-1	38-1	350-5а-20	34-1	350-5-7-1	350-5-40-1	350_5-7-2	350_5-13-1	350-5b-4	350-7-30

Примечание. 1–8, 10–27 – золото, 9 – электрум.

Таблица 6. Химический состав Bi-Te-минералов – спутников золота, рудопроявление Центральное Хаутаваарское (мас. %)

Эл.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
S	6,29	4,55	5,70	4,80					1,71				
Te	34,48	35,81	34,71	34,75	48,77	48,16	36,87	34,58	35,29	36,89	36,6	39,42	
Bi	59,23	59,64	59,59	60,45	51,23	51,84	63,13	63,71	64,71	63,11	63,4	60,58	
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Обр.	350-5	350-5а	350-7	350-5									350-5а
Уч.	12-5	37-2	39	32-1	12-1	45-1	14-1	37-3	41-2	41-3	23-2	31	

Примечание. 1–4 – тетрадимит, 5–6 – теллурувисмутит, 7–12 – цумоит.

элементов, так же как и в гранитах, обеспечиваются присутствием монацита, REE-эпидота, торита, циркона, реже барита, паризита. Сумма REE в рудной (кварц-пиритовой) зоне снижается до 63,25–5,5 ppm относительно слабоизмененных гранитов (201–237 ppm, см. табл. 1, обр. 350/1, 350/9). В рудной зоне, в области штокверкового окварцевания, развития жил и прожилков, резко снижается содержание Th и U относительно средних концентраций в гранитах.

**Рудная минерализация** развита в зальбандах кварцевой жилы (преимущественно в северном контакте). Она представлена пиритом (до 10 %), золотом (гораздо <1 %), молибденитом (1–0,5 %), встречаются галенит, халькопирит, пирротин (в сумме менее 1 %), цумоит, шеелит, гессит (рис. 9; табл. 4, 5).

Пирит образует кубические кристаллы размером 1–2 мм. Он ассоциирует с кварцем, серицитом, иногда с эпидотом в зальбандах жилы (см. рис. 9/1–2). Пирит выделяется первым, в него по микротрещинкам и микропорам проникают включения-вростки чешуек молибденита, золото, галенит, халькопирит и реже другие минералы (Bi-Te, сульфосоли). Молибденит выделяется в виде самостоятельных кристаллов и в сростании с пиритом (рис. 10), реже ассоциирует с халькопиритом и галенитом, его количество увеличивается в зальбандах жилы. В измененных гранитах и зальбандах он образует мелкие изогнутые, иногда расщепленные на краях чешуйки и сечет пирит. Халькопирит встречается в незначительном количестве в зальбандах кварцевой жилы в измененных гранитах, иногда ассоциирует с золотом и галенитом. Реже он образует микровключения в пирите. Галенит выделяется в микротрещинах и микропорах в пирите. Он образует микронные зерна совместно с золотом и гесситом, а также в зальбандах кварцевой жилы

с халькопиритом (см. рис. 9/3, 8). Галенит наиболее близок по времени образования к золоту.

**Висмутотеллуриды и сульфосоли** встречаются в зальбандах жилы в единичных мельчайших зернах в измененных граносиенитах в ассоциации с халькопиритом, галенитом, реже в пирите с золотом. Висмутотеллуриды представлены тетрадимитом ( $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ ), теллуrowисмутитом ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ), цумоитом (BiTe) (табл. 6). Они ассоциируют с галенитом, Ag-Pb-Bi-сульфосолями, акантитом ( $\text{Ag}_2\text{S}$ ), гесситом ( $\text{Ag}_2\text{Te}$ ) (см. рис. 9/3).

**Золото** выделяется в виде мелких зерен, чешуек и реже кристаллов размером от 1–10 мкм до 0,03–0,2 мм в пирите, кварце, реже в силикатах – калишпате и сериците в зальбандах кварцевой жилы (см. рис. 9/2, 6–8). Максимальная концентрация золота тяготеет к висмящему контакту основной жилы с пиритовой минерализацией. Его спутником является галенит. Золото содержит до 33 % Ag, однако наиболее распространено золото с содержанием Ag до 10 %, то есть ~85 % от общего количества (n=75) проанализированных проб. Реже встречается электрум (см. табл. 5).

На участке *Северном Хаутаваарском* (см. рис. 1) изменения граносиенитов проявились в интенсивном рассланцевании, сопровождаемом увеличением количества эпидота, серицита, кварца, в том числе тонкопрожилковом окварцевании. Зона рассланцевания имеет простирание СЗ 310°, ее мощность достигает 10 м. Мощность кварцевых прожилков ~0,1–1 см. Во внешнем ореоле в менее интенсивно преобразованных граносиенитах изменения представлены биотитом, альбитом, эпидотом, серицитом, кварцем, сопровождаются вкрапленными сульфидами. Рудная минерализация Северного Хаутаваарского проявления представлена молибденитом, пиритом, реже встре-

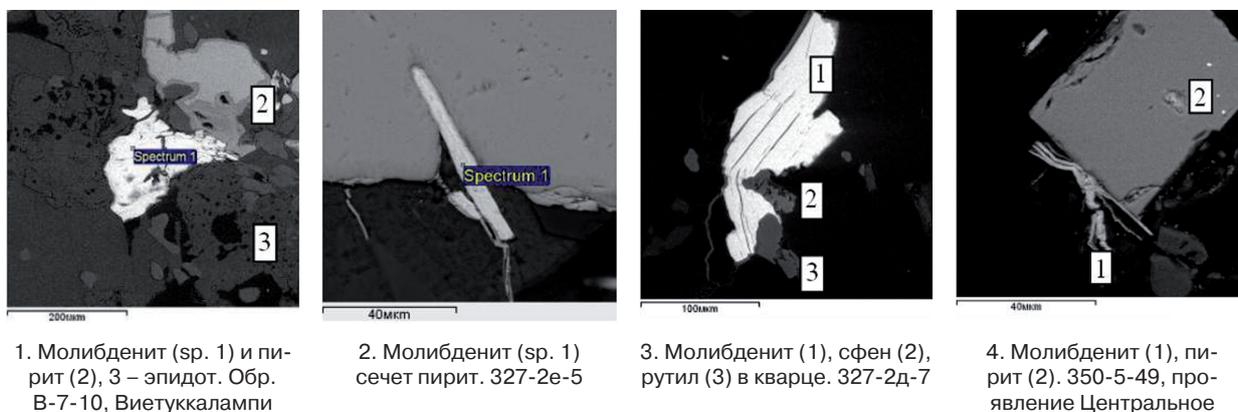


Рис. 10. Молибденитовая минерализация в измененных граносиенитах Хаутаваарского массива: 1 – восточный берег оз. Виетуккалампи, 2–3 – Северное Хаутаваарское, 4 – Центральное Хаутаваарское

чаются пирротин, галенит, шеелит, цумоит (BiTe), гессит (Ag<sub>2</sub>Te).

*Хаутаваарское молибденовое проявление* (см. рис. 1), известное с 50-х годов прошлого столетия, находится в 3,5 км ЮВ от ст. Хаутаваара. Оно приурочено к монцогранитам и представлено вкрапленной молибденитовой минерализацией с содержанием Mo 0,004–0,032 % [Сиваев, Горошко, 1988].

На проявлениях Центральном и Северном Хаутаваарском тонковкрапленная молибденитовая минерализация встречается в рассланцованных граносиенитах с кварцевыми прожилками в зальбандах жил, на восточном берегу оз. Виетуккалампи – в мелкочешуйчатой форме (рис. 10). Молибденит формирует изогнутые пластинчатые кристаллы и их скопления (размером до 200 мкм). Иногда он сечет пирит и заполняет микропоры в нем. Содержание Mo в околорудно-измененных породах вблизи золото-кварцевой жилы достигает 450–950 ppm.

## Заключение

В строении Хаутаваарского санукитоидного массива участвуют две фазы, он дифференцирован от монцогаббро-монцодиоритов до граносиенитов и монцогранитов. Среди пород 1-й фазы впервые выделены основные дифференциаты – монцогаббро. Кровля массива погружается в западном направлении, и в зоне западного эндоконтакта развиты многочисленные розовые и красные жилы и дайки кислых пород.

Среди пород 2-й фазы умереннощелочные «розовые граниты» относятся к монцогранитам, «серые граниты» – к граносиенитам. Граносиениты развиты в СВ части массива. Породы обогащены Ba, Sr и имеют повышенную щелочность и магнезиальность. Спектры распределения REE в породах хаутаваарского комплекса характерны для пород санукитоидных серий. Они близки в породах 1-й и 2-й фаз и дифференцированы: преобладают легкие REE, с увеличением содержания SiO<sub>2</sub> концентрация REE снижается. Внедрившиеся породы оказали воздействие на вмещающие толщи, а в зонах катаклаза, рассланцевания и штокверкового окварцевания сами испытывают среднетемпературные преобразования, представленные ассоциацией эпидота, серицита, кварца, на удалении – мелкочешуйчатым биотитом. К штокверковым зонам в СВ части массива приурочены основные проявления – молибденовое (Северное Хаутаваарское) и золото-сульфидно-кварцевое (Центральное Хаутаваарское). В пределах рудопроявлений

граносиениты катаклазированы и рассланцованы, доминирующие направления в системе трещин имеют аз. пр. 310° и 70°.

Au-S-кварцевое оруденение проявления Центральное приурочено к серым граносиенитам СВ части массива, зальбандам кварцевой жилы, молибденит распространен несколько шире. Кварцевые штокверки выделяются также по снижению концентраций радиогенных элементов Th и U. Золото тонко- и мелкозернистое, имеет высокую пробу. Высокопробное золото (990–900) составляет ~85 % проб. Его спутниками являются галенит, халькопирит, в зальбандах жилы встречаются молибденит, халькопирит, редко единичные зерна Ag-Pb-Bi-сульфосолей, гессит и акантит. Молибденитовая минерализация фиксируется во внешнем ореоле золото-сульфидной кварцевой жильной зоны, тогда как галенит занимает ту же позицию, что и золото. Соответственно, более низкотемпературная полиметаллическая ассоциация более благоприятна для нахождения золота, что следует учитывать при поисковых работах, а появление повышенных концентраций молибденита фиксирует внешний ореол рудных штокверков. Содержание золота в основной жиле достигает 20–28 г/т (по данным ООО «Онего-Золото»). Закономерности, устанавливаемые по минеральным ассоциациям умереннощелочных гранитов, руд и околорудных метасоматитов, отчетливо отражаются в первичных литохимических ореолах и могут служить поисковыми признаками на массивах подобного типа в зеленокаменных поясах центральной Карелии.

## Литература

*Вихко А. С.* Первичные литохимические ореолы золото-сульфидно-кварцевого проявления Центральное (Хаутаваарская структура, Карелия) // Актуальные проблемы геологии докембрия, геофизики и геоэкологии: материалы XXV Молодежной конф., посвященной 100-летию чл.-корр. АН СССР К. О. Кратца. СПб. 2014. С. 30–36.

*Горошко А. Ф.* Вопросы геологии и металлогении южной части Карельского геоблока (на примере Хаутаваарской гранит-зеленокаменной структуры) // Геология Северо-Запада Российской Федерации. СПб., 1993. С. 171–192.

*Горошко А. Ф.* Отчет о результатах поисково-картировочных работ на золото в центральной и южной частях Хаутаваарско-Ведлозерской зеленокаменной структуры, проведенных в 1990–1995 гг. (Нялмо-Шуйский объект). 1995. Фонды ТФГИ.

*Дяттерев Н. К., Гриневич Н. Г.* Информационный отчет о результатах геолого-разведочных работ, проведенных на «Хаутаваарской площади» в 2008 году. ТГФ. Петрозаводск, 2008.

Егорова Ю. С. Санукитоиды Фенно-Карельской провинции Балтийского щита: геология, состав, источники: дис. ... канд. геол.-минер. наук. 2014. 208 с.

Иваников В. В. Архейские сиениты и монцитониты Карелии // Вестник СПбГУ. Сер. 7. 1997. Вып. 1, № 7. С. 11–21.

Кожевников В. Н. Архейские зеленокаменные пояса Карельского кратона как аккреционные орогены. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2000. 222 с.

Кулешевич Л. В., Слюсарев В. Д., Лавров М. М. благороднометалльная минерализация Хаутавааро-Ведлозерской площади // Геология и полезные ископаемые Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 12–25.

Лобач-Жученко С. Б., Роллинсон Х., Чекулаев В. П., Гусева Н. С., Арестова Н. А., Коваленко А. В. Геология и петрология архейского высококалийного и высокомагнезиального Панозерского массива Центральной Карелии // Петрология. 2007. Т. 15, № 5. С. 493–523.

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

Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2005. 280 с.

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

Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Изд. 3. СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. 200 с.

Робонен В. И., Рыбаков С. И., Ручкин Г. В. и др. Серноколчеданные месторождения Карелии. Л.: Наука, 1978. 192 с.

Рыбаков С. И. Метаморфизм осадочно-вулканогенных формаций раннего докембрия Карелии. Петрозаводск: Карелия, 1980. 135 с.

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

Рогальский В. В., Дягтерев Н. К., Гриневиц Н. Г. и др. Геологический отчет по результатам поисков месторождений рудного золота на Хаутаваарской площади (1 этап, 2007–2009 гг.). 2009. Фонды ТГФ.

Светова А. И. Архейский вулканизм Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса Центральной Карелии. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1988. 148 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. Древнейшие адакиты Фенноскандинавского щита. Петрозаводск.: Карельский НЦ РАН, 2009. 115 с.

Светов С. А., Хухма Х. Геохимия и Sm-Nd систематика архейских коматиит-толеитовых ассоциаций Ведлозерско-Сегозерского зеленокаменного пояса (Центральная Карелия) // Докл. РАН. 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. 1989. 24 с.

Сиваев В. В., Горошко А. Ф. Геологическое строение и полезные ископаемые Улягского массива гранитов рапакиви и его обрамления. Отчет о результатах групповой геологической съемки масштаба 1:50000 и среднемасштабного геологического картирования, проведенных Ведлозерской партией в 1983–1988 гг. в Южной Карелии. Петрозаводск, 1988. Фонды ТГФ. Инв. № 228–1.

Слюсарев В. Д., Кулешевич Л. В., Лавров М. М. благороднометалльная минерализация в габброидном массиве района оз. Виетуккалампи (Хаутаваарская структура) // Минералогия, петрология и минерагения докембрийских комплексов Карелии. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2007. С. 112–116.

Стратиграфия докембрия Карелии. Опорные разрезы верхнеархейских отложений. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 1992. 190 с.

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

Bibikova E., 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.

Lobach-Zhuchenko S. B., Chekulaev V. P., Ivanikov V. V. et al. Late archaean high-Mg and subalkaline granitoids and lamprophyres as indicators of gold mineralization in Karelia (Baltic Shield), Russia // Ore-Bearing granites of Russia and adjacent countries. M., 2000. P. 193–211.

Lobach-Zhuchenko S. B., Rollinson H. R., Chekulaev V. P. et al. The Archaean sanukitoid series of the Baltic Shield: geological setting, geochemical characteristics and implications for their origin // Lithos. 2005. 79. 107–128.

Sun S., Mc Donough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Geol. Soc. Spec. Publ. Magmatism in the ocean basins. Eds. A. D. Saunders, M. J. Norry. 1989. Vol. 42. P. 313–345.

## References

Goroshko A. F. Voprosy geologii i metallogenii yuzhnoi chasti Karel'skogo geobloka (na primere Khautavaarskoi granit-zelenokamennoi struktury) [Problems of geology and metallogeny of the southern Karelian

geoblock (example of the Hautavaara granite-greenstone structure)]. Geologiya Severo-Zapada Rossiiskoi Federatsii [Geology of the northwestern Russian Federation]. St. Petersburg, 1993. P. 171–192.

Goroshko A. F. Otchet o rezul'tatakh poiskovo-kartirovochnykh rabot na zoloto v tsentral'noi i yuzhnoi chastyakh Khautavaarsko-Vedlozerskoi zelenokamennoi struktury, provedennykh v 1990–1995 gg. (Nyalmo-Shuiskii ob'ekt) [Report on the results of 1990–1995 gold prospecting and mapping in the central and southern Hautavaara-Vedlozero greenstone structure (Nyalmo-Shuya locality)]. 1995. TFGI Archives.

Dyagterev N. K., Grinevich N. G. Informatsionnyi otchet o rezul'tatakh geologorazvedochnykh rabot, provedennykh na "Khautavaarskoi ploshchadi" v 2008 godu [Report on the results of the geological prospecting of the Hautavaara area in 2008]. TGF. Petrozavodsk, 2008.

Egorova Yu. S. Sanukitoidy Fenno-Karel'skoi provintsi Baltiiskogo shchita: geologiya, sostav, istochniki [Sanukitoids of Fenno-Karelian province of the Baltic shield: geology, composition, sources]: dis. ... kand. geol.-min. nauk [Ph. D. thesis, geol.-min.]. 2014. 208 p.

Ivanikov V. V. Arkheiskie sienity i montsonity Karelii [Archean syenites and monzonites of Karelia]. *Vestnik SPbGU. Ser. 7 [Herald of St. Petersburg University]*. Iss. 1, No 7. 1997. P. 11–21.

Kozhevnikov V. N. Arkheiskie zelenokamennye poyasa Karel'skogo kratona kak akkretsiionnye orogeny [Archean greenstone belts of the Karelian craton as accretionary orogens]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2000. 222 p.

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]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2009. P. 12–25.

Lobach-Zhuchenko S. B., Rollinson Kh., Chekulaev V. P., Guseva N. S., Arestova N. A., Kovalenko A. V. Geologiya i petrologiya arkheiskogo vysokokalievogo i vysokomagnezial'nogo Panozerskogo massiva Tsentral'noi Karelii [Geology and petrology of the archaean high-K and high-Mg Panozero massif, Central Karelia]. *Petrologiya*. 2007. Vol. 15, No 5. P. 493–523.

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. Ser. geol. [Proc. AS. Ser. geol.]*. 1990. No 8. P. 131–133.

Mineral'no-syr'evaya baza Respubliki Kareliya [Mineral raw materials base of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: Kareliya Publ., 2005. 280 p.

Ovchinnikova G. V., Matrenichev V. A., Levchenkov O. A., Sergeev S. A., Yakovleva S. Z., Gorokhovskii O. 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*. 1994. Vol. 2, No 3. P. 266–281.

Petrograficheskii kodeks Rossii. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya [Petrographic Code of Russia. Igneous, metamorphic, metasomatic and impact rocks]. 3<sup>rd</sup> edition. St. Petersburg: VSEGEI. 2009. 200 p.

Robonen V. I., Rybakov S. I., Ruchkin G. V. et al. Ser-nokolchedannye mestorozhdeniya Karelii [Pyrite deposits of Karelia]. Leningrad: Nauka Publ., 1978. 192 p.

Rogal'skii V. V., Dyagterev N. K., Grinevich N. G. et al. Geologicheskii otchet po rezul'tatam poiskov mestorozhdenii rudnogo zolota na Khautavaarskoi ploshchadi (1 etap, 2007–2009 gg.) [Geological report on the results of the prospecting of ore gold deposits in the Hautavaara area (Stage I, 2007–2009)]. 2009. TGF Archives.

Rybakov S. I. Metamorfizm osadochno-vulkanogenykh formatsii rannego dokembriya Karelii [Metamorphism of Early Precambrian sedimentary-volcanic formations in Karelia]. Petrozavodsk: Kareliya Publ., 1980. 135 p.

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

Sergeev S. A. Geologiya i izotopnaya geokhronologiya granit-zelenokamennykh kompleksov arkheya Tsentral'noi i Yugo-Vostochnoi Karelii [Geology and isotope geochronology of Archean granite-greenstone complexes in central and southeastern Karelia]: avtoref. diss. ... kand. geol.-min. nauk [Ph. D. thesis, geol.-min., abstract]. 1989. 24 p.

Sivaev V. V., Goroshko A. F. Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Ulyalegskogo massiva granitov rapakivi i ego obramleniya. Otchet o rezul'tatakh gruppovoi geologicheskoi s'emki masshtaba 1: 50000 i srednemashtabnogo geologicheskogo kartirovaniya, provedennykh Vedlozerskoi partiei v 1983–1988 gg. v Yuzhnoi Karelii [Geological structure and mineral resources of the Ulyalelsky rapakivi granite massif and its margin. Report on the results of 1: 50000 scale group geological survey and medium-scale geological mapping conducted by the Vedlozero Team in 1983–1988 in South Karelia]. Petrozavodsk, 1988. TGF Archives. No 228–1.

Slyusarev V. D., Kuleshevich L. V., Lavrov M. M. Blagorodnometall'naya mineralizatsiya v gabbroidnom massive raiona oz. Vietukkalampi (Khautavaarskaya struktura) [Noble-metal mineralization in the gabbroid massif, Lake Vietukkalampi area (Hautavaara structure)]. Mineralogiya, petrologiya i minerageniya dokembriiskikh kompleksov Karelii [Mineralogy, petrology and minerageny of Precambrian complexes in Karelia]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2007. P. 112–116.

Stratigrafiya dokembriya Karelii. Opornye razrezy verkhnearkheiskikh otlozhenii [Precambrian stratigraphy of Karelia. Reference section of Upper Archean deposits]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 1992. 190 p.

Svetova A. I. Arkheiskii vulkanizm Vedlozersko-Segozerskogo zelenokamennogo poyasa Tsentral'noi Karelii [Archean volcanism in the Vedlozero-Segozero greenstone belt, Central Karelia]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 1988. 148 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. Drevneishie adakity Fennoskandinavskogo shchita [The oldest adakites of the Fennoscandian Shield]. Petrozavodsk.: KarRC of RAS, 2009. 115 p.

Svetov S. A., Khukhma Kh. Geokhimiya i Sm-Nd sistematika arkhaiskikh komatiit-toleitovykh assotsiatsii Vedlozersko-Segozerskogo zelenokamennogo poyasa (Tsentral'naya Kareliya) [Geochemistry and Sm-Nd systematics of the Archean komatiitic-tholeiitic associations of the Vedlozero-Segozero greenstone belt (Central Karelia)]. Dokl. RAN [Proc. RAS]. 1999. Vol. 369, No 2. P. 261–263.

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

Vikhko A. S. Pervichnye litokhimicheskie oreoly zoloto-sul'fidno-kvartsevogo proyavleniya Tsentral'noe (Khautavaarskaya struktura, Kareliya) [Primary lithochemical aureoles of Tsentralnoye gold-sulphide-quartz occurrence, Hautavaara structure, Karelia]. Aktual'nye problemy geologii dokembriya, geofiziki i geoekologii: materialy XXV Molodezhnoi konf., posvyashchennoi 100-letiyu chl.-korr. AN SSSR K. O. Krattsa [Actual problems in Precambrian geology, geophysics and

geoecology. Proceedings of the 25<sup>th</sup> Youth Conference on the 100<sup>th</sup> anniversary of Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences, K. O. Kratz]. St. Petersburg. 2014. P. 30–36.

Bibikova E., 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.

Lobach-Zhuchenko S. B., Chekulaev V. P., Ivanikov V. V., Kovalenko A. V., Bogomolov E. S. Late archaic high-Mg and subalkaline granitoids and lamprophyres as indicators of gold mineralization in Karelia (Baltic Shield), Russia. Ore-Bearing granites of Russia and adjacent countries. Moscow, 2000. P. 193–211.

Lobach-Zhuchenko S. B., Rollinson H. R., Chekulaev V. P. et al. The Archaean sanukitoid series of the Baltic Shield: geological setting, geochemical characteristics and implications for their origin. *Lithos*. 2005. 79. P. 107–128.

Sun S., Mc Donough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geol. Soc. Spec. Publ. Magmatism in the ocean basins*. Eds. A. D. Saunders, M. J. Norry. 1989. Vol. 42. P. 313–345.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### **Дмитриева Антонина Васильевна**

старший лаборант-исследователь  
Институт геологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
эл. почта: dmitrieva-v@yandex.ru

### **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

### **Вихко Александр Сергеевич**

аспирант  
Институт геологии Карельского научного центра РАН  
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,  
Россия, 185910  
геолог  
ООО «Онего-Золото»  
ул. Ф. Энгельса, 10, оф. 507, Петрозаводск,  
Республика Карелия, Россия, 185035  
эл. почта: alex-vihko@yandex.ru

## CONTRIBUTORS:

### **Dmitrieva, Antonina**

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

### **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

### **Vikhko, Alexandr**

Institute of Geology, Karelian Research Centre,  
Russian Academy of Sciences  
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
«Onego-Zoloto»  
10 F. Engels St., of. 507, 185035 Petrozavodsk, Karelia, Russia  
e-mail: alex-vihko@yandex.ru