

УДК 553.[491] (470.22)

## БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ МАССИВА ВЯЛИМЯКИ (СЕВЕРНОЕ ПРИЛАДОЖЬЕ, КАРЕЛИЯ)

И. А. Алексеев<sup>1</sup>, Л. В. Кулешевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>2</sup> Институт геологии Карельского научного центра РАН

Массив Вялимяки (возраст 1,89 млрд лет) расположен в Северном Приладожье, дифференцирован от верлитов, пироксенитов до габбро и диоритов повышенной щелочности. К пироксенитовой части массива приурочены ильменит-титаномагнетитовые руды, образующие несколько залежей, отработанных еще в XIX – начале XX века. Для богатых титаномагнетитовых руд характерны повышенные концентрации  $TiO_2$  – 2,4–6,4 %,  $V_2O_5$  – 0,54–0,8 %,  $MnO$  – 0,16–0,3 %. Титаномагнетит с ламеллями распада ильменита содержит 0,6–1 % V, концентрация Mn в ильмените составляет 1–1,87 % в рудах и до 4,65–6 % во вкрапленной минерализации в габбро-диоритах. В рудах с вкрапленно-прожилковой Cu-S-минерализацией установлены благородные металлы – Au, Pt, Pd (в сумме 0,3–1 г/т). Сульфиды представлены халькопиритом, пиритом, встречаются сфалерит (Fe 6–9 %), пирротин, аргентопентландит, галенит, Se-галенит, молибденит, кобальтин и Ag-Bi-Te фазы (гессит, штютцит, теллуировисмутит, тетрадимит). Минералы Pd, Pt – майченерит, фрудит, меренскиит, Rh-сперрилит и электрум были выявлены в массиве Вялимяки впервые.

Ключевые слова: массив Вялимяки; ильменит-титаномагнетитовые руды; Au-Pd-Pt-Cu-S-минерализация; Карелия.

### I. A. Alekseev, L. V. Kuleshevich. NOBLE-METAL MINERALIZATION OF THE VÄLIMÄKI MASSIF, NORTHERN PRILADOZHJE, KARELIA

The 1.89 Ga Välimäki massif is located in the northern Lake Ladoga area (Priladozhje). It is differentiated from wehrlites and pyroxenites to highly alkaline gabbro and diorites. Ilmenite-titanomagnetite ores confined to the pyroxenite portion of the massif form several bodies worked out as early as the 19<sup>th</sup> – early 20<sup>th</sup> century. High-grade titanomagnetite ores typically contain high concentrations of  $TiO_2$  (2.4–6.4 %),  $V_2O_5$  (0.54–0.8 %) and  $MnO$  (0.16–0.3 %). Titanomagnetite with ilmenite disintegration lamellae contains 0.6–1 % V; Mn concentration in ilmenite is 1–1.87 % in the ores and up to 4.65–6 % in disseminated mineralization in gabbro-diorites. Ores with disseminated-veinlet Cu-S-mineralization were found to contain noble metals such as Au, Pt and Pd (total concentration 0.3–1 g/t). Sulphides are represented by chalcopyrite and pyrite; sphalerite (Fe 6–9 %), pyrrhotite, argentopentlandite, galena, Se-galena, molybdenite, cobaltite and Ag-Bi-Te phases (hessite, stützite, tellurobismuthite and tetradymite) are common. Minerals Pd and Pt – michenerite, froodite, merenskyite, Rh-sperryllite, and electrum, were revealed in the Välimäki massif for the first time.

Keywords: Välimäki massif; ilmenite-titanomagnetite ores; Au-Pd-Pt-Cu-S-mineralization; Karelia.

## Характеристика массива Вялимяки

Массив Вялимяки (рис. 1) расположен в Северном Приладожье (Питкярантский район Республики Карелия) вблизи пос. Ляскеля. Имеет овальную форму, размер  $3,5 \times 2$  км и представлен перидотитами, пироксенитами, габбро и диоритами. По данным петрографо-петрохимического изучения состава слагающих его пород и возрасту 1,89 млрд лет (U-Pb анализ цирконов) [Богачев и др., 1999; Алексеев, Котова, 2010] он обычно сопоставляется

с массивом Кааламо и относится к клинопироксенит-габбровому формационному комплексу. Геология, генезис и рудоносность массива в разных аспектах изучались геологами производственных и научных организаций [Саранчина, 1948; Громова, 1951; Геология..., 1960; Юдин, 1987; Светов и др., 1990; Богачев и др., 1999; Алексеев, Котова, 2010]. Массив прорывает сланцы ладожской серии (PR<sub>1</sub>lg). В северном и восточном контакте развиты ставролит-биотитовые и кварц-биотитовые сланцы, в южном, в том числе на побережье Ладожского

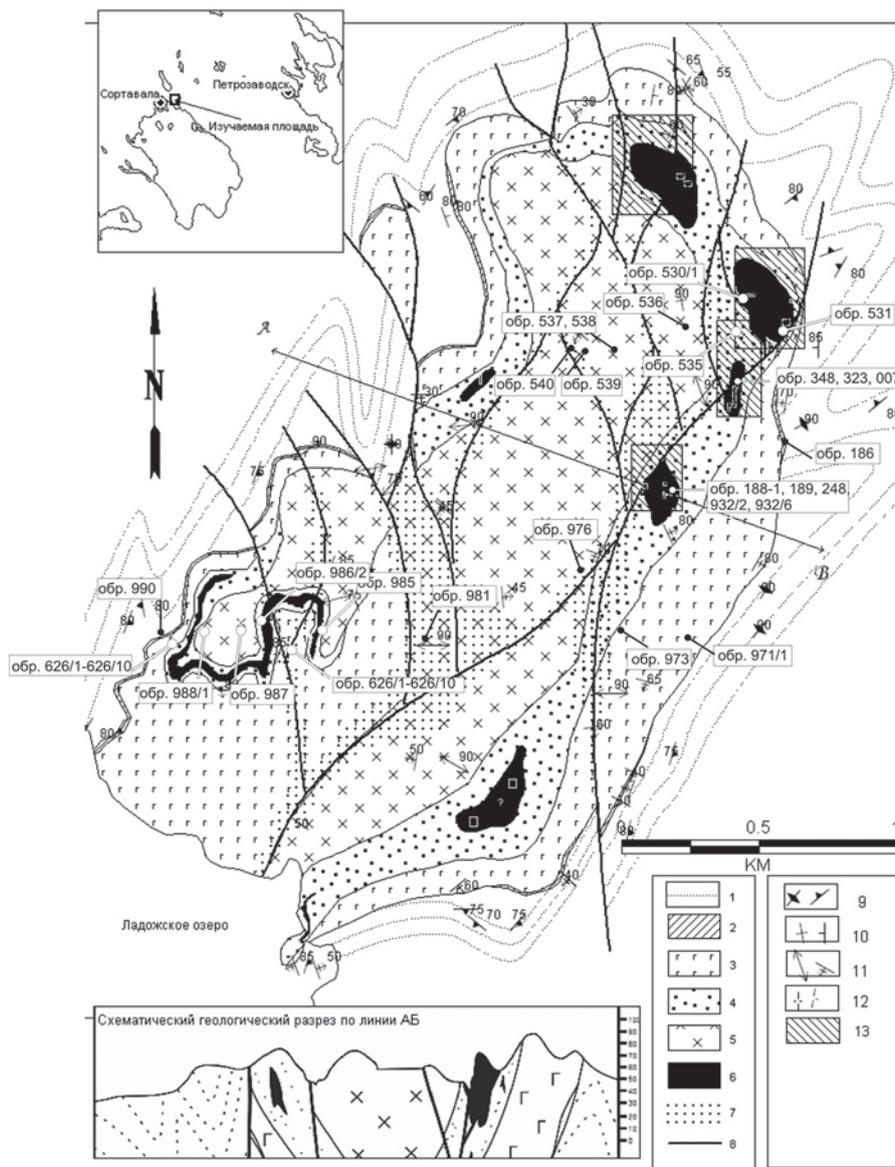


Рис. 1. Схема геологического строения массива Вялимяки (сост. И. А. Алексеев)

1 – вмещающие породы: сланцы ладожской серии (PR<sub>1</sub>lg); 2–7 – породы Вялимякского массива: 2 – приконтактные гибридные диориты; 3 – габбро (зона трахитоидных габбро); 4 – пироксениты, габбро, диориты (габбро-пироксенитовая зона); 5 – габбро-диориты (габбро-диоритовая зона); 6 – рудовмещающие тела клинопироксенитов (белый квадрат – горные выработки); 7 – калишпатизированные породы; 8 – тектонические нарушения; 9–12 – элементы залегания: 9 – сланцеватость, 10 – контакт пород, 11 – трахитоидность, 12 – тектонические структуры; 13 – участки работ: пироксениты, перспективные на обнаружение благороднометалльного оруденения.

Цифры на схеме – номера образцов

Таблица 1. Химический состав пород массива Вялимяки (мас. %)

Комп.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO <sub>2</sub>	50,60	52,00	49,60	54,40	53,20	35,00	47,50	35,70	39,40	42,10	36,60	37,90	39,00
TiO <sub>2</sub>	0,73	0,76	1,16	0,41	0,85	2,94	1,15	1,90	1,99	1,45	2,38	2,00	2,19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,20	21,10	16,00	23,10	18,10	7,08	8,72	5,41	3,83	2,48	3,42	3,30	3,35
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> t	8,84	8,43	13,60	4,71	9,52	28,30	18,40	23,80	26,60	21,50	29,10	23,80	26,50
MnO	0,13	0,15	0,23	0,08	0,17	0,24	0,25	0,22	0,21	0,24	0,27	0,24	0,29
MgO	2,31	2,05	4,36	1,13	2,94	11,00	9,07	10,40	11,00	12,90	11,50	12,00	11,40
CaO	6,30	7,02	6,75	7,58	6,69	13,40	10,90	16,10	15,70	18,20	16,50	16,30	15,90
Na <sub>2</sub> O	4,10	3,66	2,76	5,53	3,73	0,56	1,50	0,74	0,50	0,02	0,02	0,36	0,28
K <sub>2</sub> O	2,48	3,25	3,73	1,50	3,61	0,72	0,96	0,87	0,55	0,37	0,22	0,28	0,29
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,43	0,49	0,61	0,32	0,39	0,24	0,20	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,19
ппп	2,47	0,81	0,74	0,90	0,39	0,19	1,02	4,38	0,05	0,29	0,05	3,33	0,23
Σ	99,60	99,70	99,50	99,70	99,60	99,60	99,70	99,60	99,60	99,60	99,60	99,60	99,70
Σalk	6,58	6,91	6,49	7,03	7,34	1,28	2,46	1,61	1,05	0,39	0,24	0,64	0,57
Kf (%)	79,28	80,44	75,72	80,65	76,40	72,01	66,98	69,59	70,74	62,50	71,67	66,48	69,92
Обр.	530/1	530/2	535	538	539	531	626/1 а	626/3	626/4	626/6-1	626/7	626/8-2	626/9

Окончание табл. 1

Комп.	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
SiO <sub>2</sub>	51,50	50,70	51,90	51,30	48,90	53,80	54,70	56,00	54,60	36,10	20,42	18,69	7,08
TiO <sub>2</sub>	0,98	0,87	0,94	0,98	1,08	0,76	0,69	0,64	0,68	2,44	4,16	4,80	6,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,30	18,10	17,50	16,80	16,30	18,10	19,00	19,00	18,70	7,65	6,37	6,39	6,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>										14,70	31,56	31,70	41,15
FeO										16,20	22,98	23,20	28,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> t	11,60	10,30	10,50	11,60	13,00	9,40	8,11	7,56	7,87				
MnO	0,21	0,16	0,18	0,21	0,23	0,17	0,14	0,12	0,16	0,21	0,29	0,27	0,30
MgO	4,22	3,43	2,80	3,48	4,76	2,61	2,17	2,55	2,33	8,41	3,79	5,35	1,40
CaO	7,56	7,81	6,10	7,63	9,16	6,21	5,65	5,30	6,34	11,23	8,60	6,16	7,6
Na <sub>2</sub> O	3,24	4,01	3,52	3,44	3,29	3,83	3,70	5,40	4,21	1,16	0,38	0,66	0,06
K <sub>2</sub> O	2,88	2,48	3,46	3,01	1,72	3,71	4,15	2,01	3,96	1,09	0,38	0,03	0,12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,48	0,45	0,48	0,57	0,59	0,44	0,36	0,31	0,35	0,36	0,052	0,15	0,14
ппп	0,61	1,17	2,23	0,57	0,62	0,58	0,86	0,65	0,46	0,06	0,37	1,39	0,25
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>										0,108	0,544	0,408	0,48
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>										0,009	0,009	0,035	0,019
Cu										0,033	0,001	0,003	0,003
Σ	99,60	99,60	99,60	99,70	99,70	99,60	99,60	99,60	99,60	99,94	100	99,73	99,78
Σalk	6,12	6,49	6,98	6,45	5,01	7,54	7,85	7,41	7,27	2,25	0,76	0,69	0,18
Kf (%)	73,32	75,02	78,95	76,92	73,20	78,27	78,89	74,78	77,16	78,61	93,50	91,12	98,03
Обр.	626/1	626/10	971/1	973	985	976	981	986/2	987	1	2	3	4

Примечание. Анализы И. А. Алексеева (1–22): 1–3, 14–18 – габбро, 6–13 – высокожелезистые пироксениты, 4–5, 19–22 – габбро-диориты. Анализы Б. С. Юдина (23–26): 23 – оруденелый клинопироксенит, 24–26 – ильменит-магнетитовые руды.

озера, – сланцы, амфиболиты и гранито-гнейсы. Метаморфизм вмещающих толщ достигает амфиболитовой фации. На позднеорогенном этапе развития массив претерпевает деформации и сечется жилами гранитоидов.

Однако, имея близкий возраст с массивами Кааламской группы, Вялимякский массив отличается несколько большим разнообразием породных комплексов, наличием титаномагнетитовых руд и характером более поздних наложенных изменений, связанных с воздействием позднеорогенных гранитов. Титаномагнетитовые руды содержат повышенные концентрации

благородных металлов, что и обусловило интерес к ним [Алексеев, 2005]. В задачи настоящей работы входило изучение рудных минералов, обеспечивающих повышенные концентрации ЭПГ, приуроченных к титаномагнетитовым рудам с вкрапленной сульфидной минерализацией, и установление минеральных фаз благородных металлов.

**Петрографо-петрохимические особенности пород.** Вялимякский массив дифференцирован от перидотитов и пироксенитов до габбро и диоритов. Состав пород приведен в таблице 1 и на рисунке 2.

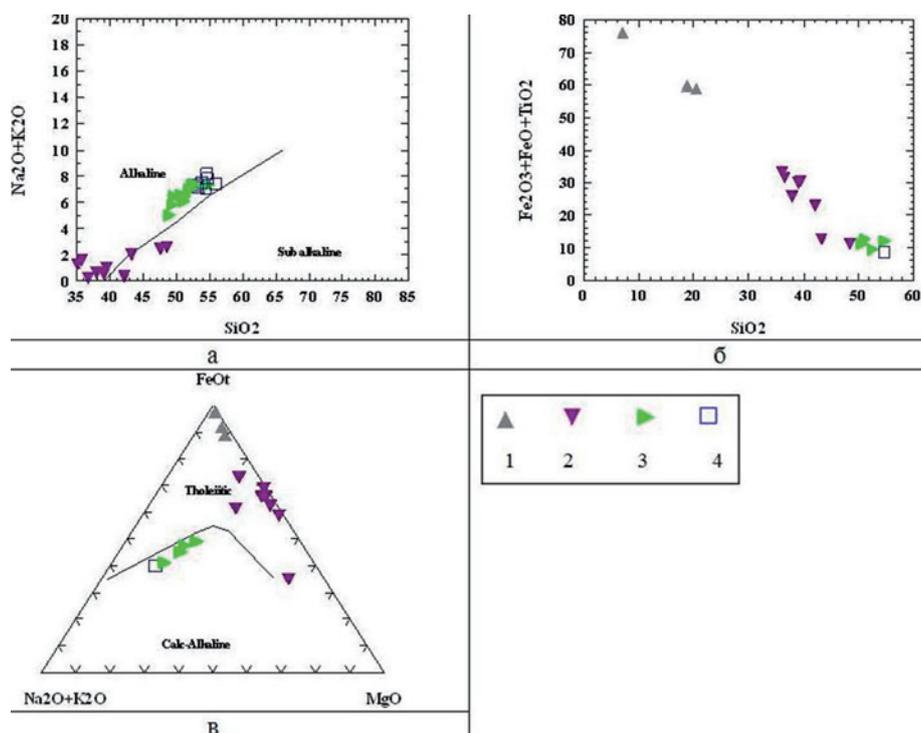


Рис. 2. Петрохимические особенности пород массива Вялимьяки:

Классификационная диаграмма: а.  $\text{SiO}_2$  –  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  (мас. %). Диаграммы: б.  $\text{SiO}_2$  –  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ ; в.  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  –  $\text{FeO}$  –  $\text{MgO}$ .

Легенда: 1 – руды и рудные пироксениты, 2 – пироксениты высокожелезистые, 3 – габбро, 4 – габбро-диориты

Ультраосновные породы представлены небольшими линзами верлитов в составе пироксенитовых тел, основные интрузивные породы – клинопироксенитами, горнблендитами, мелано-, мезо- и лейкократовыми габбро, габбро-диоритами, а также гибридными приконтактовыми диоритами [Алексеев и др., 2005, 2010]. Приконтактовые зоны представлены гибридными диоритами.

Все породы выделяются повышенной щелочностью. Указанные разновидности формируют зональность (от восточного контакта вверх по разрезу, см. рис. 1): 1) пачка приконтактовых гибридных диоритов; 2) пачка трахитоидных лейко- и мелано-габбро; 3) габбро-пироксенитовая пачка, представленная контрастным чередованием меланократовых и лейкократовых пород; 4) пачка габбро-диоритов. Выделенные зоны простираются параллельно контактам интрузива. Крупные пироксенитовые тела размещены закономерно в виде цепочки на одном уровне в пределах пачки. Контакты тел разнообразны: от ровных и четких до постепенных.

В пределах массива породы расположены зонально согласно с выделяемой слоистостью (рис. 1). Приконтактовые зоны представлены гибридными диоритами (обр. 186, 187) и трахитоидными габбро,

далее следует меланократовая габбро-пироксенитовая зона и затем габбро-диориты центральной и западной части массива. Рудные титаномагнетитовые горизонты приурочены к пироксенитовой зоне. Изучались руды и образцы с разным содержанием Ti-Fe-оксидов и с сульфидной минерализацией (обр. 188, 188-1; 189, 189-1, -4; 248, 248-2, -5; 323, 348, 348-1, 408-3, 932-2, -4, -6, 007).

**Краевая зона.** Приконтактовые диориты слагают маломощную кайму вдоль западного контакта массива и небольшие локальные оторочки вдоль восточного контакта. Для краевых габбро-диоритов («гибридных» субщелочных пород) в северной краевой части массива (обр. 186) характерно присутствие в составе плагиоклаза (55–60 %, An 44), биотита (20–18 %), амфибола (18 %), микроклина (4–5 %) и кварца (до 5 %). В составе плагиоклаза Na (4,62–7,44 %) преобладает над Ca (5,55–0,59 %, обычно 3–4 %), биотит содержит 1,28–2,02 % Ti. Амфибол зональный: в центре кристаллов находится роговая обманка с повышенным содержанием Al и щелочей Na и отчасти K, в кайме – менее глиноземистая (до актинолита). Калиевый полевой шпат в диоритах выделяется как более поздний, наложенный, он содержит Ba до 1,5–3,21 %, Na до 0,57–0,7 %. В породах присутствует апатит ~1–3 %, акцессорный

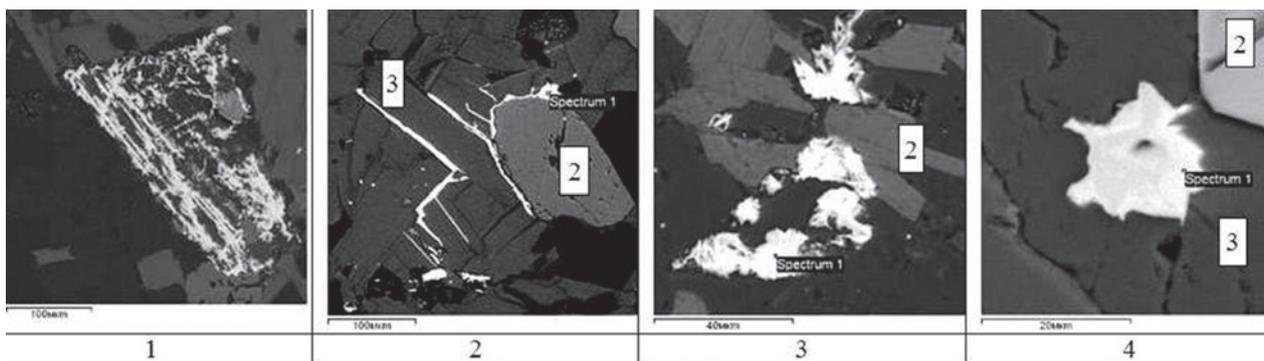


Рис. 3. Акцессорная REE-минерализация в габбро-диоритах краевой зоны:

1. Скелетный кристалл паризита, Vel 186–172. 2. Паризит (sp. 1) обрастает апатит (2) и биотит (3), Vel 186–16. 3. Паризит (sp. 1), биотит (2), Vel 186–4. 4. Зональный Ca-Sr-TR-карбонат (анцилит, sp. 1), магнетит (2), хлорит (3), Vel 189–16.

бадделейт и циркон. Вторичные минералы представлены кальцитом, эпидотом, хлоритом, титанитом. Для гибридных пород установлены повышенные концентрации REE и их минералы (рис. 3): паризит, Ca-TR-Sr-карбонат (анцилит), Th-содержащий паризит, торит, что в целом типично для пород повышенной щелочности.

Fe-Ti-O-рудные оксиды в краевых диоритах редки. Они представлены срастанием магнетита (1–2 %) и манганоильменита (Mn до 4,65–6 %). Сульфиды (до 0,5–1 %) в диоритах встречаются редко, но на отдельных участках отмечаются их тонкие прожилки с хлоритом и кальцитом. Сульфиды представлены пиритом, халькопиритом, иногда среди них отмечаются единичные зерна галенита, молибденита и кобальтина.

**Габбровая зона** представлена мелано-, мезо- и лейкократовыми габбро, часто имеющими трахитоидный облик за счет ориентировки лейст основного плагиоклаза (№ 42–45). Темноцветные минералы представлены клинопироксеном, магматической роговой обманкой, биотитом, акцессорным апатитом. По роговой обманке развивается актинолит и хлорит, по первичному биотиту – вторичный биотит-2 и хлорит.

**Габбро-пироксенитовая зона.** В строении этой зоны принимают участие крупные пироксенитовые тела линзовидной и овальной формы, которые цепочкой прослеживаются в пределах выделяемой зоны вблизи контакта, а также габбро, габбро-диориты и диориты, являющиеся вмещающими породами для пироксенитов [Алексеев, Котова, 2010]. Пироксениты встречаются также в виде отдельных небольших шлиров и тел неправильной формы. Крупные тела обладают своим внутренним зональным строением. В разрезе тел присутствуют рогообманковые, плагиоклазсодержащие и биотитовые клинопироксениты, оруденелые

породы, горнблендиты, роговообманковые меланократовые габбро. Пироксениты содержат диопсид, редко ромбический пироксен, основной плагиоклаз, роговую обманку, биотит (Ti 0,67–1,37 %), в верлитах сохраняется оливин. Габброиды в пределах зоны распространены достаточно широко, отличаются массивным обликом, отсутствием трахитоидных текстур, мелко- и гигантозернистой структурой. Они содержат клинопироксен, основной плагиоклаз, роговую обманку, биотит, акцессорный апатит. Габбро-диориты и диориты зоны отличаются более светлым цветом и более кислым плагиоклазом.

К габбро-пироксенитовым телам приурочены ильменит-титаномагнетитовые руды и халькопиритовая вкрапленно-прожилковая минерализация с благородными металлами. Оруденелые пироксениты и собственно руды содержат высокую суммарную концентрацию железа ( $FeO+Fe_2O_3$ ) – 40–69 %. Содержание  $TiO_2$  в них 2,4–6,4 %,  $V_2O_5$  – 0,1–0,54 %, количество  $P_2O_5$  в породах колеблется от 0,02–0,05 до 0,39–0,53 % (табл. 1). Мощность рудных клинопироксенитовых тел достигает 150–200 м, протяженность по простиранию до 300 м.

**В габбро-диоритовой зоне** диориты и габбро-диориты слагают завершающую часть разреза восточного блока и большую часть западного блока массива, где выходы этих пород встречаются в виде отдельных участков, образуя постепенные переходы с габбро. Диориты представляют собой среднезернистые, мезо- и меланократовые породы. Они выделяются повышенным содержанием глинозема и более высокой общей щелочностью (табл. 1; рис. 2). Плагиоклаз составляет порядка 60 % (An 50–53), он выделяется на фоне более мелкозернистой меланократовой массы. Темноцветные минералы представлены амфиболом (25–30 %), биотитом (8–10 %)

и клинопироксеном (1–5 %). Содержание апатита составляет около 1 %.

**Жильные тела.** Породы массива секутся более поздними дайками гранитов, диоритов, аплитами и более крупнозернистыми кварц-полевошпатовыми жилами.

**Тектонические нарушения.** Массив разбит системами разломов двух основных доминирующих направлений – СВ и СЗ, блокирующих массив. В разломных зонах породы сильно рассланцованы и изменены: первичные силикаты замещаются вторичными минералами, развивается калишпатизация [Алексеев и др., 2005]. В местах проявления секущих даек и жил в приразломных зонах породы приобретают розовый оттенок за счет наложения микроклина. В этих зонах развиваются хлорит, альбит, эпидот, встречаются турмалин, биотит, актинолит, а также кальцит. Среди акцессорных и вторичных минералов, по данным проведенного микронзондового изучения, в этих зонах установлены такие минералы, как бадделеит, циркон, торит, уранинит, паризит и редкие колумбит, Sr-барит и Ca-Sr-REE-карбонат. Ca-Sr-REE-карбонат (рис. 3/9) образует зональные сростания неправильной формы и содержит Sr 5,27–8,58 %, Ca 11,65–6,54 %, Ce 32,41–32,07 %, La 16,68–19,52 %, Nd 16,67–17,37 и относится к кальциоанкилиту (Ca, Sr) Ce (CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(OH) H<sub>2</sub>O. Изменения в зонах рассланцевания сопровождаются увеличением количества минералов Zr, Th, U и REE, они подобны изменениям в краевых габбро-диоритах.

Сульфиды зон низкотемпературного изменения представлены пиритом, халькопиритом, единичными выделениями галенита (обр. 189). К ним приурочены повышенные концентрации благородных металлов [Алексеев, 2005; Алексеев и др., 2005].

### **Рудная минерализация массива Вялимяки**

**История изучения и освоения месторождения титаномагнетитовых руд.** Титаномагнетитовые руды, связанные с пироксенитовыми горизонтами массива, были обнаружены Х. Холмбергом в 1885 г. Руды разрабатывались с конца XIX века. Из исторических сведений известно, что на месторождении было добыто около 388 тыс. т руды. Разработка велась открытым способом в карьерах и с использованием небольших шахт. Вблизи разработок располагался поселок и небольшая фабрика по обогащению руд. В западной и северной части массива до сих пор встречаются останцы от строений, связанных с разработками, и отвалы руды. Действовала построенная до небольшого

залива Янаслаhti в Ладожском озере (западнее пос. Импилахти) железная дорога.

Часть руд с высоким содержанием титаномагнетита без обогащения сразу же отправлялась на плавку, тогда как вкрапленные руды обогащались методом магнитной сепарации. По историческим данным, добыча руды на рудниках Вялимяки достигала 13 тысяч тонн в год. Рудный концентрат затем переправлялся по Ладожскому озеру и доставлялся на плавильный завод в деревню Видлица. Месторождение эксплуатировалось АО «Путиловский завод», первичная плавка велась на Видлицком заводе с 1889 по 1909 год. Содержание железа в обогащенных рудных концентратах достигало 59,73–62,48 %, из него изготовлялись чугунные брикеты, которые затем отправлялись на Путиловский завод.

**Титаномагнетитовые руды.** В 50-х годах прошлого века Вялимякская аномалия и месторождение титаномагнетитовых руд разведывались З. Т. Громовой. Было установлено, что титаномагнетитовые руды образуют шширообразные тела в амфиболизированных пироксенитах в краевых частях массива [Громова, 1951; Геология..., 1960; Минерально-сырьевая база..., 2005]. В пределах массива установлены пять крупных линзовидных тел пироксенитов с рудными залежами, это участки Велимяки 1, 2, Чупуканмяки, Харкинмяки, Хехкинмяки (рис. 1); на этих участках были выделены десять круто падающих к ЮВ пластовых титаномагнетитовых рудных тел мощностью 40–200 м, длиной порядка 180–600 м, к которым и были приурочены рудники. Рудные тела образуют пласты, линзы, которые при крутом залегании иногда называют столбами. Наиболее богатые из них были полностью либо частично отработаны. Содержание в рудах Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (валового) составляет 22,3 % (среднее 15,46 %), TiO<sub>2</sub> 6,25 %, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,1–0,61 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,02–0,53 %.

В результате поисково-разведочных работ руды месторождения были отнесены к непромышленному типу из-за низкого качества и их небольших запасов, а объект был переведен в разряд рудопроявления: в кадастре Республики Карелия он известен под названием Велимяки [Громова, 1951; Минерально-сырьевая база..., 2005]. По данным бурения на глубине были вскрыты бедные вкрапленные руды с маломощными прослоями массивных руд. Мощность богатых рудных прослоев составляла от нескольких сантиметров до 0,6–1 м. Богатые руды содержат 26–32,3 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> от 2,5 до 5,3 %, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> до 0,26 %.

Данные о запасах титаномагнетитовых руд Вялимякского месторождения по Республике

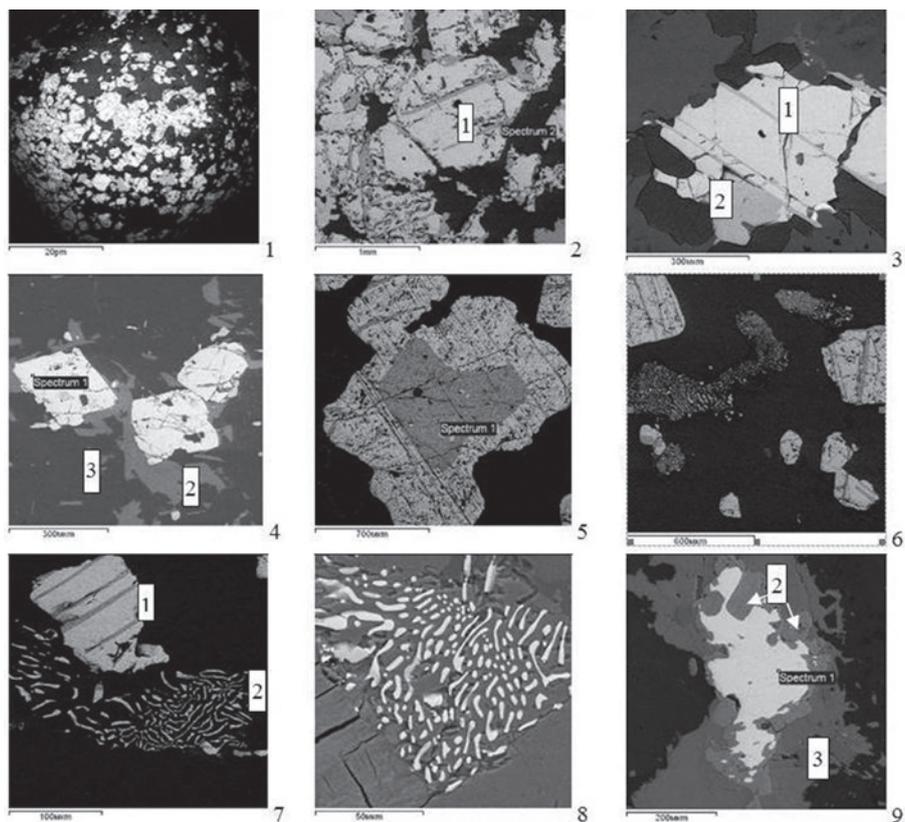


Рис. 4. Ильменит-титаномагнетитовые руды месторождения Вялимяки:

1. Ильменит-титаномагнетитовая богатая вкрапленная руда, обр. 248–12. 2. Титаномагнетит (1), ильменит-1 (sp. 2), 248–12. 3. Магнетит с ламеллями ильменита-1 (1), ильменит-2 (2), 348–1. 4. Кристаллы магнетита (sp. 1), биотит (2), амфибол (3), 248–5. 5. Неправильное зерно ильменита-2 (sp. 1) в титаномагнетите с ламеллями ильменита, 323–3. 6. Ильменит-титаномагнетитовая руда (кристаллы и эвтектические срастания), 323–3. 7. Титаномагнетит с ламеллями ильменита (1) и эвтектическое срастание магнетита и ильменита (2), 323–3. 8. Эвтектическое срастание магнетита и ильменита, 323–14. 9. Ильменит (sp. 1) замещается титанитом (2) и биотитом (3), Вел 188.

Карелия приводятся с учетом исторических сведений и составляют 130 млн тонн [Минерально-сырьевая база..., 2005]. Одновременно основной тип пород массива (габбро) оценивался и как высокопрочный строительный камень с прогнозными ресурсами в 20 000 тыс. м<sup>3</sup> [Минерально-сырьевая база..., 2006].

**Минеральный состав руд.** Руды Вялимякского месторождения содержат от 10–15 до 30–40 %, реже до 90 % Ti-Fe-оксидов, представленных титаномагнетитом и ильменитом. Количество ильменита в них составляет 5–15 % [Минерально-сырьевая база..., 2005; Юдин, 1987], поэтому в дальнейшем при описании руд авторы называют их как ильменит-титаномагнетитовые. Текстуры руд (рис. 4) бывают вкрапленно-прожилковые (от густо- до бедновкрапленных), реже сплошные, массивные, структуры среднезернистые.

**Титаномагнетит** образует октаэдрические кристаллы, он обычно распадается на две фазы, в которых октаэдрические и пентагондодекаэдрические кристаллы магнетита содержат ламелли и неправильные зерна ильменита

(рис. 4/1–8). Происходит это при остывании массива и рудного расплава до температуры ~600 °С, тогда избыточное количество Ti, изоморфно входящего в титаномагнетит, выделяется и образует структуры распада. Ламелли – это пластинки ильменита, выделившиеся при распаде титаномагнетита по определенным кристаллографическим направлениям. Неправильные и самостоятельные зерна ильменита представляют собой сегрегированные обособления, они образуются в дальнейшем в близких температурных условиях и сопровождаются изменениями пород – появлением OH-содержащих силикатов (амфибола, биотита). Ильменит при более поздних низкотемпературных метаморфических преобразованиях иногда замещается титанитом (рис. 4/9).

В составе собственно магнетита содержание Ti обычно сильно снижается до первых долей процента, содержание V составляет 0,6–1 %. В концентрате магнитной фракции содержание ванадия в среднем составляет 2,04 %, по данным И. А. Алексеева. Ильменит содержит примесь Mn 1,06–2 %, реже до 4,61 %, что

Таблица 2. Содержание благородных металлов в породах и ильменит-магнетитовых рудах массива Вялимяки (г/т)

	Pt	Pd	ΣЭПГ	Au	Номер	Вид анализа
1	н	0,013–0,026		0,29–0,068	П-39-42	ПА
2	н	0,030–0,018		0,033–0,023	39-43	ПА
3	н	0,019–0,012			39-46	ПА
4	н	0,036–0,046			39-53	ПА
5	н	0,029–0,041			40-3	ПА
6	н	0,020–0,012			40-5	ПА
7	н	0,032–0,042			41-1	ПА
8	н	0,022			41-2	ПА
9	н	0,0083–0,088		0,012–0,049	42	ПА
10	н	0,073		0,016–0,12	45	ПА
11	0,14	0,27–0,24	0,38–0,41	0,06–0,043	45-6	ПА
12	н	0,013	0,013	0,037	П1855	ПА
13	0,02	0,02	0,04	0,02	П39-51	ПА
14	н	0,045–0,013		0,0072–0,001	П39-П41	AAA
15	н	н – 0,045		0,001–0,0072	39 (38-51)	AAA
16	н	0,013–0,014		0,0015–0,002	41	AAA
17	н	0,001		0,0022–0,0029	45-1	AAA
18	н	н		н	БР	AAA
19	0,02–0,11	0,03–0,15	0,07–0,27	0,02–0,04	Вел-ИА	ICP
20	до 0,17	до 0,22–0,27	до 0,3–0,42	до 0,28	Вел-ИА	ICP

Примечание. 1–17 – пироксениты с титаномагнетитом и единичными сульфидами, 9–11 – то же с сульфидной вкрапленностью, 13 – диорит, 20 – богатые руды, 1–18 – данные М. Г. Попова, 19–20 – пироксениты и габбро из зон рассланцевания с вкрапленностью титаномагнетита и сульфидами (14 проб, обобщенные данные И. А. Алексеева). ПА – пробирно-спектральный анализ (ЦНИГРИ), ICP-MS анализ (СПбГУ), AAA – атомно-абсорбционный анализ (ИГ КарНЦ РАН), н – ниже предела обнаружения, пробел – нет определений.

несколько ниже, чем в ильмените из зоны гибридных диоритов. Неправильные червеобразные сростания магнетита, иногда с небольшим количеством ильменита, выделяются в эвтектических сростаниях с оливином (рис. 4/6–8). Для ильменит-титаномагнетитовых руд были рассчитаны ресурсы ванадия категории  $P_2$  в количестве 2 тыс. т  $V_2O_5$  [Алексеев, 2005]. В рудах встречается апатит 1–2 %, его концентрация иногда достигает 4–10 %, однако крупных скоплений не установлено.

Силикаты из зоны оруденелых пород (высокожелезистых пироксенитов) представлены моноклинным пироксеном, реже встречаются ромбический пироксен, иногда оливин, в интерстициях выделяется основной плагиоклаз (Na 4,97 %, Ca 4,75 %). Пироксены замещаются магматической роговой обманкой, иногда вблизи руд и в зонах рассланцевания развивается актинолит. На контакте с Fe-Ti-оксидами, в пироксенитах и габбро выделяется биотит, он содержит Ti в количестве 0,7–1,1 %. В меланократовых габбро-пироксенитах с ильменит-титаномагнетитовым оруденением иногда встречается убогая вкрапленность сульфидов, которые также сопровождаются более низкотемпературными силикатами (актинолитом, хлоритом) и кальцитом.

### Сульфидная рудная минерализация и благородные металлы.

Пироксениты и ильменит-титаномагнетитовые руды содержат вкрапленную и небогатую вкрапленно-прожилковую халькопиритовую или халькопирит-пиритовую минерализацию, в которой отмечается присутствие благородных металлов. Встречается также и более поздняя пиритовая вкрапленность. Наиболее обильная сульфидная минерализация тяготеет к зонам трещиноватости и гидротермально-метасоматической проработки пироксенитов. Такие зоны были опробованы в пределах Центрального пироксенитового тела (обр. 188, 189, 248, 348, 932 и др., рис. 1).

Содержание Cu в породах массива составляет 15–100 ppm, Zn 31–100, Ni 10–70, Co 10–50, Pb 5–20 ppm. Содержание Cu в титаномагнетитовых рудах с сульфидной вкрапленностью колеблется от 0,001–0,033 до 0,6 %. Для безсульфидных пироксенитов и титаномагнетитовых руд характерно в целом невысокое содержание платиноидов и золота (ΣЭПГ от 0,008–0,02 до 0,1–0,27 г/т, Au 0,001–0,12 г/т, табл. 2).

Вкрапленная и вкрапленно-прожилковая халькопиритовая минерализация из титаномагнетитовых руд представляет наибольший интерес на предмет выявления в них благородных

Таблица 3. Состав некоторых сульфидов и сульфоарсенидов (мас. %)

Эл.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fe	8,28	3,98	5,37	33,72	35,41	6,89	9,03	8,50	7,24	6,21				34,92
Zn						57,53	54,48	57,06	56,20	55,10				
Co	26,75	28,0	25,89											8,17
Ni		2,35	3,78	18,35	17,54									
S	26,60	21,19	22,08	34,65	34,72	35,58	36,49	34,44	35,64	36,02	37,54	37,56	11,23	56,91
As	38,37	44,48	42,87											
Ag				13,28	12,33									
Cu									0,92	2,67				
Pb													81,64	
Mo											62,46	62,44		
Se													7,13	
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Обр.	188	323	932-2	189-1	189	248	248-2	932-2	932-6	932-6	189-1		189	189
Уч.		9-1		11-3	11-2		10-1		5-1	17-1	16-1	16-3	14	12

Примечание. 1-3 – аллоклазит-кобальтин, 4-5 – аргентопентландит, 6-10 – сфалерит, 11-12 – молибденит, 13 – селеногаленит, 14 – Со-пирит. Микронзондовые анализы выполнены в ИГ КарНЦ РАН, составы минералов приведены к 100 % (здесь и далее).

металлов. В рудах с бедной сульфидной вкрапленностью суммарное содержание ЭПГ составляет 0,1 г/т, Au до 0,1–0,55 г/т (табл. 2). Сульфиды (1–10 %) представлены преимущественно халькопиритом, реже встречаются пирит, пирротин, аргентопентландит, борнит, в единичных зернах микронного размера – галенит, сфалерит, реже Se-галенит (рис. 5). Сфалерит

содержит 6,6–9 % Fe, иногда примесь Cu до 2,67 % (табл. 3).

В зонах наложенного расщепления встречаются более поздние наложенные сульфиды – пирит, халькопирит, галенит, молибденит. В пирите из более поздних прожилков иногда отмечается Co до 6,72–8,17 %. Пирротин в зонах расщепления обычно

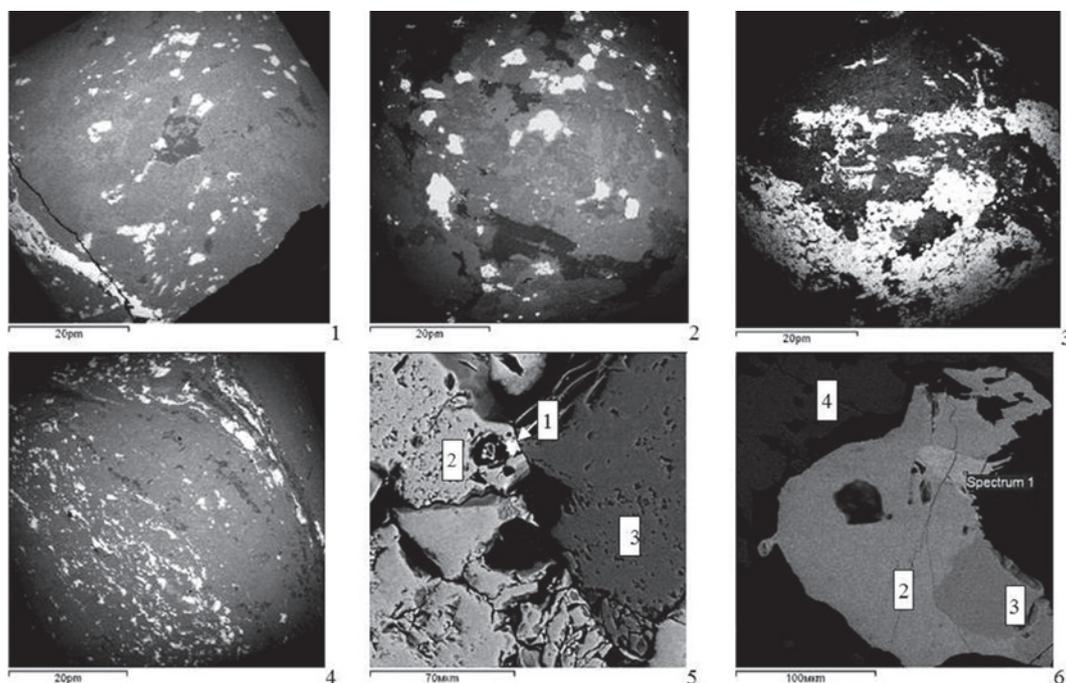


Рис. 5. Сульфидная вкрапленно-прожилковая минерализация, массив Вялимаки

Текстуры руд: 1. Халькопиритовая вкрапленно-прожилковая минерализация, обр. 932-6. 2. Вкрапленная халькопиритовая минерализация, 932-3-10. 3. Гнездово-вкрапленная халькопирит-пиритовая минерализация, обр. 007. 4. Халькопирит-пиритовая минерализация в зоне расщепления, Вел 189. 5. Селеногаленит (1) в пирите (2), магнетит (3), Вел 189. 6. Сфалерит (сп. 1), халькопирит (2), пирротин (3), ильменит (4), 248-2-13.

Таблица 4. Состав Ag-Bi-Te фаз (мас. %)

Элем.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
S												4,07	1,98	4,2	
Se														2,28	
Ag	61,93	60,77	60,08	57,14	57,19	56,38	59,06	9,56				3,39		12,57	
Bi								51,20	53,26	55,75	52,16	56,40	73,19	45,0	
Te	38,07	39,23	39,92	42,86	42,81	43,62	40,94	39,24	46,74	44,25	47,84	36,14	24,83	35,95	
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Обр.	248-2									007		248-2			
Уч.	6-2	11-3	25-3	5-4	16-1	16-2	17-1	6-8	20-1	6-1	7-1	6-3	6-4	5-2	

Примечание. 1-3 – гессит, 4-7 – штюцит, 8-11 – теллуrowисмутит, 12 – тетрадимит, 13 – Те-жозеит, 14 – Se-волынскит-кавацулит.

Таблица 5. Состав минералов платиновой группы (мас. %)

Элем.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pd	26,62	25,73	24,30	21,16	19,72	22,23	25,39	22,21	29,70	28,65	25,88	26,83
Te	28,19	35,98		6,83					63,17	63,70	56,97	57,0
Bi	45,19	38,29	75,70	72,01	80,28	77,77	74,61	77,79	7,13	7,65	17,15	16,17
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Обр.	248-2										348-1	
Уч.	6-7	18-1	6-5	6-11	6-12	6-13	7-1	7-2	25-1	25-4	9	10-1

Примечание. 1-2 – майченерит Pd (Bi, Te)<sub>2</sub>, 3-8 – фрудит PdBi<sub>2</sub>, 9-12 – меренскиит Pd (Te, Bi)<sub>2</sub>.

замещается марказитом. Появление этих сульфидов, в частности чешуек молибденита, связано с влиянием позднеорогенных гранитов.

Учитывая в том числе результаты предшествующих работ, следует отметить, что Ti-Fe-окисные руды были опробованы на благородные металлы недостаточно. Установлено, что: 1) фоновые концентрации ЭПГ в безсульфидных и малосульфидных титаномагнетитовых рудах составляют 0,013–0,041 г/т; 2) суммарное содержание благородных металлов в рудах с вкрапленной халькопиритовой минерализацией возрастает до 0,3–0,6±1 г/т (табл. 2); 3) в обогащенных концентратах проб из зон

рассланцевания в пироксенитах установлено самородное золото, содержащее 15,5–23,2 % Ag [Алексеев, Котова, 2010].

С целью выявления минеральных фаз, несущих благородные металлы, и их ассоциаций было проведено детальное микрозондовое изучение руд с халькопиритовой минерализацией. Результаты этого изучения показали, что в ассоциациях с халькопиритом, сфалеритом, галенитом (рис. 5; табл. 3) встречаются кобальтин, теллуриды и висмутотеллуриды Ag, Bi, теллуrowисмутиды Pd и электрум (рис. 6; табл. 4–6). Теллуриды и висмутотеллуриды обычно ассоциируют с халькопиритом, они представлены гесситом, штюцитом, теллуrowисмутитом, тетрадимитом. Более редкими среди них являются Те-жозеит и Se-волынскит-кавацулит (рис. 6; табл. 4).

ЭПГ тяготеют преимущественно к титаномагнетитовым рудам с вкрапленной халькопиритовой минерализацией. Минералы платиновой группы имеют микронные размеры (1–10 мкм). Они обычно встречаются в сростании с теллуридами Ag и Bi в халькопирите или вблизи его зерен в амфиболе, иногда на контактах халькопирита, магнетита или ильменита. Палладиевые минералы представлены майченеритом, фрудитом, меренскиитом (табл. 5), составляющими изоморфный ряд, в котором происходит замещение Bi на Te (рис. 6). Реже встречается Rh-содержащий сперрилит (Pt, Rh) (As, S)<sub>2</sub> состава: Pt 53,72 %, Rh 5,36 %, S 4,38 %, As 38,54 %.

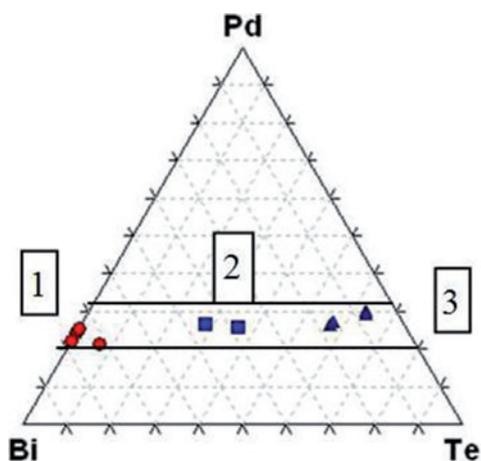


Рис. 6. Распределение минералов ЭПГ на диаграмме состава Pd-Bi-Te: 1 – фрудит, 2 – майченерит, 3 – меренскиит

Таблица 6. Состав золота (мас. %)

Элем.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ag	46,65	37,61	36,78	38,29	36,92	39,64	41,10	37,23	36,49
Au	53,35	62,39	63,22	61,71	63,08	60,36	58,90	62,77	63,51
Σ	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Обр.	932-4	932-6							
Уч.	9	14-1	14-2	14-3	14-4	14-5	14-6	16-1	16-2

Примечание. 1-9 – электрум.

Тонкодисперсное золото тяготеет к более богатым халькопиритовым гнездовым и вкрапленно-прожилковой Cu-S минерализации в титаномагнетитовых рудах. Оно выделяется в актинолит-хлоритовой массе вокруг халькопирита (рис. 7) и содержит 36,5–46,5 % Ag, являясь электрумом (табл. 6). В наложенных зонах рассланцевания в пироксенитах было установлено серебристое золото (Ag 15,5–23,2 %) [Алексеев и др., 2005; Алексеев, Котова, 2010].

Температура образования в зоне вторичных изменений (ассоциация хлорит+карбонат) снижалась до 165 °С (рассчитана с использованием геотермометра Катхелинио по составу хлорита).

### Заключение

Расслоенность массива Вялимяки, выделенная по текстурно-структурным особенностям,

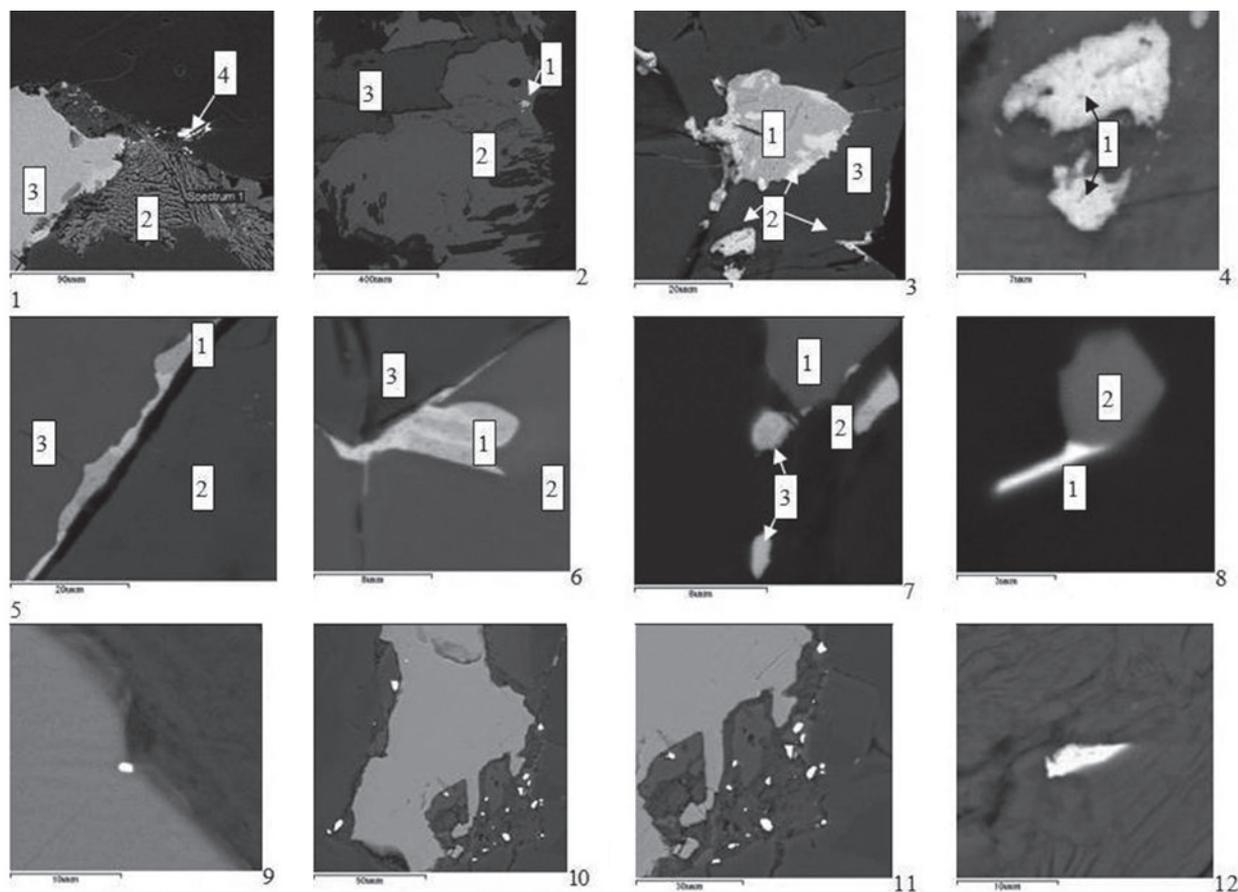


Рис. 7. Благороднометалльная минерализация в халькопирит-содержащих Fe-Ti-рудах массива Вялимяки:

1. Магнетит (sp. 1), ильменит (2), халькопирит (3), Ag-Te фазы (4 – белые), обр. 248-2-19. 2. Теллуриды (1) в халькопирите (2), ильменит (3), 248-9. 3. Срастание Ag-Te-Vi фазы (1) с Pd-Vi-Te и Pd-Vi минералами (2) в халькопирите (3), 248-2-6. 4. Фрудит (1) в халькопирите, 248-7. 5. Срастание теллуридов Ag, Vi, Pd (1) на контакте титаномагнетита (2) и халькопирита (3), 248-11. 6. Срастание Vi-Ag-Te фаз (1) со сфалеритом (2) и халькопиритом (3), 248-2-27. 7. Халькопирит (1), гессит (2) и меренскиит (3), 248-2-25. 8. Срастание Pd-Vi-Te-фаза (1) с халькопиритом (2), 348-1-11. 9. Сперрилит (белый) в ильмените (серый), 348-1-4. 10. Халькопирит (серый) и золото (белое), 932-6-16. 11. Халькопирит (серый), золото (белое) в актинолите, 932-6-15. 12. Золото (белое) в амфиболе, 932-3-17.

контрастным, ритмическим изменениям состава пород, проявлениям признаков синмагматической тектоники и наличию рудной минерализации, благоприятно выделяет его среди группы клинопироксенит-габбровых интрузивов [Алексеев, Котова, 2010]. К пироксенит-габбровой зоне массива приурочено титаномагнетитовое оруденение с сопутствующей апатитовой минерализацией ( $P_2O_5$  0,39–0,53 %). Для богатых титаномагнетитовых руд и обогащенных концентратов характерно повышенное содержание  $TiO_2$  – 2,4–6,4 %,  $V_2O_5$  – 0,54–0,8 %,  $MnO$  – 0,16–0,3 %. V концентрируется преимущественно в титаномагнетите. Титаномагнетит с ламеллями распада ильменита содержит до 0,6–1 % V. Ресурсы ванадия категории  $P_2$  составляют 2 тыс. т  $V_2O_5$  [Алексеев, 2005]. Ильменит концентрирует Mn: 1–1,87 % в титаномагнетитовых рудах и до 4,65–6 % во вкрапленной минерализации в габбро-диоритах.

Содержание благородных металлов в титаномагнетитовых рудах в целом низкое, ~0,01–0,2 г/т, однако в рудах с Cu-S-минерализацией повышается до 0,3–1 г/т. Сульфиды представлены в основном халькопиритом, пиритом, реже встречаются сфалерит (Fe 6–9 %), пирротин, аргентопентландит, галенит, Se-галенит, кобальтин. В ассоциации с халькопиритом выделяются также Ag-Bi-Te-фазы (гессит, штютцит, теллурувисмутит, тетрадимит и более редкие), минералы Pd и Pt – майченерит, фрудит, меренскиит, Rh-сперрилит, электрум (Ag 36,5–46,65 %), установленные для массива Вялимяки впервые.

В более поздних зонах расланцевания в пироксенитах встречаются также халькопирит, пирит (он иногда бывает кобальтовый – до 8 % Co), ранее было обнаружено серебристое золото (15,5–23,2 % Ag). В некоторых из подобных наложенных зон фиксируется молибденистая минерализация.

Таким образом, установлено, что к титаномагнетитовым рудам с вкрапленной и прожилково-вкрапленной халькопиритовой минерализацией приурочена благороднометалльная минерализация, представленная ЭПГ и золотом. Халькопирит и повышенные концентрации Cu являются прямыми минералого-геохимическими индикаторами наиболее перспективных зон с ЭПГ. В связи с этим в пределах массива необходимо провести уточнение горизонтов или участков развития Cu-S вкрапленной минерализации и, соответственно, провести их переобследование на платиноиды и золото.

## Литература

- Алексеев И. А. Благороднометалльное оруденение массива Вялимяки (Северное Приладожье) // *Материалы XVI конф. мол. ученых, посвященной памяти К. О. Кратца. Апатиты. 2005. С. 244–247.*
- Алексеев И. А., Котова И. К. Геологическое строение и рудоносность массива Вялимяки (Северное Приладожье) // *Сб. тр. молодых ученых ИГГД РАН. СПб.: Политехн. ун-т, 2010. С. 47–82.*
- Алексеев И. А., Котова И. К., Петров С. В. Рудопроявление золота в массиве Вялимяки (Северное Приладожье) // *Вестник СПбГУ. 2005. Сер. 7, вып. 3. С. 107–110.*
- Богачев В. А., Иванников В. В., Филиппов Н. Б. Отчет по теме: «Выделение петролого-геохимических эталонов магматических комплексов как индикаторов палеогеодинамических обстановок в Ладжской структурной зоне для геодинамического анализа при ГДП-200» // *Фонды СЗТГУ. 1999.*
- Богачев В. А., Иванников В. В., Козырев И. В. и др. U-Pb цирконовое датирование синорогенных и гранитоидных интрузий Северного Приладожья // *Вестник СПбГУ. 1999. Сер. 7, вып. 3, № 21. С. 23–33.*
- Богачев А. И., Попов М. Г., Макарова Г. В. и др. Базитовые комплексы Приладожья // *Интрузивные базит-ультрабазитовые комплексы докембрия Карелии. Л.: Наука, 1976. С. 117–127.*
- Геология СССР. Том XXXVII. Карельская АССР. Часть I. Геологическое описание. М.: Гос. науч.-тех. изд-во литературы по геологии и охране недр, 1960. 740 с.*
- Громова З. Т. Отчет Южно-Карельской экспедиции о поисково-разведочных работах по выявлению природы Велимякской магнитной аномалии. 1951. Фонды КГЭ.
- Иващенко В. И., Лавров О. Б., Кондрашова Н. И. Перспективы рудоносности (Ni, Cu, Pt, Pd, Au) Каламского и Велимякского массивов Сев. Приладожья // *Проблемы рудогенеза докембрийских щитов: материалы всерос. конф. Апатиты: КНЦ РАН, 2008. С. 98–101.*
- Саранчина Г. М. Петрология Велимякской интрузии и связанное с нею рудопроявление (юго-западная Карелия) // *Изв. Карело-Фин. НИ базы АН СССР. 1948. № 2. С. 32–42.*
- Светов А. П., Свириденко Л. П., Иващенко В. И. Вулканоплутонизм свекокарелид Балтийского щита. Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 1990. 320 с.
- Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2005. Кн. 1. 278 с.*
- Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Петрозаводск: Карелия, 2006. Кн. 2. 356 с.*
- Юдин Б. А. Окисные железо-титановые и железные руды магматических формаций Карелии и Кольского полуострова. Петрозаводск: Карелия, 1987. 209 с.

Поступила в редакцию 13.03.2015

## References

*Alekseev I. A.* Blagorodnometal'noe orudnenie massiva Vjalimjaki (Severnoe Priladozh'e) [Noble-metal mineralization of the Välimäki massif (Northern Priladozhje)]. *Materialy XVI konf. mol. uchenyh, posvjashhennoj pamjati K. O. Kratca* [Proc. of the 16<sup>th</sup> conf. of young scientists dedicated to the memory of K. O. Krats]. Apatity. 2005. P. 244–247.

*Alekseev I. A., Kotova I. K.* Geologicheskoe stroenie i rudonosnost' massiva Vjalimjaki (Severnoe Priladozh'e) [Geological structure and ore content of the Välimäki massif (Northern Priladozhje)]. *Sb. tr. molodyh uchenyh IGGD RAN* [Collect. sci. papers of the young scientists of IPGG RAS]. St. Petersburg: Politehn. un-t, 2010. P. 47–82.

*Alekseev I. A., Kotova I. K., Petrov S. V.* Rudoprojavenie zolota v massive Vjalimjaki (Severnoe Priladozh'e) [Gold mineralization in the Välimäki massif (Northern Priladozhje)]. *Vestnik SPbGU* [Vestnik of St. Petersburg State University]. 2005. Ser. 7, iss. 3. P. 107–110.

*Bogachev V. A., Ivannikov V. V., Filippov N. B.* Otchet po teme: "Vydelenie petrologo-geohimicheskikh jetalonnov magmaticheskikh kompleksov kak indikatorov paleogeodinamicheskikh obstanovok v Ladozhskoj strukturnoj zone dlja geodinamicheskogo analiza pri GDP-200" [The report on "Identification of petrological and geochemical standards of magmatic complexes as paleogeodynamic indicators in Ladoga structural zone for geodynamic analysis in additional site appraisal-200"]. *Fondy SZTGU* [SZTGU Funds]. 1999.

*Bogachev V. A., Ivannikov V. V., Kozyrev I. V., Konopel'ko D. L., Levchenkov Shh. A., Shul'diner V. I.* U-Pb cirkonovoe datirovanie sinorogennyh i granitoidnyh intruzij Severnogo Priladozh'ja [The U-Pb zircon age dating of synorogenic and granitoid intrusions of the Northern Ladoga Region]. *Vestnik SPbGU* [Vestnik of St. Petersburg State University]. 1999. Ser. 7, iss. 3, no. 21. P. 23–33.

*Bogachev A. I., Popov M. G., Makarova G. V. i dr.* Bazitovyje kompleksy Priladozh'ja [Basic complexes of the Ladoga Region]. Intruzivnye bazit-ul'trabazitovyje kompleksy dokembrija Karelii [Precambrian basic-ultrabasic intrusive complexes in Karelia]. Leningrad: Nauka, 1976. P. 117–127.

*Geologija SSSR*. Tom XXXVII. Karel'skaja ASSR. Chast' I. Geologicheskoe opisanie [Geology of the USSR. Vol. 37. The Karelian ASSR. Part 1. Geological description]. Moscow: Gos. nauch.-teh. izd-vo literatury po geologii i ohrane nedr, 1960. 740 p.

*Gromova Z. T.* Otchet Juzhno-Karel'skoj jekspedicii o poiskovo-razvedochnyh rabotah po vyjavleniju prirody Velimjaskoj magnitnoj anomalii [The report of the South Karelia exploring expedition to the Välimäki magnetic anomaly]. 1951. Fondy KGJe [KGE Funds].

*Ivashhenko V. I., Lavrov O. B., Kondrashova N. I.* Perspektivy rudonosnosti (Ni, Cu, Pt, Pd, Au) Kaalam-skogo i Velimjaskogo massivov Sev. Priladozh'ja [The ore-bearing potential (Ni, Cu, Pt, Pd, Au) of the Kalama and Välimäki massif of the Northern Priladozhje]. *Problemy rudogeneza dokembrijskih shhitov: materialy versos. konf. Apatity* [Mineralization of Precambrian shields: proc. All-Russian conf.]. Apatity: KNC RAN, 2008. P. 98–101.

*Saranchina G. M.* Petrologija Velimjaskoj intruzii i svjazannoe s neju rudoprojavenie (jugo-zapadnaja Karelija) [Petrology of the Välimäki intrusion and associated mineralization (southwestern Karelia)]. *Izv. Karelo-Fin. NI bazy AN SSSR* [Proc. Karelian-Finnish Research Base of the USSR Acad. of Sciences]. 1948. No. 2. P. 32–42.

*Svetov A. P., Sviridenko L. P., Ivashhenko V. I.* Vulkanoplutonizm svekokarelid Baltijskogo shhita [Volcanoplutonism of the Svecokareliides of the Baltic Shield]. Petrozavodsk: KarRS of RAS, 1990. 320 p.

*Mineral'no-syr'evaja baza Respubliki Karelija* [Mineral raw materials base of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: Karelija, 2005. B. 1. 278 p.

*Mineral'no-syr'evaja baza Respubliki Karelija* [Mineral raw materials base of the Republic of Karelia]. Petrozavodsk: Karelija, 2006. B. 2. 356 p.

*Judin B. A.* Okisnye zhelezo-titanovyje i zheleznye rudy magmaticheskikh formacij Karelii i Kol'skogo poluostrova [Iron-titanium and iron oxide ore magmatic formations in Karelia and on the Kola Peninsula]. Petrozavodsk: Karelija, 1987. 209 p.

Received March 13, 2015

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

### **Алексеев Иван Александрович**

доцент кафедры геологии месторождений полезных ископаемых геологического факультета, к. г.-м. н. Санкт-Петербургский государственный университет Университетская наб., 7–9, Санкт-Петербург, Россия, 199034  
эл. почта: i.alekseev@spbu.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

## CONTRIBUTORS:

### **Alekseev, Ivan**

St. Petersburg State University, Geological faculty  
7/9 Universitetskaya emb., 199034 St. Petersburg, Russia  
e-mail: i.alekseev@spbu.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