УДК 553.086

Фальбанды Керетского архипелага Белого моря: характеристика состава пород и минералов, рудная минерализация

Л.И.САЛИМГАРАЕВА¹, С.Г.СКУБЛОВ^{1,2}, А.В.БЕРЕЗИН¹, О.Л.ГАЛАНКИНА¹

¹ Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Как цитировать эту статью: Фальбанды Керетского архипелага Белого моря: характеристика состава пород и минералов, рудная минерализация / Л.И.Салимгараева, С.Г.Скублов, А.В.Березин, О.Л.Галанкина // Записки Горного института. 2020. Т. 245. С. 513-521. DOI: 10.31897/ PMI.2020.5.2

Аннотация. В настоящей работе приводится комплексная минералого-геохимическая характеристика (SEM-EDS, ICP-MS методы) пород фальбанд проявления Кив-губа-Картеш в Беломорском подвижном поясе (БПП). Термин «фальбанды» впервые появился в серебряных шахтах Конгсберга в XVII в. Сейчас фальбанды – это прослои или линзы с сульфидной вкрапленностью, располагающиеся во вмещающей, как правило, метаморфической породе. Содержание сульфидов в породе должно быть таким, чтобы, с одной стороны, их нельзя было назвать аксессуарными минералами, а с другой – чтобы они не формировали массивные руды. Фальбанды выветриваются иначе, чем вмещающие породы, поэтому их легко отличить в обнажениях благодаря ржаво-коричневому цвету. Исследуемые породы являются амфиболитами, отличающимися друг от друга содержанием граната и степенью окварцевания. Рудная минерализация представлена в основном пирротинном и пиритом, причем зерна пирротина часто замещаются по периферии окислами и гидроокислами железа, а на них в свою очередь нарастает пирит. В то же время в породе присутствуют практически неизменные зерна пирротина неправильной формы с тонкими структурами распада, сложенными пентландитом, и отдельные зерна пирита с повышенным содержанием никеля (до 5,4 мас. %). Относительно распространенным минералом является халькопирит, образующий мелкие зерна, нередко захваченные пирротинном. Также были обнаружены единичные зерна соболевскита и хедлейита субмикронного размера. По результатам исследования редкоземельного состава пород фальбанд предполагается их генетическая связь с метабазальтами архейского возраста Серяжской и Лоухско-Пиземской структур БПП, а не с метагабброидами и метавольфрамитами, распространенными в районе исследования.

Ключевые слова: фальбанды; амфиболиты; рудная минерализация; редкоземельные элементы

Благодарность. Исследование выполнено в рамках темы НИР ИГГД РАН № 0153-2019-0002 при поддержке гранта РФФИ 20-35-90001.

Введение. Термин «фальбанды» (*fahlbaands*) впервые вошел в употребление в серебряных шахтах Конгсберга (Северная Норвегия). Конгсберг был одним из основных горнодобывающих центров Европы в XVII-XIX вв., его шахты посещались многими выдающимися, в том числе и иностранными, геологами, благодаря чему термин распространился на всю Северную Европу. Термин применялся для разных типов руд, сейчас общепринятое определение для этой формы рудных тел следующее: фальбанды – это прослои или линзы с сульфидной вкрапленностью, располагающиеся во вмещающей, как правило, метаморфической породе. При этом содержание сульфидов в породе слишком велико для того, чтобы назвать их аксессуарными минералами, и слишком мало, чтобы сформировать линзу массивных руд. В обнажениях выветрелые фальбанды хорошо заметны благодаря ржаво-коричневому цвету [11].

Сульфидсодержащие породы, слагающие пласты и линзы, широко распространены в метаморфических комплексах по всему миру. Например, в породах докембрийского возраста в Швеции нередко встречаются зоны, содержащие сульфидную вкрапленность. В данном случае фальбандами называют зоны, пригодные для добычи руды [11].

Подобные образования также распространены в породах докембрийского возраста в Финляндии. Для этих так называемых «черных сланцев» характерно повышенное содержание графита и сульфидов железа, преобладающих над халькопиритом, сфалеритом или пентландитом [12]. Похожие полосы, в полной мере повторяющие структурный рисунок вмещающих пород с крупнозернистой сульфидной вкрапленностью, представленной пиритом, пирротинном и подчиненным количеством графита, наблюдаются и в норвежских каледонидах [11].

В Карело-Кольском регионе были выявлены рудопроявления этого типа, сосредоточенные на северном и южном побережье Кандалакшского залива Белого моря. На северном побережье, в

районе Порьей Губы (о-в Медвежий, Хедостров и др.) расположены заброшенные шахты свинцово-серебряных рудников, действовавших с середины XVI в. до середины XVIII в. [9]. Однако более поздние попытки возродить добычу серебра в этом регионе не увенчались успехом.

Район изучали исследователи Е.С.Федоров, А.К.Болдырев, Д.С.Белянкин, В.А.Токарев в конце XIX – начале XX вв. [8]. Впервые детальное описание и оценка рудоносности, в том числе на золото, фальбанд на южном побережье Кандалакшского залива, в районе мыса Картеш, были проведены И.И.Гинзбургом в 1921 г. [2]. В этом регионе проводились детальные поисковые работы Т.С.Левиным в 1973 г. и Н.Н.Саморуковым в 1985 г., не подтвердившие аномально высокие содержания золота в этих рудах [3]. Кроме того, рудная минерализация фальбанд изучалась В.А.Крупеником с коллегами [3, 10]. В настоящее время фальбанды района Кив-губа-Картеш рассматриваются как потенциально рудоносные на благородные металлы. Однако подробной минералого-геохимической характеристики пород до сих пор не было выполнено, что и определило задачи настоящего исследования.

Геологическая характеристика. Большую часть Чупино-Лоухского сегмента Беломорского подвижного пояса (БПП) занимают магматические и метаморфические образования, представленные комплексами пород, состоящими из двух подкомплексов – неоархейского хетолабинского ортоамфиболитового и неопротерозойского котозерского мигматит-плагиогранитного. Наиболее перспективным в плане благороднометалльного оруденения является хетолабинский ортоамфиболитовый подкомплекс [10].

Особую роль в складчато-разрывной структуре хетолабинского подкомплекса играют пологопадающие разломы – надвиги, оперяющие главный структурообразующий разлом северо-западного простирания, формирующие проницаемые зоны и часто контролирующее размещение рудоносных фальбанд [10]. В строении хетолабинского комплекса выделяются два типа крупных структур: мафические зоны протяженностью несколько десятков километров при мощности 2-6 км и области развития гнейсов (купольные структуры), разделяющие эти мафические зоны. Мафические зоны сложены преимущественно амфиболитами и кристаллическими сланцами разного состава. Среди амфиболитов часто встречаются тела метаультрабазитов [7]. В пределах мафических зон горизонты фальбанд переслаиваются с амфиболитами и амфиболовыми гнейсами, образуя пачки мощностью до 80 м [3]. Магнитная аномалия, связанная с ними, прослеживается полосой шириной до 80 м по побережью на север до Кандалакшской губы на расстояние до 150 км. Фальбанды проявления Кив-губа-Картеш образуют зону длиной 7 км [4].

Рис. 1. Схема геологического строения проявления Кив-губа-Картеш (по [3] с изменениями)

1 – биотитовые гнейсы; 2 – амфиболовые гнейсы, амфиболиты;
3 – ортоамфиболиты; 4 – пегматиты; 5 – горизонты фальбанд; 6 – элементы залегания; 7 – точки отбора образцов

В настоящей работе представлены результаты минералого-геохимического исследования пяти проб из фальбанд, отобранных в ходе полевых работ на Беломорском побережье в районе губы Медвежья и мыса Картеш (рис.1). В изученных обнажениях фальбанды представляют собой линзообразные тела различной мощности (до 5 м) при видимой протяженности до 20 м, залегающие в амфиболитах. Фальбанды заметно выделяются среди вмещающих пород ржаво-коричневым цветом и более интенсивной степенью выветривания (рис.2).

Аналитическая методика. Аналитические работы проводились по пяти опорным образцам. Содержание петрогенных (главных) элементов в породах были проанализировано XRF методом на многоканальном спектрометре ARL-9800 по стандартной мето-

дике (ВСЕГЕИ). Нижний предел определения оксидов петрогенных элементов составляет 0.01-0.05 %. Анализ пород на редкие и редкоземельные элементы (REE) проводился ICP-MS методом на квадрупольном масс-спектрометре ELAN-DRC-6100 по стандартной методике (ВСЕГЕИ). При этом относительная погрешность определения элементов не превышает 5-10 %.

Химический состав (табл.1, 2), а также строение и взаимоотношение минералов исследовались в плоскополированных шлифах (ППШ) в режиме композиционного контраста (BSE) на сканирующих электронных микроскопах CamScan MV2300 (ВСЕГЕИ) и JEOL JSM-6510 LA (ИГГД РАН) с энергодисперсионной системой JED-2200 (JEOL). Условия съемки для электронного микроскопа JSM-6510 LA (ИГГД РАН): ускоряющее напряжение катода 20 кВ, сила тока 1 нА, ZAF-метод коррекции матричных эффектов. Использованы стандартные образцы состава: Si, Mg, Fe – оливин, Al – керсутит, Ca – диопсид, Na – жадеит, K – ортоклаз, Mn – спессартин, Ti – TiO_2 , а также чистые соединения и металлы. Локальность анализа составляла 1-2 мкм. Суммы определяемых оксидов и элементов в анализах минералов приведены к 100 %.

Результаты и их обсуждение. *Минералого-петрографическая характеристика.* Все изученные образцы можно охарактеризовать как амфиболиты, отличающиеся друг от друга количеством граната и степенью окварцевания.

Гранатовый амфиболит (обр. F1). Структурный рисунок породы определяется значительным количеством порфиробластов граната (около 50 % от объема породы) и удлиненными и направленными параллельно сланцеватости зернами амфибола (25 %). Размер порфиробластов граната колеблется в пределах от 1 до 6 мм, они содержат множественные включения кварца, в некоторых случаях – рудных минералов (пирротина). По своему составу (см. табл.1) гранат относится кgrossуляр-альмандиновому ряду (Alm 50-55 мол. %, Grs 27-29 мол. %, Prp 12-18 мол. %, Sps 2-4 мол. %).

Зерна амфибола имеют субидиоморфный облик, плеохроируют в густо-зеленых тонах. По химическому составу амфиболы соответствуют магнезиальной роговой обманке [14]. В межзерновом пространстве наблюдаются тонкозернистые хлорит-серицит-плагиоклазовые агрегаты, при этом плагиоклаз основной по составу (до An 88 мол. %). В одном из таких агрегатов было обнаружено мелкое зерно ганита – цинковой шпинели. Также в породе наблюдаются единичные зерна клиноцоизита.

Амфиболит в значительной степени окварцован, содержание кварца около 15 %. Кроме того, в большом количестве отмечена рудная минерализация (10 %), но она сильно окислена и с трудом поддается диагностике оптическими методами (подробнее будет описана далее). Ориентировка рудных минералов совпадает с общей сланцеватостью амфиболита.

Рис.2. Обнажения фальсанд

Таблица 1

Представительные анализы основных породообразующих минералов пород фальбанд (по результатам SEM-EDS)

Компоненты	Гранаты			Амфиболы				Плагиоклазы				Клиноцоизит	Эпидот	
Образец	F1		F2	F1	F2	F4	F5	F1	F2	F4	F5	F1	F5	
Номер точки	004	008	016	007	014	007	003	010	015	028	007	027	004	006
SiO ₂	37,32	38,30	37,50	46,61	48,15	44,62	41,25	45,08	47,10	60,18	60,76	39,97	38,94	39,45
TiO ₂	—	—	—	0,67	0,62	0,94	1,17	—	—	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	21,72	22,01	21,65	12,60	10,37	13,00	14,19	35,17	34,77	24,76	24,44	33,77	26,46	26,57
Cr ₂ O ₃	—	—	—	0,05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fe ₂ O ₃ *	26,12	23,91	24,9	14,06	13,44	14,26	18,93	—	—	0,72	—	—	—	9,57
MnO	1,80	0,76	1,50	0,10	0,18	0,35	0,62	—	—	—	—	—	—	0,04
MgO	2,93	4,66	4,60	11,59	12,38	11,97	6,98	—	—	—	—	—	—	—
CaO	10,12	10,32	9,83	12,36	12,32	12,32	12,13	17,41	17,16	6,27	7,70	25,14	24,46	24,37
Na ₂ O	—	—	—	0,87	0,78	1,18	1,44	1,08	1,74	7,97	7,04	—	—	—
K ₂ O	—	—	—	0,18	0,30	1,12	1,03	0,46	—	—	—	—	—	—
ZnO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	100,01	99,96	99,98	99,09	98,54	100,01	98,02	99,20	100,77	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Кристаллохимические коэффициенты														
Si	2,94	2,98	2,93	6,70	6,95	6,43	6,26	2,09	2,14	2,38	2,72	2,97	2,95	3,01
Ti	—	—	—	0,07	0,07	0,10	0,13	—	—	—	—	—	—	—
Al	2,02	2,02	1,99	2,13	1,76	2,21	2,54	1,92	1,87	1,30	1,29	2,96	2,41	2,39
Cr	—	—	—	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fe*	1,62	1,53	1,47	1,50	1,57	1,35	2,12	—	—	0,03	—	0,07	0,64	0,61
Mn	0,12	0,05	0,10	0,01	0,02	0,04	0,08	—	—	—	—	—	—	—
Mg	0,34	0,54	0,54	2,48	2,66	2,57	1,58	—	—	—	—	0,01	—	—
Ca	0,85	0,86	0,82	1,90	1,91	1,90	1,97	0,86	0,84	0,30	0,37	2,00	1,97	1,99
Na	—	—	—	0,24	0,22	0,33	0,42	0,10	0,15	69,00	0,61	—	—	—
K	—	—	—	0,03	0,06	0,21	0,20	0,03	—	0,01	—	—	—	—
Zn	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 2

Представительные анализы рудных минералов пород фальбанд (по результатам SEM-EDS)

Компоненты	Пирит			Халькопирит			Пирротин		Пентландит	Соболевскит	Хедлейит
Образец	F4	F1		F1	F2	F4	F1	F4	F1	крт 10	крт 9
Номер точки	2	2	32	20	4	25	18	13	23		
Fe	47,09	44,40	41,02	31,30	30,73	30,86	61,43	59,95	30,11	6,69	—
Ni	0,72	2,12	5,39	—	—	—	0,05	0,28	33,53	—	—
S	52,2	53,48	53,38	34,71	34,30	34,41	38,52	39,77	33,19	—	—
Cu	—	—	—	33,99	34,97	34,73	—	—	—	—	—
Co	—	—	—	—	—	—	—	—	2,77	—	—
Pd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	33,25	—
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60,06	81,32
Te	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18,68
Сумма	100,01	100,00	99,79	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,60	100,00	100,00
Кристаллохимические коэффициенты											
Fe	1,02	0,95	0,88	1,03	1,01	1,02	0,96	0,93	4,18	0,83	7,97
Ni	0,01	0,04	0,11	—	—	—	0,00	0,00	4,43	—	—
S	1,97	2,00	2,00	1,99	1,97	1,98	1,04	1,07	8,03	—	—
Cu	—	—	—	0,98	1,01	1,01	—	—	—	—	—
Co	—	—	—	—	—	—	—	—	0,46	—	—
Pd	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,17	—
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2,00	3,00
Te	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Гранатсодержащий амфиболит (обр. F2, F3, F4, F5). Эта разновидность пород во многом похожа на предыдущий, но отличается гораздо меньшим содержанием граната (единичные зерна), варьирующей степенью окварцевания (от его отсутствия до почти полного замещения кварцем других породообразующих минералов). Поскольку не наблюдается прямой зависимости степени окварцевания от содержания рудных минералов, предполагается, что в данном случае окварцевание имеет наложенный характер, не связанный с рудообразованием.

Директивность структуры породы выражена не так ярко и обуславливается в основном присутствием удлиненных зерен амфибола. Также как в гранатowych амфиболитах, в данном случае амфиболы имеют субидiomорфный облик, ярко окрашены, их состав аналогичен составу вышеописанных амфиболов. Наблюдается значительное количество вторичных минералов (лимонита и др.), развивающихся по рудным минералам.

Единичные зерна граната формируют мелкие порфиобласты (до 0,5 мм в поперечнике), практически не содержащие включений. Плаггиоклазы в этих амфиболитах можно разделить на две разновидности: основные по составу плаггиоклазы (An 70-84 мол. %), формирующие относительно крупные гипидиоморфные зерна (до 0,5 мм) и средние по составу плаггиоклазы (An 30-40 мол. %), развивающиеся по первым. Из аксессуарных минералов в породе присутствуют эпидот, циркон, титанит и рутил. В некоторых случаях (обр. F5) эпидот представлен мелкими единичными зернами, а в некоторых (обр. F4) формирует кварц-эпидотовые сростания (рис.3, а).

Ограниченность аналитических данных и значительная степень изменения пород фальбанд позволяет лишь приблизительно оценить Р-Т параметры формирования метаморфических парагенезисов. Низкая магнезиальность граната (Prp 12-18 мол. %) наряду с высокой магнезиальностью амфибола позволяют ограничить значение температуры метаморфизма не выше 650 °С. Наличие высококальциевого плаггиоклаза (An до 84 мол. %) вместе с рутилом, ильменитом, кварцем и гранатом ограничивает предел давления в 6-8 кбар. Эти параметры позволяют для гранат-

Рис.3. BSE-изображения рудных минералов из пород фальбанд
Sb – соболевскит, остальные обозначения минералов даны по [15]

амфибол-плагиоклазового парагенезиса предположить формирование в условиях не выше амфиболитовой фации умеренных давлений.

Рудная минерализация представлена довольно скудным набором минералов. Наиболее распространенными фазами являются пирротин и пирит. Зерна пирротина часто замещаются по периферии окислами и гидроокислами железа, а на них в свою очередь нарастает пирит (рис.3, а, б). Размер таких пирротин-пиритовых агрегатов (обр. F2, F4) колеблется от 100 до 500 мкм. Эти особенности могут указывать на два разделенных во времени геологических события (или одно пролонгированное), результатом которых стало развитие сульфидной минерализации в исследуемых породах.

В некоторых случаях (обр. F1) наблюдаются практически неизменные зерна пирротина неправильной формы с тонкими структурами распада (рис.3, в), сложенными пентландитом, и такие же отдельные зерна пирита с повышенным содержанием никеля (до 5,4 %).

Кроме вышеописанных минералов, также часто встречается халькопирит, формирующий удлиненные зерна от 20 до 100 мкм в поперечнике. Взаимоотношение его с другими рудными минералами не столь ясно, хотя в некоторых случаях встречаются мелкие зерна халькопирита, захваченные пирротинном (обр. F1). Также были обнаружены единичные зерна собольевскита и хедлейита субмикронного размера (рис.3, г).

Геохимические особенности пород. Для обсуждения геохимических особенностей фальбанд были привлечены данные (как авторские, так и опубликованные) по составу аналогичных пород БПП. Для сравнения были использованы несколько групп пород (табл.3): метабазиты (металей-когаббро) предположительно архейского возраста (обр. 609 и 616); группа базитов протерозойского возраста – в различной степени эклогитизированные (обр. S1, S3, V1) [1] или практически неизменные (обр. 300, 309, 310) метагабброиды; группа метаультрабазитов – оливин-пироксеновые метапорфириты, метаперидотиты (обр. 405-444, B1326a, B1326b). Кроме того, были привлечены результаты анализов метабазальтов архейского возраста Серяжской и Лоухско-Пиземской структур (обр. С-2650-2, С-2800-16, Э-7/1, Э-144-4) [6].

Таблица 3

Состав пород по главным (мас. %) и редким (ppm) элементам

Компоненты	Породы фальбанд					Метабазиты								Метаультрабазиты			
	F1	F3	F2	F4	F5	616	609	S1	S3	V1	300	309	310	405	410	444	B1326b
SiO ₂	49,83	65,45	39,39	33,61	52,57	51,47	49,68	49,45	49,37	49,62	52,70	53,30	52,80	48,18	50,81	48,15	45,77
Al ₂ O ₃	17,24	9,72	10,27	3,90	14,68	10,27	12,21	14,27	13,60	13,73	13,30	12,00	9,16	9,50	12,78	7,44	7,88
TiO ₂	1,14	0,39	0,06	0,42	1,22	1,00	2,13	2,04	2,01	2,08	1,00	1,24	0,35	0,56	0,66	0,46	0,37
Fe ₂ O ₃ *	16,78	10,01	36,06	40,57	13,13	11,98	17,58	16,29	16,38	16,49	13,30	12,30	10,35	10,80	10,98	12,27	11,77
MnO	0,48	0,05	0,50	0,12	0,30	0,16	0,25	0,17	0,24	0,24	0,21	0,21	0,14	0,16	0,18	0,18	0,21
MgO	4,33	2,88	3,40	4,04	3,92	12,72	6,20	5,57	5,67	5,45	6,07	7,22	15,60	18,92	12,16	23,94	19,19
CaO	9,01	5,79	3,14	3,99	8,87	8,86	9,36	10,78	9,65	9,45	10,30	10,20	9,27	8,51	9,40	5,32	9,17
Na ₂ O	0,47	0,90	0,22	0,54	2,40	0,73	1,88	1,05	2,32	2,17	2,06	2,21	1,53	1,48	1,91	1,02	0,68
K ₂ O	0,39	0,21	0,02	0,27	0,65	1,67	0,82	0,33	0,75	0,68	0,45	0,41	0,56	0,21	0,64	0,40	2,76
P ₂ O ₅	<0,05	0,08	<0,05	<0,05	0,11	0,06	0,20	0,18	0,17	0,19	0,10	0,11	0,08	0,08	0,08	0,07	<0,05
ppp	0,61	4,78	7,45	12,70	2,22	1,04	<0,1	0,26	<0,1	0,11	0,75	1,60	1,12	1,27	0,45	0,36	1,72
Mg#	0,21	0,22	0,09	0,09	0,23	0,51	0,26	0,25	0,26	0,25	0,31	0,37	0,60	0,64	0,53	0,66	0,62
Сумма	100,00	100,00	101,00	100,00	100,00	99,97	100,00	100,00	100,00	100,00	100,39	100,84	101,08	99,68	100,00	99,59	99,53
V	311	112	35,2	95,3	128	222	337	287	289	288	567	291	158	156	194	138	162
Cr	251	55,9	40,7	423	267	1220	237	141	157	126	819	115	798	1880	881	2480	2460
Co	40,8	40,9	171	177	17,5	н/д	н/д	43,9	45,0	45,3	46,4	55,4	63,4	75,3	63,0	90,0	92,0
Ni	112	42,6	131	1020	105	н/д	н/д	72,4	64,5	66,3	57,0	66,6	374	524	198	706	827
Cu	86,1	439	53,3	773	14,1	н/д	н/д	142	57,9	130	113	252	32,9	7,36	59,6	19,3	16,8
Zn	497	103	169	63,4	81,3	н/д	н/д	77,3	98,6	109	96,7	80,0	71,3	54,3	68,5	79,5	82,4
Ga	19,5	13,4	7,97	4,63	10,9	17,1	19,2	16,1	17,7	17,5	15,7	15,9	10,3	11,5	13,3	9,39	8,53
Ge	3,04	1,27	2,64	0,56	0,55	н/д	н/д	1,63	1,46	1,33	1,83	1,02	1,50	1,36	1,43	1,22	1,69
Rb	26,3	11,8	<2	2,93	7,34	69,9	25,5	8,24	23,2	22,3	6,89	5,3	10,6	3,73	15,0	9,88	131
Sr	112	56,8	2,81	13,3	119	31,7	157	295	134	119	88,6	116	158	85,4	173	104	19,4
Y	24,8	11,7	8,02	8,93	14,3	13,2	34,0	30,0	30,0	31,4	21,1	21,4	10,3	11,8	14,1	8,51	7,36
Zr	49,0	93,0	34,5	22,5	62,1	67,3	138	115	122	116	64,4	77,9	46,2	56,3	58,4	42,3	15,9
Nb	3,69	4,40	<0,5	1,02	4,25	3,80	10,5	10,4	9,97	7,91	4,62	5,81	1,58	3,24	2,65	1,88	1,09
Mo	0,74	1,96	4,37	3,24	<0,6	0,64	1,48	0,87	0,78	<0,6	0,62	0,69	<0,6	1,26	<0,6	0,62	<0,6
Sn	4,87	1,35	1,40	1,27	0,65	1,12	1,91	1,18	1,32	7,07	0,88	0,91	0,57	0,63	0,62	0,49	0,70

Окончание табл.3

Компоненты	Породы фальбанд					Метабазиты								Метаультрабазиты			
	F1	F3	F2	F4	F5	616	609	S1	S3	V1	300	309	310	405	410	444	B1326в
Cs	4,28	1,00	0,21	<0,1	0,61	2,55	0,72	<0,1	0,51	0,82	0,26	0,18	0,37	0,42	0,37	0,49	9,48
Ba	92,7	68,4	8,44	12,2	87,7	263	243	40,6	218	195	96,3	68,8	139	39,0	203	145	334
La	3,96	3,28	1,16	3,00	4,7	5,96	18,4	16,3	14,1	12,5	5,47	7,39	6,78	8,47	8,59	6,44	2,40
Ce	9,85	7,92	2,93	6,77	10,0	14,4	37,5	36,0	32,8	30,0	13,2	16,2	14,6	20,2	19,0	14,2	5,12
Pr	1,54	1,12	0,39	0,93	1,35	2,23	5,36	4,65	4,47	4,16	1,91	2,41	1,87	2,55	2,43	1,76	0,76
Nd	8,01	4,88	1,68	4,54	6,24	10,1	23,7	20,7	19,2	18,2	8,90	11,9	8,87	11,0	10,8	7,58	3,09
Sm	2,61	1,21	0,69	1,21	1,80	2,63	5,82	4,85	4,64	4,77	2,51	2,81	1,71	2,31	2,39	1,65	1,00
Eu	1,08	0,67	0,43	0,40	0,60	0,80	1,44	1,43	1,41	1,37	0,99	1,03	0,60	0,69	0,75	0,47	0,29
Gd	3,52	1,64	1,06	1,51	2,08	2,45	5,39	5,51	5,39	5,60	3,08	3,07	1,67	2,12	2,22	1,51	0,98
Tb	0,63	0,28	0,19	0,24	0,4	0,43	0,97	0,87	0,87	0,92	0,53	0,52	0,28	0,38	0,42	0,25	0,19
Dy	4,10	1,85	1,39	1,56	2,43	2,58	5,94	5,16	5,45	5,61	3,68	3,49	1,41	2,07	2,45	1,58	1,17
Ho	0,90	0,39	0,28	0,30	0,52	0,55	1,25	1,11	1,09	1,16	0,85	0,80	0,35	0,44	0,51	0,31	0,27
Er	2,55	1,29	0,95	0,84	1,58	1,37	3,81	3,26	3,35	3,46	2,41	2,04	0,92	1,30	1,47	0,93	0,80
Tm	0,38	0,23	0,15	0,13	0,24	0,17	0,52	0,46	0,47	0,47	0,38	0,35	0,17	0,18	0,21	0,13	0,13
Yb	2,44	1,48	0,91	0,85	1,44	1,08	3,45	2,89	3,03	3,05	2,27	2,26	1,06	1,37	1,51	0,82	0,85
Lu	0,37	0,25	0,16	0,10	0,21	0,17	0,53	0,45	0,47	0,43	0,34	0,32	0,15	0,19	0,20	0,12	0,10
Hf	1,69	2,74	1,08	0,57	1,56	1,83	3,84	3,23	3,34	3,19	1,68	2,30	1,44	1,54	1,56	1,20	0,65
Ta	0,23	0,61	0,11	<0,1	0,34	0,32	0,70	0,85	0,96	0,98	0,30	0,38	0,12	0,16	0,17	0,12	<0,1
W	1,00	0,94	0,71	<0,5	<0,5	1,26	<0,5	<0,5	0,56	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	2,37	<0,5	<0,5	<0,5
Pb	12,0	7,87	1,65	1,90	3,05	н/д	н/д	3,34	1,92	1,19	2,07	1,83	2,70	2,84	7,91	6,00	4,67

Примечание. Пояснения к табл.3 в тексте. $Mg\# = MgO / (MgO + Fe_2O_3^*)$ [4].

При рассмотрении состава пород фальбанд весьма проблематично оперировать стандартными петрохимическими характеристиками, описывающими основность пород, из-за значительной степени проявления наложенных процессов (окварцевания), сильно раскисляющих породу. В результате содержание кремнезема в этих породах сильно варьирует от 33 до 65 мас. %, (табл.3). Однако есть некоторые закономерности по главным элементам, на которые следует обратить внимание. Во-первых, для фальбанд установлено значительно пониженное, относительно ультрабазитов и части базитов, содержание MgO (табл.3). По магнезиальности фальбанды ближе к породам основного состава [5]. Во-вторых, в некоторых случаях (обр. F2 и F4) сильно повышается содержание $Fe_2O_3^*$ (до 40 мас. %), что коррелируется с большим количеством рудной минерализации в этих образцах.

В целом породы фальбанд обогащены относительно других типов пород рядом металлов (Cu, Co, Mo) (рис.4, а, б), что согласуется с наличием рудных минералов этих элементов. Отрицательная связь между содержанием Cu и Sr может указывать, что медная минерализация не сопряжена с ультраосновным магматизмом. В некоторых случаях (обр. F2, F4) породы фальбанд обеднены такими литофильными элементами как Rb, Ba, Nb, Sr.

Спектры распределения REE пород фальбанд слабо дифференцированы (рис.4, в) при их относительно невысоком суммарном содержании от 12 до 45 ppm (табл.3). В некоторых случаях (обр. F2, F3) наблюдается заметно выраженная положительная Eu-аномалия (Eu/Eu^* составляет в среднем 1,5), связанная, вероятно, с повышенным количеством плагиоклаза в этих породах. Спектры распределения REE для метагабброидов и метаультрабазитов отличаются тем, что они значительно более дифференцированы (рис.4, г, д); кроме того, в метагабброидах выше суммарное содержание REE – от 40 до 114 ppm (табл.3). Однако прослеживается тождественность характера спектров распределения и общего уровня содержания REE в породах фальбанд и в метабазахитах Серяжской и Лоухско-Пиземской структур [6]. Это дает основание предположить генетическую связь фальбанд с метабазахитами вышеуказанных структур, а не с метагабброидами и метаультрабазитами, распространенными в районе исследования.

Заключение. Авторами статьи впервые дана комплексная минералого-геохимическая характеристика (SEM-EDS, ICP-MS методы) пород фальбанд проявления Кив-губа-Картеш в Беломорском подвижном поясе. Породы фальбанд можно охарактеризовать как амфиболиты, отличающиеся друг от друга количеством граната и степенью окварцевания. Рудная минерализация представлена довольно скудным набором минералов. Наиболее распространенными фазами яв-

ляются пирротин и пирит. Зерна пирротина часто замещаются по периферии окислами и гидроокислами железа, а на них в свою очередь нарастает пирит. В некоторых случаях наблюдаются практически неизменные зерна пирротина неправильной формы с тонкими структурами распада, сложенными пентландитом, и такие же отдельные зерна пирита с повышенным содержанием никеля (до 5,4 %). Были обнаружены единичные зерна соболевскита и хедлейита субмикронного размера. Характер распределения REE в породах фальбанд дает основание предположить их генетическую связь с метабазами архейского возраста Серякской и Лоухско-Пиземской структурах БПП, а не с метагабброидами и метаультрабазами, распространенными в районе исследования.

Рис.4. Бинарные диаграммы для пород фальбанд, метабазитов (метагабброидов и метабазальтов) и метаультрабазитов (а, б) Спектры распределения REE для пород фальбанд (в), метаультрабазитов (г), метагабброидов (д), метабазальтов по [6] (е). Содержание REE нормировано на состав хондрита CI по [13]

Авторы признательны сотрудникам ББС «Картеиш» (Зоологический институт РАН) за помощь в организации полевых работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Березин А.В. Эволюция состава минералов при эклогитовом метаморфизме в Беломорском подвижном поясе (на примере о-ва Виченная Луда) / А.В.Березин, Л.И.Салимгараева, С.Г.Скублов // Петрология. 2020. Т. 28. № 1. С. 85-107. DOI: 10.31857/S086959032001001X
2. Гинзбург И.И. Полезные ископаемые побережья Канда拉克шского залива Белого моря. Труды Северной научно-промысловой экспедиции. Петроград: Государственное издательство, 1921. Т. 7. 64 с.
3. Крупеник В.А. Золотая минерализация в массивных колчеданных рудах пегматитовых жил Чупино-Лоухского района (Северная Карелия) / В.А.Крупеник, А.М.Ахмедов, В.В.Кнауф // Доклады Академии наук. 2000. Т. 375. № 6. С. 799-802.
4. Кулешевич Л.В. Металлогения Беломорского складчатого пояса и Северо-Карельских зеленокаменных структур // Беломорский подвижный пояс и его аналоги: геология, геохронология, геодинамика, минерагения: Материалы научной конференции. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2005. С. 207-211.
5. Практическая петрология: методические рекомендации по изучению магматических образований применительно к задачам госгеолкарт / М.В.Наумов, Е.А.Кухаренко, А.Е.Костин, Д.Н.Ремизов. СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2017. 168 с.
6. Слабунов А.И. Геология и геодинамика архейских подвижных поясов (на примере Беломорской провинции Фенно-скандинавского щита). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2008. 296 с.
7. Степанов В.С. Основной магматизм докембрия Западного Беломорья. Л.: Наука, 1981. 216 с.
8. Токарев В.А. К генезису фальбанд Канда拉克шского залива // Известия Ленинградского геолого-гидро-геодезического треста. 1935. Т. 4. № 9. С. 50-56.
9. Циркунов И.Б. Порья Губа: опыт историко-социологических исследований // Наука и бизнес на Мурмане. 1998. № 6. С. 60-86.
10. Шевченко С.С. Минералого-геохимические особенности рудоносных метасоматитов и перспективы выявления комплексного благороднометалльно-медно-никелевого оруденения в Беломорском подвижном поясе: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / Санкт-Петербургский государственный горный университет. СПб, 2011. 20 с.
11. Gammon J.B. Fahlbands in the Precambrian of southern Norway // Economic Geology. 1966. Vol. 61. № 1. P. 174-188. DOI:10.2113/gsecongeo.61.1.174
12. Marmo V. On the sulphide and sulphide-graphite schists of Finland // Bull. Comm. Geol. Finlande. 1960. № 190. 83 с.
13. McDonough W.F. The composition of the Earth // Chemical Geology. 1995. Vol. 120. P. 223-253. DOI: 10.1016/0009-2541(94)00140-4
14. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names / B.E.Leake, A.R.Woolley, C.E.S.Arps, W.D.Birch, M.C.Gilbert, J.D.Grice, F.C.Hawthorne et al. // Canadian Mineralogist. 1997. Vol. 35. P. 219-246. DOI: 10.1180/minmag.1997.061.405.13
15. Whitney D.L. Abbreviations for names of rock-forming minerals / D.L.Whitney, B.W.Evans // American Mineralogist. 2010. Vol. 95. P. 185-187. DOI: 10.2138/am.2010.3371

Авторы: Л.И.Салимгараева, мл. научный сотрудник, fluoritecaf2@mail.ru (Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия), С.Г.Скублов, д-р геол.-минерал. наук, главный научный сотрудник, профессор, skublov@yandex.ru (Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия; Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), А.В.Березин, канд. геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник (Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия), О.Л.Галанкина, канд. геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник (Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия).

Статья поступила в редакцию 03.03.2020.

Статья принята к публикации 25.06.2020.