УДК 553.078 (98)

А.Н.СИРОТКИН, *канд. геол.-минерал. наук, ст. геолог, pechenga-67@yandex.ru*
В.В.ХАЙЛОВ, *геолог, pechenga-67@yandex.ru*
ФГУ НПП «Полярная морская геолого-разведочная экспедиция»
Д.В.НИКИТИН, *канд. геол.-минерал. наук, доцент, grmpi@spmi.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

A.N.SIROTKIN, *PhDr. g.-m. Sci., Senior Geologist, pechenga-67@yandex.ru*
V.V.KHAILOV, *Geologist, pechenga-67@yandex.ru*
FGU NPP «Polar Marine Geological Exploration expedition»
D.V.NIKITIN, *PhDr. g.-m. Sci., Assistant Professor, grmpi@spmi.ru*
Saint-Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, ХАРАКТЕРИСТИКА РУД И ГЕНЕЗИС ПРОЯВЛЕНИЙ РУДНОГО ПОЛЯ ХАЛВДАНПИГГЕН (о.ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

По результатам геолого-поисковых работ в центральной части арх. Шпицберген выделена новая металлогеническая зона. В пределах последней выявлен целый ряд рудных районов и полей, в том числе рудное поле Халвданпигген. Это поле объединяет несколько разномасштабных рудопроявлений, представляющих большой интерес в отношении вещественного состава руд и дающих информацию по определению генезиса и перспектив всей рудной площади. Приведены данные по геологии, минералогии и геохимии проявлений, определен их генезис, формационная принадлежность и время становления.

***Ключевые слова*:** девонский грабен, полиметаллическая зона, минерализованная зона дробления, главные рудные минералы, структурно-веществены комплексы, докембрийский фундамент, эрозионный срез.

GEOLOGICAL STRUCTURE, CHARACTERISTICS OF ORES AND GENESIS OF ORE OCCURRENCES IN THE HALVDANPIGGEN FIELD (WEST SPITSBERGEN ISLAND)

A new metallogenic zone was separated out in a central part of the archipelago Spitsbergen by the results of exploration work. It was shown an integral series of ore areas and fields in the limits of this zone, including the ore field Halvdanpiggen. This field integrates several non-uniformly scaled the ore occurrences, which present a great interest in regard to a material composition of the ore. They likewise produce an information for determination of genesis and outlooks of total metallogenic zone. The article contains data on geology, mineralogy and geochemistry of deposits; it is established their genesis, formation membership and time of origination.

***Key words*:** Devonian graben, polymetallic zone, mineralized fault (shattered) zone, main ore minerals, structural-substantial complexes, Precambrian basement, erosion level.

Введение. Структурно-вещественные комплексы Шпицбергена специализированы на халькофильные элементы, прежде всего медь, свинец, цинк, серебро, золото. Предыдущими исследованиями в регионе выделены Западно-Шпицбергенская полиметаллическая зона [4], локализованная в породах верхнего рифея – нижнего палеозоя, и Центрально-Шпицбергенская полиметаллическая зона [6, 7], рудные объекты которой распо-

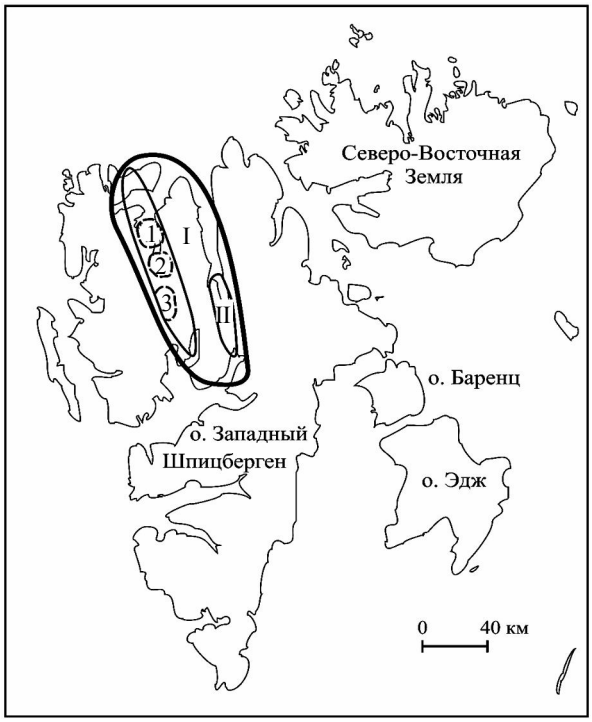


Рис.1. Арх. Шпицберген и положение Центрально-Шпицбергенской полиметаллической зоны. Рудные районы: Брейбогенский флюорит-полиметаллический (I) и Ауст-фиордский барит-полиметаллический (II). Рудные поля: флюоритовое поле Мораброеен (1), медно-серебряное поле Вонбреен (2), медно-золотоносное поле Халвданпигген (3)

ложены, в основном, в породах нижнего рифея и девона. На основе всех материалов по последней зоне в ее пределах выделен ряд рудных полей, каждое из которых характеризуется наличием одного крупного рудопроявления среди девонских пород и серии более мелких проявлений. В работе рассмотрены особенности строения полиметаллических проявлений рудного поля Халвданпигген, которые наиболее интересны в отношении как вещественного состава их руд, так и генезиса этих объектов.

Геологический очерк. Центральная часть архипелага характеризуется как зона сочленения структур докембрийского фундамента и девонского комплекса [1]. Девонский грабен, который является основной структурой Центрального Шпицбергена, протягивается в субмеридиональном направлении через всю центральную часть о.Западный Шпицберген. С запада и востока грабен ограничен системами глубинных разломов. Эти разломы были заложены еще в середине протерозоя, но движение по ним неоднократно возобновлялось на протяжении длительного времени [1, 6]. Разломные системы имеют сложное строение и ширину до 20 км. Они же формируют и борта грабена. Западный борт (западная тектоническая ступень) расположена между двумя глубинными разломами – ледника Монако и Брейбогенским (к последнему приурочено рудное поле Халвданпигген), и имеет ступенчатое строение, когда по серии сбросов мелкие ступени, сложенные породами докембрия и девона, последовательно опускаются в восточном направлении. Центральная, максимально опущенная область грабена сложена породами девонского красно- и сероцветного комплекса и представляет собой сложно построенную моноклиналь, погружающуюся к востоку. Развитие магматических комплексов на этой площади крайне ограничено. Непосредственно вдоль Брейбогенского разлома известны проявления рифейских гранитоидов и метабазитов, дайки среднепалеозойских ультрабазитов, покровы и дайки неогеновых базальтов и долеритов, а также вулканы центрального типа четвертичного возраста, аппараты которых сложены щелочными базальтоидами. В нижнем течении ледника Вонбреен выявлены магнитные аномалии, источником которых могут быть и магматиты. В истории района отмечены два крупных тектонотермальных события [6, 7]: среднерифейский региональный метаморфизм толщ фундамента и ранне-среднепалеозойская тектономагматическая активизация, в ходе которой был сформирован девонский грабен.

Вдоль Брейбогенского разлома выделяются рудные поля: флюоритовое Мораброеен, медно-серебряное Вонбреен и медно-золотоносное Халвданпигген, объединенные в Брейбогенский флюорит-полиметаллический рудный район (рис.1).

Строение рудного поля Халвданпигген. Рудное поле Халвданпигген находится в районе между Вуд-фьордом и Бокк-фьордом, охватывая п-ов Принцхегда, расположенный между двумя упомянутыми фьордами. Западная граница поля проходит к западу от

вулкана Сверре, а южная – по северным отрогам горного массива Ризефьелла (рис.2). Западная часть поля сложена породами нижнего рифея, метаморфизованными в амфиболитовой фации. Здесь же в тектонических блоках зажаты серо- и зеленоцветные конгломераты и песчаники нижнего девона. Восточная часть поля, отделенная Брейбогенским глубинным разломом, сложена красноцветными алевролитами, песчаниками, конгломератами и известняками нижнего девона (подсвита Кап-Кьелдсен). На некоторых вершинах гор закартированы останцы неогеновых платобазальтов. В непосредственной близости от зоны глубинного разлома расположены дайки разновозрастных базитов, а также четвертичные вулканические аппараты, сложенные щелочными базальтоидами (рис.2).

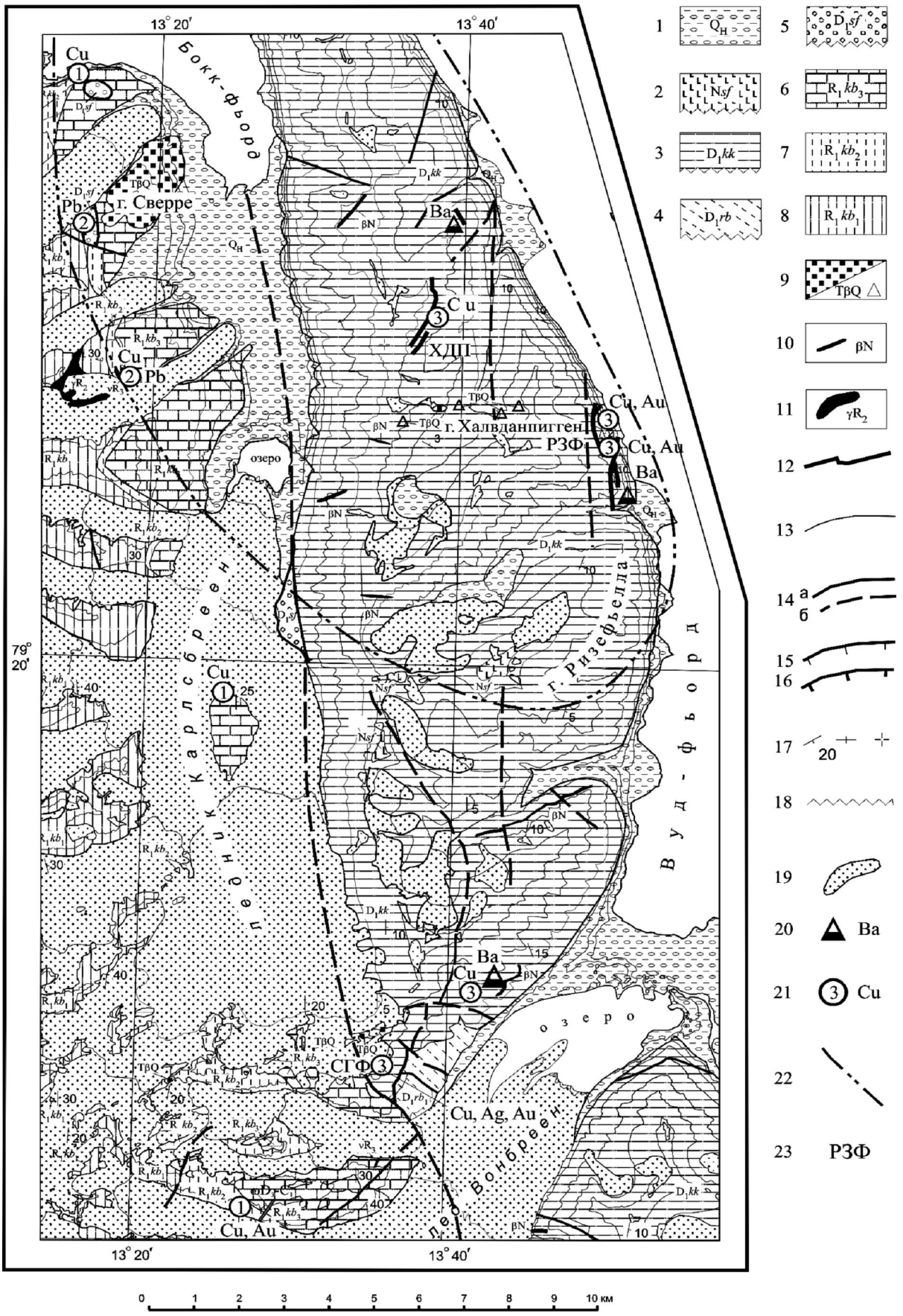
Поле включает в себя серию рудопроявлений разного типа. Это, прежде всего, два крупных проявления – медное Халвданпигген и золотомедное Ризефьелла, а также группа мелких проявлений свинца, меди, барита. К югу от рудного поля Халвданпигген расположено рудное поле Вонбреен, центральным объектом которого является медно-серебряное проявление Сигурд (рис.2).

Характеристика мелких проявлений. Мелкие проявления цветных металлов расположены в западной части рудного поля (рис.2). Они различаются по генезису, но каждое из них имеет несколько разномасштабных аналогов в других рудных полях [7].

Проявление ледника Фридриха находится на западном берегу Бокк-фьорда и расположено в мраморах нижнего рифея. Оно отнесено к колчеданно-метаморфогенному типу и представлено послойными телами и линзами амфибол-полевошпат-кварцевых и полевошпат-кварцевых пород, несущих сульфидное оруденение. Рудная зона прослежена до 600 м; параметры рудных тел варьируют по протяженности от 1-20 до 300 м при мощности от 0,3-2,0 до 40 м. Рудная минерализация распределена неравномерно и характеризуется вкрапленным и, реже, прожилково-вкрапленным оруденением; размеры рудных зерен и агрегатов – от 0,1-0,3 мм до 1-2 см. Рудные минералы представлены пиритом и пирротином, а также халькопиритом, борнитом, арсенопиритом. Их количество в рудах достигает 7 %, иногда 20-40 %. Среднее содержание меди составляет 0,1 % (полуколичественный спектральный анализ – ПКСА, ВСЕГЕИ); серебра – 0,12 г/т (определение элементов на масс-спектрометре ELAN 6100 – ICP AES, ВСЕГЕИ), золота – 0,02 г/т (атомно-абсорбционный метод, ВСЕГЕИ).

Проявление ледника Шелдерупа находится к юго-западу от фронта ледника Карлсбреен (рис.2) и отнесено к гидротермально-метаморфическому типу. Представлено серией субсогласных и секущих кварцевых жил, расположенных в метаморфических породах нижнего рифея. Мощность жил составляет до 20 см при протяженности до первых метров. В жилах отмечается сульфидная минерализация вкрапленного и прожилкового типа, представленная пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, малахитом. Содержание металлов (ПКСА): медь – до 0,1 %, свинец – до 0,3 %, цинк – до 0,3 %.

К гидротермально-метаморфическому типу относится и проявление Сверре, находящееся к западу от одноименной горы (рис.2). Оно приурочено к мощному прослою брекчированных мраморов среди кристаллосланцев нижнего рифея и представлено серией сближенных субсогласных галенитовых и галенит-кальцитовых жил, мощность которых меняется от 5-10 см до 1,0 м при протяженности до 30 м и более. Насыщенность жил на 10 м мраморов – от 50 до 5 %. Рудная зона имеет мощность 50-60 м и прослежена на 150 м; с юга зона срезана субширотным сбросом. Минеральный состав руд простой – галенитовый и галенит-кальцитовый; в жилах отмечаются линзы чистого галенита мощностью 0,6-1,0 м. Оруденение имеет крайне неравномерное распределение; преобладают жильные и гнездовые выделения галенита, реже оруденение имеет вкрапленный характер. Содержание свинца в бороздовых пробах (ICP AES, ВСЕГЕИ) через богатые участки – до 8 %, серебра – до 57 г/т;


13° 20′
13° 40′
79° 20′
Бокк-фьорд
г. Сверре
г. Халвданшигген
г. Ризефьелла
РЗФ
ХДШ
СГФ
озеро
Вуд-фьорд
Карлсбреен
Педерикбреен
Вонбреен
Cu
Pb
Ba
Cu, Au
Cu, Ag, Au
1 Q_H
2 Nsf
3 D_1kk
4 D_1rb
5 D_1sf
6 R_1kb_3
7 R_1kb_2
8 R_1kb_1
9 TβQ
10 βN
11 γR_2
12
13
14 а б
15
16
17 20
18
19
20 Ba
21 Cu
22
23 РЗФ
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 км

среднее содержание свинца по всей рудной зоне – 0,3 %.

Баритовые проявления (гидротермальный тип) присутствуют в восточной части рудного поля и отмечены у северо-восточного подножия горы Ризефьелла и к северу от горы Халвданпигген (рис.2). Они расположены в красноцветных породах девона и имеют сходный характер. Проявления представлены субмеридиональными жилами барит-кварц-карбонатного состава, имеющими сложную форму: многочисленные раздувы, пережимы, разветвления. Мощность жил возрастает до 6 м при протяженности до 1500 м. Отмечены участки брекчирования, где жильный материал выступает в роли цемента для обломков песчаников и алевролитов. Барит формирует линзы крупнозернистых агрегатов в осевых частях жил. Мощность линз составляет до 1,0 м при протяженности первые метры.

Крупные проявления. Ризефьелла и Халвданпигген отнесены к гидротермальному среднетемпературному типу и характеризуются как комплексные. Их главные признаки: локализация в зонах тектонического брекчирования и гидротермальной проработки пород подсвиты Кап-Кьелдсен в непосредственной близости от Брейбогенского глубинного разлома.

Проявление Ризефьелла находится у северо-западного подножия одноименного массива. Оно представлено мощной зоной дробления девонских песчаников и алевролитов подсвиты Кап-Кьелдсен, сцементированных жильным материалом кварц-барит-кальцитового состава. Мощность зоны дробления составляет до 30 м, протяженность – до 1200 м при субмеридиональном простирании и крутом падении к востоку. Вертикальный размах оруденения превышает 100 м. Рудная минерализация приурочена, в основном, к краевым частям зоны, а наиболее богатая – к восточному (висячему) зальбанду. Зона описана в двух распадках, отстоящих друг от друга на расстоянии около 800 м; широтный разрез представлен на рис.3. В экзоконтактах зоны фиксируются трещиноватые и в разной степени брекчированные песчаники и алевролиты, всегда с кварцевыми или карбонатными прожилками. В эндоконтактах постоянно наблюдаются брекчии тех же пород, залеченные кварцевыми или карбонатными жилами неправильной формы мощностью до 20 см. Ширина эндоконтактов – до 3,5 м. В центральных частях зоны чередуются карбонатные, кварцевые жилы и линзы брекчий с кварцевожильным и карбонатным цементом. Мощность линз брекчий – до 3,0 м; мощность жил – до 2,0 м. Сульфидное оруденение приурочено к эндоконтактовым частям, при этом наиболее богатое зафиксировано в висячем боку. В центральных частях зоны отмечены барит, сидерит и пустоты с мелкими друзами кварца.

К югу в продолжение вышеописанной зоны, в распадке на отметке 280 м, был обнаружен выход кварц-барит-кальцитовой жилы мощностью 2,8 м (простирание 320°, падение на восток под углом 80°). Зальбанды имеют кварц-кальцитовый состав, полосчатые, с редкой сульфидной вкрапленностью, пятнами медной зелени, реже азурита. В восточном зальбанде сульфидов и медной зелени гораздо больше. Центральная часть жилы мощностью 2,25 м сложена баритом и кальцитом, как мелко, так и крупнокристал-

Рис.2. Геологическая схема района Вуд-фьорда

1 – четвертичные отложения; 2 – неогеновые платобазальты; 3-5 – нижнедевонские отложения: 3 – красноцветные алевролиты, песчаники, известняки, 4 – серо- и зеленоцветные конгломераты, песчаники, 5 – сероцветные песчаники; 6-8 – нижнерифейский метаморфический комплекс: 6 – мраморы, кристаллические сланцы, 7 – гнейсы, кристаллосланцы, кварциты, мраморы, амфиболиты, 8 – мигматиты по гнейсам и сланцам; 9 – четвертичные вулканы центрального типа (щелочные базальтоиды); 10 – дайки (βN-неогеновых долеритов, ωD_3-C_1 – среднепалеозойских ультрабазитов, νR_3 – позднерифейских метабазитов); 11 – штоки среднерифейских гранитов; 12 – жилы карбонат-баритовые и барит-карбонат-кварцевые; 13 – геологические границы; 14 – разрывные нарушения (*а* – установленные, *б* – предполагаемые); 15 – сбросы; 16 – надвиги; 17 – элементы залегания (наклонного, вертикального, горизонтального); 18 – угловое несогласие; 19 – современные ледники; 20-21 – проявления полезных ископаемых: 20 – барита, 21 – меди, свинца, серебра, золота (с номером возрастной группы проявлений); 22 – границы рудного поля Халвданпигген; 23 – крупные проявления (РЗФ – Ризефьелла, ХДП – Халвданпигген, СГФ – Сигурд)

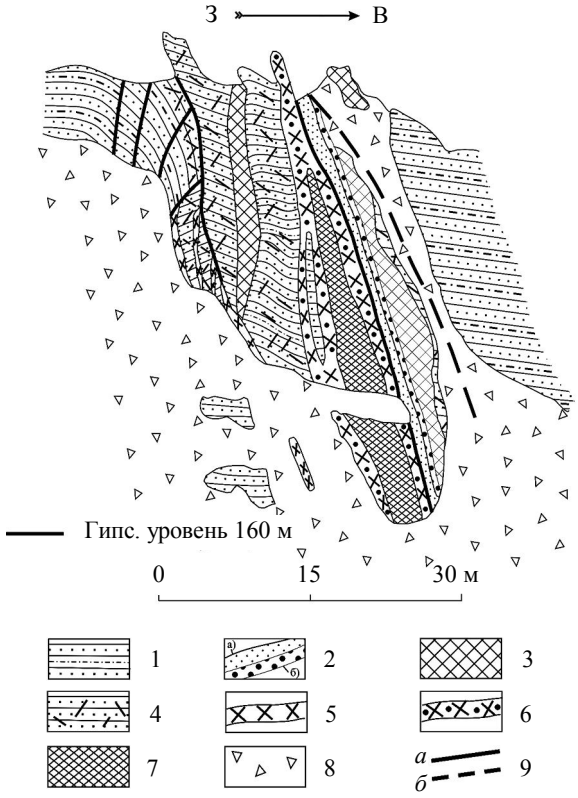


Рис.3. Схема профиля через рудное тело проявления Ризефьелла (южная экспозиция склона ложбины)

1 – песчаники, алевропесчаники, алевролиты серого, зеленовато-серого и коричневого цвета; 2 – кальцитовая жила (*а*) с рудой (*б*); 3 – барит-кальцитовая жила с низким содержанием сульфидов; 4 – песчаники брекчированные с кварцевыми и кальцитовыми прожилками; 5 – кварц-кальцитовые жилы; 6 – кварцевая жила с минимальным количеством сульфидов; 7 – тектоническая брекчия по (сероцветным) песчаникам, сцементированная сетью кварцевых жил; 8 – осыпь; 9 – разрывные нарушения (*а* – прослеженные, *б* – под алювиально-делювиальными развалами)

лическим, без видимой сульфидной минерализации. Вмещающие песчаники и алевропесчаники насыщены сетью мелких жилок кварц-кальцитового состава (до 1 см), субпараллельных основной жиле.

Представляется, что описанная нами зона изменчива и является сложным чередованием разноразмерных линз различных брекчий, чередующихся с гидротермальными жилами различного состава. Выклинивание частей зоны часто происходит на расстоянии 10-20 м как по падению, так и по простиранию. Лежачий бок жилы, в основном, окварцован; тонкозернистые кварцевые жилы (до 0,7 м) отмечены и в ее центральной части, в то же время висячий бок в значительной степени представлен карбонатными жилами. Зеркала скольжения, совпадающие с простиранием и падением жилы, свидетельствуют о том, что тело претерпело ряд подвижек, синхронных с его образованием и, возможно, соответствующих поэтапному формированию брекчий и гидротермальных жил.

В результате обследования выяснилось, что рудная минерализация приурочена, как правило, к краевым частям жилы. В кварцевых жилах лежачего бока – это гнездово-вкрапленное сульфидное оруденение, фрагментарно появляющееся вдоль борта жилы. В карбонатных жилах висячего борта можно выделить рудную (до 1,0 м) и надрудную (до 2,5 м) зоны. В рудной зоне отмечены линзы (мощность до 0,4 м при протяженности первые метры) кварц-карбонатного состава с сульфидами, их оценивают как богатые руды. Надрудная зона сложена брекчией, сцементированной кальцитом, в которой отмечается тонкая сульфидная вкрапленность. В целом, в жильной зоне рудная минерализация распределена неравномерно и представлена, чаще всего, вкрапленным, реже прожилковым сульфидным оруденением. Размеры выделений сульфидов колеблются от долей миллиметра до 3 см.

Минераграфическое и геохимическое изучение материала, в первую очередь по рудной и надрудной зонам с богатыми сульфидными рудами, выявило следующее. Руды прожилково-вкрапленные; количество сульфидов достигает 60 %; в бороздовых пробах содержание меди – до 4 %; золота – до 2,18 г/т (табл.1 и 2). Обращают внимание низкие содержания в рудах висмута (до 20 г/т), несмотря на присутствие минералов этого элемента.

В целом, в рудах резко преобладают халькозин (до 90 %) и борнит (до 25 %); кроме того, присутствуют блеклая руда, халькопирит, пирит, ковеллин, азурит, малахит, куприт, тенорит, гетит, а также виттихенит и самородное золото. Характер руд в целом близок к типу Сигурда [6, 7], включая катаклаз зерен теннантита и две разновидности борнита со структурами распада с халькопиритом. В аншлифах описаны по-

Таблица 1

Содержание микроэлементов и золота в рудах проявлений Ризефьелла, Халвданпигген и Сверре, г/т

№ п/п	Номер пробы	Проявление	Bi	Pb	Zn	Sb	Cu	As	Ag	Au
1	ПБ-14-11	Ризефьелла	< 5	40,4	108,0	< 2	42400,0	Н.о.	12,0	2,180
2	ПБ-14-12	»	< 5	9,63	24,2	< 2	5760,0	Н.о.	2,5	0,110
3	ПБ-14-13	»	< 5	23,5	136,0	< 2	16500,0	Н.о.	11,9	0,280
4	ПБ 14-14	»	< 5	17,1	7,0	< 2	14000,0	15,1	Н.о.	0,020
5	ПБ 2786-II	»	< 5	13,4	38,2	< 2	2400,0	Н.о.	< 0,1	0,069
6	ПБ 2786-IV	»	< 5	18,9	17,9	< 2	3370,0	Н.о.	2,86	0,200
7	ПБ-2/ХД-II	Халвданпигген	431,0	13,3	428,0	1040	8390,0	Н.о.	7,34	0,017
8	ПБ-2/ХД-III	»	526,0	14,0	316,0	1020	10400,0	Н.о.	2,87	0,002
9	ПБ-1/ХД-IV	»	< 5	4,32	35,8	8,22	2840,0	Н.о.	< 0,1	0,002
10	ПБ-2/ХД-IV	»	47,6	7,15	80,0	209,0	5140,0	Н.о.	0,72	0,002
11	ПБ 2766-1	»	< 5	47,3	46,4	59,4	7410,0	Н.о.	< 0,1	Н.о.
12	ПБ-I/12-2	»	< 5	14,6	47,1	56,5	4340,0	Н.о.	3,16	Н.о.
13	ПБ-I/12-3	»	< 5	16,9	31,2	2,68	3780,0	Н.о.	< 0,1	Н.о.
14	ПБ-II/22-2	»	455,0	24,1	726,0	2190,0	11800,0	774,0	Н.о.	0,076
15	ПБ-III/23-2	»	31,5	15,9	405,0	1250,0	11700,0	374,0	Н.о.	0,016
16	ПБ-III/23-5	»	< 5	41,0	785,0	4530,0	23700,0	4240,0	Н.о.	0,110
17	ПБ-IV/23-6	»	< 5	12,2	87,2	688,0	4990,0	327,0	Н.о.	Н.о.
18	ПБ-V/77-2	»	1580	215,0	938,0	10500,0	197500,0	3860,0	Н.о.	0,510
19	ПБ-VI/103-4	»	3820	32,4	964,0	3380,0	26300,0	920,0	Н.о.	0,040
23	ПБ-1/СВ-1	Сверре	< 5	82800	16,4	134,0	13,6	Н.о.	51,4	Н.о.
24	ПБ-2/СВ-I	»	< 5	81300	133,0	180,0	76,1	Н.о.	56,9	Н.о.

Примечание. Содержание рассчитано по результатам количественных анализов методами ICP AES и атомно-абсорбционным (ВСЕГЕИ) бороздовых проб.

следовательные стадии минерализации: пирит + блеклая руда + халькопирит I → борнит + халькопирит II + виттихенит → халькозин → ковеллин + куприт + тенорит → → гетит + азурит + малахит. Основное отличие руд этого проявления – присутствие в значительном количестве виттихенита (до 2 %) и самородного золота в рудной и надрудной зонах.

Наиболее ранними рудными минералами являются ассоциация халькопирит I, блеклая руда, пирит I. Блеклая руда в рудах проявления представлена теннантитом. Распределение этого минерала в рудах крайне неравномерное. Обычно он формирует рассеянную вкрапленность ксеноморфных однородных зерен, развивающихся вдоль микротрещин в породе и образующих здесь агрегаты неправильной формы. Реже теннантит создает микропрожилки либо концентрируется в микрожилках нерудного минерала (кварца, карбоната). Зерна однородные по строению и имеют размеры от 0,03 до 1,4 мм. Крупные зерна всегда раздроблены; изометричные округлые зерна встречаются редко. В виде включений в теннантите присутствуют зерна нерудного минерала, а также халькопирита I и пирита I. Граница с последними всегда четкая, без следов коррозии и замещения. Зерна теннантита с периферии и по трещинам дробления замещаются (иногда до 95 %) колломорфным агрегатом, состоящим из гидроксидов железа, халькозина, ковеллина, малахита, азурита, жильного минерала.

Халькопирит I встречается относительно редко, обычно присутствует в срастании с блеклой рудой, составляя до 10 % от объема первичных сульфидных минералов. Образует вкрапленные ксеноморфные зерна, размер от 0,03 до 1,6 мм, иногда объединяющиеся в микроагрегаты неправильной формы размером до 1,5 см.

Пирит I присутствует в небольших количествах в виде редкой рассеянной вкрапленности изометричных зерен либо образует

Таблица 2

Минеральный состав тяжелой фракции руд проявлений Халвданпигген и Ризефьелла, % по объему

№ п/п	Номер пробы	Выход тяжелой фракции, %	Проявление	Золото, знаки	Галенит	Пирит	Халькопирит	Борнит	Халькозин	Барит	Флюорит	Малахит	Азурит	Прочие минералы
1	ПБ 1/12-0	1,1	Халвданпигген	Н.о.	++	++	0,2	16,2	+	80,0	Н.о.	0,5	0,2	Гематит, кварц
2	ПБ 1/12-2	1,44		Н.о.	Н.о.	++	++	13,6	++	80,0	Н.о.	1,0	0,3	Лимонит, ильменит, циркон, турмалин, кальцит, кварц
3	ПБ 1/12-3	1,21		Н.о.	Н.о.	++	0,2	15,2	+	82,0	Н.о.	0,6	Н.о.	Лимонит, гематит, биотит, кальцит, кварц
4	ПБ 14-7	0,04	Ризефьелла	Н.о.	Н.о.	Н.о.	1,4	50,6	Н.о.	11,4	1,2	0,4	Н.о.	Циркон, апатит, кальцит, гематит
5	ПБ 14-9	0,02		Н.о.	++	11,2	0,3	31,4	Н.о.	Н.о.	Н.о.	4,7	++	Гематит, кальцит, кварц, рутил, циркон, апатит
6	ПБ 14-11	2,58		7	Н.о.	Н.о.	Н.о.	83,7	Н.о.	Н.о.	Н.о.	4,8	Н.о.	Гематит, кальцит, доломит
7	ПБ 14-12	0,28		Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	82,5	++	++	Н.о.	17,5	Н.о.	Гематит, кальцит, доломит
8	ПБ 14-13	1,32		6	Н.о.	+	Н.о.	91,1	Н.о.	Н.о.	Н.о.	2,5	Н.о.	Лимонит, кальцит, доломит, сидерит
9	ПБ 2786-2	0,08		Н.о.	Н.о.	10,8	++	2,2	Н.о.	++	++	3,4	++	Гематит, доломит
10	ПБ 2786-4	0,23		2	Н.о.	Н.о.	+	70,2	Н.о.	Н.о.	Н.о.	4,4	Н.о.	Гематит, гранат, кальцит, доломит, сидерит
11	ПБ 2786-5	0,11		Н.о.	Н.о.	Н.о.	+	67,1	Н.о.	++	Н.о.	3,3	Н.о.	Гематит, циркон, гранат, эпидот, хлорит, кальцит

Примечание. ++ – редкие знаки; + – единичные знаки; лаборатория ВСЕГЕИ, аналитики Е.Л.Грузова, Л.И.Ильина.

неравномерно распределенные в руде микроагрегаты, развивающиеся по сети переплетающихся микротрещин, формируя отдельные участки брекчиевой и сетчатой текстур. Некоторые взаимоотношения (корродированные грани) показывают, что он мог быть и самым первым, формируя свою колчеданную стадию, но также отмечаются равноценные границы с халькопиритом I.

Минералы второй стадии рудообразования – борнит, халькопирит II, виттихенит.

Борнит – один из главных сульфидных минералов проявления. Он часто является преобладающим в руде, образуя ксеноморфные зерна размером до 0,4 мм и микроагрегаты размером до 2,5 мм). Распределение неравномерное, локализован как в измененных породах брекчии, так и в жильном материале, их цементирующем. В аншлифах описаны два типа зерен борнита с равноценными взаимоотношениями. К первой группе относятся зерна сиреневого цвета, однородные по внутреннему строению и составляющие примерно 70 % от общего объема этого минерала. Они имеют размеры до 2,5 мм; по форме ксеноморфны. Ко второй группе (до 30 % объема минерала) относятся зерна бурого цвета, ксеноморфные по форме и небольшие по размеру (0,05-0,2 мм). Для этих зерен характерно присутствие сростков халькопирита II. Зерна обоих типов могут развиваться по теннантиту, корродируя его и включая в себя в виде реликтов. Это доказывает более позднее появление борнита в рудах. В то же время все зерна борнита, за исключением самых мелких, несут следы дробления; по трещинам и периферии развиваются либо халькозин, либо агрегат халькозина и ковеллина.

Халькопирит II встречается исключительно в виде вростков в борните. Вростки

бывают двух типов. Обычно это мельчайшие (до 0,02 мм) пластинчатые выделения в зерне борнита, которые образуют микрографическую либо решетчатую структуру. Это структуры распада твердого раствора борнит-халькопирит, который протекает при температуре около 475 °С [8]. Отношение борнит : халькопирит II колеблется от 10:1 до 3:1. Гораздо реже в зернах бурого борнита халькопирит II представлен в виде эмульсионной вкрапленности изометричных зерен (до 0,01 мм) при соотношении 10:1.

Виттихенит встречается в виде округлых зерен размером до 0,06 мм, всегда в срастании с борнитом; в случае замещения последнего халькозином остается в виде реликтов внутри халькозиновых агрегатов.

Третья стадия представлена только халькозином, который в отдельных пробах является преобладающим минералом. Халькозин представлен ксеноморфными зернами, которые формируют микроагрегаты аллотриоморфно-зернистой структуры. Эти агрегаты образуют каймы замещения по микротрещинам и по периферии зерен других сульфидов меди. Обычно развиваются по блеклой руде и борниту, реже по халькопириту I. Следов дробления ни зерна, ни агрегаты халькозина не несут.

Самородное золото присутствует в рудах в значительных количествах (до 8 зерен на аншлиф) и всегда локализовано среди жильных минералов, что может указывать на более позднее его появление (на «хвосте» одной из стадий). Представлено округлыми зернами размером от 0,005 до 0,06 мм.

Следующие стадии – гипергенные, представлены ковеллином (самый ранний) и более поздним азуритом, малахитом, лимонитом.

Расчет средних содержаний меди и золота в рудах проявления Ризефьелла проводился на основе материалов бороздового опробования. Средневзвешенные содержания меди по рудным пересечениям составили 1,63 % (северный профиль) и 0,062 % (южный профиль); общее содержание меди по проявлению 0,98 % при средней мощности рудных интервалов 3,4 м. Средневзвешенные содержания золота: 0,65 г/т (северный профиль) и 0,37 г/т (южный профиль); среднее содержание по проявлению 0,54 г/т.

Проявление Халвданпигген расположено на западном берегу Вуд-фьорда вблизи одноименного вулкана и пространственно приурочено к Брейбогенскому глубинному разлому. Впервые было обнаружено А.Н.Евдокимовым [3] и упоминалось как точка тетраэдрит-халькопиритовой минерализации.

На площади проявления, сложенной красноцветами подсвиты Кап-Кьелдсен, закартированы две субмеридиональные жильные зоны с медной минерализацией мощностью от 1 до 4,5 м и протяженностью 260 и 1700 м. Выходы жильных образований обнажены на возвышенных участках – хребтиках, где образуют останцы высотой до 3 м, и в бортах распадков. Зафиксированный вертикальный размах минерализации достигает 300 м. Часто тела представлены несколькими сближенными параллельными жилами, которые образуют многочисленные раздувы и пережимы. Жилы обычно субвертикальные, но местами имеют падение на запад под углом от 50 до 85°. Контакты с вмещающими породами резкие; часто вмещающие алевролиты осветлены до желтоватого цвета, разбиты барит-кальцитовыми прожилками мощностью 1-2 см, содержат примазки малахита.

Жильный материал представлен кварцем и баритом, в меньшей степени – кальцитом и содержит многочисленные обломки вмещающих пород, остроугольных, размером до 1,0 м, часто осветленных, иногда с разводами типа колец Лизеганга. Кварц и кальцит образуют мелкие жеоды и друзы с кристаллами до 1 см; барит часто присутствует в виде пластинчатых, радиально-лучистых агрегатов. Рудная минерализация распределена крайне неравномерно, часто образует рассеянную вкрапленность, разноразмерные гнезда и прожилки. На основании изучения аншлифов и минералогических проб (табл.2) минеральный состав может быть представлен в следующем виде: борнит, халькопирит, теннантит, халькозин, пирит, ковеллин, азурит, малахит, барит, кварц, кальцит; в небольших количествах описаны

виттихенит, эмплектит, самородные висмут и серебро.

Структура руд, соотношение минералов и их общее количество во многом аналогичны рудам проявления Ризефьелла. По соотношению минеральных индивидов выделены несколько стадий минералообразования: пирит + блеклая руда + халькопирит I → → борнит + халькопирит II → халькозин → → ковеллин → лимонит + азурит + малахит. Для борнита описаны два типа индивидов и структуры распада с халькопиритом. В одном аншлифе описаны зерна (до 0,1 мм) самородного серебра, хотя в целом по проявлению содержание серебра остается невысоким.

Геохимическое профилирование, проведенное в пределах проявления, позволило выявить резкие различия в геохимической характеристике рудных тел и вмещающих пород, выражающееся, прежде всего, в различиях корреляционных связей между отдельными элементами. Статистическая обработка данных геохимии по штуфному опробованию рудных тел ($n = 62$) определила средние содержания в рудах ведущих элементов: 0,86 % Cu, 0,001 % Pb, 0,03 % Zn; 2,9 г/т Ag, 230 г/т Bi. Содержание золота в этих рудах (табл.1) достигает 0,51 г/т.

Данные по бороздовому опробованию позволили рассчитать средневзвешенное содержание меди в рудах проявления и среднюю мощность рудных тел. Средневзвешенное содержание меди по шести профилям бороздового опробования рудного тела меняется от 0,05 до 0,8 %, составляя в среднем 0,34 %. Средняя расчетная мощность опробованного тела 3 м. Бороздовые пробы по вмещающим породам дали содержание меди от 0,005 до 0,06 % при среднем значении 0,02 %. Содержание серебра в бороздовых пробах не превышает 8 г/т, а висмута достигает 526 г/т (бороздовые пробы) и 3820 г/т (штуфные) (табл.1). Таким образом, по комплексу элементов это проявление в дальнейшем может быть отнесено к медно-висмутовым или даже золотомедно-висмутовым [2].

Обсуждение результатов. Анализ ситуации позволил по Брейбогенскому рудному району в целом и по рудному полю Халвданпигген в частности выделить три возрастные группы проявлений [6]: 1) среднерифейскую, 2) вендскую, 3) средне-позднедевонскую (см. рис.2, поз.21). Проявления первой, наиболее ранней группы расположены среди докембрийских пород, а их формирование – результат процессов метасоматоза, генетически связанных со среднерифейским региональным метаморфизмом. В пределах описываемого поля к этой группе относится проявление ледника Фридриха. Такого же возраста проявления известны к югу, в пределах рудного поля Вонбреен. Их общей особенностью является одинаковая степень метаморфизма вмещающих пород, метасоматический характер рудных тел, присутствие вкрапленного оруденения борнит-пирит-халькопиритового состава и повышенное содержание золота (до 0,36 г/т). Часть сульфидного материала ремобилизована в ходе наложенных процессов и переотложена в виде секущих и субсогласных жилок в рудных телах и, реже, вмещающих породах. Геологическая позиция этих проявлений всегда постоянна: располагаясь в породах амфиболитовой фации, они локализованы на некотором удалении от фронта мигматизации (от 0,5 до 4 км).

Проявления второй группы, предположительно вендского возраста, широко распространены вдоль западного борта Брейбогенской зоны разломов, а на изученной площади представлены проявления Сверре и ледника Шелдерупа. Их возраст определен из общегеологических соображений, а сами они обычно представлены сериями сближенных гидротермальных жил разной мощности, расположенных в разной степени брекчированных породах. Примечательной особенностью этих проявлений является зависимость состава жил от вмещающих пород: в мраморах они всегда карбонатные, в кристаллосланцах и кварцитах – всегда кварцевые. Сульфидное оруденение в жилах имеет прожилково-вкрапленный либо массивный характер; минеральный состав руд всегда очень простой (галенит, пирит, халькопирит).

Третья группа проявлений средне-позднедевонского возраста характеризуется

постоянной приуроченностью к зонам дробления и гидротермальной проработки в породах нижнего девона. В пределах описываемого рудного поля эта группа представлена проявлениями барита, а также рудопроявлениями Халвданпигген и Ризефьелла. Обобщение материалов по этим проявлениям позволяет отнести их к барит-полиметаллическому генетическому типу с комплексом ведущих полезных ископаемых, включающих медь, золото, висмут, барит. Проявления расположены среди красноцветных отложений девонской подсвиты Кап-Кьелдсен, при этом местом локализации оруденения являются субмеридиональные зоны брекчий. Отмечается непосредственная связь проявлений с зоной Брейбогенского глубинного разлома. На сегодняшний день не выявлена генетическая и пространственная связь этого оруденения с проявлениями магматизма. Но при этом надо отметить, что геолого-геофизическими работами в районе ледника Вонбреен (см. рис.2) в зоне Брейбогенского разлома выявлены среднеамплитудные магнитные аномалии изометричной формы [7], источником которых в том числе могут быть и невскрытые эрозией интрузивные массивы. Здесь же выявлены дайки ультраосновных пород, возраст которых по аналогии со сходными дайками восточного борта грабена определяется как позднедевонский-раннекарбоновый [5]. Поэтому вероятно наличие парагенетической связи оруденения с интрузивным магматизмом, вероятно, основного-ультраосновного состава.

Для обоих рудопроявлений описаны три последовательные рудные стадии; для рудного поля в целом в качестве последней выделяется баритовая (карбонат-баритовая) стадия, которая завершает рудный процесс. В то же время вмещающие песчаники и алевролиты характеризуются минимальными изменениями, в основном вдоль непосредственного контакта с рудными телами. Это выражается в брекчировании пород, их осветлении и появлении тонких жилок карбонат-кварцевых гидротермалитов. Это же подтверждается геохимической характеристикой вмещающих пород и рудных тел, выражающейся в корреляционных связях между отдельными элементами в этих образованиях.

Руды обоих проявлений характеризуются брекчиевыми и полосчатыми текстурами; наличие пустот с мелкими друзами, колец Лизеганга, тонкозернистого и халцедоновидного кварца указывает на приповерхностные условия формирования руд.

Процессы окисления на обоих проявлениях выражены достаточно интенсивно. Описание гипергенных образований позволяет в современном эрозионном срезе выделить два типа парагенезисов. Первый: малахит + азурит + куприт + тенорит + лимонит – соответствует зоне окисления; второй: халькозин + ковеллин с небольшим количеством малахита и лимонита – соответствует зоне вторичного сульфидного обогащения. Последний парагенезис характерен для руд проявления Халвданпигген, поэтому можно считать, что эрозионный срез для этого объекта в целом более глубокий, в то время как для проявления Ризефьелла можно предполагать большее распространение на глубину сульфидного оруденения, включая золото и висмут.

Все вместе позволяет описать несколько последовательных этапов истории формирования рудного поля Халвданпигген. Первый, среднерифейский, был связан с постультраметаморфическими процессами регионального метасоматоза, когда в ходе кислотного выщелачивания в метаморфических породах возникло убогое, но широко распространенное сульфидное оруденение. Позже, в ходе повторных движений вдоль глубинного разлома, в вендское или более позднее время (но до девона) в рифейских породах сформировались зоны брекчий, залеченные карбонатными и кварцевыми жилками с ремобилизованным сульфидным материалом.

Третий этап – средне-позднедевонский – является наиболее продуктивным и связан с процессами континентального рифтогенеза [7]. Тектоническая активизация, выразившаяся в данном районе в возобновлении движений вдоль древних разломов и заложении крупной впадины с континентальными красноцветными осадками, инициирова-

ло эндогенные процессы, которые привели к формированию рудных проявлений барит-полиметаллического типа. Источником рудного вещества на начальной стадии послужили, видимо, нижележащие комплексы фундамента. На этой стадии были образованы полиметаллические проявления меди, висмута, золота (и серебра). На поздней стадии были сформированы проявления барита (и флюорита), а источниками вещества в этом случае были глубокие слои литосферы, вплоть до мантии, что доказывается, в том числе, и парагенетической связью этих проявлений с дайками ультрабазитов [7].

Заключение. Подводя итог описанию рудного поля Халвданпигген и выявленных в его пределах рудопроявлений, надо отметить их структурное и генетическое сходство с рудными полями и проявлениями, описанными вдоль Брейбогенского разлома далее к югу [7]. Таким образом, выделенный здесь Брейбогенский рудный район характеризуется латеральной и вертикальной зональностью. Она выражается в последовательной смене с севера на юг среднетемпературных висмут-золотомедных проявлений на медно-золото-серебряные, а затем на низкотемпературные флюоритовые (см. рис.1). Такая же последовательность, вероятно, должна быть в вертикальном срезе, так как полиметаллические проявления поля Халвданпигген находятся на абсолютных отметках 160-500 м, медно-серебряные проявления Сигурд – на высоте 600-750 м, флюоритовое проявление Мораброеен – на высоте 800-900 м. Следуя этой логике, можно прогнозировать обнаружение новых полиметаллических проявлений в южной части Брейбогенского рудного района на низких гипсометрических уровнях. Поскольку эти площади в основном перекрыты ледниками и моренными отложениями, в качестве поискового метода надо предложить методы валунной съемки и шлихового опробования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Буров Ю.П.* Основные черты тектонического строения девонского грабена (остров Шпицберген) / Ю.П.Буров, Д.В.Семевский // Геология Свальбарда / НИИГА. Л., 1976. С.103-117.

2. *Вольфсон Ф.И.* Главнейшие типы рудных месторождений / Ф.И.Вольфсон, А.В.Дружинин. М.: Недра, 1982, 383 с.

3. *Евдокимов А.Н.* Новое рудопроявление меди на Шпицбергене // Докл. АН СССР. 1990. Т.314. № 4. С.915-918.

4. *Кораго Е.А.* Проблемы металлогении островных орогенов Европейской Арктики // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона / ВНИИОкеангеология. СПб, 1996. С.224-240.

5. Особенности вещественного состава и возраст кимберлитоподобных гипабиссальных пород архипелага Шпицберген / А.Н.Евдокимов, М.Ю.Бурнаева, Е.С.Радина, А.Н.Сироткин // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2004. Вып.4. С.115-125.

6. *Сироткин А.Н.* Проблемы металлогении и перспективы рудоносности Центрально-Шпицбергенской полиметаллической зоны // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона / ВНИИОкеангеология. СПб, 2006. Вып.6. С.39-48.

7. *Сироткин А.Н.* Минералогия и генезис рудопроявлений Центрально-Шпицбергенской полиметаллической зоны (о.Западный Шпицберген) / А.Н.Сироткин, В.В.Хайлов, Д.В.Никитин // Зап. РМО. 2007. Ч.136. № 5. С.76-93.

8. *Юшко С.А.* Методы лабораторного исследования руд. М.: Недра, 1984. 389 с.

REFERENCES

1. *Bourov Yu.P.* Principal outlines of tectonic structure of Devonian graben (Spitsbergen Island) / Yu.P.Bourov, D.V.Semevsky // Geology of Svalbard / NIIGA. Leningrad. 1976, pp.103-117.

2. *Volfson F.I.* Principal types of ore deposits / F.I.Volfson, A.V.Druzhinin. Moscow: Nedra, 1982. 383 p.

3. *Evdokimov A.N.* New copper ore occurrence at Spitsbergen // Reports of Academy of Sciences of the USSR. 1990. Vol.314. № 4, pp.915-918.

4. *Korago E.A.* Problems of metallogeny of island orogenic belts in European Arctic // Geological-geophysics characteristics of lithosphere in Arctic region / VNIIOkeangeologia. Saint-Petersburg, 1996, pp.224-240.

5. Peculiarities of composition and the age of kimberlite-like hypabissal rocks in Spitsbergen archipelago / A.N.Evdokimov, M.Yu.Burnaeva, E.S.Radina, A.N.Sirotkin // Complex study of the Spitsbergen Nature. Apatity: Kola Sc. Center of RASc., 2004. Issue 4, p.115-125.

6. *Sirotkin A.N.* Problems of metallogeny and prospects of ore-bearing capacity of the Central-Spitsbergen polymetallic zone // Geological-geophysics characteristics of lithosphere in Arctic region / VNIIOkeangeologia. Saint-Petersburg, 2006. Issue 6, pp.39-45.

7. *Sirotkin A.N.* Mineralogy and genesis of ore occurrences in the Central-Spitsbergen polymetallic zone (West-Spitsbergen Island) / A.N.Sirotkin, V.V.Khailov, D.V.Nikitin // Proceedings of the RMO. 2007. Part 136. № 5, pp.76-93.

8. *Yushko S.A.* Methods of laboratory study of ores. Moscow: Nedra, 1984. 389 p.