

УДК 553.2

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕРЕБРЯНО-МЕДНОГО РУДОПРОЯВЛЕНИЯ «СИГУРД» НА ОСТРОВЕ ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН

Евдокимов А.Н., Сироткин А.Н., Коробова Г.А.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет», Санкт-Петербург,
e-mail: evdokimov48@list.ru

Обнаруженное в 1990 году российскими геологами серебряно-медное рудопоявление на горе Сигурдфеллет острова Западный Шпицберген является одним из крупнейших на архипелаге. Генезис первоначально связывали исключительно с гидротермальной миграцией рудного вещества из вмещающих песчаников и алевролитов девонского возраста, однако последующие работы по изучению руды и окорудных пород фундамента дали новый фактический материал по геохимическим особенностям потенциальных источников металлов и обнаружили новую для этого проявления золоторудную минерализацию. Определено сходство геохимических ассоциаций проявления «Сигурд» с близлежащими мраморами верхнего протерозоя, как первого вероятного источника рудного вещества и второго, обусловленного карбонат-содержащими прослоями в нижнедевонских отложениях. Рудообразование, вероятно, обусловлено многоактными гидротермальными процессами и завершилось в период тектономагматической активизации в конце девонского времени.

Ключевые слова: Шпицберген, медь, серебро, золото, геохимия

GEOCHEMICAL FEATURES OF SILVER-COPPER ORE MINERALIZATION «SIGURD» ON THE ISLAND OF WEST SPITSBERGEN

Evdokimov A.N., Sirotkin A.N., Korobova G.A.

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, e-mail: evdokimov48@list.ru

One of the largest in the archipelago silver-copper mineralisation at Mount Sigurdfellet in West Spitsbergen Island was found in 1990 by Russian geologists. Genesis originally was associated exclusively with hydrothermal ore migration of a substance from the enclosing sandstone and siltstone of the Devonian age, but subsequent work on the ore and nearest rocks of the basement gave a new factual material on the geochemical characteristics of potential sources of metals and found new for this manifestation – gold mineralization. Similarity of geochemical associations manifestations of Sigurd with nearby upper Proterozoic marble as the first likely source of ore substance and the second caused by carbonate-containing streaks in Low Devonian sediments. Ore-formation, probably due to repeated hydrothermal processes and was completed in a period of tectono-magmatic activity of Jurassic-Cretaceous time.

Keywords: Svalbard, copper, silver, gold, geochemistry

Арктические острова представляют собой выступы континентальной земной коры над поверхностью морей. К ним относится и архипелаг Шпицберген, расположенный в северо-западном обрамлении Баренцева моря. Одним из открытых нами в 1990 г. на севере центральной части острова Западный Шпицберген (рис. 1) является рудопоявление меди и серебра «Сигурд» [1]. Оно располагается на южном склоне горы Сигурдфеллет, имеет превышение над уровнем моря от 400 до 900 м и является наиболее крупным по площади из всех обнаруженных на архипелаге.

В результате последующих геологоразведочных работ ресурсы металлов, оцененные в совокупности по нескольким близлежащим рудным объектам этого района, дают основание говорить о наличии здесь промышленно значимого месторождения [4].

Рудный участок приурочен к субмеридиональной зоне разломов Брейбоген, обрамляющей западный фланг крупной

грабенообразной структуры того же простиранья. В свою очередь формирование грабена обусловлено каледонскими тектоническими событиями, в ходе которых образовавшаяся рифтоподобная структура была заполнена конгломератами, песчаниками, алевролитами и маломощными карбонатными отложениями. Работы по геологическому картированию этого участка острова Западный Шпицберген позволили обнаружить еще несколько небольших рудопоявлений сульфидов меди, свинца, барита, флюорита, горного хрусталя, что позволило выделить здесь металлогеническую зону с рядом рудных полей в пределах терригенных отложений девонского возраста и обрамляющих грабен пород кристаллического фундамента [11].

На западном фланге рудопоявления «Сигурд» располагаются верхнепротерозойские кристаллические сланцы и мраморы, а центральная и восточная части сложены терригенным комплексом ниж-

недевонских песчаников и алевролитов с прослоями карбонатного состава (рис. 2). Контакт между протерозойскими и девонскими отложениями тектонический, фрагментарно карбонатизирован и дислоцирован с образованием брекчий.

Важно отметить, что рудная минерализация проявлена в основном в тектонических трещинах, разрывающих существенно карбонатные прослои в девонских песчаниках, при этом рудное вещество распространяется также и по напластованию карбонатных пород, что говорит о том, что карбонатные прослои служили геохимическими барьерами для разгрузки рудных гидротерм.

ца: блеклой руды, халькопирита, галенита в ассоциации с баритовой минерализацией. Главными жильными минералами являются кальцит, кварц, доломит, магнезит. Жилы выполняют трещинные рудоконтролирующие пространства, как правило, оперяющие главное – субмеридиональное направление зоны разломов Брейбоген. Поскольку рудовмещающие разломы пересекают нижнедевонские толщи, то очевидно, что рудообразование произошло уже в постранидевонское время. Однако по находкам сульфидных оруденений в докембрийских метаморфических породах архипелага Б. Флуд в 1969 г. [9] предположил

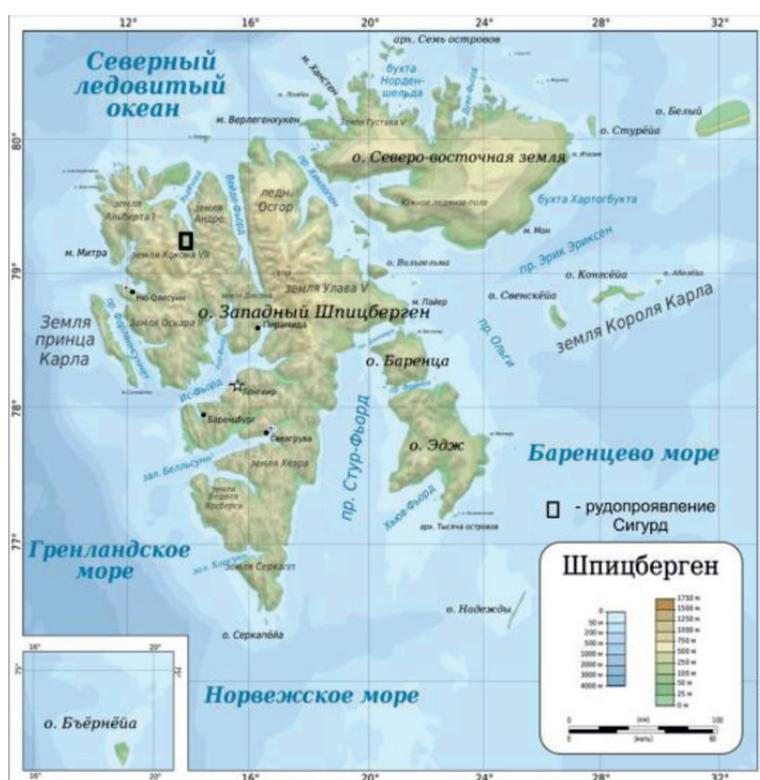


Рис. 1. Архипелаг Шпицберген и расположение рудопрооявления Сигурд

Магматическая активность на ближайшем удалении от рудных тел проявилась в четвертичное время в виде трубок взрыва и даек щелочного оливинового базальта, слагающих вершину горы Сигурдфьеллет. Геологических оснований по влиянию четвертичного вулканизма на формирование рудного вещества не наблюдается.

Рудопрооявление «Сигурд» представлено серией жил, выполняющих трещины в терригенных девонских отложениях и состоящие из сульфидов меди и свин-

целита, блеклой руды, халькопирита, галенита в ассоциации с баритовой минерализацией. Главными жильными минералами являются кальцит, кварц, доломит, магнезит. Жилы выполняют трещинные рудоконтролирующие пространства, как правило, оперяющие главное – субмеридиональное направление зоны разломов Брейбоген.

Анализируя изотопный состав серы из сульфидов, Т.В. Сигалстад и соавторы [2] установили, что включения сероводорода в сульфидах рудопрооявлений на горе Сигурдфьеллет острова Западный Шпицберген и острова Медвежий имеют одинаково низкие значения содержаний изотопа серы 34, такие же, как в эвапоритах пермского возраста. Более ранняя публикация А. Елле,

в 1962 г. содержит предположение о третичном возрасте рудопоявлений на западном побережье Шпицбергена [5]. Определения изотопных соотношений свинца из образцов галенита из нашей коллекции дали поздне-триасовый возраст – (210 + 10) млн лет [1]. Учитывая существенные погрешности этого метода, которые допустимы при определении абсолютного возраста, можно лишь утверждать, что датировка подтверждает постранинедевонский период рудообразования на горе Сигурдфьеллет, уже в собственно посткаледонское время. Вероятным тектоно-магматическим событием, с которым могли быть парагенетически связаны заключительные фазы гидротермальной

активности, – это внедрение на Шпицбергене даек щелочно-ультраосновных пород в D_3-C_1 время.

Таким образом, возраст сульфидного жильного оруденения на архипелаге оценивается в довольно широком диапазоне, начиная от раннерифейского [4] и завершая началом позднего палеозоя. Однако, возраст рудопроявления «Сигурд», исходя из геологического взаимоотношения с вмещающими породами ограничивается девонским временем, а данные по геологии всей зоны девонского грабена Шпицбергена указывают в качестве временного интервала рудообразования средне-позднедевонское время.

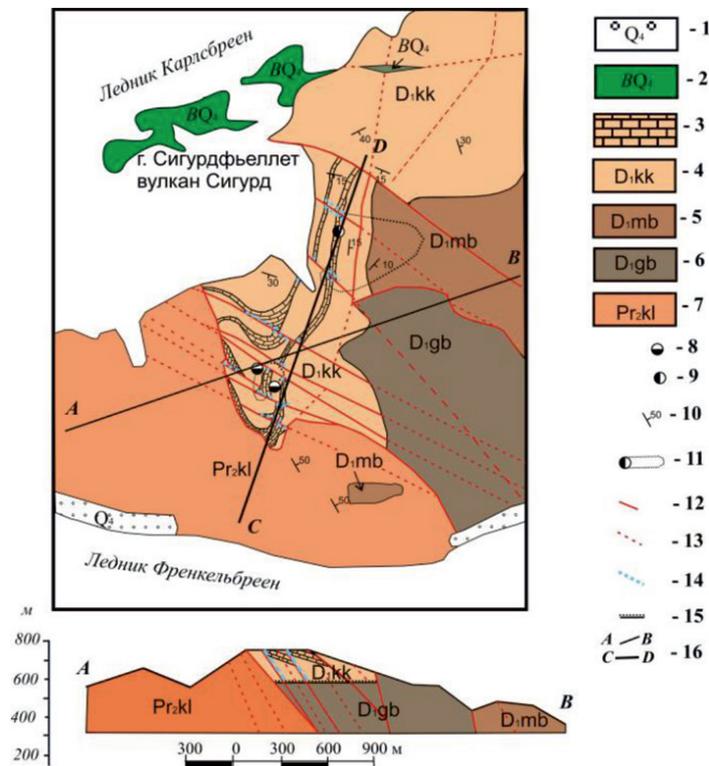


Рис. 2. Схема геологического строения серебряно-медного рудопроявления «Сигурд», где: 1 – современные моренные отложения ледников Френкельбреен и Вонбреен (Q_4); 2 – щелочные оливиновые базальты четвертичного возраста (вулкан Сигурдфьеллет – $Q_4\beta$); 3 – прослой карбонатного состава серо-зеленого цвета в девонских терригенных отложениях; 4 – красноцветные песчаники, алевриты с прослоями серо-зеленых известняков раннедевонского возраста, подсвита Кап-Кьелдсен серии Вуд-Бей (D_1kk); 5 – песчаники тонкозернистые серо-зеленые и конгломераты раннедевонского возраста, свита Монакобреен, серия Ред-Бей, нижний девон (D_1mb); 6 – конгломераты серые, полимиктовые, толща Германиябеккен, нижний девон (D_1gb); 7 – мраморы и кристаллические сланцы серии Кроссфьорд, свита Коллербреен, рифей (Pr_2kl); 8 – медная минерализация в коренных породах; 9 – свинцово-медная минерализация в делювиальных развалах; 10 – элементы залегания пород; 11 – ареалы рассеяния медно-серебряной минерализации; 12 – установленные тектонические нарушения; 13 – предполагаемые разломы; 14 – проявления жильной рудной минерализации; 15 – геологические границы несогласного залегания; 16 – положения профилей: AB – геологического и CD – геохимического на рис. 4

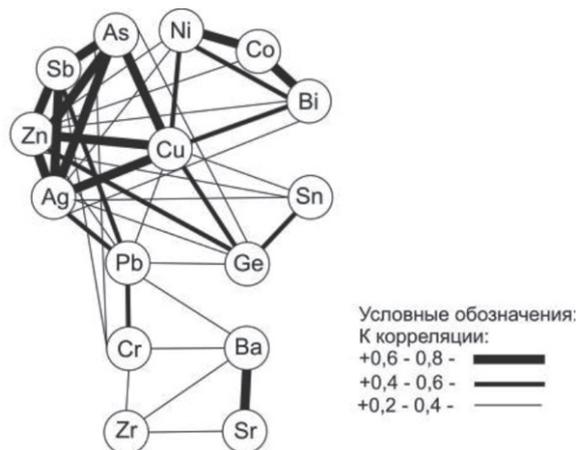


Рис. 3. Схема положительных корреляционных связей между макро- и микроэлементами рудопроявления «Сигурд»

Корреляционные связи между макро- и микрокомпонентами рудного вещества отражают схемы изоморфизма в кристаллических решетках рудных минералов, их парагенетические ассоциации, а также тенденции вторичных изменений. Корреляционный анализ был выполнен на группе из 53 образцов рудного вещества, а также вмещающих пород и околорудных метасоматических изменений. Его результаты приведены на схеме классификации положительных корреляционных связей (рис. 3).

Наиболее сильные связи между элементами показаны более жирными линиями. По этому признаку отчетливо выделяется шестиэлементная ассоциация: Cu, As, Ag, Sb, Zn и Pb. Её образование связано с распространенностью здесь главного рудного минерала меди – теннантита, крайнего мышьякового члена изоморфного ряда тетраэдрит-теннантит. Теннантит представляет собой сульфосоль меди – $Cu_{12}As_4S_{13}$ с примесями Sb, Bi, Fe, Zn, Ag, Hg, Co, Pb. Исследования взаимоотношений рудных минералов в аншлифах показали, что теннантит выделялся в ассоциации с халькопиритом ($CuFeS_2$), пиритом (FeS_2), галенитом (PbS) и сфалеритом (ZnS) на самой ранней стадии минералообразования. Отсюда установились устойчивые корреляционные связи между перечисленными элементами. Именно эти минералы выполняют основную рудную массу проявления, формируют первичный гипогенный минеральный комплекс.

Прочие ассоциации элементов связаны с главной рудогенной слабыми и умеренными положительными корреляционными свя-

зями и устойчивыми внутри каждой группы элементов. К ним можно отнести ассоциацию: Ba, Sr, Zr, Cr, Pb, характерную для баритовых жил ($BaSO_4$) и сопутствующей минерализации, в том числе серебросодержащего галенита, целестина ($SrSO_4$). Цирконий и хром изоморфно замещают катионы этих минералов. Баритовые и кальцитовые жилы с галенитом, как правило, располагаются в верхней части вертикального разреза рудопроявления, что вполне согласуется с общей закономерностью геохимической зональности в гидротермальных месторождениях полиметаллов.

В целом здесь надо обратить внимание на две важные особенности. Во-первых, это слабая связь Cu и Pb, что характерно для всех проявлений в зоне девонского грабена. Это может говорить о существовании двух или более стадий рудообразования, в которых эти элементы играли резко различную роль. Во-вторых, это слабая связь Cu и Ba, что является важным указанием на то, что баритовые проявления сформированы в отрыве от серебро-медных, вероятно позже и вместе с флюоритовыми. Это также может быть косвенным указанием о наличии разных источников вещества для рудных и нерудных проявлений.

Третья ассоциация образует группу из четырех элементов, в основе которой прочная связь между Ni и Co, а также Bi и Cu, связана с концентрацией халькозина (Cu_2S), замещаемого ковеллином (CuS). Изоморфные примесные элементы в халькозине: Ag, Co, Ni, As и Au. Эта ассоциация занимает самый нижний уровень в вертикальной

зональности гидротермального минералообразования, установленной В. Эммонсом и С.С. Смирновым [8].

Четвертая ассоциация представлена положительными связями между содержаниями: Zn, Ge, Cu и Sn. Германий присутствует в большинстве силикатных минералов и как изоморфная примесь содержится в сфалерите в некоторых случаях до 1000 г/т. Существуют сульфиды олова SnS и SnS₂ и природное соединение с медью и цинком в виде сульфида меди, цинка и олова, минерала кестерит – Cu₂ZnSnS₄. Представляется, что эта ассоциация элементов является родственной к первой – теннантитовой, но связана со сфалеритовым парагенезисом халькопирита.

Из структурных взаимоотношений рудных минералов в аншлифах из различных участков рудопоявления, а также с учетом установленных положительных корреляционных связей между минералообразующими элементами, намечается следующая последовательность кристаллизации главных рудных минералов: первыми кристаллизовались блеклые руды в ассоциации с халькопиритом, сфалеритом и галенитом, во вторую стадию формировались существенно борнитовые руды с подчиненным количеством пирита, халькопирита и халькозина и на третьем этапе минералообразования формировались халькозиновые, халькозин-ковеллиновые руды вторичного сульфидного обогащения, где халькозин замещается ковеллином; четвертый этап не имеет строгой временной привязки относительно первых трех, так как в разных частях проявления, особенно вблизи с мраморами рифейского возраста образуют жилы, выполненные баритом, и в меньшей степени целестином и кальцитом, пересекающие жильно-вкрапленные руды всех трех первых стадий минералообразования. Пятым и заключительным этапом минералообразования являются процессы зоны окисления, выражающиеся в нарастаниях на рудах азурита – Cu₃(CO₃)₂(OH)₂ и малахита Cu₂CO₃(OH)₂, соответственно, оба вторичных минерала меди не образуют самостоятельного комплекса корреляционных связей между рудными элементами. В зоне окисления также присутствует лимонит (Fe₂O₃ · x nH₂O), который развивается по пириту и халькопириту.

Наибольшим коэффициентом концентрации в рудопоявлении характеризуется серебро K_к = 218. Максимальные его содержания, оцененные методом полу-

количественного спектрального анализа, составили 500 и 617 г/т, а методом атомно-эмиссионной спектроскопии – 450,6 г/т. Отмечается постоянная сильная корреляционная связь серебра и меди во всех геохимических группах ассоциаций. Самое большое количество серебра обнаружено в бурноните (PbCuSbS₃) – 3920 г/т, меньше в галените (PbS) – 1940 г/т, а в блеклых рудах (Cu₁₂(AsSb)₄S₁₃), борните (Cu₅FeS₄) и халькозине Cu₂S) от 488 до 1900 г/т. Средние содержания серебра и меди были рассчитаны по данным аналитических работ разных лет и с учетом разных видов анализов, спектрального полуколичественного и атомно-эмиссионного. Средняя концентрация Ag = 124,9 г/т, Cu = 2,87%.

По ряду признаков рудопроявление «Сигурд» было отнесено [11] к колчеданно-полиметаллическому геолого-промышленному типу.

Типичными его представителями являются месторождения в Рудном Алтае и Казахстане: Орловское, Иртышское, Майкан и другие.

Как отмечалось выше, В. Эммонс [6] связывал зоны минералообразования с температурным режимом и впоследствии подвергся критике со стороны С.С. Смирнова, который выделял специализированные на руды интрузивные образования [8]. На примере ряда месторождений была установлена следующая последовательность концентраций элементов в ореолах от надрудной до подрудной частей: Sb – As – Ba – Ag – Pb – Zn – Cu – Bi – Sn – Co – Ni.

Разрез сложен тремя блоками пород, разделенными разломами. Южный представляет собой кристаллические сланцы и мраморы фундамента, пронизанные рудосодержащими жилами. Он отделен от центрального блока зоной разломов Брейбоген, ориентированный по азимуту 330° СЗ. Центральный блок сложен песчаниками, алевролитами и карбонатными прослоями свиты Кап-Кьелдсен нижнего девона. С карбонатными прослоями и участками брекчирования связаны основные проявления рудного вещества. Третий – северный блок является частью также терригенных и карбонатных отложений нижнего девона, включающие периферийный по отношению к рудопроявлению комплекс мелких рудосодержащих жил небольшой, в первые сантиметры, мощности.

Результаты спектрального полуколичественного анализа разных лет исследований, а также рентгено-флуоресцентный

в количестве 270 образцов показали хорошую степень сходимости, что позволило их использовать для построения трендовых поверхностей распределения главных и второстепенных рудных элементов в плоскости разреза, ориентированного в направлении 20°СВ, субвертикально. Последующее сопоставление положений аномальных содержаний анализируемых элементов дало обобщающую схему, которая представлена на рис. 4.

В полученном геохимическом разрезе на рис. 4 выделяется общая крупная зона меденосности, располагающаяся в нижней части южного – докембрийского и центрального – девонского блоков, обозначенная синим цветом, она является ядром более крупной аномальной зоны содержания меди, серебра, мышьяка. Подстилающая серебряно-медную аномалию зона обогащена хромом, что связано с приуроченностью проявления к зоне глубинного разлома. Обогащение хромом отмечается как в породах фундамента, так и в девонских породах, что свидетельствует о глубинном источнике рудного вещества, которое поставлялось в зону оруденения вдоль этого разлома и последующего распределения по

трещинным дислокациям оперяющих Брейбогенский разлом, ориентированным по азимуту 50–70°СВ.

Наличие аномалии хрома может быть обусловлено также в целом повышенным содержанием хрома во всей терригенной толще красноцветов, где в тяжелой фракции присутствуют хромсодержащие минералы: хромшпинелиды, хромдиопсид, а также оливин-продукт разрушения ультраосновных пород, обнаруженных нами в виде маломощных даек на южном продолжении зоны разломов Брейбоген в Экманфьорде [7]. Аномалия содержания хрома зафиксирована в ходе выполнения более ранних геологосъемочных работ в зоне глубинного разлома на восточном фланге девонского грабена, вблизи рудника Пирамида, в долине Мимердаллен, где выходят на поверхность отложения верхнего девона. Они содержат повышенные концентрации минералов тяжелой фракции ультраосновного парагенезиса. Кроме того, нельзя исключать наложенный характер хромовой аномалии, вызванный постмагматическими процессами перераспределения микроэлементов из вулканитов четвертичного возраста.

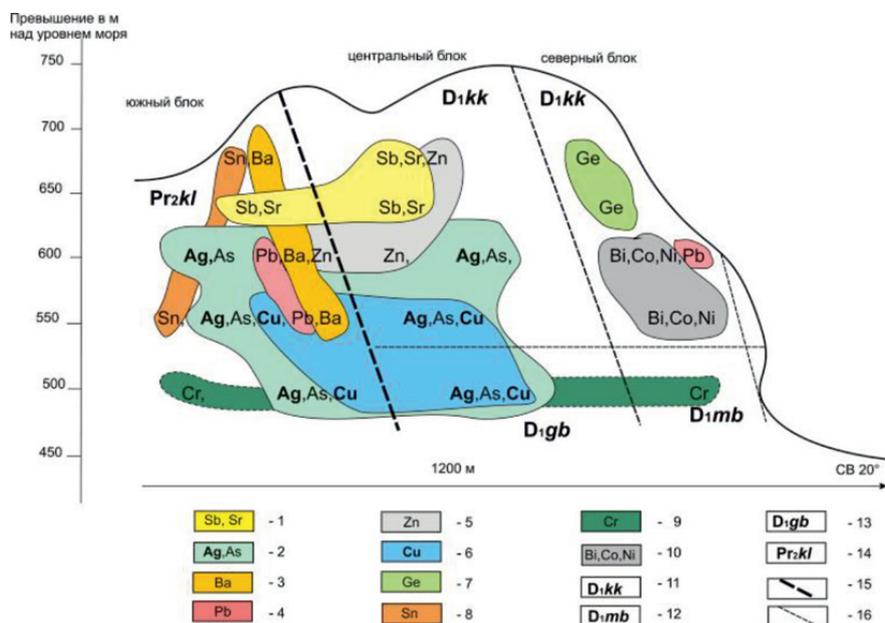


Рис. 4. Геохимическая зональность рудопоявления «Сигурд» по вертикали и по простиранию 20°СВ, где аномальные концентрации: 1 – сурьмы и стронция; 2 – серебра и мышьяка; 3 – бария; 4 – свинца; 5 – цинка; 6 – меди; 7 – германия; 8 – олова; 9 – хрома; 10 – висмута, кобальта и никеля; 11 – песчаники и известняки свиты Кан-Кьелдсен, нижний девон; 12 – песчаники и алевролиты свиты Монакобреен, серия Ред-Бей, нижний девон; 13 – конгломераты полимиктовые толщи Германиябеккен, нижний девон; 14 – мрамора и кристаллические сланцы свиты Коллербреен, верхний протерозой; 15 – глубинный разлом Брейбоген – тектонический контакт протерозойских и девонских отложений; 16 – тектонические дислокации в толще девонских пород

Особую позицию занимают аномалии содержаний висмута, кобальта и никеля в основании рудной зоны северного блока рудопроявления. Она обозначена на схеме серым цветом, как отмечено выше, эта ассоциация элементов обусловлена существенно халькозиновым типом минерализации и, в меньшей степени, халькопиритом, пиритом и теннантитом.

Наряду с хромом, аномалии никеля и кобальта характерны для подрудных частей разрезов любых медных гидротермальных месторождений. Здесь, в северном блоке, эти аномалии могут быть обусловлены относительно большим удалением от зоны глубинного разлома, так как они ориентированы субвертикально и субпараллельно зоне разломов Брейбоген.

Выше по разрезу расположены аномалии содержаний цинка, отчетливо приуроченные к зоне глубинного разлома, концентрации которого обусловлены проявлениями сфалерита (ZnS). На этом же уровне, ближе к контакту с протерозойскими мраморами локализованы аномалии распределения стронция и сурьмы. Первый обусловлен целестиновой ($SrSO_4$) минерализацией, которая ассоциирует с баритом ($BaSO_4$), а второй обусловлен изоморфной примесью Sb в арсенопирите ($FeAsS$), замещающей мышьяк.

На севере участка выделяется зона обогащения германием, который в качестве изоморфной примеси входит в структуру сфалерита. Эта зона расположена на том же стратиграфическом уровне, что и аномалии цинка в центральном и южном блоках.

В целом распределение геохимической зональности по вертикали отвечает установленным ранее на известных в мире месторождениях гидротермального генезиса, наблюдается изменчивость составов руд по латерали, по мере удаленности от главного рудопроводящего глубинного разлома Брейбоген, северный блок отличается по составу аномалий от центрального и южного блоков по типичной подрудной ассоциации: висмут, кобальт и никель.

В истории тектонических событий района рудопроявления происходили неоднократные перемещения отдельных блоков по вертикали с образованием зон брекчирования, участков взаимного пересечения рудных жил. Поэтому северный блок вполне мог испытывать относительное поднятие так, что зона халькозиновой минерализации из нижнего уровня была приподнята

вместе с блоком вмещающих песчаников девона на уровень главной рудной зоны центрального блока. Вторая, и возможно более вероятная, причина концентрации висмута, кобальта и никеля в северном блоке нижнедевонских отложений свиты Кап-Кьелдсен связана с процессом пропиллитизации, в ходе которого Ni и Co входят в состав первой стадии образования пирита, выделения которого на позднем этапе имеют ксеноморфный характер и в меньшей степени содержат примесные элементы.

Обнаруженная латеральная геохимическая зональность рудопроявления дает основание утверждать, что главный разлом Брейбоген, по которому контактируют протерозойские мраморы и девонские песчаники ($350^\circ C$) является рудоподводящим, а оперяющие, с простираниями в северо-восточных румбах, – рудовмещающими.

Южный и центральный блоки характеризуются ореолами распространения весьма сходных рудных элементов: $Ag - Pb - Zn - Cu$, при этом верхняя часть разреза обогащена минералами свинца, бария и мышьяка.

Одной из наиболее дискуссионных в гидротермальном рудообразовании является проблема источника рудных элементов. Ранее [1] мы считали, что источником меди и серебра, а также свинца, цинка и других элементов являлись вмещающие терригенные толщи девонского возраста с проявлением медной минерализации типа медистых песчаников. Однако более поздние работы [4, 11] свидетельствуют о вероятности докембрийских источников рудных элементов, которые широко проявлены в точках минерализации метаморфических пород кристаллического фундамента.

Для решения этой задачи были привлечены данные опробования и результатов химических анализов первичного рудного вещества рудопроявления «Сигурд», представленного в основном блеклой рудой и халькопиритом. Второстепенными рудными минералами являются: галенит, сфалерит, барит, ассоциирующие с кальцитом и кварцем. Вторичные минералы широко представлены малахитом и азурином, как показано на рис. 4. В качестве потенциальных источников рудного вещества были привлечены данные химического и микроэлементного составов красно- и сероцветных песчаников и алевролитов нижнего девона, рудоносные мраморы метаморфических пород свиты Коллербреен рифей-

ского возраста, рудопроявления полиметаллов в других районах архипелага.

По результатам анализов содержаний основных и сопутствующих рудных элементов в упомянутых выше породах: Ag, Cu, As, Sr, Ba, Ti, Cr, Co, Ni, Mo, Sn, Pb, Zn – были подсчитаны их средние количества и выполнен корреляционный анализ между составами потенциальных источников рудного вещества и составом руды проявления Сигурд. Результат помещен в таблицу.

Из таблицы следует, что максимальная величина коэффициента корреляции между составом рудного вещества рудопроявления «Сигурд» равна 0,90 с составом мрамора протерозойского возраста, обогащенным рудными минералами. Вторым по степени снижения корреляции с рудой является известняк из прослоев в свите Кап-Кьелдсен нижнего девона. Здесь отмечается также высокая степень корреляции – 0,80, что не позволяет исключать терригенную толщу девонского возраста из числа источников рудного вещества. Девонские конгломераты и песчаник зеленого цвета коррелируются по составу с рудным веществом в меньшей степени – 0,66 и 0,69, чем карбонатные прослои, к которым и приурочено оруденение.

Необходимо отметить, что в процессе корреляционного анализа главное влияние на результат оказывают не абсолютные значения содержаний элементов, а их величины соотношений. Особо следует отметить концентрации Sr, Ba и Ti, возрастающие в перечисленном порядке во всех изученных породах. Высокие содержания титана обусловлены такими минералами, как рутил, анатаз, сфен и лейкоксен, присутствующие

в тяжелой фракции даже в карбонатных протерозойских и девонских толщах. Sr и Ba входят в состав минералов, выполняющих трещины и пронизывающих также все отложения, кальцит-баритовые с целестином жилы.

Минимальные коэффициенты корреляции между составами мрамора протерозойского возраста и девонскими конгломератами и зелеными песчаниками, что говорит о том, что при их формировании происходило не только и не столько за счет разрушения близлежащих рифейских метаморфитов.

Осложняющими реконструкцию истории становления рудопроявления «Сигурд» являются факторы, влияние которых необходимо учитывать:

1 – вероятный процесс многостадийности рудоотложения и 2 – влияние на динамику миграции рудного вещества геохимических особенностей каждого из рассматриваемых элементов.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о преимущественном сходстве геохимических ассоциаций рудного вещества проявления «Сигурд» с близлежащими мраморами верхнего протерозоя, как первого вероятного источника рудного вещества и второго, обусловленного карбонат-содержащими прослоями в нижнедевонских отложениях. Циркуляция рудоносных растворов по глубинной зоне разломов Брейбоген происходила многократно и завершилась, вероятно, на рубеже девона и карбона, в период тектоно-магматической активизации на архипелаге, выраженной образованием полей даек щелочно-ультраосновного состава и D_3-C_1 возраста.

Результаты корреляционного анализа геохимических особенностей рудного вещества с потенциальными его источниками во вмещающих породах

Наименование пород	Количество проб	Коэффициенты корреляции				
		Рудное вещество	Известняк D_1kk	Песчаник зеленый D_1rb	Конгломерат D_1rb	Мрамор с рудным веществом Pr_2
Рудное вещество	31	1				
Известняк D_1kk	33	0,8	1			
Песчаник зеленый D_1rb	28	0,66	0,95	1		
Конгломерат D_1rb	10	0,69	0,97	0,99	1	
Мрамор с рудным веществом Pr_2	15	0,9	0,49	0,32	0,34	1

Список литературы

1. Евдокимов А.Н. Новое рудопроявление меди на Шпицбергене. Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 314, № 4. – С. 915–918.
2. Евдокимов А.Н. Позднепалеозойский щелочно-ультраосновной магматизм архипелага Шпицберген / Евдокимов А.Н., Сироткин А.Н., Чебаевский В.С. // Записки горного института. – 2013. – Т. 200. – С. 201–209.
3. Евдокимов А.Н. Вулканы Шпицбергена. – СПб, Изд.: ВНИИОкеангеология, 2000. – 123 с.
4. Сироткин А.Н. Проблемы металлогении и перспективы рудоносности Центрально-Шпицбергенской полиметаллической зоны // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. – СПб.: ВНИИОкеангеология, 2006. – Вып. 6. – С. 241–254.
5. Смирнов С.С. Некоторые общие вопросы изучения рудных месторождений. Изв.АН СССР, сер.геол. – 1946. – № 5. – С. 17–34.
6. Твердые полезные ископаемые архипелагов и островов арктической континентальной окраины Евразии / Гл. редактор В.Д. Каминский, отв. редакторы: В.И. Ушаков, В.Д. Крюков; ВНИИОкеангеология. СПб. Под. Ред.: В.Д. Каминского, В.И. Ушакова, В.Д. Крюкова. – СПб., ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», 2010. – С. 7–64.
7. Emmons W.H. Gold deposits of the World. New York – London. McGraw – Hill Book Company. 1937. – 562 p.
8. Flood B. Sulphide mineralizations within the Hecla Hoek complex in Vestspitsbergen and Bjornoya. Norsk Polarinstittut Arbok 1967, 1969. –P. 109–127.
9. Hjelle A. Contribution to the geology of the Hecla Hoek formation in Nordenskjold Land, Vestspitsbergen. Norsk Polarinstittut Arbok. 1961, Oslo, 1962. – P. 83–95.
10. Segalstad T.V. Stable isotope evidence for Ba-Pb-Zn vein mineralizations by fluid circulation in the sedimentary basin at Svalbard / Segalstad T.V., Sundblad K. & Kjærnet T. // Geological Survey of Finland Bulletin 2006, Special Issue 1. – P. 143.
11. Sundblad K. Source of lead in Mesozoic baryte-galena-sphalerite mineralization at Svalbard / Sundblad K., Andersen T., Kjærnet T., Segalstad T.V., Aasum L. & Wernigsen C. // Geological Survey of Finland Bulletin 2006, Special Issue 1. – P. 157.