

К. А. Новоселов

**СУЛЬФИДНЫЕ КСЕНОЛИТЫ В ДАЙКЕ ГАББРО-
ДИАБАЗОВ НА АЛЕКСАНДРИНСКОМ МЕДНО-
ЦИНКОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

К. А. Novoselov

**THE SULPHIDE XENOLITHES IN GABBRO-DIABASE DYKE
IN ALEXANDRINSKOE VMS DEPOSIT (SOUTH URALS)**

The unusual mineral associations in endocontact zone of diabase dyke has been characterised. There are a two structure types of disseminated ores: nodule-like chalkopyrite-galena ores and microimpregnation of sulphides with titanium oxides. Chalkopyrite and galena in nodules form eutectica intergrowthes. Their crystallisation occurred at temperature about 700 °C.

The mineralisation has the some similarities with mineralisation of Cu-Ti magmatic deposits. This fact allow to bring up the question about mechanism of forming of some magmatic deposits. The vast development of galena and the absence of ferrous sulphides and monosulphides are specific features of mineralisation.

Введение

Изучение взаимоотношений сульфидных руд с секущими породами дайкового комплекса чрезвычайно важно для понимания процессов метаморфогенных преобразований руд, связанных с пострудной магматической активностью региона.

Александринское медно-цинковое колчеданное месторождение локализовано в пределах Восточно-Магнитогорской палеоостровной дуги. Основная масса сульфидных руд, сосредоточенная в I рудном теле, ассоциирует с породами карамалыташского комплекса среднего девона, представленными эффузивами, вулканогенно-обломочными и пирокластическими разностями кислого состава и, согласно сложившимся представлениям [5], была сформирована при разрушении сульфидной постройки и последующем гальмиролизе. Рудное тело перекрывается базальтами, вулканогенными породами улутауского комплекса и интродуцировано дайками габбро-диабазов, амфиболсодержащих пород (рис. 1), которые

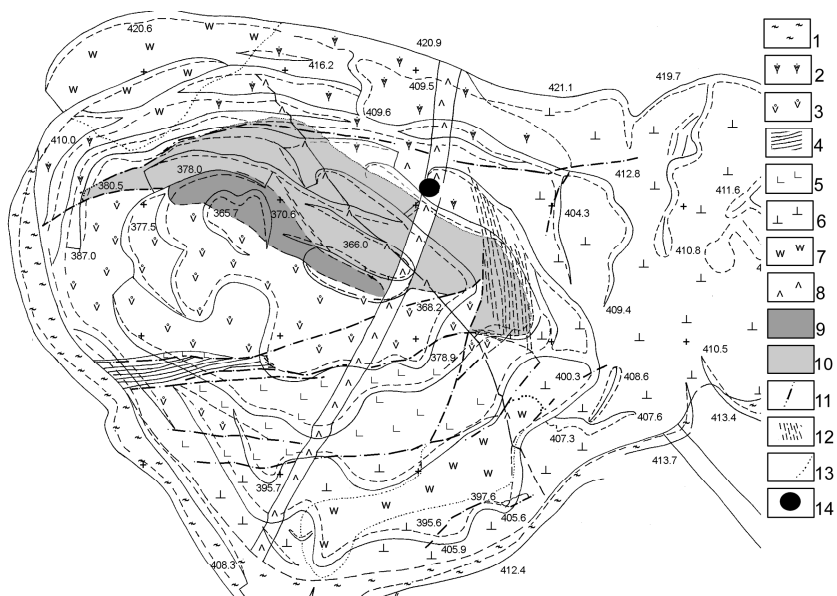


Рис. 1. Геологическая карта Александринского месторождения в границах карьера (Новоселов К. А., Белогуб Е. В., 1998):

1 – покровные суглинки, 2 – риодациты порфировые кварц-плагиоклазовые, 3 – базальты, 4 – песчаники вулканомиктовые, 5 – риолиты порфировые плагиоклазовые, 6 – фельзиты, 7 – окварцованные породы, 8 – дайки основного состава, 9 – руды массивные, 10 – руды вкрапленные, 11 – тектонические нарушения, 12 – зоны расланцевания, 13 – границы постепенные, 14 – место развития ксенолитов.

датируются ранним карбоном. Руды характеризуются несколько необычным для уральских колчеданных месторождений минеральным составом. Помимо пирита, халькопирита и сфалерита в значительных количествах здесь присутствуют галенит, борнит, блеклые руды. Описанная ниже сульфидная минерализация была выявлена в 1998 г. при систематическом изучении карьера месторождения.

Методы исследования

При изучении минеральных ассоциаций базовыми были методы рудной микроскопии и использовались микроскопы фирмы Carl Zeiss (Axiolab, Neofot 2, NU2). Высокая дисперсность частиц потребовала использование масляной иммерсии. Также был задействован метод магнитной порошкографии для поиска пирротина и/или магнетита, как возможных продуктов преобразования пирит-

та. Микротвердость минеральных фаз изучалась с помощью микротвердомера DUROMET фирмы Leitz (Институт минералогии УрО РАН) для диагностики и выявления возможных типоморфных особенностей минералов. Для характеристики силикатной матрицы, вмещающей рудную минерализацию, был проведен анализ прозрачных шлифов. Химический состав минералов получен на электронном микроскопе и микрозонде в Институте минералогии УрО РАН (РЭММА – с энергодисперсионной приставкой, аналитик В. А. Котляров), Hitachi S2500 и NewCameca (Natural History Museum, Лондон).

Характеристика образцов

В эндоконтакте субширотной дайки пироксеновых габбро-диабазов, в участке пересечения ею подрудных метасоматитов (рис. 1), были выявлены локальные вкрапления сульфидов, имеющие минералогический интерес.

Дайка габбро-диабазов пересекает все комплексы пород на участке месторождения, имеет мощность около 10 м и характеризуется субвертикальным падением на запад, юго-запад. Породы имеют массивную текстуру, мелкозернистую, интерсертальную структуру. Полевой шпат сохранился в реликтах, замещен агрегатом серицита. Размер лейст полевого шпата варьирует от сотых долей до 1.5 мм. Интерстиции между лейстами полевого шпата выполнены агрегатом крупночешуйчатого зеленого хлорита и кварца. В кварц-хлоритовом агрегате в значительном количестве (до 1–3 %) присутствует игольчатый хлор-апатит. Размер кристаллов по удлинению достигает 0.03 мм, в поперечнике не превышает 0.00n мм. Минерал был определен как хлор-апатит на основании качественного микрозондового анализа. Собственная рудная минерализация в габбро-диабазе не отмечалась, поэтому сульфидная вкрапленность была интерпретирована как ксенолиты.

Количество сульфидов в эндоконтакте дайки достигало 5–10 %, они были распространены на удалении до 1 м от контакта с метасоматитами. Сульфидная вкрапленность представлена двумя текстурными типами: нодулеподобными округлыми агрегатами и микроскопическими реликтовыми выделениями сульфидов. Форма нодулеподобных вкраплений обычно округлая или амебообразная, максимальный размер 2–4 мм. Вдоль внешней границы сульфидных выделений, как правило, наблюдается мелкозернистый агрегат кварца (рис. 2). Взаимоотношения сульфидов и кварца имеют апофизный характер: сульфиды «затекают» в интерстиции зерен кварца. Граница между агрегатом кварца и основной массой габбро-

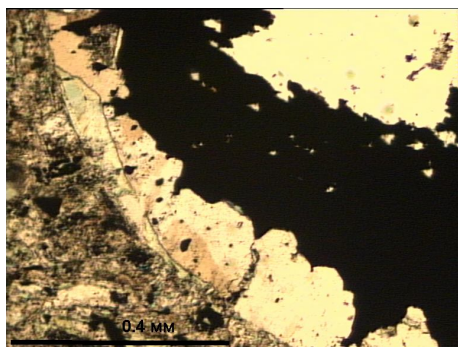


Рис. 2. Каемка мелкозернистого кварца окружающая халькопирит-галенитовые «нодули». Проходящий свет, шлиф 3017-2, николи параллельны.

диабазов резкая. Иногда наблюдается прорастание сульфидов идиоморфными чешуйками хлорита.

В составе «нодулей» преобладают галенит и халькопирит, редко отмечается блеклая руда. К границе с силикатной матрицей тяготеет барит, образующий идиоморфные кристаллы, как правило, с изометричными сечениями размером 0.002–0.005 мм. Последний, впрочем, часто встречается и вне связи с сульфидами. Галенит с халькопиритом образуют сложные взаимопроникающие сростания, обычно эмульсия галенита в халькопирите, иногда отмечаются субграфические структуры (рис. 3). Микротвердость галенита составляет в среднем 66.8 кг/мм² при стандартном отклонении 22.4. Микротвердость халькопирита 196.7 кг/мм² при стандартном отклонении 65.7. Химический состав как галенита (табл. 1), так и халькопирита (качественное определение) характеризуется



примесью цинка. В халькопирите также отмечена существенная примесь серебра, которым обогащены краевые зоны выделений. Мышьяковистая блеклая руда наблюдалась в виде тонкой каемки (видимая мощность ~ 0.01 мм) на границе халькопирита и кварцевого агрегата.

Помимо макроскопически видимых нодулеподобных включений порода насыщена большим количеством микроскопических

Рис. 3. Типичная форма «нодуля». Сростания галенита (светло-серый) и халькопирита (темно-серый) субграфические. Зарисовка с полированного шлифа.

Таблица 1

Химический состав галенита из сульфидных «нодулей» (мас. %)

№ п/п	S	Cu	Fe	Au	Zn	Pb	As	Ti	Sum
1	12.017		0.011	0.213		86.768	0.042	0.066	97.359
2	10.877	0.193	0.161			84.344		0.003	95.008
3	10.834			0.008	0.409	82.827			93.139
4	11.052			0.38	0.23	81.781	0.113	0.042	92.683

Примечание: микроанализатор Newcamesa, Natural History Museum (Лондон), аналитик Дж. Спратт.

сульфидных фаз, ассоциирующих с окислами. Сульфиды образуют вкрапленники, выполняют интерстиции между минералами силикатной матрицы, образуя сидеронитовые структуры. Здесь констатированы галенит, халькопирит, борнит, халькозин, ковеллин, гематит, титансодержащие фазы.

Галенит наиболее распространен и наблюдается в различных ассоциациях. Иногда он образует мономинеральные выделения неправильной формы в нерудной матрице, но обычно ассоциирует с борнитом, халькозином, блеклой рудой и титансодержащими фазами. Борнит, халькозин и блеклая руда развиваются по галениту в направлении от центра к периферии, галенит при этом характеризуется скелетными структурами. Иногда лейсты нерудных минералов прорастают выделения галенита.

Халькопирит в микроскопических выделениях встречается реже, обычно в ассоциации с халькозином, борнитом и ковеллином, которые его замещают. Халькозин и борнит обычно присутствуют в микроскопических зернах галенита и образуют различного рода текстуры замещения последнего.

Для описываемого объекта характерна постоянная ассоциация галенита, и реже – халькопирита и титансодержащей оксидной фазы. Во вмещающей матрице титановые фазы наблюдаются в значительных количествах в виде кристаллов короткостолбчатого, столбчатого, игольчатого габитуса размером до 0.05 мм по удлинению. Срастания сульфидов и титансодержащей фазы характеризуются решетчатой, ламеллярной структурой. При этом Ti-минерал образует ламеллы, либо вытянутые овальные зерна, закономерно сгруппированные в виде решетки (рис. 4). Часто наблюдаются решетчатые скопления минерала в нерудной матрице. Иногда кристаллы располагаются параллельно границе крупных включений сульфидов.

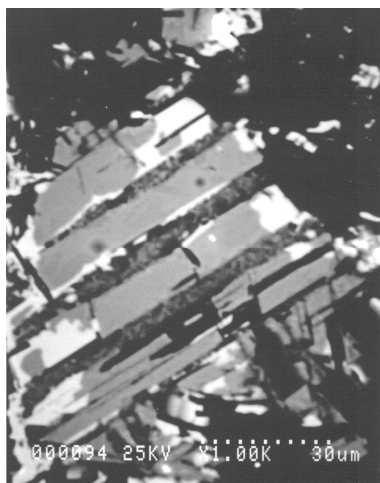


Рис. 4. Текстура замещения титановой фазой (черные ламелли) сульфидов: белое – галенит, светло-серое – борнит. SEM, Natural History Museum.

В проходящем свете титансодержащий минерал непрозрачен, редко просвечивает. В отраженном свете имеет серую окраску с голубоватым оттенком. Крайне неоднороден, всегда содержит включения галенита и/или других сульфидов. Отражательная способность минерала около 20%. Анизотропия заметная, внутренние рефлексии коричневатого-желтого до красного цвета иногда видны в воздухе и обычны в масле. Твердость близка к твердости кварца. Чрезвычайно тонкое прораствание титановых фаз с реликтовыми сульфидами не позволяет определить состав минерала. Содержания TiO_2 по данным микрозондового анализа достигают 79.04 вес. %. Титан не образует значимых положительных корреляционных связей с другими элементами. Близка к уровню значимости только связь $Ti-Zn$. Эта связь подтверждается сходной картиной распределения элементов (рис. 5). Отрицательные корреляционные связи титан образует с медью,

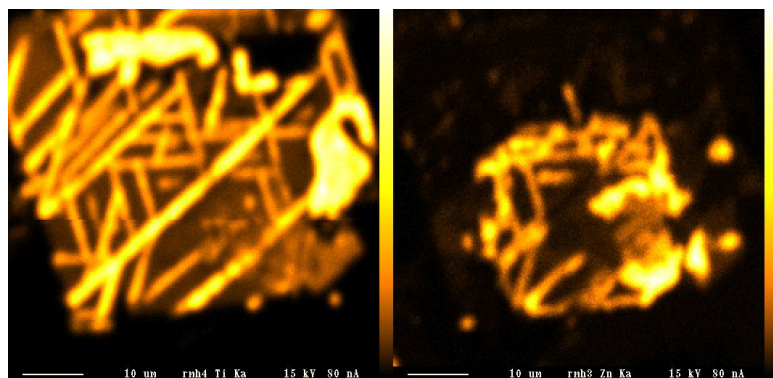


Рис. 5. Карты распределения Ti (слева) и Zn (справа) в микротрещинах сульфидов в габбро-диабазе. Светлые участки наиболее обогащены элементом. NewCameca, Natural History Museum.

серой и железом. На основании оптических характеристик, морфологии зерен и полученных данных о химическом составе минерал условно отнесен к железосодержащему рутилу.

Сидерит образует небольшие самостоятельные вкрапления в габбро-диабазе или может быть приуроченным к «нодулям». Для него характерны сильное двуотражение и обильные внутренние рефлексы в бесцветных и желтоватых тонах. Качественный химический анализ минерала указывает на присутствие в нем железа, цинка и марганца, иногда отмечается кальций. Текстурные особенности сидерита не позволяют рассматривать его как наложенный минерал, а обогащенность цинком на фоне отсутствия других цинковых минералов предполагает, что сидерит является эпигенетическим продуктом, образовавшимся вследствие разложения сфалерита.

Обсуждение результатов

Сульфидные нодулеподобные выделения можно рассматривать как продукт плавления, возможно, сегрегации и последующей кристаллизации ксенолитов сульфидных руд, захваченных дайкой при внедрении. Об этом свидетельствует округлая форма включений, субграфические «анхизвтектические» срастания халькопирита и галенита не типичные для руд месторождения и свидетельствующие об их близодновременной кристаллизации, возможно, из гомогенизированного расплава. Миндалекаменные текстуры для габбро-диабазов Александринского месторождения не отмечались, поэтому округлая форма включений не связана с выполнением сульфидами миндалин.

Наблюдавшиеся в природе максимальные температуры базальтовых лав варьируют от 1000 до 1250 °С. Халькопирит и галенит обладают температурами плавления 1000 и 1112 °С соответственно [2]. Вполне можно допустить преобразование сульфидной руды в условиях силикатного расплава. Плавление системы $\text{Cu}_2\text{S}-\text{FeS}-\text{PbS}$ было рассмотрено Г. Г. Уразовым и Н. Н. Ногиновым [3]. По их данным, эвтектика галенита и халькопирита наблюдается при температуре около 700 °С. При этом наиболее близким к наблюдаемому оказывается политермический разрез $\text{PbS}-(0.25\text{Cu}_2\text{S}+0.75\text{FeS})$, в котором количество фазы PbS составляет около 35 % (рис. 6). Среднее отношение количеств халькопирита и галенита в наблюдаемых «нодулях» равно 3.8 при стандартном отклонении 2.6.

Отличие микроскопических фаз от нодулеподобных вкраплений состоит в размере, отчетливом ксеноморфизме по отношению

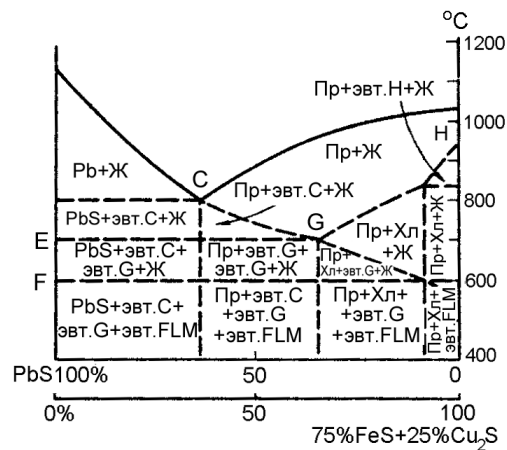


Рис. 6. Политермический разрез PbS-(0.25Cu₂S+0.75FeS) системы PbS-Cu₂S-FeS [3]. С – эвт. (пирротин + PbS); G – эвт. (халькопирит + PbS); FLM – эвт. (борн. тв. p-p + PbS); Н – эвт. (борн. тв. p-p + пирротин).

к силикатным минералам базиса, интенсивном замещении первых оксидными титановыми минера-

лами, борнитом, халькозином. Возможно, диспергированная при расплавлении сульфидная вкрапленность образует в последующем сегрегации по механизму образования нодулей магматических месторождений. Собственно термин «нодуль» применительно к описанной вкрапленности не применим, поскольку силикатный расплав не является рудогенерирующим. Часть сульфидного вещества кристаллизуется вне «нодулей» по механизму образования сидеронитовых структур, что возможно, объясняется микроскопическими размерами выделений и, соответственно, низкой теплоемкостью. Их высокая удельная поверхность способствует интенсификации процесса замещения.

Ассоциация сульфидов и минералов титана, типичная для магматогенных месторождений, также является косвенным доказательством того, что кристаллизация руд происходила из расплава. Титан и медь в магматическом процессе часто сопутствуют друг другу. Примеры их устойчивой связи наблюдаются на многих магматических медных и медно-титановых месторождениях. На Урале классическим объектом подобного типа является Волковское месторождение, где в габброидах сконцентрировано апатит-титаномагнетит-медносульфидное оруденение [7]. На Чинейском месторождении в Забайкалье пирротин, халькопирит и пентландит слагают главную массу вкрапленных руд эндоконтакта, цементируют породообразующие силикаты, образуя интерстиционную или сидеронитовую вкрапленность. Минералы этой ассоциации присутствуют также в виде рассеяной вкрапленности в центральных частях массива, приурочены к периферии или промежуткам зерен титаномагнетита [6]. Характерной особенностью является также

присутствие в рудах апатита, который, как правило, входит в состав медно-титановых руд локализованных в габброидных массивах.

Следует отметить, что в том же Александринском рудном районе есть Погорельское рудопроявление, где рудой является габбро с вкрапленностью борнита и халькопирита [1]. Источник рудного вещества рудопроявления вполне может быть связан с колчеданными рудами, ассимилированными габброидным расплавом.

П. Рамдор [4] описывает ассоциацию ильменита (или рутила) с сульфидами как пример, когда происходит замещение сульфидной фазой минерала-хозяина (титаномагнетита), не затрагивающее включений ильменита. Подобные явления им отмечены для руд Витватерсранда, Седбери и др.

Следует отметить, что, в отличие от первичных руд месторождения, пирит и сфалерит во включениях не отмечены, либо очень редки. Попытка найти возможные продукты преобразования пирита при плавлении – пирротин или магнетит, успехом не увенчалась. Температура разложения пирита составляет 600–689 °С [2]. Таким образом, диссоциация минерала при высоких температурах силикатного расплава весьма вероятна. Сера при этом могла уйти из системы, а железо войти в состав породообразующих минералов (хлорита). Вероятно, часть цинка также теряется в связи с сублимацией, которая происходит до плавления. Частично, цинк входит в состав сидерита, халькопирита и галенита как изоморфная примесь.

Выводы

Таким образом, пересечение рудной зоны дайкой габбро-диабазов привело к формированию необычных для месторождения минеральных ассоциаций в эндоконтактной зоне дайки. Часть сульфидов сконцентрирована в нодулеобразных включениях халькопирит-галенитового состава, окруженных кварцевой оторочкой, а часть распылена в массе породы. Халькопирит и галенит в «нодулях» образуют анхизвтектические сростания, температура их кристаллизация может быть оценена приблизительно как 700 °С.

Описанная выше минерализация несет некоторые черты сходства с магматическими месторождениями меди и титана, что позволяет ставить вопрос о механизме образования по крайней мере части магматогенных месторождений. Уникальность минерализации заключается в широком развитии галенита, с одной стороны, и отсутствии сульфидов, моносульфидов и оксидов железа, с другой.

Автор чрезвычайно признателен Е. В. Белогуб за обсуждение результатов работы и критику, Р. Херрингтону, Дж. Спратту и

В. А. Котлярову за помощь в микрозондовых и электронномикроскопических исследованиях. Работы были выполнены при поддержке грантов INTAS (проект 96-1699), «Университеты России» (направление «Кристалл»), РФФИ (№ 01-05-65329).

Литература

1. *Емельянов Ю. С., Юрецкий В. Н., Орловская Р. Е., Галич В. А.* Отчет о работах Верхне-Уральского геолого-съемочного отряда по уточнению геологических карт масштаба 1:50000, произведенных в Верхне-Уральском районе Челябинской области в 1959–62 гг. Челябинск, 1963. 635 с.
2. Минералы, т. 1. М.: АН СССР, 1960. 618 с.
3. Минералы. Диаграммы фазовых равновесий, вып. 1. М.: Наука, 1974. 514 с.
4. *Рамдор П.* Рудные минералы и их сростания. М.: Иностранная литература, 1962. 1132 с.
5. *Тесалина С. Г., Масленников В. В., Сурин Т. Н.* Александринское медно-цинково-колчеданное месторождение. Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. 228 с.
6. *Трунева М. Ф.* Эволюция рудообразующего процесса на Чинейском медно-сульфидном месторождении // Геология и геофизика, № 7. Новосибирск: Наука, 1982. С. 59–65.
7. *Фоминых В. Г., Клевцов Е. И.* Новые данные о геологическом строении, локализации и соотношениях различных генетических типов оруденения в Волковском габбровом массиве // Ежегодник-72. Свердловск: ИГГ АН СССР, 1972. С. 171–173.

