Научная статья
УДК 553.549.435
DOI 10.31084/2619-0087/2025-1-2

ТИПОХИМИЗМ ХАЛЬКОПИРИТА РУДНЫХ ДИАГЕНИТОВ КОЛЧЕДАННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОГО УРАЛА

В. В. Масленников

Институт минералогии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Южно-Уральского федерального научного центра Минералогии и Геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук, г. Миасс, Россия
mas@mineralogy.ru, https://orcid.org/0000-0002-1999-2324

На колчеданных месторождениях Южного Урала изучены рудные диагениты — продукты диагенетического преобразования сульфидных турбидитов полностью утративших свой обломочный облик за счет замещения халькопиритом рудокластов гидротермального пирита и сфалерита. Методом ЛА-ИСП-МС определены концентрации химических элементов в диагенетическом халькопирите применительно к различным рудно-формационным типам колчеданных месторождений Южного Урала, среди которых выделены [Серавкин, 2010]: 1) атлантический (Дергамыш); 2) домбаровский (Летнее) 3) уральский с тремя подтипами (У1 — Юбилейное, У2 — Яман-Касы, У3 — Молодежное), 4) баймакский (Александринское, Балта-Тау). Установлено, что в данном рудно-формационном ряду колчеданных месторождений в диагенетическом халькопирите убывают содержания Se, Co, Sn при возрастании концентраций As, Ba, Ag. Показано, что максимальными медианными содержаниями Te, Bi, Au, иногда Sn, характеризуется халькопирит рудных диагенитов месторождений уральского типа. При этом наиболее разнообразным по акцессорным минералам и богатым элементами-примесями является халькопирит рудных диагенитов, образовавшихся по продуктам разрушения черных курильщиков (месторождения Дергамыш и Молодежное).

Ключевые слова: Южный Урал, рудные диагениты, колчеданные месторождения, элементы-примеси в халькопирите

Благодарности: Автор благодарит С. П. Масленникову, Н. Р. Аюпову, Н. П. Сафину, А. С. Целуйко, И. Ю. Мелекесцеву, Г. А. Третьякова, Р. Р. Ларжа и Л. В. Данюшевского за помощь в многолетних исследованиях. Работа выполнена в рамках государственной бюджетной темы ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН «Геохимия минералогенеза в рудообразующих системах древних и современных островодужно-океанических комплексов» (№ 122031600292–6).

Original article

TYPOCHEMISTRY OF CHALCOPYRITE OF ORE DIAGENITES OF MASSIVE SULFIDE DEPOSITS IN THE SOUTHERN URALS

V. V. Maslennikov

Institute of Mineralogy — a subdivision of the Federal State Budgetary Institution of Science South Urals Research Center of Mineralogy and Geoecology

Для цитирования: *Масленников В. В.* Типохимизм халькопирита рудных диагенитов колчеданных месторождений Южного Урала // Геологический вестник. 2025. № 1. С. 16–36. DOI: 10.31084/2619-0087/2025-1-2

For citation: Maslennikov V. V. (2025) Typochemistry of chalcopyrite of ore diagenitesof massive sulfide deposits in the Southern Urals. *Geologicheskii vestnik*. 2025. No. 1. P. 16–36. DOI: 10.31084/2619-0087/2025-1-2

© В. В. Масленников, 2025

of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences, Miass, Russia
mas@mineralogy.ru, https://orcid.org/0000-0002-1999-2324

At the South Urals massive sulfide deposits, ore diagenites are products of diagenetic transformation of sulfide turbidites have almost completely lost their clastic appearance due to the replacement of hydrothermal pyrite and sphalerite ore clasts by chalcopyrite. The LA-ICP-MS method was used to determine concentrations of chemical elements in diagenetic chalcopyrite for various ore-formation types of massive sulfide deposits in the Southern Urals, among which (according to [Seravkin, 2010]) are distinguished: Atlantic (Dergamysh); 3) Ural with three subtypes (U1 — Yubileynoe, U2 — Yaman-Kasy, U3 — Molodezhnoe); 4) Baimak (Aleksandrinskoe, Balta-Tau). It has been established that in this ore-formation series of massive sulfide deposits, the contents of Se, Co, Sn decrease in diagenetic chalcopyrite, while the contents of As, Ba, Ag increase. It has been shown that the chalcopyrite of ore diagenites of Ural-type deposits is characterized by the maximum median contents of Te, Bi, Au and sometimes Sn. At the same time, the chalcopyrite of ore diagenites formed by the products of the destruction of black smokers (Dergamysh and Molodezhnoye deposits) turns out to be the most diverse in accessory minerals and rich in trace elements.

Keywords: Southern Urals, ore diagenites, massive sulfide deposits, trace elements in chalcopyrite

Acknowledgments: The author thanks S. P. Maslennikova, N. R. Ayupova, N. P. Safina, A. S. Tselyuko, I. Yu. Melekestseva, G. A. Tret'yakov, R. R. Larzh and L. V. Danyushevsky for assistance in long-term research. The research was financed by the state budget theme of the SU FRC MG UB RAS "Geochemistry of mineralogenesis in ore-forming systems of ancient and modern island-arc-ocean complexes" (№ 122031600292–6).

Введение

Вулканогенные колчеданные месторождения Урала уже много десятилетий подразделяются на три главных типа: 1) кипрский, ассоциирующий с офиолитами массива Троодос; 2) уральский, залегающий в риолит-базальтовых комплексах Магнитогорской и Тагильской палеостроводужных структур, 3) куроко, описанный в базальт-риолитовых комплексах на острове Хонсю [Иванов, 1983]. Считается, что каждому типу соответствует определенный состав колчеданных руд: на месторождениях кипрского типа доминируют медноколчеданные руды; для месторождений уральского типа характерны медно-цинково-колчеданные руды; признаком месторождений куроко типа являются барит-колчеданно-полиметаллические руды. На Урале баймакский тип рассматривается как близкий аналог типа куроко, а домбаровский тип нередко сравнивается с кипрским типом [Контарь, Либарова, 1997; Зайков и др., 2002; Серавкин, 2010, 2013; Контарь, 2013; Prokin, Buslaev, 1999]. Колчеданные месторождений Урала, относящиеся к разным типам, формировались в разнообразных вулканогенно-островодужных структурах, о чём свидетельствуют геологические и петрогеохимические данные [Серавкин, 1986, 2010, 2013; Серавкин и др., 1992, 1994; Серавкин, Косарев, 2019; Зайков, 2006; Прокин и др., 2011; Косарев и др., 2014; 2021, 2022; Prokin, Buslaev, 1999].

Несмотря на близкий состав вулканитов, каждый тип колчеданных месторождений Урала имеет свои особенности минерального и валового химического состава руд. Однако, ранее было отмечено, что составы колчеданных месторождений лишь на 40% коррелируют с составами вмещающих пород [Франклин и др., 1984]. Все это вызывает необходимость дробного подразделения типов колчеданных месторождений на подтипы. Так, в последние годы на Урале наряду с домбаровским типом выделяется атлантический (ивановский, ишкининский, дергамышский) тип кобальт-медно-колчеданных месторождений, приуроченный к районам доминирования альпинотипных ультрамафитов [Зайков, 2006; Мелекесцева, 2007; Серавкин, 2010, 2013]. Крупным достижением является выделение трех подтипов колчеданных месторождений уральского типа по преобладанию металлов: 1) Cu > Zn; 2) Cu < Zn; 3) Cu, Zn + Ba, As, Pb [Серавкин, 2010]. Баймакский тип характеризуется полиметаллическим составом руд [Серавкин, 2010].

Предполагается, что выявление причин разнообразия месторождений колчеданного семейства может быть осуществлено на основе сравнения типохимизма сульфидов рудных фаций. Такое сравнение стало возможным благодаря появлению высокопроизводительного и высокочувствительного метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой и лазерной абляцией (ЛА-ИСП-МС). К настоящему времени разработаны

критерии диагностики рудно-формационных типов колчеданных месторождений по типохимизму сульфидов гидротермальных труб древних и современных курильщиков [Maslennikov et al., 2017; Масленников и др., 2019].

Рудные диагениты являются продуктами преобразования тонкослоистых рудокластитов, почти полностью утративших признаки обломочного происхождения за счет преобразований на стадиях гальмиролиза и диагенеза [Maslenikov et al., 2019;]. Замещение рудокластов пирита халькопиритом в кровле слоев — генетическая особенность рудных турбидитов, указывающая на донные и придонные условия начальной стадии диагенеза [Сафина, Масленников, 2008]. Однако, все еще мало известно о типохимизме сульфидных диагенитов, принадлежащих к различным рудно-формационным типам колчеданных месторождений.

Задача данной статьи на основе результатов ЛА-ИСП-МС показать минералого-геохимические особенности халькопирита рудных диагенитов, принадлежащих к различным рудно-формационным типам колчеданных месторождений Южного Урала.

Краткая геолого-минералогическая характеристика месторождений

В данной статье для ЛА-ИСП-МС анализа халькопирита выбраны образцы рудных диагенитов колчеданных месторождений, принадлежащих к различным рудно-формационным типам: 1) атлантическому или ивановскому (Дергамыш); 2) домбаровскому (Летнее); 3) уральскому-1 (Юбилейное); 4) уральскому-2 (Яман-Касы); 5) уральскому-3 (Молодежное) и 6) баймакскому (Александринское, Балта-Тау). Предолагается, что типохимизм халькопирита отражает геологические и минералогические особенности представленных типов колчеданных месторождений.

Месторождение Дергамыш. Месторождение локализуется в пределах зоны Главного Уральского разлома (ГУР), включающего пластины ультрамафитов, базальтов и вулканогенно-осадочных отложений островодужного комплекса (D_1) [Зайков, 2006; Серавкин, 2010]. Подрудная толща месторождения представлена пластиной брекчированных серпентинитов, в кровле которых располагается сульфидное линзообразное тело с массивными и обломочными рудами (рис. 2). Надрудная толща также представлена пластиной брекчированных серпентинитов с линзами талько-

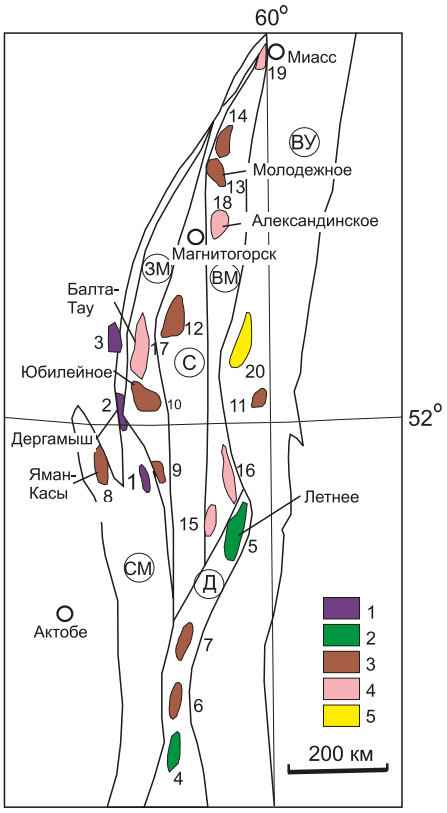

Рис. 1. Схема распространения колчеданных месторождений Южного Урала

Составлено с упрощениями по [Контарь, Либарова, 1997; Масленников, 1999; Зайков, 2006; Серавкин, 2010]

Условные обозначения: Колчеданоносные зоны (в кружках): СМ — Сакмарская, ЗМ — Западно-Магнитогорская, С — Сибайская, ВМ — Восточно-Магнитогорская, ВУ — Восточно-Уральская.

Колчеданоносные районы: 1 — Ишкининский, 2 — Ивановский, 3 — Юлукский, 4 — Жарлы-Ашинский, 5 — Домбаровский, 6 — Кундыздинский, 7 — Верхнеорский, 8 — Медногорский, 9 — Гайский, 10 — Бурибайский, 11 — Айдырлинский, 12 — Сибайский, 13 — Верхнеуральский, 14 — Учалинский, 15 — Ащебутакский, 16 — Теренсайский; 17 — Баймакский, 18 — Александринский; 19 — Миасский, 20 — Амурский.

Рудно-формационные типы колчеданных месторождений: 1 — атлантический (ивановский), 2 — домбаровский (кипрский), 3 — уральский (3 подтипа), 4 — баймакский (куроко), 5 — филизчайский.

Fig. 1. Scheme of position of massive sulfide deposits of the Southern

Compiled with simplification according to [Kontar, Libarova, 1997; Maslennikov, 1999; Zaikov, 2006; Seravkin, 2010].

Legend: Massive sulfide bearing zones (in circles): CM — Sakmara, ЗМ — West Magnitogorsk, C — Sibai, BM — East Magnitogorsk, ВУ — East Urals.

Massive sulfide bearing regions: 1 — Ishkinino, 2 — Ivanovka, 3 — Yuluk, 4 — Zharly-Asha, 5 — Dombarovka, 6 — Kundyzdy, 7 — Verkhneorsk, 8 — Mednogorsk, 9 — Gai, 10 — Buribay, 11 — Aydyrly, 12 — Sibai, 13 — Verkhneuralsk, 14 — Uchaly, 15 — Ashchebutak, 16 — Terensai; 17 — Baimak, 18 — Aleksandrinka, 19 — Miass, 20 — Amur.

Ore-formation types of massive sulfide deposits (rectangles) 1 — Atlantic (Ivanovo), 2 — Dombarovka (Cyprus); 3 — Urals (3 subtypes), 4 — Baimak (Kuroko), 5 — Filizchai.

карбонатных пород, блоков габброидов и долеритов. Серпентиниты перекрываются пластиной вулканомиктовых и полимиктовых песчаников с прослоями углеродистых алевролитов, силицитов и телами серпентинитов. На вулканомиктовой толще залегает пластина эффузивных тел андезитового, базальтового и андезибазальтового состава, перемежающихся с линзами углеродистых алевролитов. Геологический разрез завершается флишоидными отложениями зилаирской свиты с фтанитами и силицитами в основании разреза (мукасовский горизонт) (рис. 2).

Колчеданная залежь имеет форму линзы, и реконструирована как разрушенный сульфидный холм (рис. 3) [Зайков, 2006; Масленников и др, 2019]. Нижняя часть рудной линзы сложена гидротермально-метасоматическим серным колчеданом, образовавшимся по серпентинитам, В ядре холма появляются ячеистые линзы-диффузеры, сложенные перепончатыми агрегатами колломорфного пирита и псевдоморфозами пирита по кристаллам пирротина. Среди последних иногда встречаются многочисленные включения трубок оруденелых «червей». В верхней части и на флангах массивное и пористое ядро рудной залежи окружено сульфидными брекчиями, состоящими из обломков массивного и ячеистого серного колчедана или из фрагментов сфалерит-пирит-халькопиритовых и пирит-халькопиритовых гидротермальных труб. На выклинках рудных тел локализуются тонкослоистые сульфидные турбидиты и их халькопирит-пирротиновые и халькопиритовые рудные диагениты (рис. 4а). Обращают на себя внимание необычно высокие содержания Co (до 1.5 мас. %), Ni (до 869 г/т) и Te (до 194 г/т), определенные во всех разновидностях сульфидов. Эвгедральный пирит и халькопирит труб отличаются повышенными содержаниями Se, свойственными халькопириту современных черных курильщиков [Auclair et al., 1987]. В халькопирите встречаются микровключения касситерита, неопределенные сульфиды олова, а также самородное золото в ассоциации с катьерит-пиритом $(Co_{0.5}Fe_{0.5})S_2$ и баритом. [Масленников и др., 2019]. Данные о минеральном составе руд представлены в ряде работ [Исмагилов, 1962; Мелекесцева и др., 2020; Maslennikov et al., 2019].

Халькопиритовые диагениты отличаются от гидротермального халькопирита гораздо большим разнообразием кобальтовой и никелевой минерализации, а также присутствием теллуридов (табл. 1).

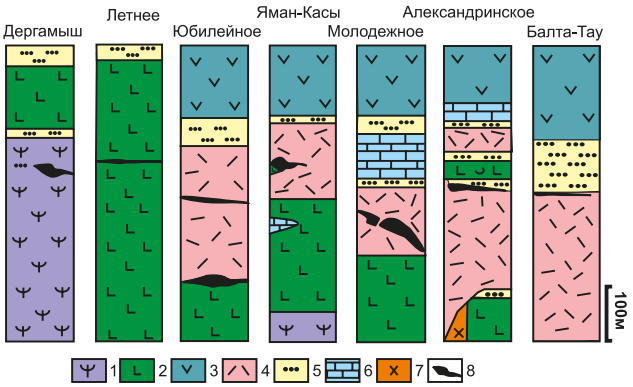

Рис. 2. Схематические геологические колонки колчеданных месторождений

Составлены с использованием данных публикаций [Исмагилов, 1988; Лядский и др., 1988; Зайков, 2006; Серавкин, 2010; Maslennikov et al., 2019].

Условные обозначения: 1 — ультрамафиты; 2 — толеиты и бониниты и их гиалокластиты; 3 — андезиты и андезибазальты и их гиалокластиты; 4 — андезидациты, дациты, риодациты и риолиты; 5 — вулканогенно-осадочные породы; 6 — известняки; 7 — плагиограниты; 8 — колчеданные залежи.

Fig. 2. Schematic geological columns of the massive sulfide deposits

Compiled using data from [Ismagilov, 1988; Zaikov, 2006; Seravkin, 2010; Maslennikov et al., 2019].

Legend: 1 — ultramafic rocks; 2 — toleiites and boninites and their hyaloclastites; 3 — andesites and basaltic andesites and their hyaloclastites; 4 — andesidacites, dacites, rhyodacites and rhyolites; 5 — volcanogenic-sedimentary rocks; 6 — limestones; 7 — plagiogranites; 8 — massive sulfide deposits.

Месторождение Летнее. Летнее месторождение приурочено к рифтоподобной структуре Домбаровской палеовулканической зоны, заложенной на сиалическом основании, магматизм в которой вулканизм эволюционировал от континентального рифтогенного до островодужного [Серавкин и др., 1992 Серавкин, 2010]. Восемь пластообразных рудных тел локализуются среди базальтов (рис. 2). Основной объем рудных тел составляют полосчатые и линзовидно-полосчатые сульфидно-магнетитовые руды (рис. 4б). Медноколчеданные руды переслаиваются с хлоритолитами, хлорит-магнетитовыми, гематит-маггемит-магнетитовыми породами и окварцованными силицитами. Судя по знакам нагрузки и ритмичной градации обломковидных пиритовых обособлений, слоистые руды представляют собой сульфидные турбидиты, преобразовнные в халькопирит-пирит-магнетитовые диагениты *[Масленников и др., 2014]*. М*агнетит в диагенитах содержит реликтовые включения пирита [Масленников и др., 2024].* Второстепенные

и редкие минералы руд представлены халькозином, ковеллином, борнитом, молибденитом, галенитом, галенит-клаусталитом, пирротином, маккинавитом и кубанитом [Лядский и др., 1988] и кобальтином [Масленников и др., 2014]. Пирит, кроме высоких содержаний кобальта (до 0,12 мас. %), обогащен Pb (65–2074 г/т) и Mo (21–184 г/т). Как правило, в этом пирите угадываются реликтовые структуры первичного пирротина. Предполагается, что основная часть Mo осаждалась на электрохимическом барьере при окислении пирротина и формирования псевдоморфного пирита. [Масленников и др., 2014]. Псевдоморфный магнетит также характеризуется повышенными содержаниями Mo (84–264 г/т) [Масленников и др., 2014, 2024].

Месторождение Юбилейное. Юбилейное медноколчеданное месторождение расположено на северо-западном продолжении Маканско-Мамбетовской зоны растяжения внутри Западно-Магнитогорского пояса (D_2e_2 — D_2ef-zv — D_3f_1) сформированного над зоной субдукции восточного падения и принадлежат фронтальной энсиматической островной дуге верхнеэмсско-раннеэйфельского возраста [Косарев и др., 2014, 2021, 2022]. Месторождение формировалось в кальдере крупного вулкана центрального типа [*Серавкин*, 1986]. Основные рудные тела Юбилейного месторождения расположены на границе базальтовой (br_1^2) и кислой (br_1^3) толщ, а относительно мелкие рудные тела локализованы в пределах кислой третьей толщи (рис. 2). Месторождение относится к подтипу U — 1 уральского типа, который характеризуется преобладанием Cu над Zn [Серавкин, 2010; Прокин и др., 2011; Серавкин, 2013]. На месторождении установлено шесть рудных залежей линзообразной формы. Рудная залежь № 2 реконструирована как разрушенный рудный холм [Целуйко и др. 2017, 2019]. Ядро холма состоит из массивного серного колчедана, который к кровле сменяется поистыми агрегатами колломорфного пирита с оруденелыми трубчатыми «червями». Склоны холма сложены сульфидными брекчиями, содержащими фрагменты массивного и колломорфного серного колчедана, обломки пирит-халькопиритовых, сфалерит-тальк-карбонат-пирит-халькопиритовых и халькопирит-пирит-сфалеритовых гидротермальных труб, представляющих соотвественно черные, серые и бесцветные курильщики [Целуйко и др., 2019; Масленников и др, 2019]. Пирит оболочек труб характеризуется повышенными содержаниями (г/т): Ni (6.1–80.2), Ag (87.6–302), Au (6–29, Te (71–408), Pb (185–991), связанными с микровключениями самородного золота, галенита и теллуридов. Содержания Se в халькопирите меняются от 700 до 20 г/т в ряду от пирит-халькопиритовых к халькопирит-пирит-сфалеритовым трубам. Повышенные содержания Bi, Te, Au, Ag, Hg связаны с микровключениями теллуровисмутитf, гессита, колорадоита и и смородного золота. В сфалерите присутвуют золото-галенит-теннатитовые микровключения. На выклинках залежи № 2 руды становятся слоистыми с постепенным переходом от сульфидных турбидитов к сфалерит-халькопирит-пиритовым и халькопирит-пиритовым рудным диагенитам. В рудоконтролирующем вулканогенно-осадочном горизонте пирит-халькопиритовые диагнетиты переслаиваются с серыми и розовыми кремнистыми породами (рис. 4 г) [Целуйко и др., 2019]. В рудных диагенитах встречается гораздо больше разновидностей акцессорных минералов, чем в гидротермальных трубах (табл. 1).

Месторождение Яман-Касы. Медногорский колчеданоносный район является частью Сакмарской палеовулканической зоны. Предполагается, что она заложилась в стадию континентального рифтогенеза в кембрии или начале ордовика. На начальной стадии раскрытия бассейна проявился трахибазальтовый вулканизм афарского типа, тогда как силур и девон характеризуются вулканизмом раннеостроводужной или окраинно-морской стадии развития [Серавкин и др., 1992]. Яман-Касинское медно-цинково-колчеданное месторождение является типичным представителем медно-цинково-колчеданных месторождений уральского типа [Еремин,1983] и У — 2 подтипа (Zn>Cu) [Серавкин, 2010]. В карьере месторождения Яман-Касы вскрыты нижняя и средняя толщи блявинского комплекса. Наиболее низкое стратиграфическое положение занимают гидротермально-преобразованные риодациты. К лежачему боку рудного тела примыкает оруденелый поток базальтового состава. В кровле рудного тела располагается эффузивно-лавокластическая толща сложного строения с потоками лав и ксенокластолав риолитового или базальтового составов, перемежающимися с лавокластитами и кремнисто-железистыми породами. Разрез завершается гиалокластитами андезибазальтового состава.

Рудная залежь имеет линзовидную форму и наклонена на запад под углом 30–60° согласно напластованию пород. Это сооружение реконструировано как сульфидный холм [Зайков и др., 1995]. Нижняя часть холма сложена массивным серным колчеданом, фиксирующим положение рудоподводящего канала. В ядре холма в массивной

халькопирит-пиритовой руде содержится множество жил сфалерита и барита. Рядом с колониями оруденелых организмов встречаются реликты запечатанных палеогидротермальных сульфидных труб, залегающих in situ. Фрагменты этих же труб входят в состав сульфидных брекчий, локализующихся на склонах гидротермальной постройки. По своему строению трубы сопоставимы с современными черными, серыми и бесцветными курильщиками [Масленникова, Масленников, 2007; Масленников и др. 2019]. В халькопирите труб встречаются многочисленные и разнообразные теллуриды Fe, Co, Ag, Au, Fe, Hg, Pb, Bi, Co (фробергит, сильванит, гессит, штютцит, эмпрессит, петцит, теллуровисмутит, алтаит, волынскит, колорадоит), сульфоарсениды (леллингит, кобальтин), самородное золото и самородный теллур, тогда как в сфалерите бывает много галенита, тетраэдрит-теннатита, в кварце труб встречается голдфидит [Масленникова, Масленников, 2007]. На южном выклинивании рудной залежи нарастает количество сульфидных турбидитов, частично превращенных в пирит-халькопиритовые диагениты (рис. 3, 4д). В халькопиритовых диагенитах, теллуриды и арсениды встречаются реже при преобладании галенита и тетраэдрит-теннантита, самородного теллура с ассоциации с самородным золотом, встречается самородная сурьма (табл. 1) [Maslennikov et al., 2019].

Месторождение Молодежное. Молодежное медно-цинково-колчеданное месторождение расположено в восточной части Узельгинского рудного поля в Верхнеуральском рудном районе Восточно-Магнитогорской дуги [Зайков, 2006]. В геологическом разрезе месторождения выделяются следующие толщи, относимые к карамалыташской свите (D_2e-gv (снизу-вверх): 1) базальтовая подрудная; 2) риодацитовая рудовмещающая; 3) риолитовая надрудная (рис. 2) Перекрывающая улутауская свита представлена двумя толщами: нижняя сложена андезитами, известняками и вулканомиктовыми песчаниками, верхняя — алевролитами и песчаниками, перемежающимися с потоками андезитов. Месторождение относится к подтипу У — 3 уральского типа, поскольку, кроме Cu и Zn, обогащено Ba, As и Pb, приближаясь в этом отношении к месторождениям баймакского типа [Серавкин, 2010].

Первая рудная залежь имеет форму линзы, которая может быть реконструирована как сильно эродированный сульфидный холм (рис. 3). В центральной части залежи располагаются массивные, однородные по текстурам и распределению минералов, сфалерит-халькопирит-пиритовые руды. Кластогенные сульфидные руды залегают в кровле и на южной выклинке первой рудной залежи, а также почти полностью слагают второе рудное, которое является фрагментом выклинки сульфидного холма. Сульфидные брекчии, тяготеющие к склонам рудного холма, содержат обломки массивного медного колчедана, биоморфных пирититов или фрагменты пирит-сфалерит-халькопиритовых труб курильщиков. С удалением от осевой части холма сульфидные брекчии преходят сульфидные турбидитами, которые постепенно сменяются халькопиритовыми (рис. 4е), теннантитовыми, баритовыми и борнитовыми диагенитами, перекрытые гематитовыми, хлорит-гематитовыми и магнетит-гематитовыми госсанитами.

В подрудных прожилково-вкрапленных рудахи обнаружены многочисленные теллуриды: теллуровисмутин, колорадоит, эмпрессит, алтаит и гессит, в качестве акцессорных минералов встречаются пирротин и арсенопирит. В сульфидных трубах встречаются многочисленные включения алтаита-цумоита, гессита и кобальтина, галенита, теннантита, самородного золота и касситерита Гидротермальный *халькопирит* труб Молодежного месторождения характеризуется значительными вариациями типичных элементов высокотемпературной ассоциации (г/т): Se (117–2153), Sn (8–1807), Co (0–969) и Te (5–3191) По максимальным содержаниям Se сфалерит-пирит-халькопиритовые трубы ближе к современным черным курильщикам, а пирит-халькопирит-сфалеритовые — к серым или темно-серым курильщикам (Масленников и др., 2019). Диагенетические теллуриды и алтаит обнаружены в халькопиритовых диагенитах [Maslenikov et al., 2019]. В диагенетическом халькопирите диагностированы клаусталит, науманнит и рокезит (Аюпова и др., 2017). В борнитовых диагенитах, кроме барита и теннантита, распространены моусонит, арсеносульванит, станноидит, колусит, ялпаит, штромейерит, самородное золото, германит, энаргит, макинстриит и ялпаит (табл. 1).

Месторождение Александринское. Александринский рудный район расположен в северной части Восточно-Магнитогорской палеоостровной дуги [Серавкин, 2010]. В районе месторождения в разрезе карамалыташского комплекса выделяются три толщи (снизу-вверх): 1) базальтовая подрудная мощностью более 100 м; 2) риодацитовая микропорфировая рудовмещающая, мощностью 100–200 м; 3) базальт-риолитовая порфировая

надрудная, мощностью 100 м (рис. 2). Рудоносный карамалыташский комплекс перекрывается известняками, роговообманково-плагиоклазовыми андезитами, андезидацитами, пироксеновыми андезибазальтами и флишоидными отложениями смешанного состава. В рудовмещающей толще широко распространены сульфидно-серицит-кварцевые метасоматиты. Месторождение относится к баймакскому Ba-Pb-Cu-Zn типу, месторождения которогов отличие от месторождений куроко типа, сформированного вусловиях зрелых островных дуг с континентальной корой, формировались в «раннеостроводужных сериях, наращивающих бимодальные комплексы ранних стадий островодужного режима» [Серавкин, 2010].

В северной части Главного рудного тела установлены реликты разрушенной придонной гидротермальной постройки (рис. 2), сложенной богатыми пирит-халькопиритовыми и сфалеритовыми массивными и пятнистыми рудами, содержащими реликты многочисленных халькопиритовых, барит-пирит-халькопиритовых и барит халькопирит-сфалеритовых палеогидротермальных труб, залегающих *in situ* [Масленникова, Масленников, 2007]. Сульфидная постройка служила источником рудокластического материала, который слагает более 90% объема руд. Периферический рудокластический «веер», представленный сульфидными брекчиями и турбидитами, постпенно сменяется халькопиритовыми, борнитовыми, сфалеритовыми и баритовыми диагенитами.

Гидротермальные трубы по невысоким содержаниям Se в халькопирите, являются аналогами современных серых и бесцветных курильщиков Западной Пацифики [Масленников и др., 2019]. Второстепенными минералами фрагментов хапирит-халькопирит-сфалеритовых труб являются цинковый теннантит, галенит, кальцит, иногда борнит. В осевой части некоторых труб кристаллы сфалерита содержат мелкие включения самородного золота и гессита [Масленникова, Масленников, 2007]. Гораздо более разнообразные акцессории встречаются в рудных диагенитах (табл. 1)

Месторождение Балта-Тау. Месторождение Балта-Тау локализуется в северной части Западномагнитогорской дуги в кровле гидротермально-преобразованной андезидацитовой толщи ($D_1ebb_2^3$), содержащей многочисленные прожилки и вкрапленность сульфидов. В надрудной толще преобладают тефротурбидиты андезито-базальтового состава с многочисленными прослоями зеленых,

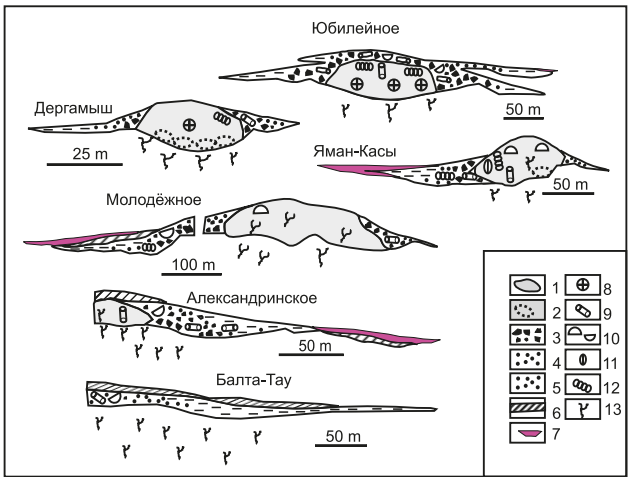

Рис. 3. Позиция рудных турбидитов и диагенитов на рудно-фациальных реконструкциях некоторых типовых колчеданных месторождений Южного Урала

По результатам картирования карьеров с изменениями [Масленников, Зайков, 2006; Целуйко и др., 2017, 2019; Maslennikov et al., 2019].

Условные обозначения: 1 — массивные гидротермально-преобразованные руды; 2 — гидротермально-метасоматические руды по серпентинитам; 3 — сульфидные брекчии; 4 — сульфидные турбидиты и диагениты; 5 — тонкослоистые сульфидные диагениты; 6 — баритовые диагениты; 7 — гематитовые диагениты; 8 — гидротермальные каналы; 9 — донные гидротермальные трубы; 10 — донные пиритовые гидротермальные корки; 11 — оруденелые моллюски; 12 — оруденелые трубчатые черви; 13 — сульфидный штокверк.

Fig. 3. Position of ore turbidites and diagenites on ore-facies reconstructions of some typical massive sulfide deposits of the Southern Urals

Based on open-pit mapping [Maslennikov, Zaikov, 2006; Tselyuko et al., 2017, 2019; Maslennikov et al., 2019].

Legend: 1 — massive hydrothermally altered ores; 2 — hydrothermal-metasomatic ores after serpentinites; 3 — sulfide breccias; 4 — sulfide turbidites and diagenites; 5 — thin-layered sulfide diagenites; 6 — barite diagenites; 7 — hematite diagenites; 8 — hydrothermal channels; 9 — bottom hydrothermal chimneys; 10 — bottom pyrite hydrothermal crusts; 11 — mineralized mollusks; 12 — mineralized tube worms; 13 — sulfide stockwork.

белых и розовых кремнистых пелитолитов (туфитов) и яшм (D_1eir) [Серавкин, 1986; Исмагилов…, 1988; Салихов и др., 2010].

Рудная залежь месторождения Балта-Тау имеет форму пластообразной линзы полностью разрушенной гидротермальной постройки (рис. 3). Сплошные руды обладают полосчатой, линзовидно-полосчатой, сланцеватой и текстурой рудных диагенитов Полосчатая текстура обусловлена либо чередованием полосок халькопиритового, галенитового и сфалеритового составов (рис. 4з). В обломках пирит- халькопиритовых труб редких минералов не обнаружено. Акцессорные минералы в рудных диагенитах этого месторождения не так

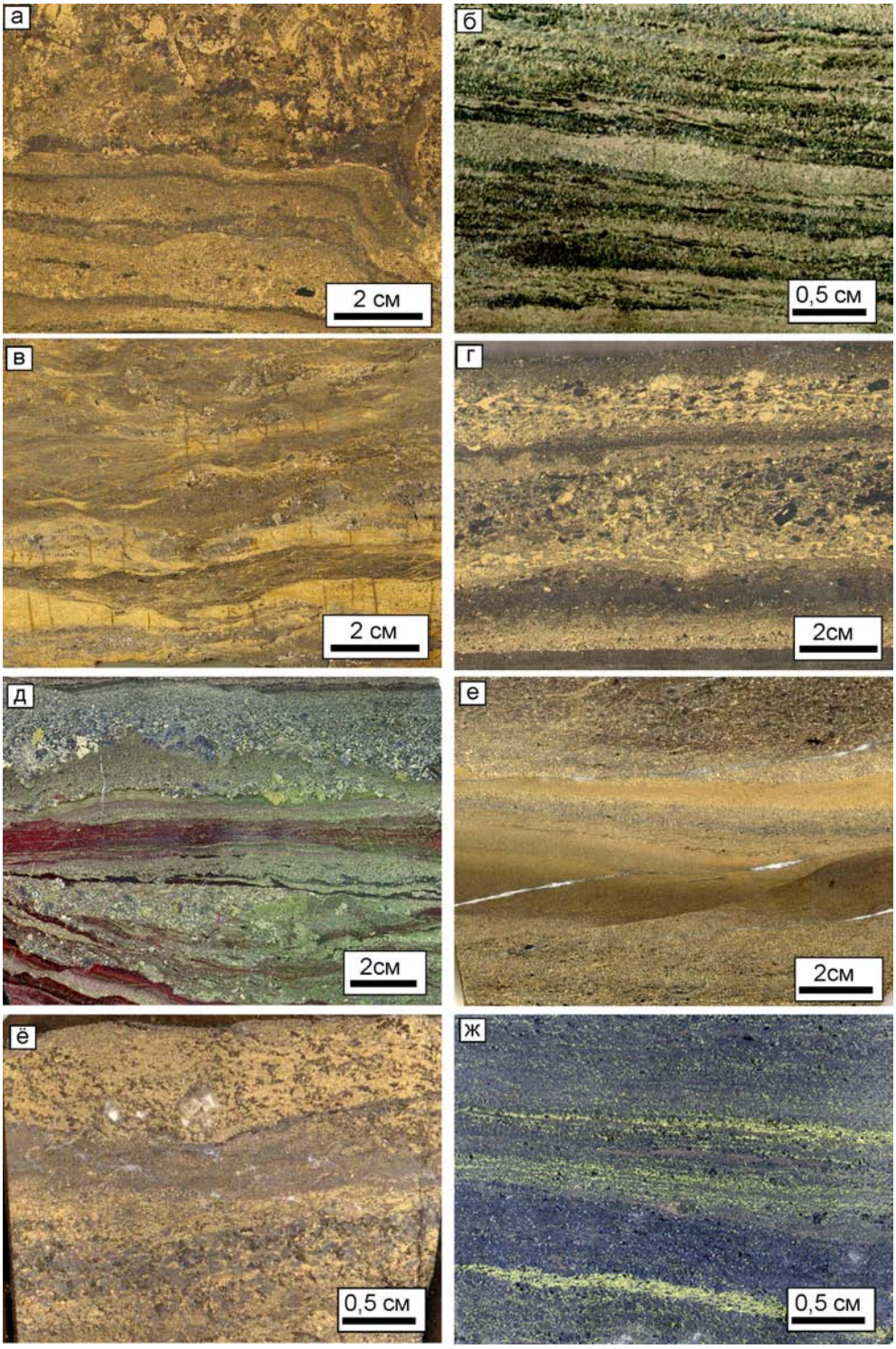

Рис. 4. Рудные диагениты колчеданных месторождений Южного Урала

Условные обозначения: Месторождения: а — Дергамыш (халькопиритовые), б –Летнее (пиритовые), в — г — Юбилейное (в — сфалерит-халькопиритовые, г — халькопирит-пиритовые), д — Яман-Касы (гематитовые), е — Молодежное (халькопирит-пиритовые), ж — Александринское (сфалерит-халькопирит-пиритовые), з — Балта-Тау (пирит-сфалеритовые).

Fig. 4. Ore diagenites of massive sulfide deposits from Southern Urals

Legend: Massive sulfide deposits: а — Dergamysh (chalcopyrite), б — Letnee (pyrite), в — г — Yubileynoe (в — sphalerite-chalcopyrite, г — chalcopyrite-pyrite), д — Yaman-Kasy (hematite), е — Molodezhnoe (chalcopyrite-pyrite), ж — Aleksandrinka (sphalerite-chalcopyrite-pyrite), з — Balta-Tau (pyrite-sphalerite).

Таблица 1. Рудно-формационные типы колчеданных месторождений Южного Урала [Серавкин, 2010, 2013] и минеральный состав рудных диагенитов [Исмагилов, 1962, 1979; Зайков и др., 2002; Салихов и др., 2010; Целуйко и др., 2019; Мелекесцева и др., 2020, 2022; Prokin, Buslaev, 1999; Maslennikov et al., 2019]

Table 1. Ore-formation types of massive sulfide deposits in the Southern Urals [Seravkin, 2010, 2013] and mineral composition of ore diagenites [Ismagilov, 1962, 1979; Zaikov et al., 2002; Salikhov et al., 2010; Tselyuko et al., 2019; Melekestseva et al., 2020, 2022; Prokin, Buslaev, 1999; Maslennikov et al., 2019]

Месторождение	Тип*	Форм.*	Минералы
Дергамыш	А	У	**Пирит, халькопирит, пирротин,** сфалерит, марказит, макинавит, кубанит, *электрум, кобальтин, полидимит, герсдорфит, пентладит, пильзенит, кавацулит-теллуровисмутит, линнеит, катьерит, валериит, сульфид олова, арсенопирит, касситерит, карролит, никелин*, кальцит, серпентин, хромит, магнетит
Ишкининское	А	У	**Халькопирит, пирит, пирротин**, кубанит, *сфалерит, леллингит, пентландит, маккинавит,* кобальтин, *валлериит, виоларит, зигенит, никелин, арсенопирит, галенит-клаусталит, самородное золото, хромит, магнетит*
Летнее	Д	Б	**Пирит, халькопирит**, магнетит, сфалерит, *пирротин, галенит, клаусталит, кубанит, маккинавит, золото самородное, борнит, кубанит, молибденит, халькозин, сложный дисульфид (Fe, Co, Cu) S_2, гематит,* кварц, хлорит
Юбилейное	У — 1	РБ	**Халькопирит, пирит,** сфалерит, хлорит, кальцит, кварц, *пирротин, раклиджит, штютцит, волынскит, алтаит, науманнит, теллуровисмутит, петцит, кавацулит, колорадоит, гессит, самородное золото, борнит, колусит, теннантит, Se-галенит*
Яман-Касы	У — 2	РБ	**Халькопирит, пирит,** сфалерит, *алтаит, арсенопирит, теллуровисмутит, гессит, кервеллеит, волынскит, Se-алтаит, самородные теллур, сурьма и золото, барит, калаверит, теннантит, тетраэдрит, голдфилдит, Se-галенит, борнит, гематит, магнетит*
Молодежное	У — 3	РБ	**Халькопирит, сфалерит**, **пирит, борнит, барит**, дигенит, Se-галенит, *диагенит, алтаит, гессит, цумоит, теллуровисмутит, волынскит, тетрадимит, колорадоит, самородное золото, ялпаит, штромейерит, макинстриит, борнит, Te-теннантит, Bi-теннантит, раклиджит, клаусталит, Te-курилит, науманнит, моусонит, Se-галенит, клаусталит, рокезит, петцит, гессит, алтаит, сульванит, станноидит, арсеносульванит, иорданит, полибазит, диафорит, акантит,* кварц, хлорит, рутил
Александринское	Б	БР	**Сфалерит, халькопирит, барит, борнит,** Te-теннантит, Bi-теннантит, Ag-теннантит, дигенит, Te-галенит, *гессит, самородное золото, штромейерит, реньерит, моусонит, рокезит, германит, акантит, молибденит*
Балта-Тау	Б	БР	**Халькопирит, сфалерит**, пирит, Te-теннантит, Te-галенит, **барит,** *пирсеит, гессит, германит, молибденит, самородне золото и его серебристые разновидности, эдингтонит*

Примечание. **Рудно-формационные типы колчеданных месторождений (Тип*):** А — атлантический; Д — домбаровский; У — уральский; Б — баймакский. **Геологические формации (Форм.*):** У — ультрамафитовая, В — базальтовая, РБ — риолит-базальтовая; БР — базальт-риолитовая. Шрифты обозначают распространенность минералов: полужирный — главные; нормальный — второстепенные; курсив — редкие.

Note. **Ore-formation types of massive sulfide deposits (Type*):** А — Atlantic; Д — Dombarovka; У — Urals; Б — Baimak. **Geological Formations (Form.*):** У — ultramafic, В — basaltic, РБ — rhyolite-basalt; БР — basalt-rhyolite. Fonts indicate the of minerals: bold — major; normal — minor; cursive — rare.

разнообразны, как в рудных диагенитах на месторождениях уральского типа (табл. 1). В рудах месторождения установлены теннантит, гессит, молибденит, барит, и эддингтонит [Исмагилов, 1988], в ассоциации с галенитом встречаются многочисленные вкрапленники самородного золота. В кровле рудной залежи доминируют барититы с включениями низкопробного золота и пирсеита [Зайков и др., 2002].

Рудные диагениты каждого из изученных месторождений имеют свои минералогические особенности, которые подчеркиваются разнообразием минеральных видов и их разновидностей (табл. 1).

Материал и методы исследования

В основе подхода к изучению колчеданных месторождений Урала лежит метод рудно-фациального анализа рудно-формационных типов колчеданных месторождений [Зайков и др., 2002; Масленников, Зайков, 2006].

Минеральный состав рудных диагенитов традиционно изучался с помощью оптической микроскопии в отраженном свете и сканирующего электронного микроскопа Vega 3sbu Tescan, оснащенного ЭДС Oxford Instruments X-tact, и растрового электронного микроскопа РЕММА-2М, оснащенного ЭДС Link в Институте минералогии Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии УрО РАН (ИМин ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН), г. Миасс.

Микропробы на определение содержаний микроэлементов (^{49}Ti, ^{51}V, ^{52}Cr, ^{55}Mn, ^{59}Co, ^{60}Ni, ^{65}Cu, ^{66}Zn, ^{75}As, ^{77}Se, ^{95}Mo, ^{107}Ag, ^{111}Cd, ^{118}Sn, ^{121}Sb, ^{125}Te, ^{182}W, ^{197}Au, ^{205}Tl, ^{208}Pb, ^{209}Bi, ^{238}U и др.) в халькопирите отбирали с помощью лазера New Wave 213 нм, соединенного с квадрупольным ИСП-МС Agilent 7700x в международном Центре рудных месторождений университета Тасмании, Австралия. Анализы проводились путем абляции пучком размером от 40 до 80 мкм. Частота повторения лазера составляла 10 Гц, а энергия лазерного луча на образце поддерживалась в пределах от 3 до 4 Дж/см^2. Время анализа для каждого пятна составляло 90 с, включая 30-секундное измерение фона. Содержание элементов рассчитывали в программе Iolite с использованием международных стандартов стекла (NIST SRM-612, USGS GSD-1G) и сульфидов (USGS MASS-1), а также 57Fe в качестве внутреннего стандарта для количественного определения пирита (46.5%) и пирротина (63.6%).

Локальные коэффициенты концентраций (ЛКК) элементов подсчитывались путем отношения медианного содержания элемента в халькопирите рудных диагенитов конкретного месторождения к медианному содержанию по выборке для всех месторождений. Коэффициенты корреляции рассчитывались по программе Statistica 10. Ассоциации элементов выявлялись методом максимального корреляционного пути (МКП) [Смирнов, 1981]. Исходный материал представляет собой половину разделенной по диагонали прямоугольной корреляционной матрицы, в которой записаны только статистически значимые коэффициенты корреляции. Элементы ранжируются по наибольшим коэффициентам корреляции с построением корреляционных рядов ассоциаций (КРА). Новый выбор не производится, если элемент с наибольшим коэффициентом корреляции уже был выбран ранее. Несколько максимумов (ассоциаций) разделяются минимальными значениями коэффициентов корреляции [Смирнов, 1981].

Результаты исследований

Месторождение Дергамыш. Халькопирит рудных диагенитов месторождения Дергамыш характеризуется высокими медианными и максимальными содержаниями Co, Ni, Sn, Se и Ni. При умеренных медианных содержаниях Bi, Pb, Ag и Au иногда обнаруживаются единичные аномально высокие содержания этих элементов (табл. 2).

Полученные ряды ЛКК согласуются с минералогическими особенностями рудных диагенитов (см. табл. 1, 3). Олово показывает максимальный ЛКК, отражающий присутствие в халькопирите касситерита. Высокие ЛКК, рассчитанные для Bi, свидетельствуют о присутствии микровключений минералов серии кавацулит-теллуровисмутита и пильзенита. Доминирование разнообразной кобальтовой сульфидной и сульфоарсенидной минерализации подтверждается высоким ЛКК Co. Микровключения сфалерита и пентландита фиксируются повышенными ЛКК Zn и Ni, соответственно.

Корреляционные ряды ассоциаций элементов (КРА), рассчитанные методом МКП, выявляют присутствие микровключений сфалерита (ассоциация I), галенита (ассоциация IV), самородного золота (ассоциация IX) (табл. 4). Положительная корреляция Te и Se, образующих ассоциацию VII, подтверждает их совместное вхождение в структуру халькопирита в виде изоморфной примеси.

Таблица 2. Элементы-примеси в халькопирите рудных диагенитов колчеданных месторождений Южного Урала
Table 2. Trace elements in chalcopyrite of ore diagenites of massive sulfide deposits of the South Urals

	Дергамыш		Летнее		Юбилейное		Яман-Касы		Молодежное		Алексан-дринское		Балта-Тау	
n	90		6		56		31		19		11		17	
	мед.	макс.	мед.	макс.	мед.	макс.	мед.	макс.	мед.	макс.	мед.	макс.	мед.	макс.
V	2.0	579	0.6	2.7	0.1	27	5	148	18	216	3.4	5.5	0.1	17
Mn	14	917	1.8	5.4	0.8	260	477	2727	139	5005	1423	2176	7.8	157
Co	158	4429	0.03	0.9	0.4	214	42	351	356	4531	0.00	0.3	0.0	1.1
Ni	16	1542	0.1	0.1	0.02	63	11	321	6.5	82	0.5	0.9	1.0	43
As	0.5	156	0.4	0.7	0.4	341	115	2471	1226	9545	2111	9544	29	37782
Se	327	847	48	51	212	637	52	356	5152	16601	3.3	121	15	19
Mo	0.8	33	55	77	0.03	84	2.1	52	1.3	8.8	4.9	35	1.4	45
Ag	7.7	184	96	117	4.4	181	82	449	932	4903	93	155	12	805
Cd	6.4	115	47	360	4.0	11	10	54	0.1	1.7	23	143	1.3	117
Sn	67	527	2.5	2.7	3.9	113	1.0	12	221	4369	1.1	1.4	1.7	2.5
Sb	3.2	103	1.6	2.9	6.2	74	129	376	27	1251	326	1507	10	4618
Te	10	85	2.1	2.5	5.9	388	289	6036	124	1067	34	115	1.8	67
Ba	0.1	6.4	0.02	0.05	0.02	15	1.3	38	4413	30612	7.2	1828	0.9	207
Au	0.3	121	0.04	0.05	0.2	5.4	7.1	35	2.6	26	1.4	2.2	0.1	10
Tl	0.02	1.4	3.1	4.2	0.004	5.3	4.4	47	0.6	3.8	0.9	1.4	0.1	1.3
Pb	84	685	178	253	7.6	554	2017	8962	4623	50291	375	6244	25	2132
Bi	8.4	183	0.2	0.3	3.5	174	232	552	244	2018	0.4	74	0.005	0.05
U	0.04	11	0.04	0.1	0.001	0.7	0.05	0.8	0.3	2.6	0.1	0.1	0.01	7.9

Примечание. Данные ЛА-ИСП-МС анализа, в г/т. n — количество анализов.
Note. LA-ICP-MS analysis data in ppm. n — number of analyses.

Ассоциация VIII, скорее всего, свидетельствует о наличии реликтов пирита. Интересно, что Co занимает обособленное место в данном корреляционном ряду, что указывает на доминирование его сульфидов — катьерита (CoS_2) и карролита ($CuCo_2S_4$ (см. табл. 1)). Положительный коэффициент корреляции Co с As, отражающий присутствие сульфоарсенидов Co, хотя и является значимым, однако он меньше, чем коэффициенты корреляции, рассчитанные для загадочной ассоциации As, Sb и Mn (см. табл. 4).

Летнее месторождение. В целом содержания большинства элементов-примесей в халькопирите рудных диагенитов Летнего месторождения крайне низкие (см. табл. 2). Даже содержания кобальта гораздо ниже, чем в халькопирите месторождения Дергамыш. Исключение представляют Mo и Ag, медианные содержания которых гораздо выше, чем в халькопирите месторождений Дергамыш и Юбилейное (см. табл. 2).

Максимальным значением ЛКК отличается Mo, связанный с микровключениями молибденита. Микровключения сфалерита обеспечивают высокие ЛКК Zn, Cd, Ag. Повышенные значения ЛКК Pb и Tl, скорее всего, отражают микровключения галенита или реликты колломорфного пирита (см. табл. 1, 3)

Метод МКП с построением КРА подтверждает присутствие микровключений сфалерита (ассоциация I) и галенита (ассоциация III) в срастании с кобальтистым пиритом (см. табл. 4). Интересной является ассоциация Mo и W, которые в четырехвалентной форме имеют близкие ионные радиусы 0.65Å и 0.66Å, соответственно. Однако об изоморфном вхождении W в виде примеси в структуру молибденита пока ничего не известно. Теллур,

Таблица 3. Локальные коэффициенты концентрации медианного содержания элементов-примесей в халькопирите сульфидных диагенитов месторождений относительно медианных содержаний по всей выборке

Table 3. Local concentration coefficients of the median content of trace elements in chalcopyrite of sulfide diagenites of deposits relative to the median contents forthe entire sample

Дергамыш		Летнее		Юбилейное		Яман-Касы		Молодёжное		Александринское		Балта-Тау	
90		6		47		31		19		11		17	
Sn	**15**	Mo	**68.6**	Pb	**29.7**	**Bi**	**230**	Ba	**36197**	As	**1141**	As	**15.7**
Bi	**8.3**	Zn	**16.6**	Au	**4.2**	**As**	**62**	As	**663**	Mn	**99**	Ba	**7.2**
Co	**7.9**	Tl	**12.0**	Se	1.0	**Mn**	**33**	Bi	**243**	Ba	**59**	Mo	1.7
Zn	3.4	Cd	**10.9**	Cd	0.93	**Pb**	**30**	Ag	**89**	Sb	**46**	Sb	1.4
Ni	3.2	Ag	**9.2**	Sb	0.88	**W**	**30**	Pb	**69**	Ag	**8.9**	Ag	1.1
Se	1.6	Pb	2.6	Sn	0.84	**Au**	**25**	Sn	**48**	Mo	**6.1**	W	0.9
Cd	1.5	U	1.3	Ag	0.42	**Sb**	**18**	Se	**25**	Pb	**5.6**	Mn	0.5
U	1.4	Sn	0.56	Zn	0.40	**Tl**	**17**	Co	**18**	Cd	**5.2**	Au	0.5
V	1.4	W	0.48	Te	0.33	**Te**	**16**	V	**12**	Au	4.7	Pb	0.4
Pb	1.2	V	0.41	As	0.21	**Ba**	**11**	Mn	**9.7**	Tl	3.4	Sn	0.4
Au	1.2	Se	0.23	Ba	0.16	**Ag**	**7.9**	U	**9.3**	W	3.2	Cd	0.3
Mn	1.0	Sb	0.23	Mn	0.05	V	3.3	Au	**9.0**	V	2.3	Tl	0.2
Mo	1.0	As	0.20	Bi	0.05	Mo	2.6	Te	**6.9**	Te	1.9	Ni	0.2
Ag	0.7	Bi	0.18	V	0.04	Cd	2.3	W	4.3	U	1.7	U	0.2
Te	0.6	Au	0.14	U	0.04	Ni	2.2	Sb	3.8	Zn	1.5	Zn	0.1
Ba	0.5	Ba	0.13	Mo	0.03	Co	2.1	Tl	2.5	Bi	0.4	Te	0.1
Sb	0.5	Mn	0.12	Co	0.02	Zn	1.9	Mo	1.7	Sn	0.2	V	0.1
As	0.3	Te	0.12	Tl	0.02	U	1.6	Ni	1.3	Ni	0.1	Se	0.1
W	0.2	Ni	0.01	W	0.01	Se	0.2	Zn	0.0	Se	0.0	Bi	0.0
Tl	0.1	Co	0.00	Ni	0.00	Sn	0.2	Cd	0.0	Co	0.0	Co	0.0

Примечание. Полужирным шрифтом выделены ЛКК > 5.
Note. LCCs greater than 5 are shown in bold.

характеризующийся крайне низкими содержаниями (см. табл. 2), не образует ассоциации с другими халькофильными элементами. Остальные ассоциации элементов этим методом не выявлены или не позволяют их интерпретировать из-за низких содержаний элементов и, очевидно, недостаточного количества анализов (см. табл. 4).

Юбилейное месторождение. Халькопирит сульфидных диагенитов показывает умеренные медианные содержания большинства элементов-примесей, тогда как максимальные содержания некоторых элементов (Te, Pb, Bi, Ag, Au, Co, As) достигают высоких значений (см. табл. 2). Медианные содержания Co и Ni — крайне низкие.

По ЛКК халькопирит рудных диагенитов Юбилейного месторождения отличается лишь повышенными медианными содержаниями Pb и Au, что подтверждается широким распространением ассоциации самородного золота с галенитом.

Методом МКП выделяются ассоциации, характерные для парагенезиса самородного золота и гессита, раклиджита и галенита (I, II), реликтовых микровключений пирита (III, IV) и сфалерита (VI). Ассоциация V (Ti, V, Mo), скорее всего, связана

с реликтами ильменита или продуктами его преобразований (см. табл. 1, 4).

Месторождение Яман-Касы. Характерная особенность халькопирита рудных диагенитов месторождения — аномально высокие как медианные, так и максимальные содержания таких элементов как Te, Pb, Bi, Au и Ag. Содержания Co и Ni выше, чем в халькопирите Юбилейного месторождения (см. табл. 2).

Для халькопирита рудных диагенитов месторождения Яман-Касы характерен широкий спектр элементов с повышенными ЛКК. Это обусловлено обилием Bi, Pb, Ag, Au теллуридной минерализации в ассоциации с баритом, теннантитом, галенитом, самородным золотом, теллуром и сурьмой (см. табл. 1, 3).

Методом МКП выявляются ассоциации, свойственные реликтам алтаита, телуровисмутита, маттагамита с самородными золотом и сурьмой (I, II), а также сфалерита (VI) и колломорфного пирита (III). Ассоциация V, вероятно, обусловлена присутствием титановой (кричтонит?) минерализации связанной с примесью гиалокластогенного материала (см. табл. 1, 4).

Молодежное месторождение. Халькопирит рудных диагенитов Молодежного месторождения, так же, как и халькопирит месторождения Яман-Касы, характеризуется высокими содержаниями Te, Bi, Pb, Sn и Co. Содержания Co и Ni выше, чем в халькопирите Яман-Касинского месторождения. В отличие от халькопирита рудных диагенитов описанных выше месторождений, для халькопирита этого месторождения характерны аномально высокие содержания Ba, As и Se (см. табл. 2).

Для халькопирита сульфидных диагенитов Молодежного месторождения получен самый широкий спектр повышенных значений ЛКК (см. табл. 4). Это обусловлено обилием барита, висмутсодержащего теннантита, теллуридов, селенидов и сульфидов Ag, Pb, Bi, Hg (см. табл. 1, 3).

Методом МКП распознаны ассоциации, характерные микровключениям пирита (I), сфалерита (II), барита (III), сростков гессита, петцита и самородного золота (IV), рутила (V), гематита (VI) и клаусталита (VII) — минералов, широко представленных в рудных диагенитах этого месторождения (см. табл. 1). Интересно, что Sn находится в конце корреляционного пути (см. табл. 4). Вероятно, это связано с различными формами Sn — изоморфными в халькопирите, его нахождением в составе моусонита, станноидита и касситерита (см. табл. 1, 4).

Александринское месторождение. Несмотря на сходство по высоким максимальным содержаниям As, Sb, Ba и Pb с халькопиритом сульфидных диагенитов Молодежного месторождения, в халькопирите Александринского месторождения

Таблица 4. Корреляционные ряды минералого-геохимических ассоциаций элементов по методу максимального корреляционного пути
Table 4. Correlation series of mineralogical and geochemical associations of elements using the maximum correlation path method

Месторождение	Ассоциации элементов
Дергамыш	I (Cd+Zn) — II (Ti+W+U) + III (Mo+Sn) + IV (Bi+Pb) + V (Sb+As+Mn) + VI (Ba +V) + VII (Te+Se) + VIII (Ni+Tl) — Co — IX (Au+Ag)
Летнее	I (Cd+Zn+Mn) + II (Mo+W) — III (Co+Pb+Sb+Bi) — IV (Te+Ba) — V — Ag — Au — Sn — Ti — V (U+Tl) — Ni — As
Юбилейное	I (Au+Ag+Te) + Ba + II (Bi+Pb+W) — III (Co+Ni) + IV (As+Tl) — V (Ti+V+Mo) + U+ VI (Zn+Cd) — Se — Sb –Sn
Яман-Касы	I (Pb+Te) + II (Au+Co+Bi+Sb) + III (As+Ni+Ba) + IV (Tl+Mo) — Mn — V (V+Sn+Ti+U) +Ag + VI (Cd+Zn+W) — Mn –Se
Молодежное	I (Co+Ni+As) + II (Sb+Zn+Cd) + III (Ba+Mo) + IV ((Ag+Te+Au) — V (Ti+U+V) + VI (W+Mn+Tl) — VII (Se+Pb+Bi) — Sn
Александринское	I (Sb+As+Cd+Zn+Pb) + II (Ag+Mn) + III (U+Au+Tl+Mo+Te) — IV (Co-Ni) — V — Sn — V (Ti+Bi+W) — VI (Se+Ba)
Балта-Тау	I (Ag+As+Bi+Sb+Cd+Zn+Ni) + II (Te+Au) — Se — III (Ti+U+Tl+W) — IV (V+Mn) — V (Ba+Mo) — Co — Sn — Pb

Примечание. (+) — значимая положительная связь; (—) — незначимая связь.
Note. (+) — significant positive correlation; (—) — insignificant correlation.

гораздо ниже содержания Co, Se, Ni, Te и ряда многих других элементов (см. табл. 2).

Спектр повышенных значений ЛКК соответствует барит-сфалерит-галенит-теннантитовому парагенезису, характерному для этого месторождения (см. табл. 1, 3).

Методом МКП рассчитаны ассоциации элементов, характерные для галенит-сфалеритового парагенезиса (I, II), микровключений пирита (IV), барита (VI). Теллур, хотя и входит в одну ассоциацию с Au, однако парагенезис золота и гессита пока обнаружен лишь в каналах гидротермальных труб [Масленникова, Масленников, 2007]. Следует отметить, что ассоциация Te и Au разбавлена другими элементами (U, Tl, Mo), не связанными с ними общими минералами. Впрочем, положительная корреляция Te с Mo — характерная черта халькопирита некоторых труб курильщиков [Масленников и др., 2019]. Ассоциация, содержащая Bi, также разбавлена «чуждыми» элементами (Ti, W), характерными для рутила (см. табл. 1, 4).

Месторождение Балта-Тау. Халькопирит рудных диагенитов месторождения Балта-Тау сходен с халькопиритом рудных диагенитов Александринского месторождения по высоким содержаниям As, Sb, Pb, однако при более низких содержаниях Ba. Содержания других элементов имеют относительно низкие значения (см. табл. 2).

Значения ЛКК в халькопирите рудных диагенитов месторождения Балта-Тау указывают на доминирование барит-теннантитового парагенезиса, что соответствует минералогическим данным (см. табл. 1, 3).

Согласно ассоциациям, полученным методом МКП, на месторождении преобладает сфалерит-теннантитовый парагенезис (ассоциация I). Ассоциация Au Te наводит на мысль о возможности выявления калаверита (II) или известного на месторождении парагенезиса гессита с самородным золотом (см. табл. 1). Ассоциация III свойственна рутилу. Судя по ассоциации V молибденит, в основном, находится в сростках с баритом (см. табл. 1, 4).

Обсуждение

Типохимизм халькопирита рудных диагенитов почти полностью соответствует геохимическим особенностям разновидностей гидротермальных труб курильщиков, которые доминируют на изученных месторождениях [Масленникова, Масленников, 2007; Масленников и др., 2019]. Это,

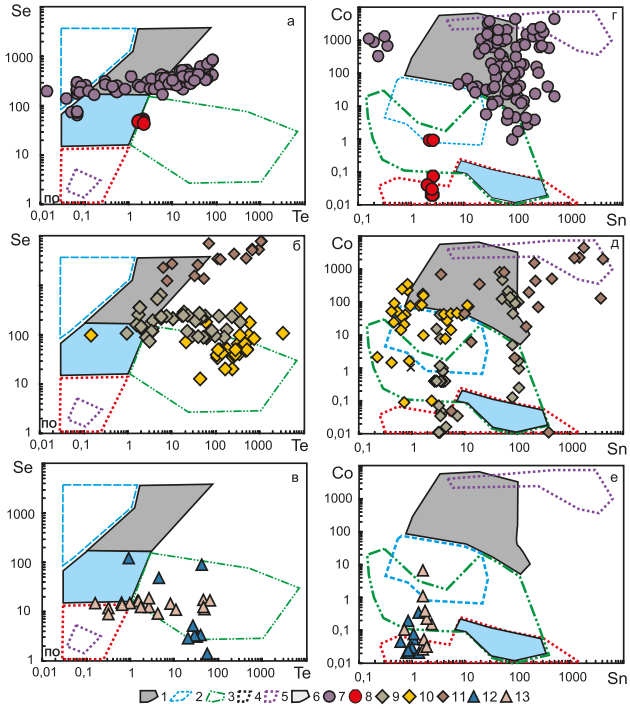

Рис. 5. Диаграммы Te — Se и Sn — Co халькопирита рудных диагенитов колчеданных месторождений Южного Урала в сравнении с халькопиритом современных курильщиков

Условные обозначения: Современные курильщики по [Масленников и др., 2019]: 1 — черные курильщики базальтовых СОХ; 2 — серые курильщики горячих точек; 3 — серые курильщики островодужных бассейнов Западной Пацифики; 4 — бесцветные курильщики ультрамафитовых комплексов САХ; 5 — бесцветные курильщики островодужных бассейнов Западной Пацифики и базальтовых СОХ); 6 — перекрытие полей серых и бесцветных курильщиков;
Колчеданные месторождения: 7 — Дергамыш; 8 — Летнее; 9 — Юбилейное; 10 — Яман-Касы; 11 — Молодежное; 12 — Александринское; 13 — Балта-Тау.

Fig. 5. Te — Se and Sn — Co diagrams of chalcopyrite from ore diagenites of massive sulfide deposits of the Southern Urals in comparison with chalcopyrite from modern smokers

Legend: Modern smokers [Maslennikov et al., 2019]: 1 — black smokers in basaltic MOR; 2 — gray (hot spots); 3 — gray smokers of island-arc basins of the Western Pacific); 4 — clear smokers of ultramafic complexes of the MAR; 5 — clear smokers in island-arc basins of the Western Pacific, and basaltic MOR); 6 — overlapping fields of gray and flickering smokers;
Massive sulfide deposits: 7 — Dergamysh; 8 — Letnee; 9 — Yubileynoe; 10 — Yaman-Kasy; 11 — Molodezhnoe; 12 — Aleksandrinka; 13 — Balta-Tau.

прежде всего, касается таких элементов, как Se, Te, Co, Sn, As и Sb.

Se. Содержания Se в халькопирите рудных диагенитов убывают в рудно-формационном ряду колчеданных месторождений (см. табл. 2). В этом же ряду содержания Se убывают как в со-

временных, так в древних курильщиках по мере нарастания в разрезе относительного количества кислых вулканитов [Масленников и др., 2019]. Повышенные содержания Se — характерная черта высокотемпературного халькопирита, слагающего крустификации труб современных черных курильщиков [Auclair et al., 1987; Hannington et al., 1991, 1995; Huston et al., 1995; Butler, Nesbitt, 1999]. Содержания Se значительно ниже в низкотемпературных трубах бесцветных (мерцающих) курильщиков, тогда как серые курильщики на диаграмме Se — Te занимают промежуточное положение (рис. 5а — в). Халькопирит, обедненный Se, образуется при средних и низких температурах [Rouxel et al., 2004].

Полученные нами данные по халькопириту рудных диагенитов показывают, что содержания Se в диагенетическом халькопирите чуть ниже, чем в гидротермальном халькопирите курильщиков [Масленников и др., 2019; Maslennikov et al., 2009, 2017]. Например, халькопирит рудных диагенитов месторождений Дергамыш и Молодежное соответствует по содержаниям Se халькопириту доминирующих на этом месторождении черных курильщиков. Халькопирит рудных диагенитов Юбилейного и Яман-Касинского месторождений тяготеет к границе поля серых курильщиков с черными курильщиками, в то время как халькопирит месторождений баймакского типа — к границе серых курильщиков с бесцветными курильщиками и диффузерами (см. рис. 5б). Следует отметить, что в изученных рудных диагенитах, в отличие от труб курильщиков, встречаются селенсодержащие минералы и селениды: Дергамыш — кавацулит, Летнее — клаусталит, Юбилейное — кавацулит, науманнит, клаусталит, Яман-Касы — селенистые алтаит и галенит, Молодежное — науманнит, клаусталит, селенистый галенит. Селениды и селенистый галенит в халькопирите рудных диагенитов месторождений Александринского и Балта-Тау не обнаружены, очевидно, в связи с низкими содержаниями Se в исходных рудокластах.

Основной источник Se — высокотемпературные гидротермальные флюиды черных курильщиков обычно характеризуются сильно-восстановительными условиями и низкими pH [Halbach et al., 2003]. Поля устойчивости селенидов распространяются в области с более высокими окислительно-восстановительным потенциалами и щелочными значениями pH [Кривовичев, Чарыкова, 2006]. Селениды характерны для низкотемпературных условий как континентального, так и субмаринного гипергенеза колчеданных руд [Аюпова и др., 2017; Belogub et al., 2020].

Te. В халькопирите рудных диагенитов отмечаются значительные вариации содержаний Te (см. рис. 5а — в). Изменение содержаний Te в отличие от Se в рудно-формационном ряду колчеданных месторождений не является прямолинейным. Теллуром обогащены как гидротермальные трубы курильщиков, так и рудные диагениты колчеданных месторождений уральского типа. Положительные корреляции Se и Te характерны лишь для халькопирита черных курильщиков (Молодежное, Дергамыш) и, соответственно, для халькопирита рудных диагенитов этих же месторождений (см. рис. 5б, в). Положительные корреляции обеспечиваются совместным изоморфным замещением Se^{2-} и Te^{2-} и S^{2-} в халькопирите при высокой температуре (>350 °C), характерной для черных курильщиков [Auclair et al., 1987; Hannington et al., 1991, 1995; Huston et al., 1995; Butler, Nesbitt, 1999]. В халькопирите серых курильщиков эта изоморфная зависимость снижается за счет появления теллуридов и теллурсодержащего теннантита (см. рис. 4б). Теллуриды выпадают в осадок из-за резких изменений параметров гидротермального флюида, таких как понижение температуры и увеличение Eh и pH [Ciobanu et al., 2006]. Низкие содержания Te характерны для халькопирита низкотемпературных бесцветных курильщиков и, соответственно, рудных диагенитов — характерная черта месторождений баймакского типа (Александринское, Балта-Тау) (см. рис. 5в). На месторождениях баймакского типа теллур обычно входит лишь в незначительных количествах в состав теннантита и галенита и гораздо более редкого гессита. Распределение и концентрации Te в халькопирите рудных турбидитов, соответственно, коррелируют с минералого-геохимическим особенностями халькопирита труб черных, серых и бесцветных палеокурильщиков изученных месторождений.

Sn. В халькопирите гидротермальных труб Дергамышского и Молодежного месторождений, как и в халькопирите черных и бесцветных курильщиков, ассоциирующих с ультрамафитами, установлены повышенные содержания Sn [Масленников и др., 2019]. Аналогичную позицию на диаграмме Sn — Co занимает поле фигуративных точек рудных диагенитов этих месторождений (см. рис. 5 г, д). На месторождении Дергамыш гидротермальный халькопирит содержит неопределенный сульфид олова, тогда как в диагенетическом халькопи-

рите распространен касситерит. В диагенитах Молодежного месторождения носителями Sn являются моусонит и станноидит. Предполагается, что источником минералов олова являлись растворявшиеся обломки железистого сфалерита, обычно содержащего изоморфное Sn. Гораздо меньше Sn содержится в халькопирите рудных диагенитов других месторождений (см. табл. 2).

Co и **Ni** Максимальными содержаниями Co и Ni в халькопирите отличаются гидротермальные трубы халькопиритовых черных курильщиков и рудные диагениты месторождения Дергамыш. В халькопирит-пирит-кальцитовых трубах (аналогах бесцветных курильщиков) этого месторождения содержания Co гораздо ниже [Масленников и др., 2019] (см. рис. 5 г). Это свидетельствует о температурной зависимости концентрации изоморфной примеси Co в высокотемпературном гидротермальном халькопирите и катьерит-пирите. В халькопирите рудных турбидитов минералы кобальта гораздо более разнообразны (см. табл. 1). Аномально высокие концентрации Co обнаружены как в гидротермальных трубах — аналогах черных курильщиков [Масленников и др., 2019], так и в рудных диагенитах Молодежного месторождения (см. табл. 2). В целом, содержания Co, так же, как и Ni в халькопирите рудных диагенитов, за редкими исключениями, уменьшаются в рудно-формационном ряду колчеданных месторождений с учетом вариаций температур минералообразования.

As и **Sb.** Содержания As и Sb в халькопирите гидротермальных труб и рудных диагенитов возрастают в рудно-формационном ряду колчеданных месторождений Южного Урала по мере нарастания количества рудовмещающих кислых вулканитов (см. табл. 2). Обычно эти элементы концентрируются в рудокластах колломорфного пирита, который замещался халькопиритом. Содержания As и Sb в халькопирите, не содержащем включений минералов As и Sb, обычно не высокие. В рудных диагенитах месторождения Дергамыш аутигенными являются арсенопирит и кобальтин. На других месторождениях концентраторами As и Sb являются разнообразные сульфосоли, среди которых преобладает теннантит (см. табл. 1). Часть Sb концентрируется в галените в виде изоморфной примеси.

Bi и **Pb.** Характер изменений содержаний Bi и Pb в халькопирите рудных диагенитов в пределах рудно-формационного ряда месторождений напоминает тренд теллуридов, основные количества и разнообразие которых связаны с месторождениями уральского типа. Тем не менее, в рудных диагенитах месторождения Дергамыш обнаружены пильзенит, кавацулит и теллуровисмутит. Наряду с разнообразными теллуридами на месторождениях уральского типа в рудных диагенитах много висмутсодержащего галенита, а на некоторых месторождениях (Юбилейное) встречается раклиджит. Галенит доминирует в рудных диагенитах месторождений баймакского типов, тогда как гессит встречается крайне редко.

Au и **Ag**. Характер распределения Au и Ag в халькопирите рудных диагенитов аналогичен распределению Te, As, Bi, Pb: наивысшие содержания связаны с месторождениями уральского типа, где Au и Ag встречаются как в виде теллуридов, так и в самородном виде, а также, как например, на Молодежном месторождении, в виде более редких сульфидов и сульфосолей меди и серебра. На Месторождении Дергамыш золото и серебро наблюдаются в виде включений самородного золота. На месторождениях баймакского типа кроме высокопробного самородного золота, преобладают его серебристые разновидности в ассоциации с баритом, гесситом, пирсеитом и акантитом (Балта-Тау).

Mo. Максимальные медианные концентрации Mo в виде молибденита сосредоточены в рудных диагенитах Летнего месторождения. Очевидно, в данном случае халькофильные свойства молибдена были сильнее, чем литофильные и сидерофильные. Однако, магнетитовые диагениты этого же месторождения также содержат много Mo [Масленников и др., 2024]. На других месторождениях (Молодежное, Балта-Тау) Mo коррелирует с Ba, что может указывать на его концентрацию в барите при почти полном окислении других сульфидов (см. табл. 4). На Юбилейном месторождении Mo коррелирует с Ti и V, на Дергамышском месторождении — с Sn, на Яман-Касинском — с Tl, что может предполагать его связь с примесью гиалокластогенного материала, содержащего ильменит или магнетит [Kuroda, Sandel, 1954].

Заключение

Проведенные исследования минералогии и типохимизма халькопирита рудно-формационного ряда колчеданных месторождений Южного Урала, подтверждают необходимость выделения подтипов уральского типа (У — 1, У — 2, У — 3), предложенного И. Б. Серавкиным [2010, 2013].

Халькопирит рудных диагенитов Дергамышского месторождения (атлантический тип) характеризируется повышенными содержаниями Sn, Bi и Co, Ni и Se. Для халькопирита рудных турбидитов Летнего месторождения (кипрский тип) свойственны повышенные содержания Mo и Ag. Типовыми для халькопирита рудных диагенитов Юбилейного месторождения (У — 1) являются Pb и Au. Халькопирит рудных диагентитов Яман-Касинского месторождения (У — 2) включает еще более широкий спектр типовых элементов (Bi, As, Pb, Sb, Te, Au, Ag и др.). Для халькопирита рудных диагенитов Молодежного месторождения (У — 3) характерными элементами являются As, Ba, Sb, Ag, Mo, Sn, Se, Co. Халькопирит рудных диагенитов месторождений баймакского типа отличается повышенными содержаниями As, Ba, Mo, Sb, Ag.

В рудно-формационном ряду колчеданных месторождений Южного Урала в диагенетическом халькопирите убывают содержания Se, Co, Sn при возрастании концентраций As, Ba, Ag. Однако, максимальными медианными содержаниями Te, Bi, Au, иногда Sn (Молодежное месторождение) характеризуется халькопирит рудных диагенитов месторождений уральского типа. При этом наиболее богатыми элементами-примесями оказываются рудные диагениты, образовавшиеся по продуктам разрушения черных курильщиков (месторождения Дергамыш и Молодежное).

Список литературы

Аюпова Н. Р., Масленников В. В., Котляров В. А., Масленникова С. П., Данюшевский Л. В., Ларж Р. Минералы селена и индия в зоне субмаринного гипергенеза колчеданной залежи Молодежного медно-цинково-колчеданного месторождения, Южный Урал // Доклады академии наук. 2017. Т. 473. №2. С. 190–194. DOI: 10.7868/S0869565217080151

Зайков В. В. Вулканизм и сульфидные холмы палеоокеанических окраин: на примере колчеданоносных зон Урала и Сибири. Изд. второе доп. М.: Наука, 2006. 429 с.

Зайков В. В., Шадлун Т. Н., Масленников В. В., Бортников Н. С. Сульфидная залежь Яман-Касы — древний «черный курильщик» Уральского палеоокеана // Геология рудных месторождений, 1995. Т. 37. №6. С. 511–529.

Зайков В. В., Масленников В. В., Зайкова Е. В., Херрингтон Р. Рудноформационный и руднофациальный анализ колчеданных месторождений Уральского палеоокеана. Миасс: ИМин УрО РАН, 2002. 315 с.

Иванов С. Н. Введение // Колчеданные месторождения СССР. М.: Наука, 1983. С. 3–14.

Исмагилов М. И. Месторождение Балта-Тау // Медноколчеданные месторождения Урала: геологическое строение. Свердловск: УрО РАН, 1988. С. 196–199.

Исмагилов М. И. Минералогия и условия образования руд месторождения Летнее // Минералого-геохимические особенности колчеданных месторождений, вулканогенных и осадочных образований Южного Урала. Уфа: БФ АН СССР, 1979. С. 34–47.

Исмагилов М. И. Некоторые черты минералогии и генезиса Дергамышского меднокобальтового месторождения // Геологоминералогические особенности медно-рудных месторождений Южного Урала. Уфа: ГГИ БФ АН СССР, 1962. С. 74–97.

Контарь Е. С. Геологопромышленные типы месторождений меди, цинка, свинца на Урале (геологические условия размещения, история формирования, перспективы). Екатеринбург: Издво УГГУ, 2013. 199 с.

Контарь Е. С., Либарова Л. Е. Металлогения меди, цинка и свинца на Урале. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. 233 с.

Косарев А. М., Пучков В. Н., Серавкин И. Б., Шафигуллина Г. Т. Геодинамические условия вулканизма и колчеданообразования Магнитогорской мегазоне в позднеэмсско-эйфельское время // Литосфера. 2021. Т. 21, №6. С. 775–804. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-6-775-804

Косарев А. М., Пучков В. Н., Серавкин И. Б., Шафигуллина Г. Т. Колчеданоносные вулканические комплексы Магнитогорской палеоостроводужной мегазоны на Южном Урале: модели рудно-магматических систем, геодинамические реконструкции // Петрология. 2022. Т. 30. №1. С. 91–118. DOI: 10.31857/S0869590322010058

Косарев А. М., Серавкин И. Б., Холоднов В. В. Геодинамические и петролого-геохимические аспекты зональности Магнитогорской мегазоны на Южном Урале // Литосфера. 2014. №2. С. 3–25.

Лядский П. В., Полуэктов А. П., Губанов Л. И., Исмагилов М. И., Грязнов О. Н., Чесноков В. И., Берг Л. Я. Месторождение Летнее // Медноколчеданные месторождения. Геологическое строение. Свердловск: УрО рАН, 1988. 23–32.

Масленников В. В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданоносных палеогидротермальных полей. Миасс: Геотур, 1999. 348 с.

Масленников В. В., Аюпова Н. Р., Целуйко А. С., Сафина Н. П., Артемьев Д. А., Ятимов У. А., Брюхов С. И., Хворов П. В., Рассомахин М. А. Типохимизм магнетита колчеданных и железорудных месторождений Урала (по данным ЛА-ИСП-МС) // Минералогия. 2024. Т. 10. №4. С. 8–40. DOI: 10.35597/2313-545X-2024-10-4-1

Масленников В. В., Зайков В. В. Метод рудно-фациального анализа в геологии колчеданных месторождений. Миасс: ЮУрГУ, 2006. 223 с.

Масленников В. В., Аюпова Н. Р., Масленникова С. П., Третьяков Г. А., Мелекесцева И. Ю., Сафина Н. П., Белогуб Е. В., Ларж Р. Р., Данюшевский Л. В. Токсичные элементы в колчеданообразующих системах. Екатеринбург: УрО РАН, 2014. 340 с.

Масленников В. В., Масленникова С. П., Леин А. Ю. Минералогия и геохимия древних и современных черных курильщиков. М.: РАН, 2019. 832 с.

Масленникова С. П., Масленников В. В. Сульфидные трубы палеозойских «черных курильщиков» (на примере Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 317 с.

Мелекесцева И. Ю. Гетерогенные кобальт-медноколчеданные месторождения в ультрамафитах палеоостроводужных структур. М.: Наука, 2007. 245 с.

Мелекесцева И. Ю., Масленников В. В., Масленникова С. П. Элементы-примеси в сульфидах Дергамышского кобальт-медно-колчеданного месторождения, Южный Урал: форма нахождения и источники вещества // Литосфера. 2020. №4. С. 499–516. DOI: 10.24 930/1681-9004-2020-20-4-499-516

Прокин В. А., Серавкин И. Б., Виноградов А. М. Геологические условия размещения и перспективы выявления крупных колчеданных месторождений на Урале // Литосфера. 2011. №6. С. 123–133.

Салихов Д. Н., Масленников В. В., Серавкин И. Б., Беликова Г. И., Галиуллин Б. Г., Никонов В. Н. Полезные ископаемые республики Башкортостан (руды меди, цинка, свинца). Уфа: Гилем, 2010. 376 с.

Сафина Н. П., Масленников В. В. Литолого-минералогическая зональность сульфидных циклитов Яман-Касинского и Сафьяновского колчеданных месторождений (Урал) // Доклады академии наук, 2008. Т. 419. №6. С. 804–806.

Серавкин И. Б. Вулканизм и колчеданные месторождения Урала. М.: Наука, 1986. 268 с.

Серавкин И. Б. Корреляция состава руд и рудовмещающих пород в вулканогенных колчеданных месторождениях (на примере Южного Урала // Геология рудных месторождений. 2013. Т. 55. №3. С. 238–258. DOI: 10.7868/ S0016777013030052

Серавкин И. Б. Металлогения Южного Урала и Центрального Казахстана. Уфа. АН РБ, Гилем, 2010. 284 с.

Серавкин И. Б., Знаменский С. Е., Косарев А. М., Рыкус М. В., Салихов Д. Н., Сначев В. И., Мосейчук В. М. Вулканогенная металлогения Южного Урала. М.: Наука, 1994. 160 с.

Серавкин И. Б., Косарев А. М. Южный Урал и Рудный Алтай: Сравнительный палеовулканический и металлогенический анализ // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61. №2. С. 3–22. https/doi.org/ https://doi.org/10.31857/ S0016-77706123-22

Серавкин И. Б., Косарев А. М., Салихов Д. Н., Знаменский С. Е., Родичева З. И., Рыкус М. В., Сначев В. И. Вулканизм Южного Урала. М.: Наука, 1992. 197 с.

Смирнов Б. И. Корреляционные методы при парагенетическом анализе. М.,: Недра, 1981. 174 с.

Франклин Дж. М., Лайдон Дж. У., Сангстер Д. Ф. Колчеданные месторождения вулканической ассоциации // Генезис рудных месторождений. М.: Мир, 1984. Т. 2. С. 39–252.

Целуйко А. С., Масленников В. В., Аюпова Н. Р., Масленникова С. П. Минеральные и текстурно-структурные особенности рудных фаций Юбилейного медно-колчеданного месторождения (Южный Урал) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2017. №4. С. 50–56.

Целуйко А. С., Масленников В. В., Аюпова Н. Р., Масленникова С. П., Данюшевский Л. В. Теллуридная минерализация в обломочных рудах медноколчеданного месторождения Юбилейное (Южный Урал) // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61. №2. С. 39–71. https:// doi.org/10.31857/S0016-777061239-71

Auclair M., Fouquet Y., Bohn M. Distribution of selenium in high-temperature hydrothermal sulfide deposits at 13° North, East Pacific Rise // Canadian Mineralogist. 1987. V. 25. P. 577–587.

Belogub E. V., Ayupova N. R., Krivovichev V. G., Novoselov K. A., Blinov I. A., Charykova M. V. Se minerals in the continental and submarine oxidation zones of the South Urals volcanogenic-hosted massive sulfide deposits: a review // Ore Geology Reviews. 2020. 122:103500. https:// doi.org/10.1016/j. oregeorev. 2020.103500

Butler I. B., Nesbitt R. W. Trace element distributions in the chalcopyrite wall of black smoker chimney: insights from laser ablationinductively coupled plasmamass spectrometry (LA — ICP– MS) // Earth Planetary Science Letters. 1999. M. 167 (3). P. 335–345. https://doi.org 10.1016/S0012-821X (99) 00038–2

Butler I. B., Nesbitt R. W. Trace Element Distributions in the Chalcopyrite Wall of a Black Smoker Chimney: Insights from Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (LA — ICP — MS) // Earth and Planetary Science Letters. 1999. V. 167. № 3–4. P. 335–45. DOI: 10.1016/s0012-821x (99) 00038–2

Ciobanu C. L., Cook N. J., Spry P. G. Preface-special issue: telluride and selenide minerals in gold deposits — how and why? // Mineralalogy and Petrology. 2006. V. 87. P. 163–169. https://doi.org/10.1007/s00710-006-0133-9

Halbach P. E., Fouquet Y., Herzig P. Mineralization and compositional patterns in deepsea hydrothermal systems // Energy and Mass Transfer in Marine Hydrothermal Systems/P. E. Halbach, V. Tunnicliffe J. R. Hein (Eds). Berlin, Dahlem Univ. Press. 2003. P. 85–122.

Hannington M., Herzig P., Scott S., Thompson G., Rona P. Comparative mineralogy and geochemistry of gold-bearing deposits on the mid-ocean ridges // Marine Geology. 1991. V. 101. P. 217–248.

Hannington M. D., Tivey M. K., Larocque A. C. L., Petersen S., Rona P. A. The occurrence of gold in sulfide deposits of the TAG hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge // Canadian Mineralogist. 1995. V. 33. P. 1285–1310.

Huston D. L., Sie S. H., Sutter G. F., Cook D. R., Both R. A. Trace elements in sulfide minerals from Eastern Australian volcanichosted massive sulfide deposits. Part I, proton microprobe analyses of pyrite, chalcopyrite, and sphalerite, and Part II. Selenium levels in pyrite. comparison with δS^{34}values and implication for the source of sulfur in volcanogenic hydrothermal systems // Economic Geology. 1995. V. 90. P. 1167–1196. DOI: 10.2113/gsecongeo. 90.5.1167

Kuroda P. K., Sandell T. B. Geochemistry of molybdenum // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1954. V. 6. № 1. P. 35–63. DOI: 10.1016/0016–7037 (54) 90028–9

Maslennikov V. V., Ayupova N. R., Safina N. P. Tseluyko A. S., Vtktrtcwtf I. Yu., Rotlyarov V. A., Blinov I. A., Maslennikova S. P., Large R. R., Herrington R. J., Tessalina S. G. Mineralogical features of ore diagenites in the Urals massive sulfide deposits, Russia // Minerals. 2019. V. 9. № 3. P. 150. https://doi.org/10.3390/min9030150

Maslennikov V. V., Maslennikova S. P., Large R. R., Danyushevsky L. V. Study of trace element zonation in vent chimneys from the Silurian YamanKasy VHMS (the Southern Urals, Russia) using laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LAICPMS) // Economic Geology. 2009. V. 104. № 8. P. 1111–1141. DOI: 10.2113/gsecongeo. 104.8.1111

Maslennikov V. V., Maslennikova S. P., Large R. R., Danyushevsky L. V., Herrington R. J., Ayupova N. R., Zaykov V. V., Lein A. Yu., Tseluyko A. S., Melekestseva I. Yu., Tessalina S. G. Chimneys in Paleozoic massive sulfide mounds of the Urals VMS deposits: Mineral and trace element comparison with modern black, grey, white and clear smokers // Ore Geology Reviews. 2017. V. 85. P. 64–106. https://doi.org/10.1016/j. oregeorev. 2016.09.012

Prokin V. A., Buslaev F. P. Massive copperzinc sulfide deposits in the Ural // Ore Geology Reviews. 1999. № 14. P. 1–69.

Rouxel O., Fouquet Y., Ludden J. Subsurface processes at the Lucky Strike hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge: evidence from sulfur, selenium, and iron isotopes // Geochim Cosmochim Acta. 2004. V. 68. № 10. P. 2295–2311. https://doi.org/10.1016/j. gca. 2003.11.029

Referenes

Auclair M., Fouquet Y., Bohn M. (1987) Distribution of selenium in high-temperature hydrothermal sulfide deposits at 13° North, East Pacific Rise. Canadian Mineralogist, 25. P. 577–587.

Ayupova N.R., Maslennikov V.V., Kotlyarov V.A., Maslennikova S.P., Danyushevsky L.V., Larzh R. (2017) Mineraly Selena and Indiya v zone submarinnigo gipergeneza kolchedannogo mestorozhdeniya Molodezhnoe [Selenium and indium minerals in the submarine hypergenesis zone of the pyrite deposit of the Molodezhnoye copper-zinc-pyrite deposit, Southern Urals]. Doklady Earth Sciences, 473(2), 190–194. https/doi.org/ 10.7868/S0869565217080151 (In Russian).

Belogub E.V., Ayupova N.R., Krivovichev V.G., Novoselov K.A., Blinov I.A., Charykova M.V. (2020) Se minerals in the continental and submarine oxidation zones of the South Urals volcanogenic-hosted massive sulfide deposits: a review. Ore Geology Reviews, 122:103500. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103500

Butler I.B., Nesbitt R.W. (1999) Trace element distributions in the chalcopyrite wall of black smoker chimney: insights from laser ablationinductively coupled plasmamass spectrometry (LA–ICP– MS). Earth Planetary Science Letter. 167(3). P. 335–345. DOI: 10.1016/S0012-821X(99)00038-2

Ciobanu C.L., Cook N.J., Spry P.G. (2006) Preface-special issue: telluride and selenide minerals in gold deposits – how and why? Mineralalogy and Petrology, 87, 163–169. https://doi.org/10.1007/s00710-006-0133-9

Franklin J.M., Lydon J.W., Sangster D.F. (1984) Kolchedannie mestorozhdeniya vulkanicheskoi associatsii [Massive sulfide deposits of volcanic association]. Genesis of ore deposits. Moscow: MIR, 2, 39–252. (In Russian).

Halbach P.E., Fouquet Y., Herzig P. (2003) Mineralization and compositional patterns in deepsea hydrothermal systems. Energy and Mass Transfer in Marine Hydrothermal systems/ P.E. Halbach, V. Tunnicliffe J.R. Hein (Eds). Berlin, Dahlem Univ. Press, 85–122.

Hannington M., Herzig P., Scott S., Thompson G., Rona P. (1991) Comparative mineralogy and geochemistry of gold-bearing deposits on the mid-ocean ridges. Marine Geology, 101, 217–248.

Hannington M.D., Tivey M.K., Larocque A.C.L., Petersen S., Rona P.A. (1995) The occurrence of gold in sulfide deposits of the TAG hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge. Canadian Mineralogist, 33, 1285–1310.

Huston D.L., Sie S.H., Sutter G.F., Cook D.R., Both R.A. (1995) Trace elements in sulfide minerals from Eastern Australian volcanichosted massive sulfide deposits. Part I, proton microprobe analyses of pyrite, chalcopyrite, and sphalerite, and Part II. Selenium levels in pyrite. comparison with δS34values and implication for the source of sulfur in volcanogenic hydrothermal systems. Economic Geology, 90, 1167–1196. DOI: 10.2113/gsecongeo.90.5.1167

Ismagilov M.I. (1962) Nekotorye cherty mineralogii mednokolchedannogo mestorozhdeniya Dergamysh [Some features of the mineralogy and genesis of the Dergamysh copper-cobalt deposit]. Geological and mineralogical features of copper ore deposits of the Southern Urals. Ufa: GGI BF AN USSR, 74–97. (In Russian).

Ismagilov M.I. (1979) Mineralogiya i usloviya formirovaniya rud na Letnem mestorozhdenii [Mineralogy and conditions of ore formation at the Letnee deposit]. Mineralogical and geochemical features of massive sulfide deposits, volcanogenic and sedimentary formations of the Southern Urals. Ufa: BFAN, 34–47. (In Russian).

Ismagilov M.I. (1988) Mestorozhdenie Balta-Tau [The Letnee massive sulfide deposit]. Massive sulfide deposits of Urals: geological structure. Sverdlovsk: UB RAS, 196–199. (In Russian).

Ivanov S.N. (1983) Vvedenie [Introduction]. Massive sulfide deposits of the USSR. Moscow: Nauka Publ, 3–14. (In Russian).

Kontar E.S. (2013) Geologo-promyshlennye tipy of mednykh, tsinkovykh i svintsovykh mestorozhdenii (geologicheskie usloviya razhmeshcheniya, istoria formirovaniya, perspectivy [Geological and industrial types of copper, zinc and lead deposits in the Urals (geological conditions of placement, history of formation, prospects)]. Yekaterinburg: Izdvo UGMU,199 p. (In Russian).

Kontar E.S., Libarova L.E. (1997) Metallogeniya medi, zinka, svintsa na Urale [Metallogeny of copper, zinc, and lead in the Urals]. Yekaterinburg: Uralgeolcom, 233 p. (In Russian).

Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B., Shafigullina G.T. (2021) Geodinamicheskie usloviya vulkanizma i kolchedanoobrazovaniya v Magnitogorskoi megazone v pozdneemsko-eifelskoe vremya [Geodynamic conditions of volcanism and pyrite formation in the Magnitogorsk megazone in the late Emsian-Eifelian time]. Lithosphere, 21(6), 775–804. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-6-775-804 (In Russian).

Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B., Shafigullina G.T. (2022) Kolchedanonosnye vulkanicheskie komplexy Magnitogorskoi paleoostrovoduzhnoi megazony na Yuzhnom Urale: modeli rudnomagmaticheskoi sistemy, geodinamicheskie rekonstruktsii [Massive sulfide volcanic complexes of the Magnitogorsk paleoisland-arc megazone in the Southern Urals: models of ore-magmatic systems, geodynamic reconstructions]. Petrology, 30(1), 91–118. DOI: 10.31857/S0869590322010058 (In Russian).

Kosarev A.M., Seravkin I.B., Kholodnov V.V. (2014) Geodinamicheskie i petrologo-geokhemicheskie aspekty zonal'nosti na Yuzhnom Urale [Geodynamic and petrological-geochemical aspects of the zoning of the Magnitogorsk megazone in the Southern Urals]. Lithosphere, 2, 3–25. (In Russian).

Kuroda P.K., Sandell T.B. (1954) Geochemistry of molybdenum. Geochim et Cosmochim Acta, 6 (1), 35–63.

Lyadskiy P.V., Poluektov A.P., Gubanov L.I., Ismagilov M.I., Gryaznov O.N., Chesnokov V.I., Berg L.Ya. (1988) Letnee mestorozhdenie [Letneye deposit] // Copper massive sulfide deposits: geological structure. Sverdlovsk: UB RAS, 23–32. (in Russian)

Maslennikov V.V. (1999) Sedimentogenez, gal'miroliz i ecologia mednokolchedannyh mestorozhdenii [Sedimentogenesis, halmyrolysis and ecology of massive sulfide bearing paleohydrothermal fields]. Miass: Geotur, 348 p. (In Russian).

Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Maslennikova S.P., Tretyakov G.A., Melekestseva I.Yu., Safina N.P., Belogub E.V., Large R.R., Danyushevsky L.V. (2014) Toksichnye elementykolchedanoobrazuyushchikh sistema [Toxic elements in massive sulfide forming systems]. Yekaterinburg: UB RAS, 340 p. (in Russian)

Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Safina N.P. Tseluyko A.S., Vtktrtcwtf I.Yu., Rotlyarov V.A., Blinov I.A., Maslennikova S.P., Large R.R., Herrington R.J., Tessalina S.G. (2019) Mineralogical features of ore diagenites in the Urals massive sulfide deposits, Russia. Minerals. 9 (3), 150. https://doi.org/10.3390/min9030150

Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Tseluyko A.S., Safina N.P., Artemyev D.A., Yatimov U.A., Bryukhov S.I., Khvorov P.V., Rassomakhin M.A. (2024) Tipokhimism magnetita kolchedannykh i zhelesorudnych mestorozhdenii Urala (dannye LA-ICP-MS) [Typochemistry of magnetite in massive sulfide and iron ore deposits of the Urals (according to LA-ICP-MS data)]. Mineralogy, 10(4), 8–40. DOI: 10.35597/2313-545X-2024-10-4-1 (In Russian).

Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Large R.R., Danyushevsky L.V. (2009) Study of trace element zonation in vent chimneys from the Silurian YamanKasy VHMS (the Southern Urals, Russia) using laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LAICPMS). Economic Geology, 104(8), 1111–1141. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.104.8.1111

Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Large R.R., Danyushevsky L.V., Herrington R.J., Ayupova N.R., Zaykov V.V., Lein A.Yu., Tseluyko A.S., Melekestseva I.Yu., Tessalina S.G. (2017) Chimneys in Paleozoic massive sulfide mounds of the Urals VMS deposits: Mineral and trace element comparison with modern black, grey, white and clear smokers. Ore Geology Reviews, 85, 64–106. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.09.012

Maslennikov V.V., Maslennikova S.P., Lein A.Yu. (2019) Mineralogiya i geokhimiya drevvnikh i sovremennykh chernykh kurilshchikov [Mineralogy and geochemistry of ancient and modern black smokers]. Moscow: RAS, 832 p. (In Russian).

Maslennikov V.V., Zaykov V.V. (2006) Metod rudnofacial'nogo analiza v geologii kolchedannykh mestorozhdenii [Method of ore-facies analysis in the geology of pyrite deposits]. Miass: SUSU, 223 p. (In Russian).

Maslennikova S.P., Maslennikov V.V. (2007) Sul'fidnye truby paleozoiskikh chernykh kurilshchikov (na primere Urala) [Sulfide chimneys of Paleozoic "black smokers" (on the example of the Urals)]. Ekaterinburg: UB RAS, 317 p. (In Russian).

Melekestseva I.Yu. (2007) Heterogeneous cobalt-copper pyrite deposits in ultramafites of paleoisland-arc structures. Moscow: Nauka Publ. 245 p. (In Russian).

Melekestseva I.Yu., Maslennikov V.V., Maslennikova S.P. (2020) Elementy-primesi v sul'fidakh Dergamyshskogo kombalt-mednokolchedannogo mestorozhdeniya, Yuzhnyi Ural: forma nakhozhdeniya i istochniki veshestva [Trace elements in sulfides of the Dergamysh cobalt-copper-pyrite deposit, Southern Urals: occurrence form and sources of matter]. Lithosphere, 4, 499–516. https/doi.org/ 10.24930/1681-9004-2020-20-4-499-516 (In Russian).

Prokin V.A., Buslaev F.P. (1999) Massive copperzinc sulfide deposits in the Ural // Ore Geology Reviews,14, 1–69.

Prokin V.A., Seravkin I.B., Vinogradov A.M. (2011) Geologicheskie usloviya razmeshchenia i perspektivy vyyavleniya krupnykh mestorozhdenii na Urale [Geological conditions of placement and prospects for identifying large pyrite deposits in the Urals. Lithosphere, 6, 123–133. (In Russian).

Rouxel O., Fouquet Y., Ludden J. (2004) Subsurface processes at the Lucky Strike hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge: evidence from sulfur, selenium, and iron isotopes. Geochim et Cosmochim Acta, 68(10). 2295–2311. https://doi.org/ 10.1016/j.gca.2003.11.029

Safina N.P., Maslennikov V.V. (2008) Litologicheskaya i mineralogicheskaya zonalnost' su'lfidnykh tsiklitov Yaman-Kasinskogo i Safyanovskogo kolchemannykh mestorozhdenii [Lithological and mineralogical zoning of sulfide cyclites of the Yaman-Kasinsky and Safyanovsky massive sulfide deposits (Ural)]. Doklady Earth Sciences, 419(6), 804–806. (In Russian).

Salikhov D.N., Maslennikov V.V., Seravkin I.B., Belikova G.I., Galiullin B.G., Nikonov V.N. (2010) Polezniye iskopayemye respubliki Bashkortostan (med, zink, svinets) [Mineral resouces of the Republic of Bashkortostan (ores of copper, zinc, lead)]. Ufa: Gilem, 376 p. (In Russian).

Seravkin I.B. (1986) Vulkanizm i kolchedannye mestorozhdeniya Urala [Volcanism and pyrite deposits of the Urals]. Moscow: Nauka Publ. 268 p. (In Russian).

Seravkin I.B. (2010) Metallogeniya Yuzhnogo Urala i Tsentralnogo Kasakhstana [Metallogeny of the Southern Urals and Central Kazakhstan]. Ufa: Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, Gilem, 284 p. (In Russian).

Seravkin I.B. (2013) Korrelyatsia sostava rud i vmeshchayushchikh porod volcanogennykh kolchedannykh mestorozhdenii (na primere Yuzhnogo Urala) [Correlation of the composition of ores and ore-hosting rocks in volcanogenic massive sulfide deposits (on the example of the Southern Urals. Geology of ore deposits, 55(3), 238–258. DOI: 10.7868/S0016777013030052 (In Russian).

Seravkin I.B., Kosarev A.M. (2019) Yuzhnyi Ural i Rudnyi Altai: sravnitel'nyi paleovulkanicheskii i metalogenicheskii analiz [Southern Urals and Rudny Altai: Comparative paleovolcanic and metallogenic analysis]. Geology of ore deposits. 61(2), 3–22. DOI: 10.31857/S0016-77706123-22 (In Russian).

Seravkin I.B., Kosarev A.M., Salikhov D.N., Znamensky S.E., Rodicheva Z.I., Rykus M.V., Snachev V.I. (1992) Vulkanizm Yuzhnogo Urala [Volcanism of the Southern Urals]. Moscow: Nauka Publ. 197 p. (In Russian).

Seravkin I.B., Znamensky S.E., Kosarev A.M., Rykus M.V., Salikhov D.N., Snachev V.I., Moseychuk V.M. (1994) Vulkanogennaya metallogeniya Yuzhnogo Urala) [Volcanogenic metallogeny of the Southern Urals]. Moscow: Nauka Publ. 160 p. (In Russian).

Smirnov B.I. (1981) Korrelyatsionnye metody pri parageneticheskom analize [Correlation methods for paragenetic analysis]. Moscow: Nedra Publ. 174 p. (In Russian).

Tseluyko A.S., Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Maslennikova S.P., Danyushevsky L.V. (2019) Telluridnaya mineralisatsiya v oblomochnikh rudakh Yubileinogo mednokolchedannogo mestorozhdeniya (Yuzhnyi Ural). Telluride mineralization in detrital ores of the Yubileynoye copper-pyrite deposit (Southern Urals). Geology of ore deposits, 61(2), 39–71. DOI: 10.31857/S0016-777061239-71 (In Russian).

Tselyuko A.S., Maslennikov V.V., Ayupova N.R., Maslennikova S.P. (2017) Mineral'nie i texturno-strukturnye osobennosti rudnikh fatsyi Yubileinogo mestorozhdeniya (Yuzhnyi Ural) [Mineral and textural-structural features of ore facies of the Yubileynoye copper-pyrite deposit (Southern Urals)]. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 4, 50–56. (In Russian).

Zaikov V.V. (2006) Vulkanizm i sulfidnye kholmy paleooceanicheskikh okrain: primer kolchedanonosnych zon Urala i Sibiri [Volcanism and sulfide mounds of paleooceanic margins: on the example of sulfide-bearing zones of the Urals and Siberia]. Ed. second add. Moscow: Nauka Publ. 429 p. (In Russian).

Zaikov V.V., Maslennikov V.V., Zaikova E.V., Herrington R. (2001) Rudno-formatsionnyi and rudno-facyal'nyi analiz kolchedannykh mestorozhdenii Ural'skogo paleooceana [Ore formation and ore facies analysis of sulfide deposits of the Ural paleoocean. Miass: IMin UB RAS, 315 p. (In Russian).

Zaikov V.V., Shadlun T.N., Maslennikov V.V., Bortnikov N.S. (1995) Sulfidnaya zalezh Yaman-Kasy – drevniy "cherniy kurilshchik" Ural'skogo paleookeana [The Yaman-Kasy sulfide deposit – an ancient "black smoker" of the Ural paleoocean]. Geology of ore deposits, 37 (6), 511–529. (In Russian).

Сведения об авторе:

Масленников Валерий Владимирович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, чл.-корр. РАН, Институт минералогии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Южно-Уральского федерального научного центра минералогии и геоэкологии Уральского отделения Российской академии наук (ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН), Россия, г. Миасс. mas@mineralogy.ru, ORCID ID 0000-0002-1999-2324

About the author:

Maslennikov Valery Vladimirovich, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Institute of Mineralogy — a subdivision of the **Federal State Budgetary Institution of Science South Urals Research Center of Mineralogy and Geoecology of the Urals Branch of the Russian Academy of Sciences**, Miass, Russia (SU FRC MG UB RAS), Russia, Miass. mas@mineralogy.ru, ORCID ID 0000-0002-1999-2324

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.01.2025; одобрена после рецензирования 27.02.2025; принята к публикации 03.03.2025.

The article was submitted 24.01.2025; approved after reviewing 27.02.2025; accepted for publication 03.03.2025.