



Геохимическая зональность рудной залежи Ново-Учалинского колчеданного месторождения (Южный Урал, Россия)

И. В. Викентьев, А. В. Спирина

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), Москва, viken@igem.ru, shakhtiyarova@bk.ru

Ново-Учалинское существенно цинковое ($C_{Zn} \gg C_{Cu}$) колчеданное месторождение – одно из крупнейших на Урале, в настоящее время оно доразведывается веерами скважин подземного бурения и горными выработками. В работе впервые приводится характеристика геохимической зональности рудной залежи (с примерами Cu, Zn, Au и In), обсуждаются условия ее формирования и факторы, вызвавшие ее усложнение. Кроме того, по большому массиву геохимических проб были проведены геостатистические расчеты. Рудная залежь представлена крупной, склоняющейся к югу субвертикальной лентой прихотливого строения, которая приурочена к крылу запрокинутой крупной антиклинальной складки, рассечена дайками основного состава и характеризуется сложной, комбинированной геохимической зональностью. Распределение Cu и Zn носит в целом асимметричный характер. Существенно медные руды тяготеют к северной выклинке залежи, а к югу по ее склонению концентрация Zn растет, Cu – падает, и средняя часть залежи уже представлена существенно цинковыми рудами. В разрезе максимумы меди чаще отмечаются в лежачем боку залежи, а цинка – в висячем боку. Внедрение мощной дайки габбро-диоритов и последующий динамометаморфизм, в том числе с участием гидротермальных растворов, вызвали локальное переотложение более мобильной Cu в близконтактных зонах дайки и участках раздува мощности рудного тела. В раздуве мощности залежи, в замке складки 2-го порядка, развиты богатые медно-цинковые руды, которые обогащены Zn, Pb, Au, Ag, In, Ba и некоторыми другими элементами. Схожесть их поведения в рудах подтверждается высокой положительной парной корреляцией. Картины распределения золота и индия в пределах рудного тела носят скорее симметричный характер. Высокие концентрации золота и индия приурочены к резкому изгибу колчеданного тела, а маломощные максимумы индия отмечаются в лежачем боку рудной залежи. Вследствие динамометаморфизма залежь приобрела прихотливое строение с образованием мощных раздувов; руды были значительно перекристаллизованы, а местами локально обогащены цветными и благородными металлами.

Ключевые слова: Ново-Учалинское колчеданное месторождение, геохимическая зональность, контактовый метаморфизм, медь, цинк, золото, индий, динамометаморфизм.

Geochemical zonality of ore lode of Novo-Uchaly VMS deposit (South Urals, Russia)

I. V. Vikentyev, A. V. Spirina

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, RAS, Moscow

Novo-Uchaly essentially zinc ($C_{Zn} \gg C_{Cu}$) VMS deposit is one of the largest in the Urals. Currently, it is under additional exploration by fans of underground drilling wells and mine workings. The paper describes a novel geochemical zonation of the sulphide deposit (the example of Cu, Zn, Au and In), discusses conditions of formation and factors that caused its complication. We carried geostatistical calculations in addition to the analysis of the zonation of the deposit. The ore deposit is represented by a large sub-vertical ribbon of a whimsical structure, inclined southward, which is confined to the wing of an inverted large anticlinal fold, cut by mafic dikes and characterized by a complex, combined geochemical zonality. The distribution of Cu and Zn is generally asymmetric. Copper-rich ores tend to the northern wedge of the deposit, and to the south, along its declination, the concentration of Zn increases, while Cu decreases, and the middle part of the deposit is represented by zinc-rich ores. In the section, copper maxima are more often noted in the footwall side of the deposit, and zinc – in the hanging side. The intrusion of a thick gabbro-diorite dyke and subsequent dynamometamorphism, including hydrothermal solutions, caused the redeposition of more mobile Cu in the near-contact zones of the dyke and areas of swell of the ore body thickness. Within the swell of the thickness of the deposit, in the hinge of the fold of the 2nd order, rich copper-zinc ores occur, which are enriched by Zn, Pb, Au, Ag, In, Ba and some other rare elements. The similarity of their behavior in ores is confirmed by their high positive pair correlation. In the ore body, the distribution patterns of gold and indium are rather symmetrical. High concentrations of gold and indium are confined to a sharp bend in the ore body, and small indium maxima occur in the footwall of the ore lode. As a result of dynamometamorphism, the deposit acquired a whimsical structure with the formation of thick swells; ores were significantly recrystallized, and locally enriched by non-ferrous and precious metals.

Keywords: Novo-Uchaly VMS deposit, geochemical zonality, contact metamorphism, copper, zinc, gold, indium, dynamometamorphism.

Для цитирования: Викентьев И. В., Спирина А. В. Геохимическая зональность рудной залежи Ново-Учалинского колчеданного месторождения (Южный Урал, Россия) // Вестник геонаук. 2022. 11(335). С. 11–19. DOI: 10.19110/geov.2022.11.2

For citation: Vikentyev I. V., Spirina A. V. Geochemical zonality of ore lode of Novo-Uchaly VMS deposit (South Urals, Russia). Vestnik of Geosciences, 2022, 11(335), pp. 11–19, doi: 10.19110/geov.2022.11.2

Введение

Ново-Учалинское месторождение залегает на севере Магнитогорской (рис. 1) мегазоны Урала [6, 23]. Рудная залежь месторождения была локально преобразована в результате внедрения мощной (до 20 м) дайки габбро-диоритов и значительно — при последующем динамометаморфизме, вызванном коллизией Казахстано-Сибирского и Восточно-Европейского кратонов в раннепермское время [22]. Данные события сказались на морфологии рудного тела, текстурно-структурном облике руд, их минеральном составе, а также вызвали перераспределение компонентов руд, в т. ч. главных промышленных — Cu и Zn. Несмотря на общий слабый метаморфизм вмещающих пород, отвечающий пренит-пумпеллиитовой фации, рудное тело месторождения сильно деформировано в сжатую до сундучной антиклинальную складку, которая запрокинута на запад. В результате подземного эксплуатационно-разведочного бурения и проходки горных выработок была детализирована морфология рудной залежи [9] и уточнено распределение промышленно ценных элементов руд — Cu, Zn, благородных металлов и некоторых редких элементов, на чем сделан акцент в настоящем исследовании.



Рис. 1. Схематическая карта расположения колчеданных месторождений Среднего и Южного Урала с указанием позиции исследуемого месторождения

Штриховками показаны колчеданоносные зоны: вертикальной — Тагильская (O_3-S_1), косой — Магнитогорская (D_{1-2}). Знаки для месторождений: кружки залитые — Cu-Zn, с крестиком — колчеданно-полиметаллические, квадрат — Cu-Co. Величина знака пропорциональна запасам руд (по [3])

Fig. 1. Schematic map of the location of VMS deposits in the Middle and Southern Urals, indicating the position of the studied deposit

Hatching shows VMS-bearing zones: vertical — Tagil (O_3-S_1), oblique — Magnitogorsk (D_{1-2}). Signs for deposits: filled circles — Cu-Zn, with a cross — VMS-polymetallic, square — Cu-Co. The value of the sign is proportional to the ore reserves (to [3])

Геологическая позиция

Ново-Учалинское медно-цинково-колчеданное ($C_{Zn} \gg C_{Cu}$) месторождение, одно из крупнейших в мире, находится в Учалинском районе Башкирии. Запасы его ~ 120 млн т руды, Cu — 1.1 млн т ($C_{ср.} = 0.99$ мас. %), Zn — 3 млн т (2.95 %), Au — 181 т (1.7 г/т), Ag — 2912 т (26 г/т) (по балансу [7] плюс ~ 5 млн т руды, отработанной за 2018—2021 гг.). Рудная залежь представлена крупной крутопадающей слепой залежью сложной, в целом линзовидной формы (\approx утолщенная лента), локализованной на глубинах 550—1500 м с постепенным склонением к югу. Разрез месторождения представлен преимущественно риодацитами, по которым развиты серицит-кварцевые метасоматиты, преимущественно в лежачем боку рудной залежи [5]. Сверху залежь перекрыта мощной толщей базальтов. Обе толщи входят в состав карамалыташской свиты (D_{2ef}). Субвулканические и интрузивные образования месторождения представлены лакколитоподобными телами риодацитов, силлом долеритов, маломощными дайками микрогаббро и мощной поздней дайкой габбро-диоритов (рис. 2).

Материалы и методы исследования

Для анализа геохимической зональности была собрана обширная база данных (6580 рядовых проб руд) опробования. Были проведены геостатистические расчеты с целью стандартизации логнормального одно-модального распределения Cu и Zn. Для серии поперечных разрезов были построены схемы гипогенной зональности, в работе приведены два из них. Также была проведена корреляция редких элементов с главными полезными компонентами (табл. 1).

Результаты

Рудная залежь характеризуется сложным, прихотливым строением. Существенную часть месторождения слагают сплошные руды, а вкрапленные (~ 8 об. % всех руд) встречаются локально в лежачем боку. Разрез ПР 33¹⁰ представлен существенно медными рудами, а ПР 34¹⁰⁺⁴⁰ — существенно цинковыми (рис. 3). Серноколчеданные и вкрапленные руды преимущественно слагают нижнюю выклинку залежи, встречаются их локальные участки в лежачем боку и участке перегиба складки (рис. 3, а). Выше по разрезу залегают медные и медно-цинковые руды — центральная часть и висячий бок рудного тела, а цинковые тяготеют к участку перегиба складки. На другом профиле (рис. 3, б) медные руды залегают локально: вкрапленные слагают нижнюю выклинку, а сплошные встречаются в лежачем боку и в участках близ контакта с дайками. Данный разрез слагают в основном медно-цинковые руды с высокими содержаниями цинка. В целом зональность залежи является комбинированной (ср. [2]).

На более северном разрезе Cu в целом тяготеет к лежачему боку залежи, а Zn — к висячему (рис. 4). Максимумы меди и цинка разобщены в пределах рудной залежи, и если рассматривать ее основную часть (без нижней «выклинки»), то в целом Cu и Zn распределены близсимметрично. Высокие концентрации Cu связаны с сильным раздувом залежи, а локальные мак-

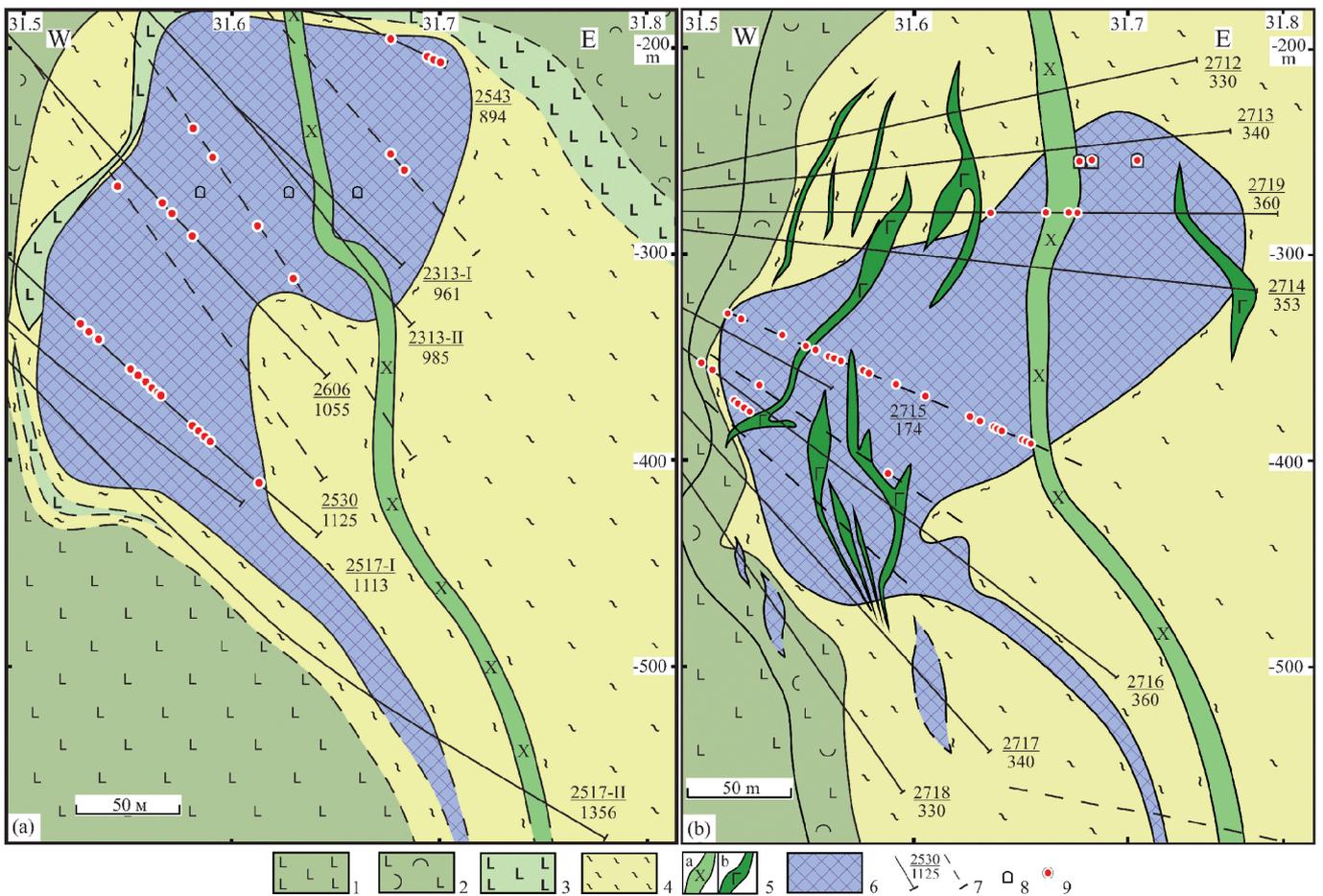


Рис. 2. Поперечные геологические разрезы: а – северной (ПР 33^Ю) и б – средней (ПР 34^{Ю+40}) частей залежи. Учтены данные разведки Межозерной ГРП, Учалинского филиала Башкиргеологии и Учалинского ГОКа

Условные обозначения: 1 – базальты; 2 – преимущественно туфы базальтов; 3 – долериты; 4 – серицит-кварцевые метасоматиты; 5 – дайки: а – габбро-диоритов, б – микрогаббро; 6 – контур рудного тела; 7 – скважина, ее номер и глубина, включая спроецированные из соседних разрезов (пунктир); 8 – горные выработки; 9 – точки отбора проб зерна

Fig. 2. Cross-section: a – in the northern (profile 33) and b – in the middle (profile 34+40) part of the deposit. Exploration data from Mezhozernaya geological prospecting party, Uchaly branch of Bashkirgeology and the Uchaly MPP were taken into account

Legend: 1 – basalts; 2 – mostly basalt tufts; 3 – dolerites; 4 – sericite-quartz alteration; 5 – dikes: a – gabbro-diorites, b – microgabbro; 6 – ore body; 7 – borehole its number and depth, including projected from neighboring sections (dashed line); 8 – mine workings; 9 – core sampling points

Таблица 1. Матрица парных корреляций рудообразующих элементов в рудах (6580 проб)
Table 1. Matrix of pair correlations of ore-forming elements in ores (6580 samples)

	Cu	Zn	S	Au	Ag	Se	Te	In	Cd	Ge	Hg	As	Ba	Pb	Sb
Cu	1														
Zn	-0.36	1													
S	0.32	-0.21	1												
Au	-0.10	0.57	-0.07	1											
Ag	-0.25	0.65	-0.19	0.74	1										
Se	0.58	-0.53	0.37	-0.34	-0.37	1									
Te	0.57	-0.49	0.37	-0.19	-0.33	0.75	1								
In	-0.06	0.65	-0.06	0.63	0.59	-0.38	-0.28	1							
Cd	-0.34	0.91	-0.16	0.58	0.65	-0.50	-0.51	0.63	1						
Ge	-0.17	0.52	-0.47	0.31	0.33	-0.35	-0.20	0.43	0.43	1					
Hg	-0.42	0.74	-0.19	0.46	0.53	-0.52	-0.44	0.50	0.67	0.42	1				
As	-0.12	0.26	0.10	0.43	0.33	-0.16	-0.20	0.34	0.28	0.17	0.29	1			
Ba	-0.39	0.78	-0.28	0.60	0.70	-0.52	-0.54	0.55	0.76	0.39	0.62	0.29	1		
Pb	-0.34	0.66	-0.18	0.50	0.67	-0.36	-0.43	0.36	0.71	0.25	0.51	0.34	0.74	1	
Sb	-0.08	0.16	-0.06	0.27	0.42	-0.06	-0.08	0.17	0.15	0.11	0.16	0.25	0.24	0.25	1

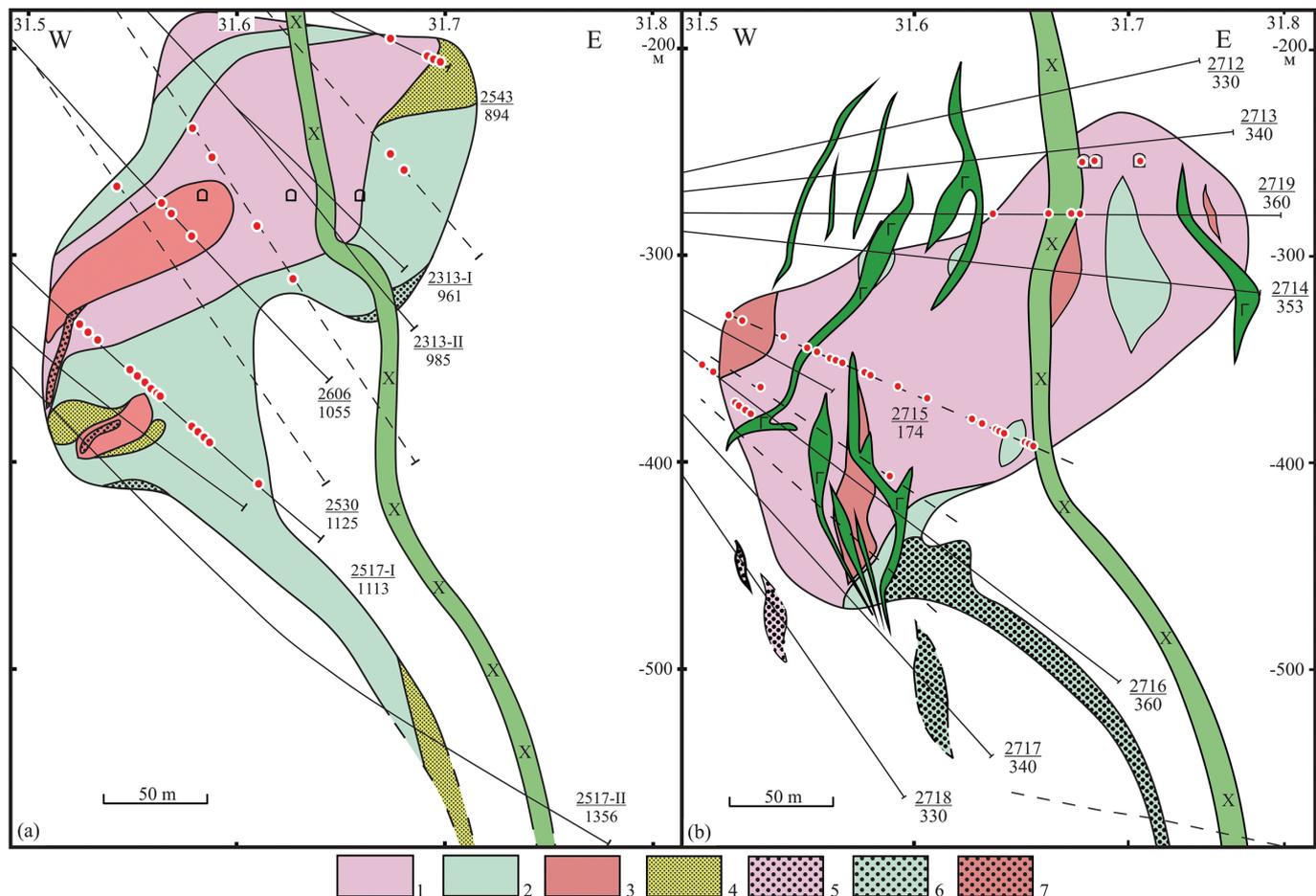


Рис. 3. Схема распределения промышленных сортов руды по профилям в северной (ПР 33¹⁰, слева) и средней (ПР 34¹⁰⁺⁴⁰, справа) частях месторождения; составлена по данным опробования УГОК и частично по данным авторов

Промышленные сорта руды: сплошные: 1 – медно-цинково-колчеданные, 2 – медно-колчеданные, 3 – цинково-колчеданные, 4 – серно-колчеданные; крапленые: 5 – медно-цинковые, 6 – медные, 7 – цинковые; остальные знаки – см. рис. 2

Fig. 3. Scheme of zonation of ore industrial grades by profiles in the northern (profile 33¹⁰, on the left) and middle (profile 34¹⁰⁺⁴⁰, on the right) parts of the deposit; compiled according to the sampling data of the Uchaly MPP and partially – according to the data of the authors

Industrial grades of ore: solid (massive): 1 – copper-zinc-sulfide, 2 – copper-sulfide, 3 – zinc-sulfide, 4 – sulfur-sulfide; disseminated: 5 – copper-zinc, 6 – copper, 7 – zinc; other signs – see Fig. 2

симумы тяготеют к висячему боку и участкам близ контакта с мощной дайкой габбро-диоритов (рис. 4). Максимум цинка отмечается в осевой, центральной части рудного тела, и один его локальный максимум тяготеет к участку изгиба складки на уровне –320...–340 м. Распределение Au и In в целом имеет неправильный характер. Их высокие концентрации также приурочены к изгибу складки, а небольшие максимумы индия тяготеют к лежащему боку. С медью совпадают зоны высоких концентраций Te (более 120 г/т), Se (более 90 г/т), Bi (20–30 г/т) и Co (100–220 г/т), что также подтверждается их высокой положительной корреляцией (табл. 1). В рудах близ контакта с дайкой габбро-диоритов появляются кварцевые прожилки с крупными скоплениями мономинеральных агрегатов халькопирита и блеклой руды (руды здесь местами обогащены Cu и Bi), которые, вероятно, были переотложены с участием гидротермальных растворов в результате теплового воздействия дайки.

Разрез центральной части залежи (рис. 5) составляют существенно цинковые руды, высокие содержания Zn тяготеют к мощному раздуву залежи в призмковой части складки 2-го порядка (на уровне отметок –320...–400 м). Кроме того, в этом призмковом участке складки наблюдается повышение содержаний Au, Ag, Pb, As, Sb, Ba, In, Ge, Hg и Cd, т. о. формируется полиметаллический рудный «столб». Близость поведения элементов в рудах подтверждается в целом высокой положительной парной корреляцией. Зональность залежи на данном профиле имеет асимметричный характер, максимумы меди встречаются локально. Высокие содержания Au сконцентрированы в участке раздува мощности, а максимумы тяготеют к призмковой части складки и участку ее перегиба на глубоких горизонтах. Распределение индия в целом имеет близкий Au характер с образованием мощной зоны обогащения в призмковой части резкого изгиба залежи.

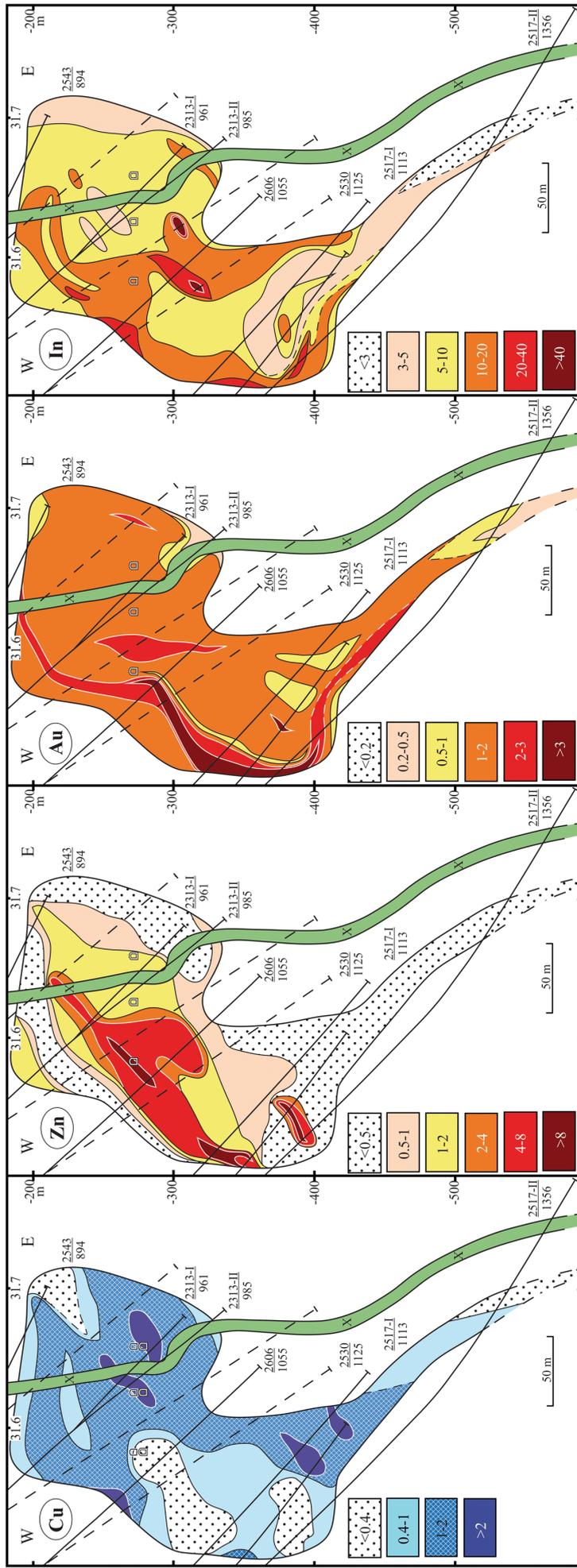


Рис. 4. Схема распределения Cu, Zn, Au, In по профилю 33⁰ в северной части месторождения; составлена по данным опробования УГОК и частично по данным авторов. Cu, мас. %: 1 – < 0.4, 2 – 0.4–1, 3 – 1–2, 4 – > 2; Zn, мас. %: 1 – < 0.5, 2 – 0.5–1, 3 – 1–2, 4 – 2–4, 5 – 4–8, 6 – > 8; Au, г/т: 1 – < 0.2, 2 – 0.2–0.5, 3 – 0.5–1, 4 – 1–2, 5 – 2–3, 6 – > 3; In, г/т: 1 – < 3, 2 – 3–5, 3 – 5–10, 4 – 10–20, 5 – 20–40, 6 – > 40

Fig. 4. Scheme of the zonality of Cu, Zn, Au in the profile 33⁰ in the northern part of the deposit; compiled according to the sampling data of the Uchaly MPP and partially according to the data of the authors. Cu, wt %: 1 – < 0.4, 2 – 0.4–1, 3 – 1–2, 4 – > 2; Zn, wt %: 1 – < 0.5, 2 – 0.5–1, 3 – 1–2, 4 – 2–4, 5 – 4–8, 6 – > 8; Au, ppm: 1, < 0.2; 2, 0.2–0.5; 3 – 0.5–1; 4 – 1–2; 5 – 2–3; 6 – > 3; In, g/t: 1 – < 3, 2 – 3–5, 3 – 5–10, 4 – 10–20, 5 – 20–40, 6 – > 40

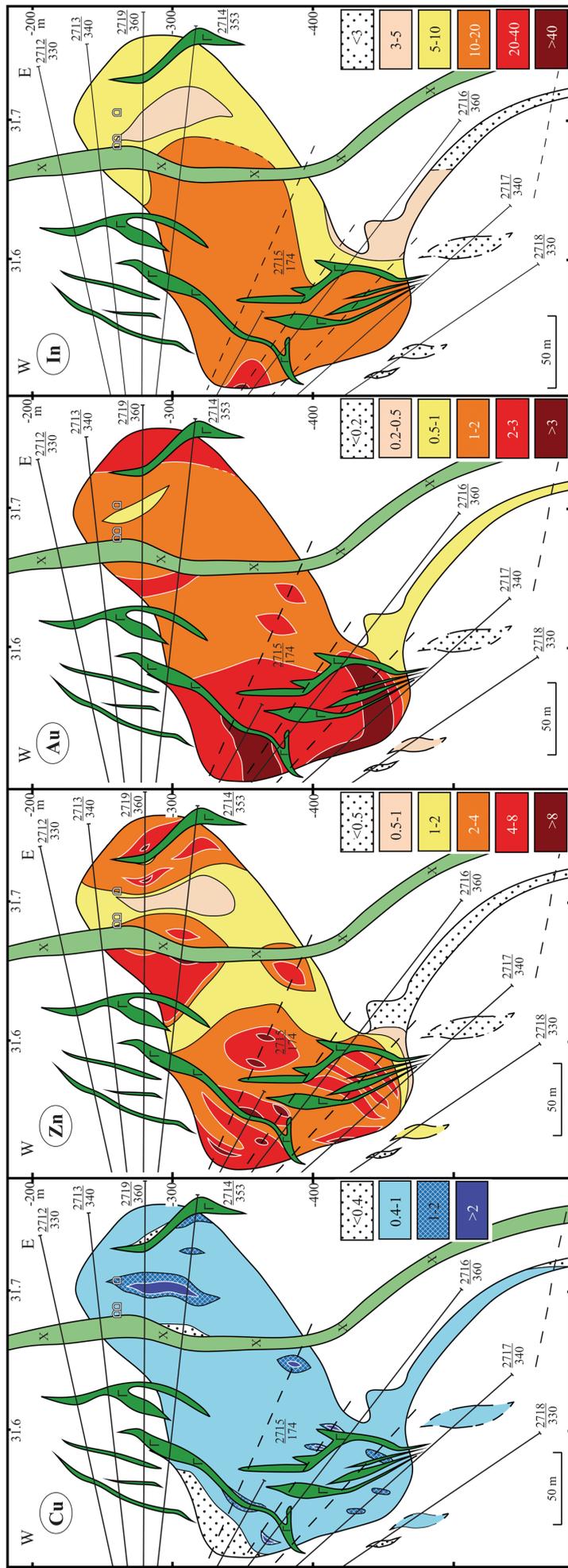


Рис. 5. Схема распределения Cu, Zn, Au, In по профилю 34Ю+40 в средней части месторождения; составлена по данным опробования УГОК и частично по данным авторов. Cu, мас. %: 1 — < 0.4, 2 — 0.4–1, 3 — 1–2, 4 — > 2; Zn, мас. %: 1 — < 0.5, 2 — 0.5–1, 3 — 1–2, 4 — 2–4, 5 — 4–8, 6 — > 8; Au, г/т: 1 — < 0.2, 2 — 0.2–0.5, 3 — 0.5–1, 4 — 1–2, 5 — 2–3, 6 — > 3; In, г/т: 1 — < 3, 2 — 3–5, 3 — 5–10, 4 — 10–20, 5 — 20–40, 6 — > 40

Fig. 5. Scheme of the distribution of Cu, Zn, Au, In along the profile 34Ю+40 in the middle part of the deposit; compiled according to the sampling data of the Uchaly MPP and partially — according to the data of the authors. Cu, wt %: 1 — < 0.4, 2 — 0.4–1, 3 — 1–2, 4 — > 2; Zn, wt %: 1 — < 0.5, 2 — 0.5–1, 3 — 1–2, 4 — 2–4, 5 — 4–8, 6 — > 8; Au, ppm: 1 — < 0.2, 2 — 0.2–0.5; 3 — 0.5–1; 4 — 1–2, 5 — 2–3, 6 — > 3; In, g/t: 1 — < 3, 2 — 3–5, 3 — 5–10, 4 — 10–20, 5 — 20–40, 6 — > 40



Цинк имеет высокую положительную корреляцию с золотом и серебром (табл. 1), что отличает руды Учалинского района от руд остального Урала [3]. В минеральном составе руд полиметаллического «столба» резко преобладают сфалерит, блеклая руда, галенит и барит. Макроскопически руды имеют полосчатую, реже пятнистую текстуру, сфалерит образует локальные участки сливных цинковых руд. В ассоциации с вышеупомянутыми сульфидами здесь появляются будинированные перекристаллизованные агрегаты пирита, содержащие включения низкопробного самородного золота размером от 2 до 20 мкм. Нередко встречаются мелкие выделения (2–3 мкм) Ag-сульфосолей, мелкие (3–5 мкм) включения касситерита в сфалерите. Руды, слагающие данный участок залежи, значительно преобразованы (хрупкие деформации пирита, появление альпийских прожилков), вплоть до появления признаков пластического течения сульфидов, в которое вовлечены сфалерит, галенит и блеклая руда. В результате анализа серии проб с помощью метода ICP-MS в групповой пробе таких существенно цинковых руд ($C_{Cu} = 2.4\%$, $C_{Zn} = 24.5\%$), богатых Au (6.4 г/т) и Ag (260 г/т), были установлены Pt (0.02 г/т) и Pd (0.02 г/т).

Обсуждение результатов

Схемы распределения Cu, Zn, Au и In указывают на сложную геохимическую зональность рудной залежи, которая может быть отнесена к комбинированному типу [1, 8], поскольку включает элементы первичного, сингенетического, асимметричного распределения и наложенного, вероятнее всего метаморфогенного. По авторитетному мнению Г. Н. Пшеничного и др. [6], асимметричное распределение элементов является результатом формирования первичных колчеданных руд гидротермально-метасоматическим способом [2, 8].

В целом, судя по приведенным разрезам (рис. 4 и 5), а также многим другим, имеющимся у авторов, элементы первичной асимметричной геохимической зональности прослеживаются в распределении Cu (тяготеет к лежащему боку) и Zn (максимумы в стратиграфически висячем боку). А наложенная, эпигенетическая обусловлена как участием рудной залежи в складчатости, так и внедрением большого количества даек (включая мощные) с общим усложнением картин распределения основных и попутных компонентов руд.

Усложнение зональности с частичным перераспределением химических элементов было обусловлено, вероятнее всего, более поздними процессами. Мощные раздувы, резкие пережимы мощности рудного тела (*pinch-and-swell* структуры), а также его разлинзование являются следствием механического перемещения рудного вещества вязкопластическим способом [10]. Внедрение мощной дайки габбро-диоритов вызвало локальное перераспределение наиболее мобильных меди и висмута в результате теплового воздействия [ср. 3, 4]. Признаки эпигенетического перераспределения меди в замковую часть складки можно объяснить наложением метаморфической ремобилизации с концентрированным переотложением Cu в зоны палеорастяжения [3, 10]; в нашем случае Cu зачастую перераспределялась совместно с Sb и As, образуя поздние скопления блеклой руды. По нашему мнению, первичная

зональность рудной залежи была осложнена вторичной, по сути метаморфогенной, в результате складчатости и метаморфических преобразований, что отвечает многочисленным примерам и предположениям целого ряда авторов, как отечественных [1, 3, 10, 12, 23], так и зарубежных [11, 13–21, 24–26], о синметаморфическом переотложении металлов в колчеданных залежах.

Выводы

- Рудная залежь характеризуется сложной зональностью, относящейся к комбинированному типу; включает элементы первично асимметричной и наложенной метаморфогенной зональности.
- Механическое перемещение полиметаллических руд в участок перегиба, гидротермально-диффузионное перераспределение элементов способствовали обогащению этой части залежи Zn, Ba, Au, Ag и некоторыми микроэлементами.
- Более мобильные Cu, Bi в результате теплового воздействия мощной дайки габбро-диоритов переотлагались близ контакта с ней.
- Динамометаморфизм способствовал ремобилизации Cu, As и Sb и переотложению их в виде поздних скоплений халькопирита и блеклой руды.
- В результате складчатости и метаморфических преобразований первичная зональность рудной залежи была осложнена вторичной, по сути метаморфогенной.

Исследования выполнены за счет средств госпрограммы Российской Федерации «Фундаментальные проблемы развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности и энергетики России» 2020–2022 гг., проект № 2020-1902-01-258, полевые работы проведены при поддержке РФФИ (20-05-00849 А) и базовой темы ИГЕМ РАН.

Литература

1. Баранов Э. Н. Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений. М.: Наука, 1987. 296 с.
2. Бородаевская М. Б., Злотник-Хоткевич А. Г., Пирожок П. И., Ширай Е. П. Условия локализации и формирования колчеданных руд на примере Учалинского месторождения // Советская геология. 1984. № 3. С. 25–35.
3. Викентьев И. В. Условия формирования и метаморфизм колчеданных руд. М.: Научный мир, 2004. 344 с.
4. Викентьев И. В. Метаморфизм колчеданных месторождений Урала // Металлогения древних и современных океанов. 2016. № 1. С. 78–83.
5. Минеральные ресурсы Учалинского горно-обогатительного комбината / И. Б. Серавкин, П. И. Пирожок, В. Н. Скуратов и др. Уфа: Башкирское книжное изд-во, 1994. 328 с.
6. Ново-Учалинское медно-цинково-колчеданное месторождение Южного Урала / Г. Н. Пшеничный, М. Я. Волькинштейн, Ю. С. Николайченков, Н. Г. Рыкус, М. А. Исхаков, Н. В. Панова, Л. И. Губанов, В. В. Миронов, А. К. Рогожников, И. П. Стахеев, О. Г. Храмова, А. И. Цепин. Уфа: УНЦ РАН, 1999. 420 с.
7. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году: Государственный доклад. М.: Роснедра, 2021. 572 с.



8. Смирнов В. И. Типы гипогенной зональности гидротермальных рудных тел // Генетические проблемы руд. М.: Госгеолтехиздат, 1960. С. 5–15.
9. Спирина А. В., Макаров В. В., Моисеев И. Б., Викентьев И. В. Детализация морфологии рудной залежи Ново-Учалинского колчеданного месторождения (Южный Урал) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020. № 2. С. 35–46.
10. Старостин В. И. Палеотектонические режимы и механизмы формирования структур рудных полей. М.: Недра, 1988. 256 с.
11. Almodóvar G. R., Yesares L., Sáez R., Toscano M., González F., Pons J. M. Massive Sulfide Ores in the Iberian Pyrite Belt: Mineralogical and Textural Evolution // Minerals. 2019. V. 9. Paper 653. DOI: 10.3390/min9110653
12. Belogub E. V., Moloshag V. P., Novoselov K. A., Kotlyarov V. A. Native bismuth, tsumoite, and Pb-bearing tsumoite from the Tarnyer copper-zinc massive sulfide deposit. Northern Urals // Geol. Ore Dep. 2011. V. 53(8). P. 798–805.
13. Corriveau L., Spry P. G. Metamorphosed hydrothermal ore deposits // Geochemistry of Mineral Resources, second ed. Treatise on Geochemistry. Ed. Scott S.D. V. 13. Elsevier, New York, 2014. P. 175–194.
14. Castroviejo R., Quesada C., Soler M. Post-depositional tectonic modification of VMS deposits in Iberia and its economic significance // Miner. Depos. 2011, 46, 615–637.
15. Govindarao B., Pruseth K. L., Mishra B. Experimentally produced Cu-Pb-Ag-Sb-S melts at 500 °C: Implications to partial melting of massive sulfide ores // Ore Geol. Rev. 2020. V. 121. 103560. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2020.103560
16. Grant H. L. J., Layton-Matthews D., Peter J. M. Distribution and controls on silver mineralization in the Hackett River Main Zone, Nunavut, Canada: an Ag- and Pb-enriched Archean volcanogenic massive sulfide deposit // Econ. Geol. 2015. V. 110 (4). P. 943–982. DOI: 10.2113/econgeo.110.4.943
17. Hokka J. Geology, alteration and lithogeochemistry of the Paleoproterozoic Korpela VMS occurrence in Eastern Finland // Miner. Depos. 55, 1581–1604 (2020). DOI: 10.1007/s00126-020-00954-0
18. Lobanov K., Yakubchuk A., Creaser R. A., 2014. Besshi-Type VMS Deposits of the Rudny Altai (Central Asia) // Econ. Geol. V. 109 (5). P. 1403–1430.
19. Lockington J. A., Cook N. J., Ciobanu P. L. Trace and minor elements in sphalerite from metamorphosed sulphide deposits // Miner. Petrol. 2014. V. 108. P. 873–890.
20. Maignac C., Diagana B., Cathelineau M., Boiron M. C., Banks D., Fourcade S., Vallance J. Remobilisation of base metals and gold by Variscan metamorphic fluids in the south Iberian Pyrite Belt: Evidence from the Tharsis VMS deposit // Chem. Geol. 2003, 194, 143–165.
21. Mercier-Langevin P., Gibson H. L., Harrington M. D. et al., A special issue on Archean magmatism, volcanism and ore deposits. P. 2. Volcanogenic massive sulfide deposits // Econ. Geol. 2014. V. 109(1). P. 1–9.
22. Puchkov V. N. General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why // Ore Geol. Rev. 2017. V. 85. P. 4–29.
23. Vikentyev I. V., Belogub E. V., Novoselov K. A., Moloshag V. P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. Ore geology // Ore Geol. Rev. 2017. V. 85. P. 30–63.
24. Yardley B. W. D., Cleverley J. S., 2015. The role of metamorphic fluids in the formation of ore deposits // Ore Deposits in an Evolving Earth, eds. Jenkin G. R. T. et al. Geol. Soc., London, Spec. Publ. 393(1). P. 117–134.
25. Yergeau D., Mercier-Langevin P., Dubé B., Malo M., Savoie A. The Westwood deposit, Southern Abitibi Greenstone Belt, Canada: an Archean Au-rich polymetallic magmatic-hydrothermal system-part i. volcanic architecture, deformation, and metamorphism // Econ. Geol. 2022. V. 117 (3). P. 545–575. DOI: 10.5382/econgeo.4878
26. Zheng Y., Zhang L., Chen Y. J., Hollings P., Chen H. Y., Metamorphosed Pb-Zn-(Ag) ores of the Keketale VMS deposit, NW China: Evidence from ore textures, fluid inclusions, geochronology and pyrite compositions // Ore Geol. Rev. 2013. V. 54. P. 167–180

References

1. Baranov E. N. *Endogennyye geokhimicheskiye oreoly kolchedannykh mestorozhdeniy* (Endogenous geochemical halos of pyrite deposits). Moscow: Nauka, 1987, 296 pp.
2. Borodaevskaya M. B., Zlotnik-Khotkevich A. G., Pirozhok P. I., Shirai E. P. *Usloviya lokalizatsii i formirovaniya kolchedannykh rud na primere Uchalinskogo mestorozhdeniya* (Conditions of localization and formation of pyrite ores on the example of the Uchaly deposit). Soviet geology, 1984, No. 3, pp. 25–35.
3. Vikentyev I. V. *Usloviya formirovaniya i metamorfizm kolchedannykh rud* (Formation and metamorphism of VMS deposits). Moscow: Scientific world, 2004, 344 pp.
4. Vikentiev I. V. *Metamorfizm kolchedannykh mestorozhdeniy Urala* (Metamorphism of VMS deposits of the Urals). Metallogeny of ancient and modern oceans, 2016, No. 1, pp. 78–83.
5. Seravkin I. B., Pirozhok P. I., Skuratov V. N. *Mineralnyye resursy Uchalinskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata* (Mineral resources of the Uchaly ore mining and processing enterprise). Ufa: Bashkir Book, 1994, 328 pp.
6. Pshenichny G. N., Volkinstein M. Ya., Nikolaichenkov Yu. S., Rykus N. G., Iskhakov M. A., Panova N. V., Gubanov L. I., Mironov V. V., Rogozhnikov A. K., Staheev I. P., Khramova O. G., Tsepin A. I. *Novo-Uchalinskoye medno-tsinkovo-kolchedannoye mestorozhdeniye Yuzhnogo Urala* (Novo-Uchaly copper-zinc-pyritic deposit of the Southern Urals). Ufa: Nauka, 1999, 395 pp.
7. State report “On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2020”. Moscow: Rosnedra, 2021, 572 pp.
8. Smirnov V. I. *Tipy gipogennoy zonalnosti gidrotermalnykh rudnykh tel* (Types of hypogenic zonality of hydrothermal ore bodies). Genetic problems of ores. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1960, pp. 5–15.
9. Spirina A. V., Makarov V. V., Moiseev I. B., Vikentyev I. V. *Detalizatsiya morfologii rudnoy zalezhi Novo-Uchalinskogo kolchedannogo mestorozhdeniya (Yuzhnyy Ural)* (Morphological features of ore reserves of the Novo-Uchaly VMS deposit (Southern Urals)). Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration, 2020, No.2, pp. 35-46. DOI: 10.32454/0016-7762-2020-63-2-35-46
10. Starostin V. I. *Paleotektonicheskiye rezhimy i mekhanizmy formirovaniya struktur rudnykh poley* (Paleotectonic regimes and mechanisms of formation of structures of ore fields). Moscow: Nedra, 1988, 256 pp.
11. Almodóvar, G. R.; Yesares, L.; Sáez, R.; Toscano, M.; González, F.; Pons, J. M. Massive Sulfide Ores in the Iberian Pyrite Belt: Mineralogical and Textural Evolution. Minerals, 2019, V. 9, Paper 653. DOI: 10.3390/min9110653



12. Belogub E. V., Moloshag V. P., Novoselov K. A., Kotlyarov V. A. Native bismuth, tsumoite, and Pb-bearing tsumoite from the Tarnyer copper-zinc massive sulfide deposit. *Northern Urals. Geol. Ore Dep.*, 2011, V. 53(8), pp. 798–805.
13. Corriveau L., Spry P. G. Metamorphosed hydrothermal ore deposits. *Geochemistry of Mineral Resources*, second ed. *Treatise on Geochemistry*. Ed. Scott S. D. V. 13. Elsevier, New York, 2014, pp. 175–194.
14. Castroviejo R., Quesada C., Soler M. Post-depositional tectonic modification of VMS deposits in Iberia and its economic significance. *Miner. Depos.*, 2011, 46, pp. 615–637.
15. Govindarao B., Pruseth K. L., Mishra B. Experimentally produced Cu-Pb-Ag-Sb-S melts at 500°C: Implications to partial melting of massive sulfide ores. *Ore Geol. Rev.*, 2020, V. 121, pp. 103–560. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2020.103560
16. Grant H. L. J., Layton-Matthews D., Peter J. M. Distribution and controls on silver mineralization in the Hackett River Main Zone, Nunavut, Canada: an Ag- and Pb-enriched Archean volcanogenic massive sulfide deposit. *Econ. Geol.*, 2015, V. 110 (4), pp. 943–982. DOI: 10.2113/econgeo.110.4.943
17. Hokka J. Geology, alteration and lithochemistry of the Paleoproterozoic Korpela VMS occurrence in Eastern Finland. *Miner. Depos.*, 2000, 55, pp. 1581–1604. DOI: 10.1007/s00126-020-00954-0
18. Lobanov K., Yakubchuk A., Creaser R. A., 2014. Besshi-Type VMS Deposits of the Rudny Altai (Central Asia). *Econ. Geol.*, V. 109 (5), pp. 1403–1430.
19. Lockington J. A., Cook N. J., Ciobanu P. L. Trace and minor elements in sphalerite from metamorphosed sulphide deposits. *Miner. Petrol.*, 2014, V. 108, pp. 873–890.
20. Marignac C., Diagona B., Cathelineau M., Boiron M. C., Banks D., Fourcade S., Vallance J. Remobilisation of base metals and gold by Variscan metamorphic fluids in the south Iberian Pyrite Belt: Evidence from the Tharsis VMS deposit. *Chem. Geol.*, 2003, 194, pp. 143–165.
21. Mersier-Lancevin P., Gibson H. L., Harrington M. D. et al., A special issue on Archean magmatism, volcanism and ore deposits. P. 2. Volcanogenic massive sulfide deposits. *Econ. Geol.*, 2014, V. 109(1), pp. 1–9.
22. Puchkov V. N. General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why. *Ore Geol. Rev.*, 2017, V. 85, pp. 4–29. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.01.005>
23. Vikentyev I. V., Belogub E. V., Novoselov K. A., Moloshag V. P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. *Ore geology. Ore Geol. Rev.*, 2017, V. 85, pp. 30–63. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.10.032
24. Yardley B. W. D., Cleverley J. S., 2015. The role of metamorphic fluids in the formation of ore deposits. *Ore Deposits in an Evolving Earth*, eds. Jenkin G. R. T. et al. *Geol. Soc., London, Spec. Publ.*, 393(1), pp. 117–134.
25. Yergeau D., Mercier-Langevin P., Dubé B., Malo M., Savoie A. The Westwood deposit, Southern Abitibi Greenstone Belt, Canada: an Archean Au-rich polymetallic magmatic-hydrothermal system-part i. volcanic architecture, deformation, and metamorphism. *Econ. Geol.*, 2022, V. 117 (3), pp. 545–575. DOI: 10.5382/econgeo.4878
26. Zheng Y., Zhang L., Chen Y. J., Hollings P., Chen H. Y., Metamorphosed Pb-Zn-(Ag) ores of the Keketale VMS deposit, NW China: Evidence from ore textures, fluid inclusions, geochronology and pyrite compositions. *Ore Geol. Rev.*, 2013, V. 54, pp. 167–180.

Received / Поступила в редакцию 12.10.2022