



ДЕТАЛИЗАЦИЯ МОРФОЛОГИИ РУДНОЙ ЗАЛЕЖИ НОВО-УЧАЛИНСКОГО КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

А.В. СПИРИНА^{1,2,*}, В.В. МАКАРОВ³, И.Б. МОИСЕЕВ³, И.В. ВИКЕНТЬЕВ^{1,2}

¹ ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук»

35, Старомонетный пер., г. Москва 119017, Россия

² Инженерная академия ФГАОУ «Российский университет дружбы народов»

6, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117198, Россия

³ АО «Учалинский ГОК»

2, Горнозаводская ул., г. Учалы 453700, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Крупное медно-цинково-колчеданное Ново-Учалинское месторождение на Южном Урале (54°10'54" с. ш. и 59°20'45" в. д.) представлено крутопадающей линзой и приурочено к эйфельским вулканитам (риодациты и базальты), смятым в сильно сжатую антиклинальную складку. Рудная залежь слепая и локализована на контакте кислых (внизу) и основных (сверху) пород. Глубина ее залегания от поверхности изменяется от 550 м на севере до 1050 м на юге; мощность — до 186 м, длина по простиранию 1250 м, по падению — 900 м. Рудное тело прорвано дайками габбро-диоритов и габбро-диабазов. Главными рудными минералами месторождения являются пирит, сфалерит, халькопирит, а нерудными — кварц, барит и кальцит. Особенностью месторождения является то, что оно, в отличие от большинства уральских колчеданных залежей, относится к существенно цинковому подтипу ($Zn \gg Cu$). Руды преимущественно сплошные сульфидные, массивные, реже полосчатые или брекчиевидные. Основные полезные компоненты представлены медью, цинком, серой, попутно извлекаются золото, серебро, кадмий, индий, кобальт, никель, селен, теллур.

Цель исследования заключалась в уточнении морфологии рудной залежи, изучении минерального состава руд верхних горизонтов северной части месторождения и выяснении причин возникновения сложного линзовидного строения сульфидной залежи.

Материалы и методы. В период 2017—2019 гг. сотрудниками ИГЕМ РАН совместно с геологами Учалинского ГОКа в ходе проведения эксплуатационно-разведочных работ проводилось геологическое и минералогическое картирование.

Результаты. Были существенно уточнены контуры северной части рудного тела, а также выявлены серии даек изменчивой морфологии. Проведено сравнение новых данных с прежними представлениями о строении рудной залежи. Представленные детальные геологические разрезы иллюстрируют сложную линзовидную форму рудной залежи, осложненную раздувами и пережимами, которую она приобрела вследствие динамометаморфизма.

Заключение. По результатам изучения геологического строения месторождения и минералогического картирования предложена схематическая реконструкция условий формирования его складчатой структуры. Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем при корректировке системы эксплуатационной разведки и оконтуривания, а также при пересчете запасов.

Ключевые слова: Ново-Учалинское колчеданное месторождение, геологическое строение, морфология рудного тела, дайки, складчатые деформации, Южный Урал

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №20-05-00849) и базовой темы ИГЕМ РАН.

Благодарность: авторы выражают искреннюю благодарность геологу УГОК В.А. Сапоговой за помощь в проведении полевых работ.

Для цитирования: 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;63(2):35—46. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-35-46>

Статья поступила в редакцию 04.02.2020

Принята к публикации 04.06.2020

Опубликована 10.08.2020

* Автор, ответственный за переписку

MORPHOLOGICAL FEATURES OF ORE RESERVES OF THE NOVO-UCHALY VMS DEPOSIT (SOUTHERN URALS)

ADELINA V. SPIRINA^{1,2,*}, VENIAMIN V. MAKAROV³, IGOR B. MOISEEV³, ILYA V. VIKENTYEV^{1,2}

¹ Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the RAS,
35, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia

² Academy of Engineering, Peoples' Friendship University of Russia,
6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russia

³ Uchaly mining and processing plant, Russia,
2, Gornozavodskaya str., Uchaly453700, Russia

ABSTRACT

Background. The Novo-Uchaly copper-zinc VMS deposit in the Southern Urals (54°10'54"N and 59°20'45"E) is represented by a steeply dipping lens of Eifelian volcanics (rhyodacites and basalts), which are crumpled into a strongly compressed anticlinal fold. The ore deposit is blind and localised at the convergence of felsic (bottom) and mafic (top) rocks. The deposit is located at depths of 550 m (in the northern part) and 1050 m (in the southern part). The deposit thickness reaches 186 m. The length along the strike and along the dip equals 1250 m and 900 m, respectively. The ore body is intruded by gabbro-diorite and gabbro-diabase dikes. The main ore minerals are pyrite, sphalerite and chalcopyrite, as well as non-metallic minerals, such as quartz, barite and calcite. Unlike most of the Ural VMS deposits, this deposit is the zinc subtype (Zn >> Cu). The ores are predominantly massive and solid sulphide, being banded or brecciated in some parts. The main elements extracted are copper, zinc and sulphur, but gold, silver, cadmium, indium, cobalt, nickel, selenium and tellurium are also obtained.

Aim. To clarify the morphology of the ore deposit, to study the ore mineral composition of the upper horizons of its northern part and to determine the underlying reasons for the complex lenticular structure of the sulphide reserve.

Materials and methods. In the period 2017—2019, employees of the Institute of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Biochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS) together with geologists of the Uchaly Mining and Processing Plant carried out a geological and mineralogical mapping of the deposit in the course of exploration works.

Results. The ore contours and mineral composition of the northern part of the ore body were significantly clarified. A series of dikes of variable morphology was identified. A comparison was made of the results with current theories about the structure of the ore deposit. Detailed geological sections were determined and illustrate the complex lenticular structure of the ore deposit complicated by pinch and swell areas. The deposit was formed by processes of dynamic metamorphism.

Conclusion. The geological and mineralogical structure of the deposit determined in the study enabled us to propose a schematic reconstruction of the conditions leading to the formation of its folded structure. The findings will help to re-assess the reserves and improve the system of operational exploration and delineation.

Keywords: Novo-Uchaly VMS deposit, geological structure, morphology of ore body, dikes, folded deformations, Southern Urals

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: the reported study was funded by RFBR, project number 20-35-20-05-00849 and base theme of IGEM RAS.

Acknowledgment: the authors express their sincere gratitude to geologist V.A. Sapogova for help during field work.

For citation: Spirina A.V., Makarov V.V., Moiseev I.B., Vikentyev I.V. Morphological features of ore reserves of the Novo-Uchaly vms deposit (Southern Urals). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(2):35—46. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2020-63-2-35-46>

Manuscript received 04 February 2020

Accepted 04 June 2020

Published 10 August 2020

* Corresponding author

Половина меди, существенная доля серебра и почти весь цинк, кадмий, индий в России добываются из руд колчеданных объектов, попутно извлекаются золото, кобальт, никель и другие полезные компоненты [3]. Учалинский комбинат является одним из крупнейших в стране горно-обогатительных предприятий, перерабатывающих колчеданные руды [8, 9, 23]. Крупное по запасам и глубоко залегающее («слепое») Ново-Учалинское месторождение принадлежит к уральскому типу [12, 14, 17, 21, 22] и является основой минерально-сырьевой базы Учалинского ГОКа [10, 13] — добыча его руд идет с 2018 г. и продлится не менее 30 лет.

В работе систематизированы данные по оценке и разведке месторождения за более чем 30-летний период. В настоящее время разведка месторождения возобновлена в связи с начавшейся эксплуатацией. В 2017—2019 гг. полевым отрядом ИГЕМ РАН при взаимодействии с геологами УГОК проводилась геологическая документация керн скважин и подземных горных выработок, параллельно выполнялось минералогическое картирование. В результате проведения детализационных работ контуры рудного тела оказались существенно отличными от прежних, упрощенных представлений. На основании полученных данных о геологическом строении месторождения выполнена схематическая реконструкция условий формирования его складчатой структуры.

Геологическая позиция месторождения и его краткая характеристика

Ново-Учалинское месторождение приурочено к западному крылу Малоучалинской антиклинальной складки, которая образовалась на месте Учалинской базальтовой палеогряды [1, 12].

В его геологическом строении принимают участие вулканиты эйфельского возраста карамалыташской ($D_2e\ kr$) свиты [4, 6]. Основание разреза месторождения слагают миндалекаменные базальты, вскрытые на сопредельной площади Учалинского месторождения [2]. Выше залегает рудовмещающая толща риодацитов, преимущественно лавовых фаций, по которым развиты околорудные метасоматиты серицит-хлорит-кварцевого и серицито-кварцевого состава, встречающиеся преимущественно в лежащем боку рудной залежи. Сверху залегает мощная (от 550 до 1600 м) толща основных вулканитов, представленная гиалокластитам, шлаковыми брекчиями, туфами и лавами (нередко имеющими шаровую отдельность) базальтов [5]. Переход от кислой толщи к базальтоидам обычно резкий, отчетливый; он отмечен появлением прослоев вулканогенно-осадочных пород: средне-, мелкообломочных туфов и туффитов кислого-среднего составов. Субвулканические и интрузивные образования, предположительно относящиеся к наурузовскому (D_3fm) и утыкташскому (C_1t) комплексам [11], представлены:

- силами (мощность от 0,5 м до 100 м) диабазов и диабазовых порфиритов, развитыми на уровне рудного тела и ориентированными согласно напластованию пород;
- силлами и лаколитоподобными телами (мощность от 1 до 70 м) риодацитовых порфиритов;
- дайками габбро-диоритов и габбро, круто секущими рудную залежь, с падением на северо-восток под углами 60—85°.

Контакты рудного тела с вмещающими породами всякого бока обычно резкие, отчетливые. Риодациты в надрудной части разреза, вблизи сульфидной залежи, обычно рассланцованы, по трещинам развиваются хлорит и серицит.

Контакты рудного тела с риодацитами лежащего бока менее четкие. Здесь риодациты сильнее изменены серицитизацией, хлоритизацией и окварцеванием и рассланцованы; местами сильно пиритизированы. Силлы диабазов на контакте с рудой локально рассланцованы, местами серицитизированы и хлоритизированы, по этим контактам отмечаются поздние кварцевые и карбонатные прожилки. Внутри залежи встречаются участки хлорит-серицит-кварцевых пород мощностью от сотых долей до первых метров.

Месторождение относится к числу крупнейших на Урале: запасы его руд оцениваются в 150 млн т, а металлов (Cu + Zn) 3,85 млн т, при содержании Cu 0,5—4,5%, Zn (ср.) 2,94%, Au 1,2 г/т, Ag 26 г/т [3]. Распределение меди, цинка и серы в пределах залежи асимметрично-зональное. Максимумы содержаний меди пространственно тяготеют к участкам наибольших мощностей рудного тела. С севера на юг наблюдается увеличение ее средних содержаний от 0,79 до 1,12%. В направлении от висячего к лежащему боку крутопадающего рудного тела происходит некоторый рост концентраций Cu, а Zn — уменьшается. В направлении его падения содержания Cu и Zn снижаются.

Что касается элементов-примесей в рудах, их можно охарактеризовать на примере наиболее распространенного на месторождении типа руд — Cu-Zn колчедана: средние содержания (г/т) и их пределы составляют: $C_{Au} = 1,7$ (0,2—8), $C_{Ag} = 30$ (1,5—142), $C_{Se} = 34$ (3—145), $C_{Te} = 42$ (3—306), $C_{In} = 10$ (3—44), $C_{Ge} = 3$ (0,6—13), $C_{Cd} = 121$ (20—500), $C_{Bi} = 8$ (1—19). Характер их пространственного распределения в деталях не изучен, т. к. их определение идет в групповых пробах, а рядовые пробы на эти элементы не анализируются (только Cu, Zn, S). Намечаются более тесные корреляционные связи содержаний Au, Ag, As, Hg с Zn, а содержаний Se, Te — с Cu. Максимумы первых тяготеют к северной части рудного тела и к его верхнему выклиниванию, а вторых — к его южной части.

Особенности морфологии рудной залежи по данным разведочных работ

Ново-Учалинское месторождение было открыто в 1986 г. Межозерной ГРП треста «Уралцветметразведка» при проведении поисковых работ на южном фланге Учалинского месторождения буровыми скважинами, глубина которых была больше (>1 км), чем было заложено в проекте, таким образом риск, связанный с нарушением проекта главным геологом партии Э.О. Олиным, оказал-

ся оправданным. Было установлено, что верхняя кромка рудного тела залегает на глубине 550 м и полого склоняется на юг под углом около 20°. Оно имеет линзообразную форму (широкая лента), протяженность по простиранию составила 1250 м. Длина по падению была оценена в 900 м, ниже не оконтурена. Глубина от поверхности до северного выклинивания руд 625 м, а до южного — 1050 м. Верхняя часть рудного тела имеет тупое выклинивание.

В разрезе рудное тело было условно разделено на две части: 1) верхняя, менее деформированная, в которой сосредоточена основная масса руд 2) нижняя, сильнее деформированная (участок флексуобразного перегиба). Падение его верхней части крутое (в основном 50—55° на запад), протяженность в направлении падения ~400 м. Мощность этого участка залежи меняется от 186 м на севере с постепенным уменьшением до 40 м в центральной ее части, а затем — вновь увеличивается до 141 м. При мощности руд нижней части залежи от 25 в северной части до 40 м в южной части, а угол ее падения меняется от 35° на восток до близвертикального в самой выclinке. В северной части рудное тело резко и тупо выклинивается. Начиная с центральной части залежи к северу было установлено, что в лежащем боку основного рудного тела от него ответвляется небольшое линзообразное тело (№ 2), схожее по морфологии (рис. 3а). К северу расстояние между ними достигает 80 м (см. рис. 1а), а в центральной части рудное тело 1 сливается с рудным телом 2.

Крупная и выдержанная по мощности (15—20 м) дайка габбро-диоритов круто сечет рудную залежь и падает на северо-восток под углами 60—85°; вблизи контактов дайки отмечены поперечные и диагонально ориентированные кварцевые (±карбонат) прожилки, нередко с сульфидной минерализацией.

Сравнение контуров рудного тела по результатам геолого-разведочных работ и эксплуатации

Благодаря проведению детализационного подземного бурения и проходки эксплуатационно-разведочных выработок было выяснено, что форма залежи сильно меняется как по простиранию, так и по падению, что особенно заметно на поперечных профилях — приведенные разрезы (рис. 1—3) расположены с севера на юг через 40 м. По данным объемного картирования месторождение представлено мощной и сложной по строению линзой варьирующего падения (чаще крутопадающей). Верхнее ее выклинивание обычно тупое,

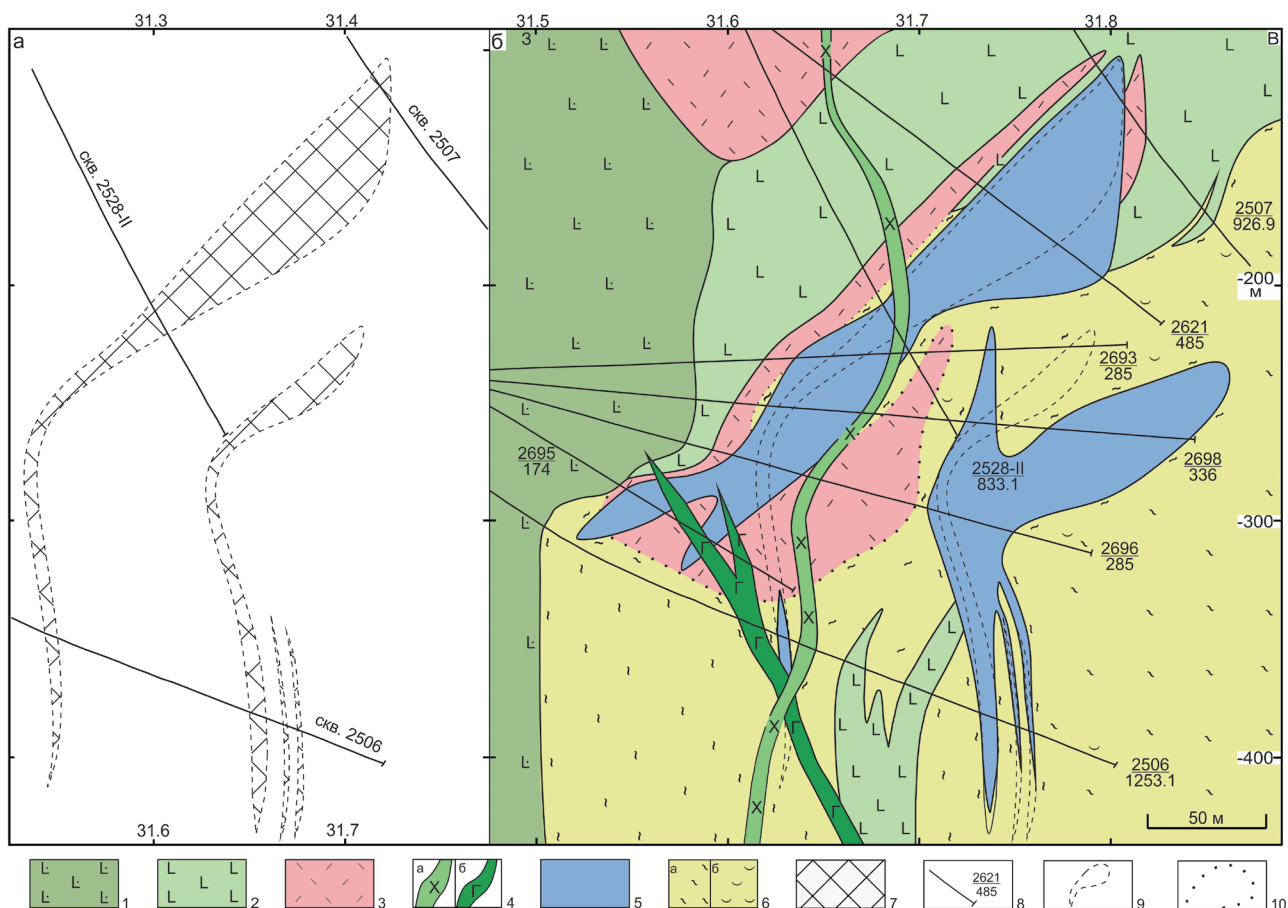


Рис. 1. Поперечный разрез по профилю 27+23 в северной части Ново-Учалинского месторождения. 1 — базальты; 2 — диабазы; 3 — риодациты; 4 — дайки: а — габбро-диоритов; б — габбро-диабазов; 5 — контур рудного тела по данным эксплуатации (2019 г.); 6 — метасоматиты: а — серицит-кварцевого состава, б — зоны хлоритизации; 7 — рудное тело (данные 1994 г.); 8 — скважина, ее номер и глубина; 9 — контур рудного тела (данные 1994 г.); 10 — граница метасоматических изменений кислых вулканитов

Fig. 1. Cross-section along the profile 27+23 in the northern part of the Novo-Uchaly deposit. 1 — basalt; 2 — diabase; 3 — rhyodacite; 4 — dikes: a — gabbro-diorite, b — gabbro-diabase; 5 — ore contour according to the operational exploration (2019); 6 — alteration: a — sericite-quartz, b — chlorite; 7 — ore body (1994); 8 — borehole, its number and depth; 9 — ore contour (1994); 10 — boundary of metasomatic alteration in acid rock

в центральной части она имеет раздув, нижний участок залежи осложнен флексурообразным перегибом, а самая нижняя «выклинка» — уплотненная, субвертикальная. Так, на одном разрезе наблюдается два рудных тела, верхняя часть их более раздута, далее имеется небольшой пережим, затем мощность вновь увеличивается, а нижняя часть имеет жилообразную (в разрезе пальцеобразную) форму (рис. 16). В другом случае представлено одно рудное тело с «апофизой» (рис. 2). А на третьем разрезе наблюдается единая залежь наиболее причудливой формы, верхняя часть которой с пережимом, далее мощность резко увеличивается, а нижняя — после флексурообраз-

ного перегиба — является маломощной (рис. 36). В лежащем боку основной рудной залежи, а иногда и в ее висячем боку, отмечены мелкие линзообразные рудные подсечения, в основном имеющие согласное с простиранием и падением основной рудной залежи залегание.

Так, и дайка габбро-диоритов имеет более сложное строение, чем предполагалось ранее; она извилистая, иногда отмечается резкое увеличение ее мощности. Кроме этой мощной (2—20 м) и относительно выдержанной по простиранию дайки габбро-диоритов, на месторождении были выявлены мелкие дайки габбро-диабазов (рис. 1—3). В их контактовых зонах (десяtkи сантиметров,

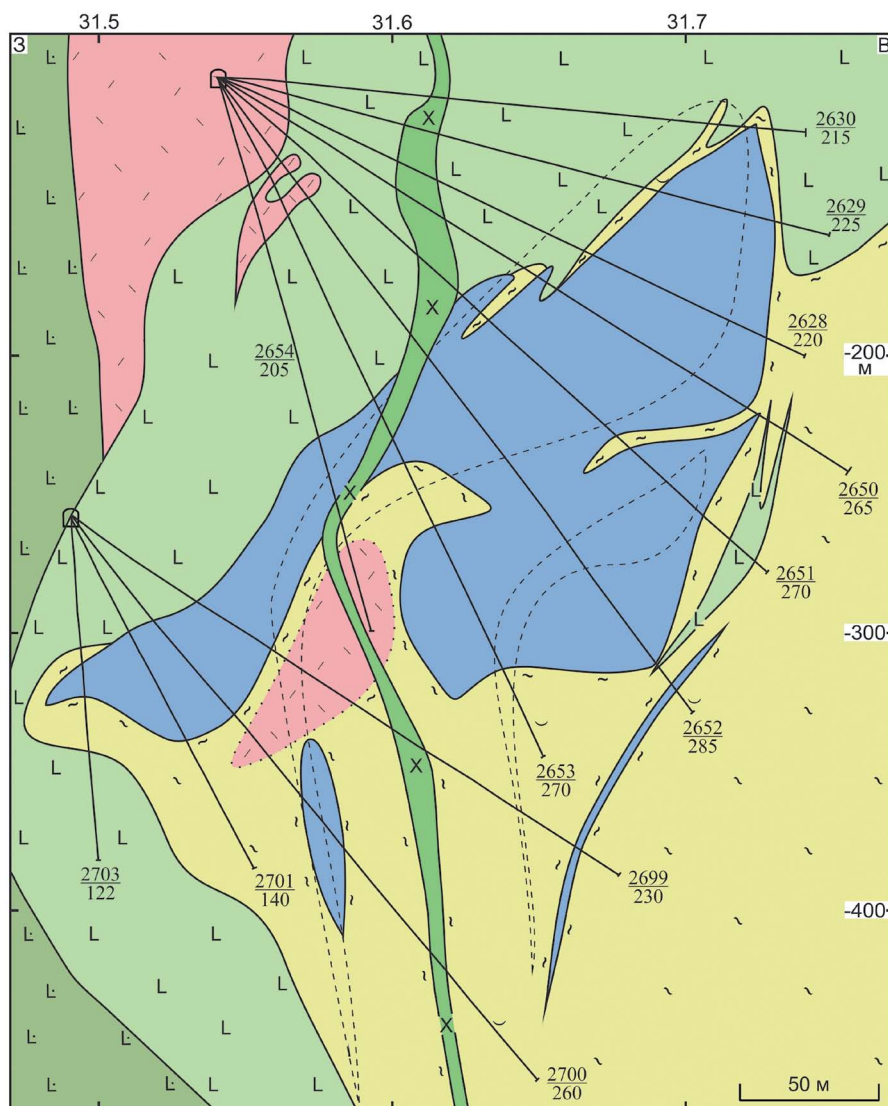


Рис. 2. Поперечный разрез по профилю 28+15 в северной части месторождения. Пунктиром показан контур рудного тела по результатам 1994 г., интерполированный по данным соседних разрезов. Условные обозначения см. рис. 1

Fig. 2. Cross section along the profile 28+15 in the northern part of the deposit. The dotted line shows the ore contour, interpolated from the data of neighboring sections (1994). Legend see Fig. 1

до первых метров) в руде наблюдается укрупнение зернистости минералов, появление магнетита, реже арсенопирита; встречаются участки гнездобразных скоплений блеклой руды (обычно теннантита), галенита и халькопирита, более крупной, чем обычно, зернистости — до 1—5 мм. Нередко близ дайки отмечается появление поздней полисульфидной минерализации (рис. 4в). Незначительная сульфидная минерализация, преимущественно халькопиритовая, присутствует и в самих дайках, локально измененных (окварцевание, хлоритизация, гематитизация) в эндоконтактных зонах.

В близконтактных зонах отмечается рост в рудах содержаний Cu, Au, Ag, As, Sb, Se, Te, связанный с локальным перераспределением мобильных элементов при контактовом метаморфизме и наложении на контактовые зоны поздней гидротермальной минерализации [13].

По степени сульфидности руды месторождения подразделяются на сплошные и вкрапленные (менее 5%) от общего их количества; а по содержанию и распределению полезных компонентов: медные, медно-цинковые, цинковые и серноколчеданные. В лежащем боку залежи местами были

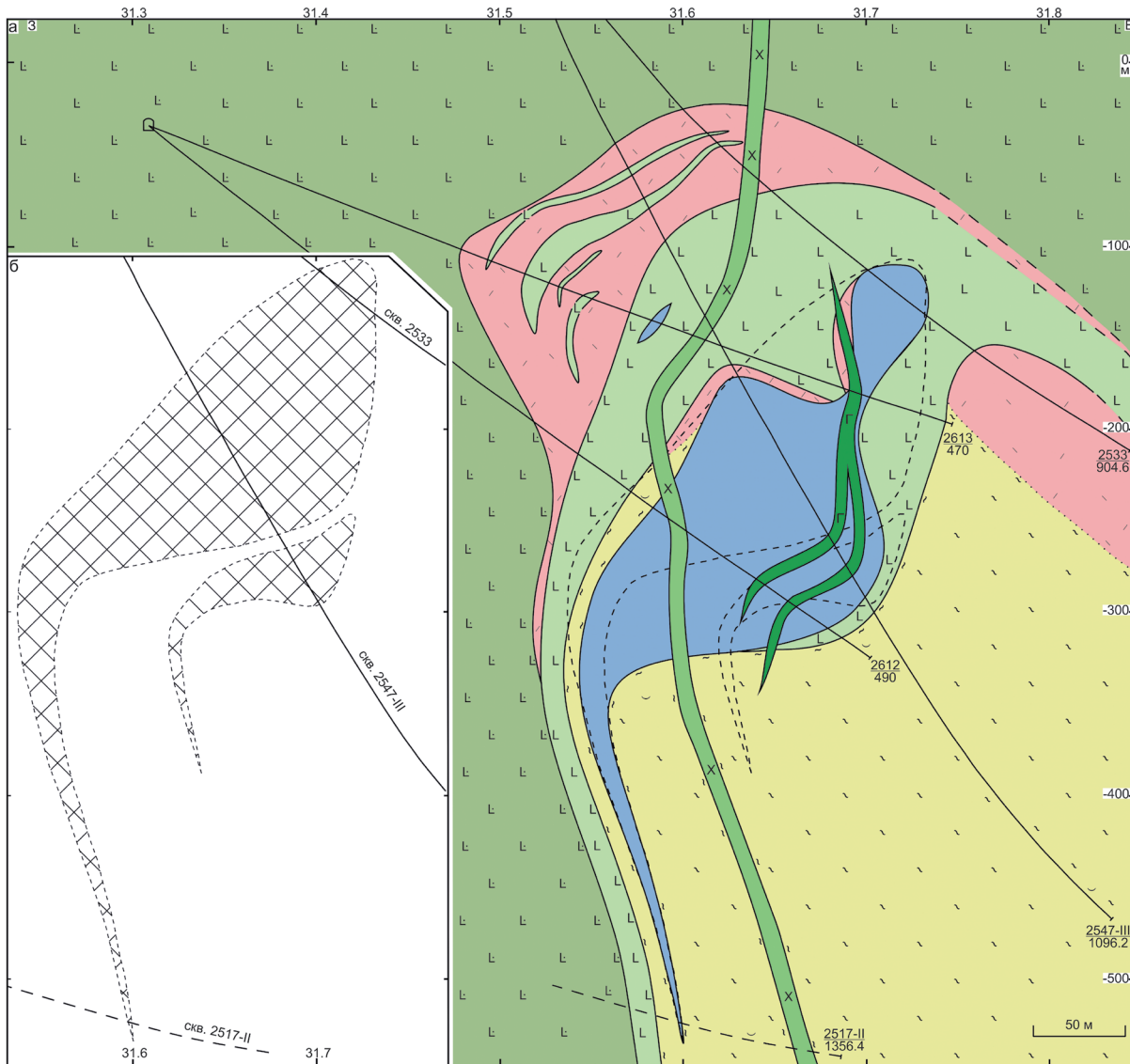


Рис. 3. Поперечный разрез по профилю 29+7 в северной части месторождения. Условные обозначения см. рис. 1
Fig. 3. Cross section along the profile 29+7 in the northern part of the deposit. Legend see Fig. 1

отмечены переходы сплошных руд во вкрапленные, которые затем сменяются метасоматитами. Сплошные руды массивной текстуры встречаются чаще всего; локально распространены сплошные руды брекчиевого и брекчиевидного, а также полосчатого и гнейсовидного строения: на контактах руд с вмещающими породами и изредка с дайками (рис. 4).

Обсуждение результатов и выводы

В ходе проведения геологического и минералогического картирования на месторождении была установлена линзовидная форма рудной залежи, осложненная раздувами и пережимами

(pinch and swell structures) [15, 24]. Было отмечено наличие в руде полосчатых и гнейсовидных текстур, локальная перекристаллизация сульфидов в контактах даек, наличие поздней полисульфидной минерализации (альпийских прожилков) в зонах экзоконтакта и в самих дайках. Все эти признаки характеризуют заметный динамометаморфизм руд месторождения [16, 18—20, 22]. Более мобильная, чем цинк, медь при метаморфизме мигрировала, вероятно, диффузионно-гидротермальным способом [24] с образованием максимума содержаний Cu, соответствующего раздуву мощности рудного тела в призмковой части складки.

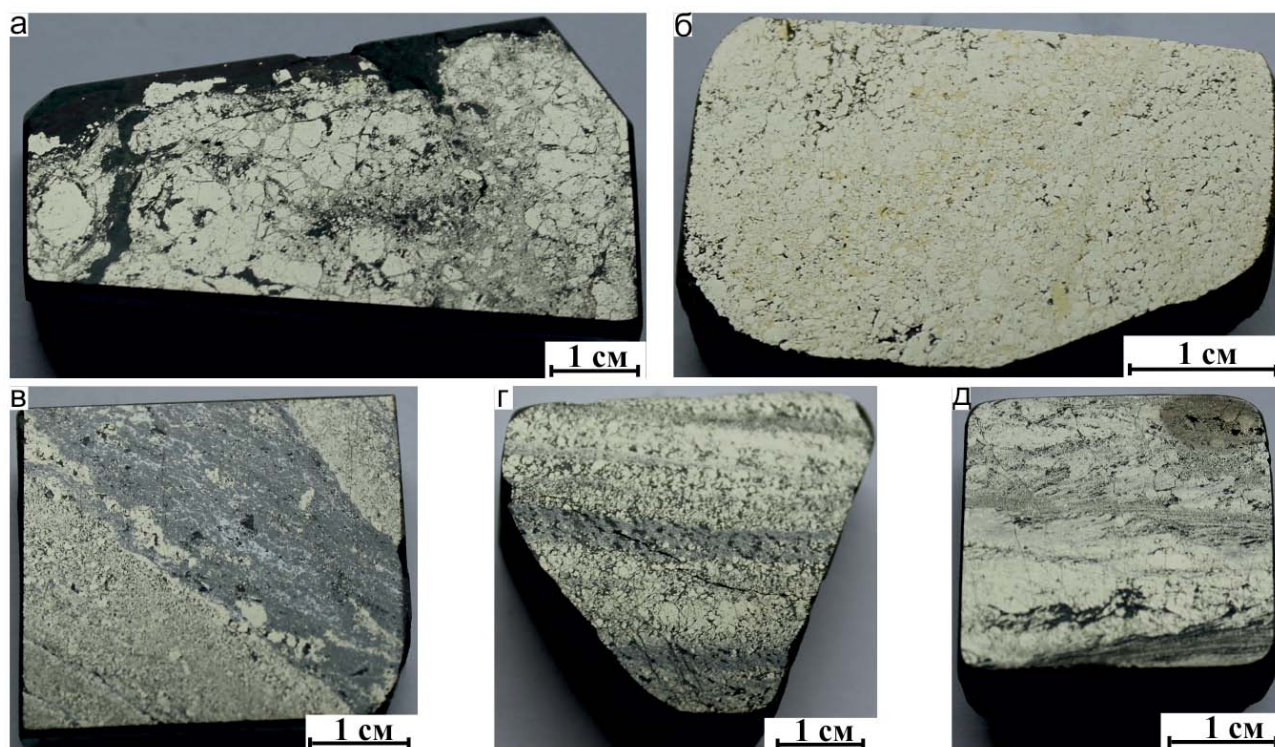


Рис. 4. Текстуры руд северной части Ново-Учалинского месторождения: а — сплошная медно-колчеданная руда брекчиевой текстуры с многочисленными прожилками кварца на контакте рудной залежи с внутрирудными диабазами (скв. 2644, гл. 147,2 м; близ висячего бока залежи); б — сплошная медно-колчеданная руда массивной текстуры, мелкозернистой структуры (скв. 2660, гл. 240 м; близ лежащего бока залежи); в — богатая медно-цинково-колчеданная руда с поздней полисульфидной минерализацией близ дайки габбро-диоритов (скв. 2654, гл. 157 м; центральная часть залежи); г — сплошная цинково-колчеданная руда полосчатой текстуры, сложенная тонкозернистыми агрегатами сфалерита и пирита; контакт с sillом диабазов (бур. орт 68-1/4, гор. — 130 м; верхнее выклинивание залежи); д — сплошная цинково-колчеданная руда, неявно полосчатая текстура с элементами гнейсовидности на контакте руды с sillом диабазов (скв. 2679, гл. 239,3 м; лежащий бок залежи)

Fig. 4. Ore textures of the northern part of the Novo-Uchaly deposit: а — copper-pyritic ore of breccia texture with numerous veins of quartz at the contact of the ore body with intra-ore diabase (borehole 2644, depth 147.2 m; near the hanging wall of the ore body); б — solid copper-pyritic ore of massive texture, fine-grained structure (borehole 2660, depth 240m; near the footwall of the ore body); в — copper-zinc-pyritic ore (Zn-rich) with late polysulfide mineralization near the gabbro-diorite dike (borehole 2654, depth 157 m; central part of the ore body); г — zinc-pyrite ore of banded texture, composed of fine-grained aggregates of sphalerite and pyrite; contact with the diabase sill (ort 68-1/4, level. — 130 m; upper thinout of the ore body); д — solid zinc-pyritic ore, indistinctly-banded with gneissic texture at the contact of the ore with the diabase sill (borehole 2679, depth 239.3 m; footwall of the ore body)

С учетом данных по геологическому строению месторождения [5, 7] предложена схематическая реконструкция месторождения, демонстрирующая последовательность стадий его деформирования и становления современной складчатой структуры (рис. 5).

Выводы

По данным объемного картирования был существенно уточнен контур рудного тела крупного Ново-Учалинского колчеданного месторождения

(Ю. Урал), а также выявлены серии даек сильно изменчивой морфологии. В результате бурения веером эксплоразведочных скважин из подземных горных выработок установлено, что форма залежи резко меняется как по простиранию, так и по падению, что особенно заметно на поперечных разрезах. Оно представляет собой мощную (до 186 м) и сложную по строению линзу варьирующего падения (чаще крутопадающую). Верхнее ее выклинивание обычно тупое, в центральной части она имеет раздвиг, нижний участок осложнен

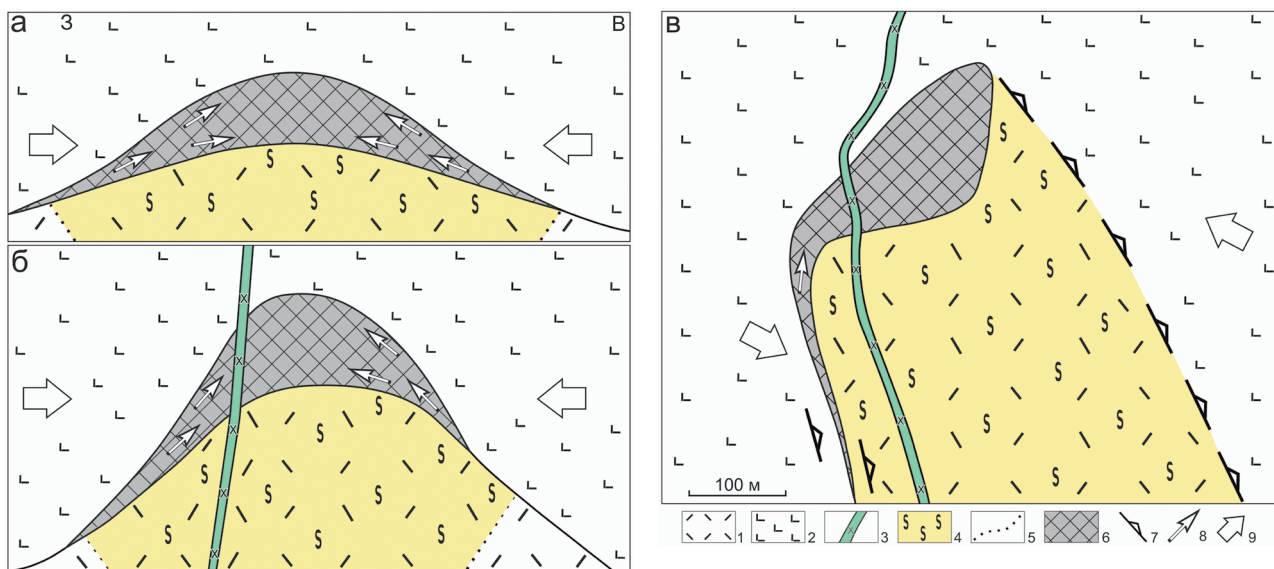


Рис. 5. Реконструкция последовательности формирования структуры Ново-Учалинского месторождения: а — начало складчатых деформаций рудной залежи, формирование пологой антиклинальной складки; б — усиление складчатых деформаций, образование умеренно сжатой антиклинали; в результате латерального сжатия происходит пластическое течение и «выжимание» сульфидов в замковую часть складки с образованием раздува мощности залежи; внедрение дайки габбро-диоритов; слабое перераспределение химических элементов в руде в связи со складчатыми деформациями и локальное — на контакте с дайкой; в — формирование сильно сжатой антиклинальной складки, запрокинутой на запад; месторождение приобретает строение, близкое к современному; перераспределение элементов в связи со складчатыми деформациями, руды становятся гнейсовидными и полосчатыми в зонах выклинивания и вдоль контактов с вмещающими породами. 1 — риодациты, 2 — базальты, 3 — дайка габбро-диоритов, 4 — кварц-серicitовые метасоматиты, 5 — граница метасоматических изменений, 6 — рудное тело, 7 — механическое перераспределение сульфидов путем пластического течения, 8 — направление сжатия, 9 — локальные зоны расщепления

Fig. 5. Reconstruction of formation conditions of the structure of the Novo-Uchaly deposit: а — the beginning of folded deformations of the ore body, the formation of a gentle anticlinal fold; б — strengthening of folded deformations, the formation of a moderately compressed anticline; as a result of lateral compression, a plastic flow and “welling-up” of sulfides into the hinge of fold occurs with the formation of a pinch of ore body thickness; the gabbro-diorite dike injection; slight redistribution of chemical elements in the ore due to folded deformations and local — in contact with the dike; в — the formation of a highly compressed anticlinal fold, vergent to the west; structure of the deposit becomes close to modern one; redistribution of elements due to fold deformations, the ore becomes gneiss-like and banded in the pinch-out zones and along the contacts with the host rocks. 1 — rhyodacite, 2 — basalt, 3 — gabbro-diorite dike, 4 — quartz-sericite alteration, 5 — boundary of hydrothermal alteration, 6 — ore body, 7 — mechanical redistribution of sulfides by plastic flow, 8 — compression direction, 9 — local zones of schistosity

флексурообразным перегибом, а в самом нижнем выклинивании — это субвертикальное уплощенное до жилообразного тела. В лежащем боку залежи были установлены мелкие сульфидные линзы, а в висячем — единичные изолированные рудные подсечения. Сравнивая контур рудного тела по данным разведки месторождения глубокими скважинами с поверхности, можно констатировать, что реальное его геологическое строение оказалось намного сложнее, чем это представлялось ранее.

Вследствие динамометаморфизма рудная залежь приобрела сложную линзовидную форму, осложненную раздувами и пережимами. Итогом изучения геологического строения месторождения стала схематическая реконструкция, демонстрирующая последовательность стадий его деформирования. Полученные данные могут быть использованы в дальнейшем при корректировке системы эксплуатационной разведки и оконтуривания, а также при пересчете запасов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобохов А.С. Геологическое строение Учалинского и Узельгинского рудных полей, проявление в них вулканизма и колчеданного оруденения // Среднедевонский вулканизм Башкирского Зауралья и связь с ним колчеданного оруденения. Уфа: БФАН СССР, 1983. С. 87–102.
2. Галиуллин И.Б., Чадченко А.В., Крылатов В.А. и др. Разведочные работы в пределах горного отвода Ново-Учалинского медноколчеданного месторождения в Учалинском районе Республики Башкортостан в 2009–2012 гг. Геологоразведочные работы с дневной поверхности в 2010–2012 гг. Кн. 1. Учалы, 2012.
3. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах». М.: 2018. 372 с.
4. Маслов В.А., Артюшкова О.В. Стратиграфия палеозойских образований Учалинского района Башкирии. Уфа: ИГ УфНЦ РАН, 2000. 140 с.
5. Серавкин И.Б., Пирожок П.И., Скуратов В.Н. и др. Минеральные ресурсы Учалинского горно-обогатительного комбината. Уфа: Башкирское книжное изд-во, 1994. 328 с.
6. Нестоянова О.А., Ленных Г.А. Объяснительная записка к государственной геологической карте Урала. Масштаб 1:200 000. Лист N-40-XVIII (Учалы). 1955.
7. Пшеничный Г.Н., Волкинский М.Я., Николайченков Ю.С. и др. Ново-Учалинское медно-цинково-колчеданное месторождение Южного Урала. Уфа: УНЦ РАН, 1999. 395 с.
8. Орлов М.П., Чадченко А.В., Пирожок П.И., Кулбаков А.М. Новые рудные объекты в минерально-сырьевой базе ОАО «Учалинский ГОК» // Металлогения древних и современных океанов — 2009. Модели рудообразования и оценка месторождений. Миасс: ИМ УрО РАН, 2009. С. 337–338.
9. Пирожок П.И., Чадченко А.В., Орлов М.П., Моисеев И.Б., Кулбаков А.М. Доразведка и эксплуатационная разведка колчеданных месторождений: методика и результаты // Недропользование-XXI век. 2009. № 3. С. 15–22.
10. Пирожок П.И., Чадченко А.В., Стахеев Н.П. Новоучалинское месторождение: открытие, оценка, перспективы освоения // Изв. вузов. Горн. ж-л. 2001. № 3. С. 21–27.
11. Салихов Д.Н., Холоднов В.В., Пучков В.Н., Рахимов И.Р. Магнитогорская зона Южного Урала в позднем палеозое: магматизм, флюидный режим, металлогения, геодинамика. М.: Наука, 2019. 392 с.
12. Серавкин И.Б., Косарев А.М., Пучков В.Н. Геодинамические условия формирования колчеданных месторождений Магнитогорской мегазоны Южного Урала и критерии для их поисков // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 3. С. 220–237. DOI: 10.7868/S0016777017030054
13. Чадченко А.В., Пирожок П.И., Орлов М.П., Кулбаков А.М. Минерально-сырьевая база: состояние и перспективы развития // Недропользование-XXI век. 2009. № 3. С. 9–14.
14. Bortnikov N.S., Vikentyev I.V. Endogenous metallogeny of the Urals. In: Mineral deposit research for a high-tech world; Jonsson E., Ed.; Uppsala, 2013. P. 1508–1511.
15. Corriveau L., Spry P.G. Metamorphosed hydrothermal ore deposits. In: Scott, S.D. (Ed.), Geochemistry of Mineral Resources, second ed. Treatise on Geochemistry. Vol.13. Elsevier, New York, 2014. P. 175–194.
16. Debreil J.-A., Ross P.-S., Mercier-Langevin P. The Matagami district, Abitibi Greenstone Belt, Canada: volcanic controls on Archean volcanogenic massive sulfide deposits associated with voluminous felsic volcanism // Economic Geology. 2018. Vol. 113. P. 891–910.
17. Franklin J. M., Gibson H. L., Jonasson I. R., Galley A. G. Volcanogenic massive sulfide deposits // Economic Geology. 2005, 100th Ann. P. 523–560.
18. Galley A.G., Hannington M.D., Jonasson I.R. Volcanogenic massive sulphide deposits. In Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. Spec. Publ. No. 5; Goodfellow, W. D., Ed.; Geol. Assoc. Can., Miner. Depos. Division, 2007. P. 141–161.
19. Hannington M.D. Volcanogenic massive sulfide deposits. In: Scott, S.D. (Ed.). Geochemistry of Mineral Resources, second ed. Treatise on Geochemistry. Vol. 13. Elsevier, New York, 2014. P. 462–486.
20. Monecke T., Gibson H., Goutier J. Volcanogenic massive sulfide deposits of the Noranda camp // Economic Geology. 2017. Vol. 19. P. 169–223.
21. Puchkov V.N. General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why. Ore Geology Review 2017. Vol. 85. P. 4–29. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.01.005>
22. Shanks III W.C.P., Thurston R. Volcanogenic Massive Sulfide Occurrence Model. U.S. Geol. Survey Sci. Invest. Rep. 2010-5070-C. 2012.
23. Vikentyev I.V. Selenium, tellurium and precious metal mineralogy in Uchalinsk copper-zinc-pyritic district, the Urals. 3rd Inter. Conf. Compet. Mater. Technol. Proc. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2016, 123, 1–6. <https://doi.org/doi:10.1088/1757-899X/123/1/012027>
24. Vikentyev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Moloshag V.P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. Ore geology // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 30–63. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.10.032>

REFERENCES

1. Bobokhov A.S. The geological structure of the Uchaly and Uzelga ore fields, the manifestation of volcanism and volcanogenic massive sulfide mineralization in them // Middle Devonian volcanism of the Bashkir Trans-Urals and its connection with volcanogenic massive sulfide mineralization, Ufa. 1983. P. 87—102 (In Russian).
2. Galiullin I.B., Chadchenko A.V., Krylatov V.A., et al. Exploration Work Within the Mining Allotment of the Novo-Uchaly Copper Volcanogenic Massive Sulfide Deposit in the Uchaly District of the Bashkortostan Republic in 2009—2012. Exploration work from the daylight surface in 2010—2012. Book 1. Uchaly, 2012 (In Russian).
3. State Report on the State and Use of Mineral Resources of the Russian Federation in 2016 and 2017, Moscow, 2018. 372 p. (In Russian).
4. Maslov V.A., Artyushkova O. V. Stratigraphy of the Paleozoic Formations in the Uchaly District of Bashkiria. Ufa: IG Ufa Scientific Center RAS, 2000. 140 p. (In Russian).
5. Seravkin I.B., Pirozhok P.I., Skuratov V.N. Mineral resources of the Uchaly ore mining and processing enterprise. Ufa: Bashkir Book Publishing House, 1994. 328 p. (In Russian).
6. Nestoyanova O.A., Lennykh G.A. Explanatory Note to the State Geological Map of the Urals. Scale 1: 200 000. Sheet N-40-XVIII (Uchaly). 1955 (In Russian).
7. Pshenichny G.N., Volkinstein M.Ya., Nikolaichenkov Yu.S., et. al. Novo-Uchaly copper-zinc-pyritic deposit of the Southern Urals. Ufa: Ufa Sci. Center RAS, 1999. 395 p. (In Russian).
8. Orlov M.P., Chadchenko A.V., Pirozhok P.I., Kulbakov A.M. New ore objects in the mineral resource base of OJSC Uchalinsky // Metallogeny of Ancient and Modern Oceans — 2009. Ore Formation Models and Evaluation of Deposits. Miass: IM UB RAS, 2009. P. 337—338 (In Russian).
9. Pirozhok P.I., Chadchenko A.V., Orlov M.P., Moiseev I.B., Kulbakov A.M. Additional exploration and operational exploration of volcanogenic massive sulfide deposits: methodology and results // Subsoil Use-XXI Century. 2009. No. 3. P. 15—22 (In Russian).
10. Pirozhok P.I., Chadchenko A.V., Staheev N.P. Novo-Uchaly field: discovery, evaluation, development prospects // University News. Mountain Journal. 2001. No. 3. P. 21—27 (In Russian).
11. Salikhov D.N., Kholodnov V.V., Puchkov V.N., Rakhimov I.R. Magnitogorsk zone of the Southern Urals in the Late Paleozoic: magmatism, fluid regime, metallogeny, geodynamics. Moscow: Nauka, 2019. 392 p. (In Russian).
12. Seravkin I.B., Kosarev A.M., Puchkov V.N. Geodynamic conditions of formation of massive sulfide deposits in the Magnitogorsk megazone, Southern Urals, and prospection criteria // Geology of ore deposits. 2017. Vol. 59. No. 3. P. 220—237. DOI: 10.7868/S0016777017030054
13. Chadchenko A.V., Pirozhok P.I., Orlov M.P., Kulbakov A.M. Mineral resources base: state and development prospects // Subsoil Use-XXI Century. 2009. No. 3. P. 9—14 (In Russian).
14. Bortnikov N.S., Vikentyev I.V. Endogenous metallogeny of the Urals. In: Mineral deposit research for a high-tech world; Jonsson E., Ed.; Uppsala, 2013. P. 1508—1511.
15. Corriveau L., Spry P.G. Metamorphosed hydrothermal ore deposits. In: Scott, S.D. (Ed.), Geochemistry of Mineral Resources, second ed. Treatise on Geochemistry. Vol.13. Elsevier, New York, 2014. P. 175—194.
16. Debreil J.-A., Ross P.-S., Mercier-Langevin P. The Matagami district, Abitibi Greenstone Belt, Canada: volcanic controls on Archean volcanogenic massive sulfide deposits associated with voluminous felsic volcanism // Economic Geology. 2018. Vol. 113. P. 891—910.
17. Franklin J. M., Gibson H. L., Jonasson I. R., Galley A. G. Volcanogenic massive sulfide deposits // Economic Geology. 2005, 100th Ann. P. 523—560.
18. Galley A.G., Hannington M.D., Jonasson I.R. Volcanogenic massive sulphide deposits. In Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. Spec. Publ. No. 5; Goodfellow, W. D., Ed.; Geolog. Assoc. Can., Miner. Depos. Division, 2007. P. 141—161.
19. Hannington M.D. Volcanogenic massive sulfide deposits. In: Scott, S.D. (Ed.). Geochemistry of Mineral Resources, second ed. Treatise on Geochemistry. Vol. 13. Elsevier, New York, 2014. P. 462—486.
20. Monecke T., Gibson H., Goutier J. Volcanogenic massive sulfide deposits of the Noranda camp // Economic Geology. 2017. Vol. 19. P. 169—223.
21. Puchkov V.N. General features relating to the occurrence of mineral deposits in the Urals: What, where, when and why. Ore Geology Review 2017. Vol. 85. P. 4—29. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.01.005>
22. Shanks III W.C.P., Thurston R. Volcanogenic Massive Sulfide Occurrence Model. U.S. Geol. Survey Sci. Invest. Rep. 2010-5070-C. 2012.
23. Vikentyev I.V. Selenium, tellurium and precious metal mineralogy in Uchalinsk copper-zinc-pyritic district, the Urals. 3rd Inter. Conf. Compet. Mater. Technol. Proc. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 2016, 123, 1—6. <https://doi.org/doi:10.1088/1757-899X/123/1/012027>
24. Vikentyev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Moloshag V.P. Metamorphism of volcanogenic massive sulphide deposits in the Urals. Ore geology // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 85. P. 30—63. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.10.032

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Спирина А.В. — подготовила иллюстрации и текст, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Макаров В.В. — занимался сбором геологической информации, присоединился к подготовке текста статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Моисеев И.Б. — организовывал проведение полевых работ, корректировал перевод на английский язык, присоединился к подготовке текста статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Викентьев И.В. — внес основной вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи.

Adelina V. Spirina — prepared the figures, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Veniamin V. Makarov — engaged in collecting geological information, joined the preparation of the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Igor B. Moiseev — organized field work, corrected the translation into English, joined in the preparation of the text of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Ilya V. Vikentyev — made the main contribution to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, and finally approved the published version of the article.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Спирина Аделина Владимировна* — аспирант Инженерной академии Российского университета дружбы народов, стажер-исследователь ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук»

35, Старомонетный пер., г. Москва 119017, Россия

6, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117198, Россия

e-mail: adelina.spirina@bk.ru

SPIN-код: 9091-7634

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1365-5148>

Adelina V. Spirina* — postgraduate student of the Engineering Academy of the Peoples' Friendship University of Russia, research assistant at the Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences

35, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia

6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russia

e-mail: adelina.spirina@bk.ru

SPIN: 9091-7634

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1365-5148>

Макаров Вениамин Владимирович — главный геолог Учалинского подземного рудника, АО «Учалинский ГОК»

2, Горнозаводская ул., г. Учалы 453700, Россия

e-mail: mak_ven@mail.ru

Veniamin V. Makarov — chief geologist of the Uchaly underground mine, Uchaly mining and processing plant

2, Gornozavodskaya str., Uchaly 453700, Russia

e-mail: mak_ven@mail.ru

Моисеев Игорь Борисович — главный геолог АО «Учалинский ГОК»

2, Горнозаводская ул., г. Учалы 453700, Россия

e-mail: gs_moiseev_ib@ugok.ru

Igor B. Moiseev — chief geologist of Uchaly mining and processing plant

2, Gornozavodskaya str., Uchaly 453700, Russia

e-mail: gs_moiseev_ib@ugok.ru

Викентьев Илья Владимирович — доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук; профессор Инженерной академии ФГАОУ «Российский университет дружбы народов»

35, Старомонетный пер., г. Москва 119017, Россия

6, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117198, Россия

e-mail: viken@igem.ru

SPIN-код: 2456-3030

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9133-7562>

Ilya V. Vikentyev — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), principal researcher at the Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences; Professor of the Engineering Academy of the Peoples' Friendship University of Russia

35, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia

6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russia

e-mail: viken@igem.ru

SPIN: 2456-3030

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9133-7562>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author