

УДК 553.4(574)

**БАРИТ-СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫЕ И ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ЖАЙРЕМСКОГО РУДНОГО УЗЛА:
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСКУРСИЯ В ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАЗАХСТАН**

**А.И. Брусницын¹, Е.Н. Перова¹, О.С. Верещагин¹, С.Н. Бритвин¹,
Е.Ф. Летникова², С.И. Школьник³, А.В. Иванов⁴**

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская набережная 7,
г. Санкт-Петербург, 199034 Россия; brusspb@yandex.ru

²Институт геологии и минералогии СО РАН, пр. Академика Коптюга 3, г. Новосибирск, 630090 Россия

³Институт земной коры СО РАН, ул. Лермонтова 128, г. Иркутск, 664033 Россия

⁴Иркутский государственный университет, ул. Карла Маркса 1, г. Иркутск, 664033 Россия

**BARITE-LEAD-ZINC AND IRON-MANGANESE DEPOSITS
OF THE ZHAIREM ORE DISTRICT:
A GEOLOGICAL FIELD TRIP TO CENTRAL KAZAKHSTAN**

**A.I. Brusnitsyn¹, E.N. Perova¹, O.S. Vereshchagin¹, S.N. Britvin¹,
E.F. Letnikova², S.I. Shkolnik³, A.V. Ivanov⁴**

¹ St. Petersburg State University, Universitetskaya nab. 7, St. Petersburg, 199034 Russia; brusspb@yandex.ru

² Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, pr. Akademika Kopyuga 3, Novosibirsk, 630090 Russia

³ Institute of the Earth's Crust SB RAS, ul. Lermontova 128, Irkutsk, 664033 Russia

⁴ Irkutsk State University, ul. Karla Marksa 1, Irkutsk, 664033 Russia

Приведены материалы по геологическим условиям залегания и минералогии стратиформных Ba-Pb-Zn и Fe-Mn руд Жайремского рудного узла в Центральном Казахстане. Руды приурочены к девонской рифтогенной структуре, выполненной вулканогенно-осадочными отложениями (D₃fr–C₁t). Рудоносными являются осадки фаменского возраста. Пласты и линзы комплексных Ba-Pb-Zn и BaSO₄ руд локализованы среди углеродистых глинисто-кремнисто-карбонатных отложений, Pb-BaSO₄ руд – среди рифогенных известняков, а Fe-Mn руд – в кремнистых известняках. Железо-марганцевая минерализация располагается стратиграфически выше полиметаллической. Месторождения тяготеют к зонам конседиментационных разломов в фундаменте рифта. Предполагается, что месторождения относятся к SEDEX (*sedimentary exhalative*) типу. Они формируются, за счёт растворов, циркулировавших в осадочных толщах и выносивших рудные элементы на поверхность морского дна.

Илл. 3. Библ. 14.

Ключевые слова: свинцово-цинковые, баритовые и железо-марганцевые руды, металлоносные отложения, Центральный Казахстан.

Data on geological setting and mineralogy of the Famennian stratiform Ba-Pb-Zn and Fe-Mn ores of the Zhayrem ore district in Central Kazakhstan are given. The ores are confined to the Devonian rift structure filled by various volcanosedimentary rocks (D₃fr–C₁t). The layers and lenses of complex Ba-Pb-Zn and BaSO₄, Pb-BaSO₄, and Fe-Mn ores are hosted by carbonaceous clayey-siliceous-carbonate rocks, reef limestones, and siliceous limestones, respectively. The Fe-Mn min-

eralization occurs above Ba-Pb-Zn and BaSO₄ mineralization. The deposits tend to be sedimentary fault zones in the rift basement. It is suggested that the deposits belong to the SEDEX type and were formed by fluids circulated in the sedimentary strata and transported ore elements on the seafloor.

Figures 3. References 14.

Key words: zinc-lead, barite and Fe-Mn ores, metal-bearing sediments, Central Kazakhstan.

Введение

Жайремский рудный узел находится в Центральном Казахстане в 300 км к юго-западу от г. Караганды вблизи одноимённого поселка. Здесь в пределах единой геологической структуры, среди осадочных отложений узкого возрастного интервала, на небольшом расстоянии друг от друга, локализованы стратиформные залежи свинцо-цинковых, баритовых, свинец-баритовых и железо-марганцевых руд, причем каждый тип оруденения представлен экономически значимыми объектами. В этом отношении Жайремский узел представляется уникальным, а составляющий его комплекс месторождений уже давно выделяют в виде особого – атасуйского типа (Бузмаков и др., 1975). Изучение подобных объектов позволяет полнее понять рудообразующие процессы, протекающие при формировании осадочных толщ.

Открытие и разведка месторождений Жайремского узла охватывает период 1950–1980 гг. Результаты этих работ изложены в многочисленных публикациях Е.И. Бузмакова, И.М. Варенцова, А.Б. Веймарна, О.В. Иванова, А.К. Кайманова, В.В. Калинина, М.М. Каюповой, Я.М. Кислякова, В.П. Клименко, В.А. Кличкова, В.С. Котика, И.И. Кузнецова, В.А. Лыткина, Н.М. Митряевой, Д.Н. Муратовой, Н.М. Неговорой, Л.Н. Павенко, Н.М. Радченко, А.А. Рожнова, Н.С. Скрипченко, В.Я. Середы, С.А. Солтан, А.Л. Соколовой, В.Н. Щеточкина, Г.Н. Щербы, В.И. Щибрик и других авторов. Полученные в тот период сведения во многом не потеряли своего значения до сих пор. Однако сейчас они нуждаются в уточнении и дополнении.

Осенью 2016, 2017 и 2018 гг. мы посетили самые крупные месторождения этого узла: разрабатываемые Ушкатын-III (Fe-Mn и Pb-BaSO₄ руды) и Западный Жайрем (Pb-Zn и BaSO₄ руды), и находящиеся на консервации Дальнезападный Жайрем (Pb-Zn и BaSO₄ руды) и Жомарт (Fe-Mn руды). Собраны представительные коллекции руд и вмещающих пород для лабораторного изучения. Конечно, начатые работы далеки от завершения. Однако мы посчитали необходимым поделиться

уже имеющимися результатами с целью привлечения внимания коллег к этим объектам и поиска соратников будущих исследований.

Геология месторождений

Геология Жайремского рудного узла рассмотрена в публикациях Е.И. Бузмакова с соавторами (1975), Н.М. Митряевой (1979), А.А. Рожнова (1982), Н.С. Скрипченко (1980, 1989), И.М. Варенцова с соавторами (1993) и других. Опираясь на эти и другие работы, отметим наиболее важные моменты.

Жайремский узел расположен в западной части Жайильминской мульды (грабен-синклинали). Это крупная рифтогенная структура возникла в позднем девоне при деструкции эпикаледонского Центрально-Казахстанского континентального блока. Фундамент мульды сложен вулканогенно-терригенными отложениями раннего палеозоя и вулканами раннего-среднего девона, а её основной объём выполнен вулканогенно-осадочным комплексом верхнего девона–нижнего карбона мощностью до 2 км. Комплекс имеет трансгрессивное строение. Его основание образовано толщей (мощностью до 700 м) красноцветных алевролитов, песчаников и конгломератов (дарьинская свита, D₃fr), сформированных в субаэральных континентальных и мелководных обстановках. Местами эти отложения содержат линзы и небольшие куполовидные тела трахидацитов и трахилипаритов. Выше залегают осадочные породы (D₃fm–C₁t), накопление которых происходило в морском бассейне со сложной конфигурацией берега и расчленённым рельефом дна. В депрессиях отлагались углеродистые разновидности глинисто-кремнисто-карбонатных пород. К поднятиям приурочены массивы рифовых известняков. При их разрушении сформировались поля детритовых известняков, сменяющихся по направлению к глубоководным впадинам кремнистыми известняками узловато-слоистой текстуры. На отдельных участках осадконакопление сопровождалось вулканической деятельностью с образованием эффузивов кислого и основного состава,

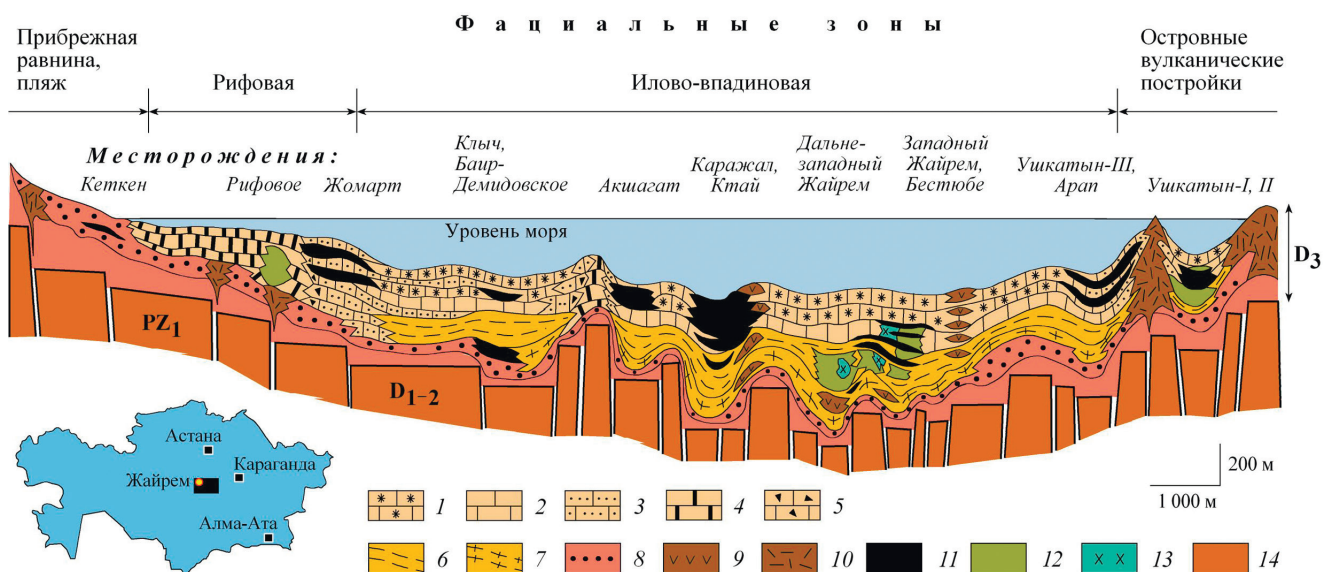


Рис. 1. Схематический литолого-фациальный профиль рудоносных отложений Жайльминской грабен-синклинали (по Рожнову (1982) с упрощениями).

1–13 – отложения верхнего девона: 1–5 – известняки: 1 – кремнистые узловато-слоистые красноватые, 2 – то же, сероватые, 3 – органогенно-детритовые, 4 – рифогенные органогенно-водорослевые, 5 – брекчиевые седиментационные; 6, 7 – глинисто-кремнисто-карбонатные породы: 6 – флишоидные, 7 – линзовидно-слоистые; 8 – конгломераты, песчаники, алевролиты; 9, 10 – вулканиды: 9 – базальты и трахибазальты, 10 – трахириолиты; 11–13 – руды: 11 – железо-марганцевые, 12 – свинцово-цинковые, 13 – баритовые и барит-свинцовые; 14 – терригенно-вулканогенные отложения нижнего-среднего девона и метаморфизованные вулканогенно-терригенные толщи нижнего палеозоя с интрузиями гранитов.

Fig. 1. Schematic profile of ore-bearing rocks of the Zhail'my Graben Syncline, simplified after Rozhnov (1982).

1–13 – Upper Devonian sedimentary rocks: 1–5 – limestones: 1 – siliceous nodular-layered reddish, 2 – siliceous nodular-layered gray, 3 – organic detrital, 4 – reef, 5 – brecciated sedimentary; 6, 7 – clayey-siliceous-carbonate rocks: 6 – flyschoid, 7 – lenticular-layered, 8 – conglomerates, sandstones, siltstones; 9, 10 – volcanic rocks: 9 – basalts and trachybasalts, 10 – trachyrhyolites; 11–13 – ores: 11 – Fe-Mn, 12 – Pb-Zn, 13 – barite, barite-lead; 14 – Lower-Middle Devonian terrigenous-volcanic rocks and metamorphosed Lower Paleozoic volcanoterrigenous sequences with intrusions of granites.

субвулканических силлов и штокообразных тел, а также горизонтов вулканомиктовых отложений. Но, в целом, в пределах Жайльминской мульды осадочные породы по объёму резко преобладают над вулканидами.

Месторождения залегают на нескольких стратиграфических уровнях среди отложений фаменского возраста (рис. 1). В распространении разных типов руд проявлен как литолого-фациальный, так и тектонический контроль. Пласты и линзы комплексных Pb-Zn и BaSO₄ руд локализованы среди углеродистых глинисто-кремнисто-карбонатных отложений, Pb-BaSO₄ руд – рифогенных известняков, а Fe-Mn руд – в кремнистых известняках, причём руды железа расположены преимущественно в кремнистых осадках, а марганца – в карбонатных. Во всех случаях железо-марганцевая минерализация располагается стратиграфически выше полиметаллической.

По данным А.А. Рожнова с соавторами (1976) и Н.С. Скрипченко (1980, 1989), на Жайремских месторождениях баритовые (± Pb) и свинцово-цинковые руды формируют единые залежи. В их строении от центра к периферии происходит последовательная смена концентрических зон: баритовой (ядро) → галенит-баритовой → галенит-сфалерит-пиритовой → пиритовой. При этом баритовые и галенит-баритовые руды образуют выпукло-линзовидные и холмообразные тела, морфология которых часто осложнена многочисленными раздувами, перегибами и ответвлениями, причудливо переплетающимися с вмещающими породами, в том числе с прослоями ассоциирующих свинцово-цинковых руд. В то же время свинцово-цинковые (галенит-сфалерит-пиритовые) руды всегда слагают серии более или менее простых по форме линзовидных, пластообразных тел, согласно залегаю-

щих с вмещающими породами. На месторождении Ушкатын-III галенит-баритовые руды образуют самостоятельную залежь.

Месторождения тяготеют к зонам конседиментационных разломов в фундаменте рифта, по которым происходило внедрение магматических тел, смещение отдельных блоков пород, образование флексурных перегибов, брахиформных складок и небольших разрывных нарушений. Поздние тектонические движения, замыкнувшие рифтогенный бассейн, деформировали осадочные комплексы. Одновременно протекали процессы низкоградного регионально метаморфизма. Наконец, на всей территории Жайремского рудного узла развита мощная (в среднем 30–40 м) латеритная кора выветривания, предположительно мезо-кайнозойского возраста.

В настоящее время рудоносные отложения лучше всего вскрыты действующим карьером на месторождении Ушкатын-III (рис. 2а–г). Карбонатные пачки здесь собраны в крупную синклиналиную складку меридионального простиранья с крутым падением крыльев. Западное крыло складки сложено преимущественно узловато-слоистыми красными известняками, содержащими пласты железных и марганцевых руд. Всего на месторождении установлено 14 рудных пластов. Каждый из них имеет ритмично-слоистое внутреннее строение, обусловленное чередованием рудных слоёв и известняков. Мощность отдельных ритмов варьирует от 15 см до 1 м, а рудных тел в целом – от 5 до 25 м. В свою очередь, рудные пласты группируются в продуктивные горизонты, прослеженные по простиранью почти на 5 км, по падению на 760 м при мощности 50–150 м.

В восточном направлении интенсивность железо-марганцевого оруденения постепенно снижается вплоть до его полного исчезновения в восточном крыле складки. В строении этого крыла преобладают рифогенные известняки, а также известковистые алевролиты, песчаники и брекчии, представляющие собой продукты разрушения рифов. Восточнее обнажаются красноцветные полимиктовые песчаники дарьинской свиты. В рифогенных известняках локализовано галенит-баритовое оруденение. Рудные тела имеют линзовидно- и пласто- (плито-) образную форму со сложной морфологией внешних границ. Контуры тел определяются по результатам химического опробования. Внутри рудных тел галенит-баритовая минерализация имеет

неравномерное гнездовидно-прожилковое распределение (явно вторичное по отношению к вмещающим известнякам).

На месторождении Ушкатын-III развита зона окисления сульфидных руд, из которой активно добываются церусситовые руды.

Рудоносная пачка хорошо обнажена также и в законсервированном карьере месторождения Жомарт (см. рис. 2д). Здесь в серых кремнистых известняках залегают мощные (до 20 м) и протяжённые (первые сотни метров) пласты железных и марганцевых руд. На месторождении широко развита зона окисления, поэтому в карьере можно познакомиться только исключительно с гипергенными разновидностями руд. Неокисленные железные и марганцевые руды сохранились в рудных складах на борту карьера.

Свинцово-цинковые и баритовые руды разведаны на месторождениях Западный Жайрем и Дальнезападный Жайрем. На первом из них в настоящее время проводится вскрыша приповерхностных горизонтов. Пока обнажена зона окисления сульфидных руд с обильной церусситовой минерализацией и залегающие ниже тела массивных баритовых руд. Карьер месторождения Дальнезападный Жайрем затоплен. В его борту сохранились многочисленные рудные склады, где можно познакомиться с главными типами полиметаллических руд (рис. 3а).

Минералого-петрографическая характеристика руд

Минералогия руд месторождений Жайремского узла детально рассмотрена М.М. Каюповой (1974) и Н.М. Митряевой (1979) и обобщена И.М. Варенцовым с соавторами (1993). Новые исследования начаты нами. Рассмотрим кратко имеющиеся данные.

Баритовые руды – это мелко-среднезернистые однородные породы мраморовидного облика, светло-серого или белого цвета, мозаичной структуры и, как правило, массивной или, реже, неясно-полосчатой текстуры. Примерно на 95–97 об. % руда сложена таблитчатыми зёрнами барита. Из акцессорных минералов присутствуют кварц, галенит, пирит, Cu-Fe-Ag сульфосоль, стильпномелан, пиррофиллит, алюминоселадонит, альбит, калиевый полевой шпат, стронцианит, апатит и флюорит; среди гипергенных фаз – англезит и гётит. Местами

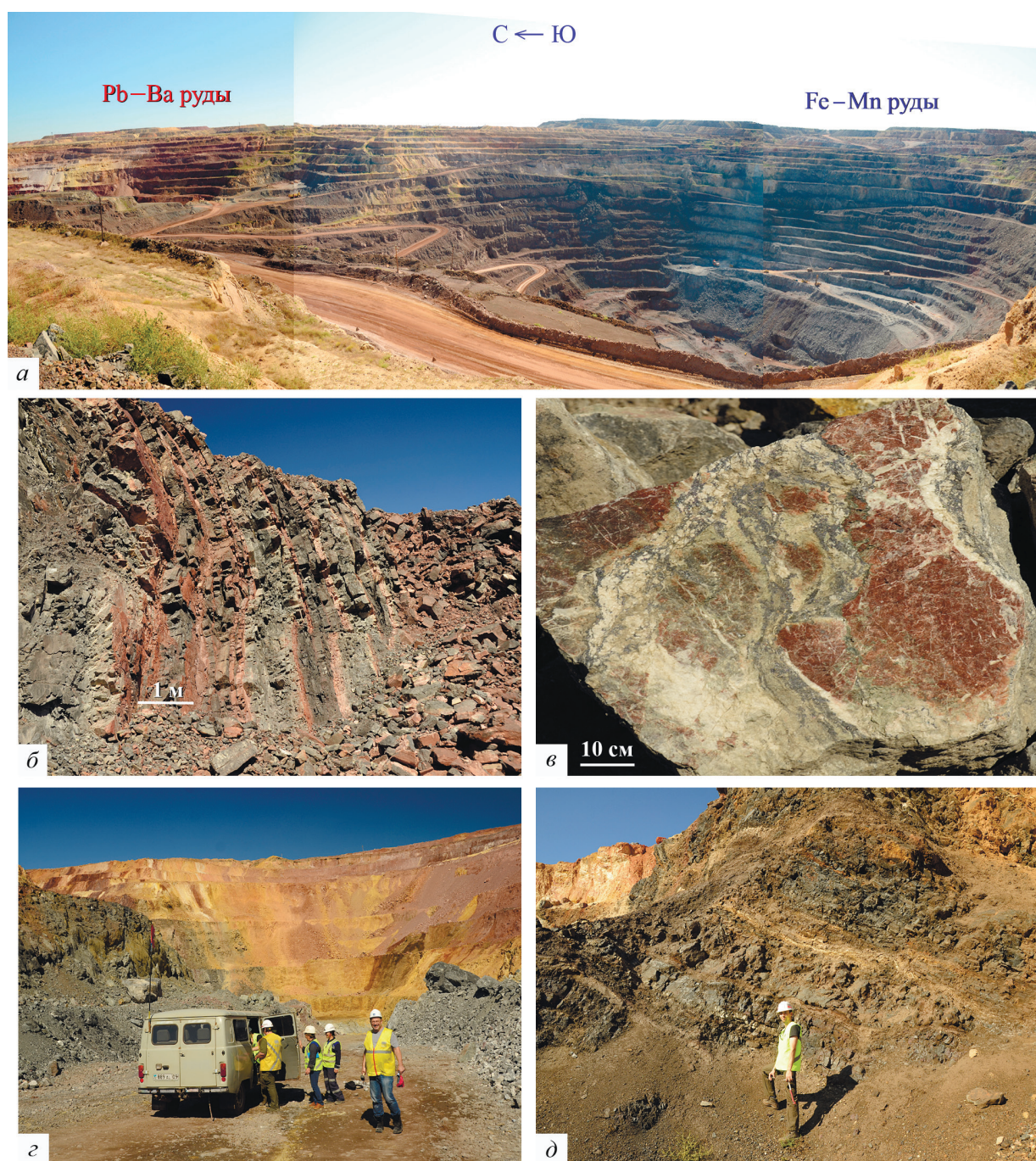


Рис. 2. Карьеры месторождений Ушкатын-III (а-с) и Жомарт (д).

а – общий вид карьера Ушкатын-III в 2017 г.; б – вертикальные пласты марганцевых руд (чёрное) в красных известняках, юго-западная часть месторождения; в – блоки свинец-баритовых руд с сетью галенит-баритовых прожилков в известняках; г – общий вид северо-восточного участка месторождения: серые породы в нижней части кадра – неизменённые гипергенными процессами известняки, вмещающие галенит-баритовые руды, жёлто-оранжевые породы в центре – латеритная кора выветривания с зоной окисления сульфидных руд; д – пласты окисленных марганцевых руд в карьере месторождения Жомарт, 2017 г.

Fig. 2. Quarries of the Ushkatyn-III (a-c) and Zhomart (d) deposits.

а – general view of the Ushkatyn III quarry, 2017; б – vertical layers of manganese ores (black) in red limestones, southwestern part of the deposit; в – blocks of lead-barite ores with a network of galena-barite veins in limestones in the northeastern section of the deposit; г – general view of the northeastern section of the deposit: gray rocks in the lower part are unaltered limestones with galenite-barite ores, yellow-orange in the center is the lateritic weathering mantle with oxidation zone of sulfide ores; д – layers of oxidized manganese ores in quarry of the Zhomart deposit, 2017.

в рудах наблюдаются серии секущих сегрегационных жил, выполненных крупными таблитчатыми кристаллами барита. Баритовые руды не содержат реликтовых включений вмещающих пород, поэтому предположение об их метасоматическом происхождении (Митряева, 1979) вызывает сомнение.

Свинец-баритовые руды представлены двумя разновидностями. Первая характерна для месторождения Дальнезападный Жайрем. Структурно это те же баритовые руды, но обогащённые галенитом, содержание которого достигает 1–3 об. %. Галенит более или менее равномерно рассеян в породе, а между баритовыми и галенит-баритовыми рудами существуют постепенные переходы. Вторая разновидность является главной рудой месторождения Ушкатын-III. Это прожилково-вкрапленные, гнездовидные, реже линзовидно-полосчатые скопления галенита и барита в серых известняках. Количество галенита здесь достигает 3–10 об. %. В зоне окисления этот минерал интенсивно замещается церусситом, при этом барит подвержен собирательной перекристаллизации, в результате чего руда приобретает церуссит-баритовый ($\pm$ реликты галенита) состав.

Свинцово-цинковые руды – мелкозернистые породы тёмно-серого цвета с тонкими ритмично-слоистыми текстурами (см. рис. 3б). Главными минералами являются сфалерит, галенит, пирит, кварц, калиевый полевой шпат, алюмосиенит и кальцит. Второстепенные и акцессорные минералы представлены арсенопиритом, магнетитом, рутилом, альбитом, доломитом, анкеритом, апатитом, плюмбогуммитом, баритом и другими минералами (детальнее см. (Митряева, 1979)). В рудах присутствует тонкодисперсное углеродистое вещество. Структурно руды очень близки к вмещающим их породам. По сути, галенит-сфалерит-пиритовые руды представляют собой обогащённые сульфидами горизонты глинисто-кремнисто-карбонатных отложений. Общее количество пирита, галенита и сфалерита в рудах достигает 20–40 об. %. При этом, несмотря на изменение их соотношений от слоя к слою, а также в пределах отдельных слоёв, сфалерит почти всегда преобладает над галенитом.

Главной формой выделения пирита является фрамбоидальная. В некоторых фрамбоидах пиритовые полиэдры цементируются галенитом. Основная масса галенита и весь сфалерит представлены ксеноформными агрегатами, заполняющими интерстиции между зёрнами кварца, слюды и кальцита, обрастающими и захватывающими фрамбоиды

пирита. Таким образом, текстуры руд указывают на то, что высокие концентрации железа, свинца и цинка в осадках создавались ещё на стадии их накопления. Судя по структурам руд, образование собственно рудных минералов (пирита, галенита и сфалерита) происходило позднее при диагенезе отложений.

Железные руды очень просты и однообразны по составу и строению. На всех месторождениях это мелкозернистые породы кирпично-красного цвета с хорошо выраженной слоистостью (см. рис. 3в). Текстуры пород создаются чередованием слоёв, обогащённых либо кварцем, либо гематитом. Участками, за счёт процессов собирательной перекристаллизации, гематит образует относительно крупные (первые миллиметры по удлинению) пластинчатые зёрна, и тогда порода приобретает стально-серую до чёрной окраску. Второстепенными минералами являются магнетит и кальцит. По текстурам, структурам и минеральному составу железные руды Казахстана практически аналогичны классическим железистым кварцитам типа BIF (*Banded Iron Formations*).

Марганцевые руды изучены нами особенно тщательно. Это мелкозернистые породы слоистой, линзовидно-полосчатой текстур (см. рис. 3 г–е). В их составе методами оптической и электронной микроскопии, рентгенофазового и микрозондового анализа диагностированы галенит, клаусталит*, ковеллин, киноварь*, кварц, рутил*, *церианит**, *торианит**, гематит, пиррофанит*, гаусманнит, магнетит, якобит, *криптомеллан*, *коронадит*, *литиофорит**, оксикальциоромеит*, браунит, циркон*, тефроит, сонолит*, аллеганит*, спессартин, титанит*, эпидот, пьомонтит, манганаксинит, эгирин*, родонит, магнезиорибекит, кариопилит*, бементит*, фриделит, пиррофиллит*, тальк, пеннантит, клинохлор, фенгит, флогопит, парсеттенсит, неотокит, альбит, калиевый полевой шпат, цельзиан*, кальцит, родохрозит, кутнагорит*, доломит, манганберцелиит, саркинит, тилазит*, флинкит*, ярозевичит (?)*, ретциан-Се*, ретциан-La*, гаспарит-La*, барит, целестин*, апатит, свабит*, монацит, пиробелонит и флюорит. Кроме того, М.М. Каюпова (1974) отмечает в рудах сфалерит, пирит, биксбиит, андрадит, *пиролозит*, *голландит*, *вернадит*, *гётит*, кентролит, брандтит, *гипс* и *пироморфит*. Итого 75 минералов. (Курсивом выделены гипергенные минералы, звёздочкой отмечены впервые установленные нами).

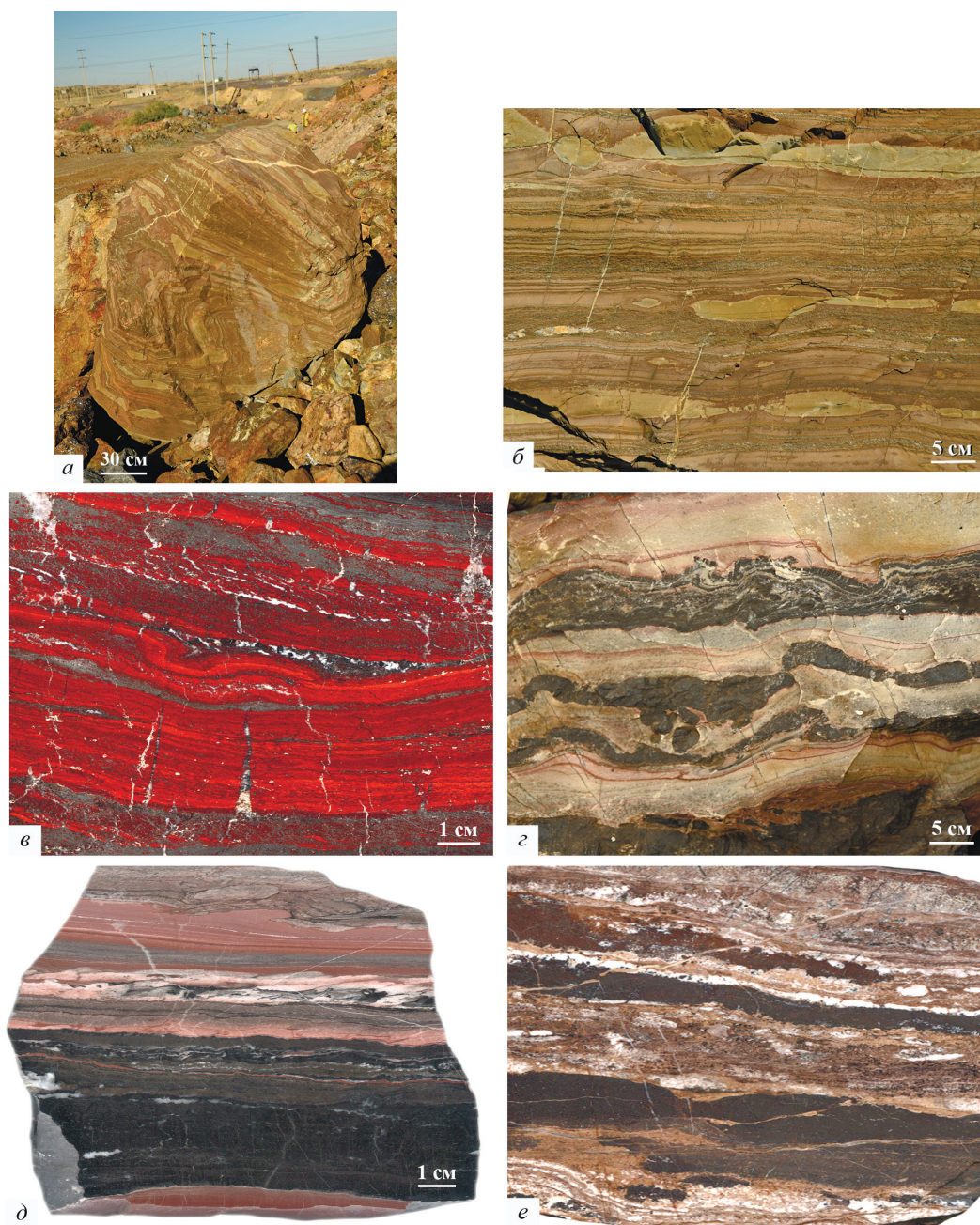


Рис. 3. Руды месторождений Жайремского узла.

a, б – окисленные (обохренные) с поверхности ритмично-полосчатые галенит-сфалеритовые руды месторождения Дальнезападный Жайрем с тонкими слоями сульфидов в глинисто-кремнисто-карбонатных породах; *в* – железные (гематитовые) руды месторождения Жомарт; *г* – чёрные прослои марганцевых (браунитовых) руд в кремнистых известняках месторождения Жомарт; *д, е* – марганцевые руды месторождения Ушкатын-III: *д* – браунитовые руды, слой браунита (чёрный) в тонко-слоистых красных известняках, *е* – гаусманнитовые руды, чередование слоев гаусманнита (тёмно-коричневые) и слоёв, сложенных фриделитом, тейфроитом, родохрозитом и кальцитом (более светлые, пёстрые).

Fig. 3. Ores from the Zhayrem ore district.

a, б – oxidized rhytmically banded galena-sphalerite ores of the Dal'nezapadny Zhayrem deposit with fine layers of sulfides in clay-siliceous-carbonate rocks; *в* – iron (hematite) ores from the Zhomart deposit; *г* – black interlayers of manganese (braunite) ores in siliceous limestones of the Zhomart deposit; *д, е* – manganese ores of the Ushkatyn-III deposit: *д* – braunite ores, braunite layer (black) in fine-layered red limestones, *е* – hausmannite ores, intercalation of hausmannite layers (dark brown) and layers composed of friedelite, tephroite, rhodochrosite and calcite (lighter, variegated).

Большинство из перечисленных минералов являются второстепенными (1–5 об. %) или аксессуарными (< 1 об. %) фазами, и только девять минералов относится к породообразующим (> 5 об. %) – кварц, гаусманнит, браунит, тефроит, сонолит, аллеганит, фриделит, кальцит и родохрозит. По набору главных минералов руды делятся на два типа: 1) браунитовые: браунит + кальцит + кварц ± альбит, и 2) гаусманнитовые: гаусманнит + кальцит + родохрозит ± тефроит (сонолит, аллеганит) ± фриделит (кариопилит). Эти типы руд могут слагать как самостоятельные пласты, так и сочетаться в пределах единого пласта. В последнем случае смена минерального состава руд происходит в результате замещения браунита на гаусманнит и ассоциирующие с ним силикаты и родохрозит.

Интерпретация минералогических наблюдений

Анализ минералогической информации позволяет реконструировать некоторые условия накопления и постседиментационных преобразований марганценосных отложений (Брусницын и др., 2018). Обращает на себя внимание однообразие текстур и минерального состава руд (на уровне главных фаз). При больших размерах продуктивной пачки в её строении принимают участие всего два типа руд. Причём рудные залежи целиком или их крупные фрагменты часто сложены только какой-либо одной минеральной ассоциацией. Следовательно, физико-химические и геологические условия образования исходных отложений были одинаковыми (или очень близкими) на достаточно большом участке морского дна. Такие условия могли реализоваться в пределах крупной и более или менее изолированной от остального водоёма впадине-ловушке при поступлении в неё растворов из нескольких рассеянных по площади источников.

Преимущественное концентрирование марганца в составе браунита и гаусманнита указывает на оксидную форму накопления металла в рудно-осадке, как это чаще всего и происходит в современном океане. На постседиментационных стадиях первичные оксиды Mn^{3+} и Mn^{4+} (вернадит, тодорokit, бернессит и др.) трансформируются в минералы Mn^{2+} и Mn^{3+} . Образование браунита происходит в более окислительных условиях, чем гаусманнита и, тем более, чем ассоциации гаусманнита с тефроитом ± родохрозит (Брусницын, 2007). Переслаивание или латеральная смена бра-

унитовых руд гаусманнитовыми свидетельствует о разных условиях преобразования осадка: более окислительных и более восстановительных, соответственно. Это достигается благодаря неравномерному содержанию в марганценосных отложениях захоронённого органического вещества (ОВ). Однако по сравнению с оксидами марганца общее количество ОВ было невелико. Фациальная обстановка накопления и захоронения марганца была окислительной. В противном случае и браунит, и гаусманнит были бы полностью вытеснены карбонатами и/или силикатами марганца, что и происходит, например, в черносланцевых толщах.

PT-параметры регионального метаморфизма марганценосных отложений не превышали уровня пренит-пумпеллитовой фации, о чём свидетельствует большое видовое разнообразие и высокие содержания в рудах гидратированных силикатов марганца (кариопилита, фриделита, пеннантита, марганцевого клинохлора, парсеттенсита и др.). Кроме того, присутствие этих минералов указывает на изначальное накопление некоторой части марганца в силикатной форме. Именно за счёт трансформации исходно-осадочных силикатов происходит низкотемпературная кристаллизация «метаморфогенных» тефроита, родонита и некоторых других минералов.

В химическом составе гаусманнита и якобита часто устанавливается примесь цинка (до 5.0 мас. % ZnO). В рудах диагностированы минералы типичных «гидротермальных» элементов – В, F, Zn, As, Sb, Ba и Pb. Яркой спецификой руд изученных объектов (месторождения Ушкатын-III и Жомарт) является наличие в их составе арсенатов. Набор аксессуарных фаз роднит изученные марганцевые руды с галенит-баритовыми рудами того же месторождения Ушкатын-III, а также с расположенными в пределах этой же региональной структуры полиметаллическими (барит-свинцово-цинковыми) рудами месторождений Жайремской группы. Возможно, Fe-Mn, Pb-Ba и Ba-Pb-Zn руды являются продуктами развития если не единой, то, во всяком случае, парагенетически сопряжённых рудогенерирующих систем. Не исключено также, что редкие элементы были привнесены в марганценосные отложения не в ходе их седиментации, а позднее – на стадиях захоронения, тектонических деформаций и метаморфизма, что также свидетельствует о парагенетической связи разного по составу и условиям образования оруденения. Сходная ситуация ранее отмечалась на месторождениях Франклин (США),

Стерлинг Хил (США), Лонгбар (Швеция) и Брокен Хилл (Австралия) (Рой, 1986).

Присутствие в марганцевых рудах минералов Hg и Sb (киновари и оксикальциоромеита), а во вмещающих породах – минералов Cr (хромистой шпинели и хромистого мусковита) допускает наличие в составе металлоносных отложений глубинного (мантийного?) вещества.

Генезис рудоносных отложений

Дискуссии о генезисе месторождений Жайремского рудного узла к началу 1980-х годов были практически завершены. Исследователи сошлись во мнении о гидротермально-осадочном происхождении рудоносных залежей (Митряева, 1979; Скрипченко, 1980, 1989; Рожнов, 1982; Варенцов и др., 1993). Предполагалось, что рудоносные растворы, зарождавшиеся в вулканогенных породах фундамента рифтогенной впадины, выносили на поверхность морского дна Pb, Zn, Ba, Fe, Mn, Si и другие элементы. Здесь в различных фациальных и физико-химических обстановках происходила их дифференциация и накопление разных по составу металлоносных отложений. В стагнированных обстановках впадин образовывались Pb–Zn ($\pm$ Ba) осадки, а на поднятиях в окислительных условиях – Pb–Ba и Fe–Mn ($\pm$ Ba).

Не оспаривая принципиальную возможность такого сценария, тем не менее отметим следующее. Месторождения Жайремского узла относятся к SEDEX (*sedimentary exhalative*) типу по следующим признакам: локализация рудных залежей в рифтогенной структуре; трансгрессивный тип мощного осадочного разреза с красноцветными континентальными отложениями в основании и морскими глинисто-кремнисто-карбонатными породами в верхней части; ограниченное развитие в районе магматических пород; приуроченность месторождений к осадкам узкого возрастного интервала; стратиформный характер залегания рудных тел; отсутствие окolorудных изменений вмещающих пород; тяготение месторождений к зонам конседиментационных разломов; обязательное наличие Pb–Zn $\pm$ Ba оруденения (в силу традиций для аналогичных по условиям залегания Fe–Mn месторождений термин SEDEX практически не используется).

По современным представлениям SEDEX месторождения формируются за счёт растворов, циркулирующих в осадочных толщах, а вклад магма-

тических процессов, если и проявлен, то сводится к поставке тепла, активизировавшего гидротермальную систему (Холодов, 2006; Robb, 2007; Wilkinson, 2014). Мы полагаем, что подобные воззрения вполне могут быть применимы и к изученным месторождениям Центрального Казахстана.

Одну из наиболее интересных моделей генезиса SEDEX месторождений предложил В.Н. Холодов (2006). Согласно ей, предпосылки для развития рудогенеза закладывались ещё на ранних этапах становления рифтовой системы в период накопления красноцветных континентальных отложений. Их формирование происходит в аридных обстановках и нередко сопровождается образованием локальных бассейнов с повышенной соленостью воды, в том числе и эвапоритовых. Захоронение соленосных вод или отложений и смешение их с метеорными водами приводит к появлению в осадочных толщах хлоридных рассолов, способных выщелачивать из окружающих пород и переносить на значительные расстояния многие металлы. Важно также то, что не подвергшийся химическому выветриванию обломочный материал красноцветных отложений несёт в себе большой запас рассеянных элементов: источниками Fe, Mn и Zn служат Fe-Mg силикаты, а Ba и Pb – полевые шпаты. За счёт выщелачивания этих и других элементов из минералов алевролитов, песчаников и т.п. пород создается рудоносный потенциал гидротерм.

При дальнейших процессах растяжения рифта, новообразованные тектонические нарушения вскрыли погребенные в красноцветных толщах горизонты рудоносных растворов и дали выход гидротермам на поверхность морского дна. Причём, помимо перепада давления, подъёму растворов способствовало также их дополнительное нагревание от зарождающихся в основании рифта магматических очагов. Кроме того, градиент температур между приповерхностными и глубинными частями рифта приводил к формированию за счёт морской воды конвективных гидротермальных ячеек, также способных генерировать оруденение. Безусловно, применительно к месторождениям Жайремского узла, эти представления являются пока рабочей гипотезой, нуждающейся в дополнительном обосновании и проработке. Но, рациональное зерно здесь, видимо, есть.

Один из самых интересных вопросов заключается в том, как связано между собой образование полиметаллических и железо-марганцевых руд.

Являются ли они продуктами развития единой гидротермальной системы или формируются за счёт независимо протекающих процессов. В пользу первой схемы свидетельствует пространственная сопряжённость месторождений, приуроченность разного типа оруденения к осадкам близкого возрастного интервала, некоторые общие для тех и других руд геохимические особенности, наличие современных аналогов в виде металлоносных осадков глубоководных впадин Красного моря. С другой стороны, в пределах общей региональной структуры максимумы полиметаллического и железо-марганцевого оруденения всё же разобщены по простиранию и/или по разрезу, переходов между ними нет. Более того, примеры пространственного совмещения значительных скоплений полиметаллических и железо-марганцевых руд в природе очень редки, и все они относятся к глубокометаморфизованным объектам, генезис которых вызывает дискуссию (месторождения Брокен Хилл, Франклин, Стерлинг Хилл, Лонгбан). Месторождения Центрального Казахстана являются чуть ли не единственным исключением из этого правила, поскольку процессы метаморфизма здесь проявлены в минимальной степени. Исключительная редкость ассоциации $Zn-Pb \pm Ba$ и $Fe-Mn$ руд заставляет сомневаться в наличии между ними прямой генетической связи. Таким образом, несмотря на длительную историю изучения, в генезисе месторождений Жайремского рудного узла остаются открытые вопросы.

Заключение

Полноценная геологическая изученность, большой объём выполненных к настоящему времени горных работ и связанная с этим хорошая обнажённость рудных тел и вмещающих их пород, доступность каменного материала наряду с разнообразием состава руд и слабым метаморфизмом отложений делают Жайремский рудный узел уникальным полигоном для изучения процессов рудогенеза в осадочных толщах. Современные аналитические возможности и развитие геологических знаний позволяют надеяться на скорый прогресс в понимании генетической сути этой группы месторождений и их места в ряду родственных объектов. Уже сейчас ясно, что руды месторождений Центрального Казахстана по минеральному разнообразию приближаются к таким всемирно известным памятниками природы, как месторождения Брокен Хилл,

Франклин, Стерлинг Хилл и Лонгбан. В отличие от последних, эксплуатация которых завершена, некоторые месторождения Жайремского рудного узла, в частности Ушкатын-III, разрабатываются, и поэтому новые находки здесь вполне вероятны. Наши исследования продолжаются, и мы будем рады всем присоединившимся коллегам.

Работы проведены с использованием аналитических возможностей ресурсных центров СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования», «Микроскопии и микроанализа» и «Геомодель». Исследования поддержаны РФФИ (проект 16-05-00227). Полевой выезд финансировался РНФ (проект 16-17-10076) и РФФИ (проект 16-05-00227).

Литература

- Брусницын А. И.** (2007) Ассоциации марганцевых минералов как индикаторы фугитивности кислорода при метаморфизме металлоносных отложений. *Геохимия*. (4). С. 345–363.
- Брусницын А.И., Перова Е.Н., Верещагин О.С., Бритвин С.Н., Платонова Н.В., Шиловских В.В.** (2018) Генетическая минералогия марганцевых руд месторождения Ушкатын-III, Центральный Казахстан. *Металлогения древних и современных океанов–2018. Вулканизм и рудообразование*. Миасс, ИМин УрО РАН. 67–70.
- Бузмаков Е.И., Щибрик В.И., Рожнов А.А., Середа В.Я., Радченко Н.М.** (1975) Стратиформные железо-марганцевые и полиметаллические месторождения Ушкатынского рудного поля (Центральный Казахстан). *Геология рудных месторождений*. (1). 32–46.
- Варенцов И.М., Веймарн А.Б., Рожнов А.А., Щибрик В.И., Соклова А.Л.** (1993) Геохимическая модель формирования марганцевых руд фаменского рифтогенного бассейна Казахстана (главные компоненты, редкие земли, рассеянные элементы). *Литоология и полезные ископаемые*, (3). 56–79.
- Каюпова М.М.** (1974) Минералогия железных и марганцевых руд Западного Атасу (Центральный Казахстан). Алма-Ата, Наука. 232 с.
- Митряева Н.М.** (1979) Минералогия барито-цинково-свинцовых руд месторождений Атасуйского района. Алма-Ата, Наука. 219 с.
- Рожнов А.А.** (1982) Сравнительная характеристика марганцевых месторождений Атасуйского и Никопольско-чиатурского типов. *Геология и геохимия марганца*. М., Наука. 116–121.
- Рожнов А.А., Бузмаков Е.И., Манухин Н.К., Щибрик В.И.** (1976) О зональности отложений железных и марганцевых руд Атасуйских месторождений (Центральный Казахстан). *Геология рудных месторождений*. (3). 23–32.

Рой С. (1986) Месторождения марганца / пер с англ. Е.Г. Гурвича и др.; под ред. В. Н. Холодова. М., Мир. 520 с.

Скрипченко Н.С. (1980) Гидротермально-осадочные полиметаллические руды известково-сланцевых формаций. М., Недра. 215 с.

Скрипченко Н.С. (1989) Прогнозирование месторождений цветных металлов в осадочных породах. М., Недра. 207 с.

Холодов В.Н. (2006) Геохимия осадочного процесса. М., ГЕОС. 608 с.

Robb L. (2005) Introduction to ore-forming processes. Blackwell Publishing. 373 p.

Wilkinson J.J. (2014) Sediment-hosted zinc-lead mineralization: processes and perspectives. *Treatise on geochemistry*. Second edition. Vol. 13. Amsterdam, Elsevier. 219–250.

References

Brusnitsyn A.I. (2007) Associations of Mn-bearing minerals as indicators of oxygen fugacity during the metamorphism of metalliferous deposits. *Geochemistry International*, **45**(4), 345–363.

Brusnitsyn A.I., Perova E.N., Vereshchagin O.S., Britvin S.N., Plaonova N.V., Schilovskih V.V. (2018) [Genetic mineralogy of manganese ores of the Ushkatyn-III deposit, Central Kazakhstan]. *Metallogeniya drevnykh i sovremennykh okeanov – 2018. Vulkanizm i rudoobrazovaniye*. [Metallogeny of ancient and modern oceans-2018. Volcanism and ore formation], 67–70. (in Russian)

Buzmakov E.I., Shchibrik V.I., Rozhnov A.A., Sereida V.Ya. Radchenko N.M. (1975) [Stratiform iron-manganese and polymetallic deposits of the Ushkatyn ore field (Central Kazakhstan)]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, **1**, 32–46. (in Russian)

Каупова М.М. (1974) [Mineralogy of iron and manganese ores of Western Atasu (Central Kazakhstan)]. Alma-Ata, Nauka, 232 p. (in Russian)

Kholodov V.N. (2006) [Geochemistry of sedimentary process]. Moscow, GEOS, 608 p. (in Russian)

Mitryaeva N.M. (1979) [Mineralogy of barite-zinc-lead ores of the Atasu district]. Alma-Ata, Nauka, 219 p. (in Russian)

Robb L. (2005) [Introduction to ore-forming processes]. Blackwell Publishing, 373 p.

Roy S. (1981) [Manganese deposits]. London. Academic Press, 458 p.

Rozhnov A.A. (1982) [Comparative characteristics of manganese deposits of the Atasu and Nikopol-Chiatura types]. In: *Geologiya i geokhimiya margantsa [Geology and geochemistry of manganese]*, Moscow, Nauka, 116–121. (in Russian)

Rozhnov A.A., Buzmakov Ye.I., Manukhin N.K., Shchibrik V.I. (1976) [Zoning of iron and manganese ores of from Atasu deposits (Central Kazakhstan)]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy [Geology of Ore Deposits]*, **3**, 23–32. (in Russian)

Scripchenko N.S. (1980) [Hydrothermal-sedimentary polymetallic ores of calc-shale complex]. Moscow, Nedra, 215 p. (in Russian)

Scripchenko N.S. (1989) [Forecast of deposits of non-ferrous metals in sedimentary rocks]. Irkutsk, Nedra, 207 p. (in Russian)

Varentsov I.M., Weimarn A.B., Rozhnov A.A., Shchibrik V.I., Soklova A.L. (1993) [Geochemical model of formation of manganese ores of the Famennian riftogenic basin of Kazakhstan (main components, rare earths, and trace elements)]. *Litologia i poleznie iskopaemiy*, **3**, 56–79. (in Russian)

Wilkinson J.J. (2014) Sediment-hosted zinc-lead mineralization: processes and perspectives. In: *Treatise on geochemistry*. Second edition, Vol. 13, Amsterdam, Elsevier, 219–250.

Статья поступила в редакцию 2 июля 2018 г.