

Г. Ж. НУРЖАНОВ, П. А. НИЦЕНКО (ТОО «КАЗАХМЫС БАРЛАУ»)

Особенности вещественного состава свинцово-цинковых руд месторождения Дюсембай Центральный (Центральный Казахстан)

В статье рассмотрены результаты лабораторных исследований свинцово-цинковых руд месторождения Дюсембай Центральный в Центральном Казахстане. Проводилось изучение вещественного состава с применением современных методов технологической минералогии, включающих электронно-микроскопические минералогические исследования. Выполнены химический, пробирный, рентгеноспектральный, ситовой и фазовый анализы по 10 малым технологическим пробам с различных участков месторождения. Проведенными на сегодня исследованиями вещественного состава установлено, что руды месторождения Дюсембай характеризуются сложным минералогическим и химическим составами, и относятся к свинцово-цинковому типу руды с преобладанием цинка над свинцом. Сделан вывод, что в рудах месторождения основными ценными компонентами являются свинец и цинк со средними содержаниями в рудах Zn 2,6 %, Pb 1,5 %. Основная часть этих металлов входит в состав сульфидов. Среди сульфидов преобладает сфалерит, массовая доля галенита меньше на порядок и более. Сульфиды железа (пирит, пирротин, марказит) варьируют в небольшом диапазоне. В рудной зоне выявлено серебро, со средним содержанием в рудах 10,5 г/т, а в рудных пересечениях достигает 2,7 кг/т. Другие цветные металлы, а также мышьяк и сурьма на текущей стадии изучения месторождения не представляют промышленного интереса. В настоящее время проводится детальная разведка месторождения, в процессе которой будет уточнен состав и технологические особенности руд.

Ключевые слова: месторождение, участок, Дюсембай, свинец, цинк, органический углерод, содержание, руда, минеральный состав, месторождения типа SEDEX.

G. ZH. NURZHANOV, P. A. NITSENKO (TOO «KAZAKHMYS BARLAU»)

Features of petrologic composition of Pb-Zn ore of the Dyusembay Central deposit (Central Kazakhstan)

Results of laboratory studies of Pb-Zn ore from the Dyusembay Central deposit, Central Kazakhstan, are discussed. Petrologic composition was studied using up-to-date methods of process mineralogy, including electron microscopic mineralogical studies. Chemical, X-ray spectral, sieve and phase analyzes and fire assay were performed on 10 small technological samples from various parts of the deposit. Investigations of the petrological composition performed to date showed that the ore of the Dyusembay deposit is characterized by complex mineralogical and chemical compositions and belongs to the Pb-Zn type of ore with a preponderance of Zn over Pb. It is concluded that Pb and Zn are the main valuable components in the ore of the deposit with average contents of Zn 2,6 % and Pb 1,5 %. Most of these metals are part of sulfides. The sulfides are dominated by sphalerite; the galena mass fraction is by an order lower. Iron sulfides (pyrite, pyrrhotite, marcasite) vary within a small range. Silver was found in the ore zone, with an average content in the ore of 10,5 g/t, and in ore intersections it reaches 2,7 kg/t. Other non-ferrous metals, as well as arsenic and antimony, at the current stage of the deposit study, are not of economic interest. Currently, the deposit is explored in detail and then the composition and technological features of the ores will be clarified.

Keywords: deposit, prospect, Dyusembay, lead, zinc, organic carbon, content, ore, mineral composition, SEDEX-type deposits.

Для цитирования: Нуржанов Г. Ж., Ниценко П. А. Особенности вещественного состава свинцово-цинковых руд месторождения Дюсембай Центральный (Центральный Казахстан) // Региональная геология и металлогения. – 2022. – № 92. – С. 92–104. DOI: 10.52349/0869-7892_2022_92_92-104

Введение. В статье рассмотрены результаты лабораторных исследований свинцово-цинковых руд месторождения Дюсембай Центральный, проведенных в различных лабораториях, начиная с исследований в ПГО «Центрказгеология» в 1993 г. и заканчивая современными исследованиями, проведенными в ТОО «Центргеоланалит» (г. Караганда, 2020 г.) [1], ТОО «Казцинк»

(г. Алтай, 2020 г.) [2] и в Институте «ТОМС» (г. Иркутск, 2020 г.) [3].

Месторождение Дюсембай Центральный находится в Улытауской области Республики Казахстан, в 20 км к югу от пос. Карсакпай и в 120 км на запад от г. Жезказган. Это месторождение является одним из перспективных полиметаллических месторождений в Казахстане. Поисковые

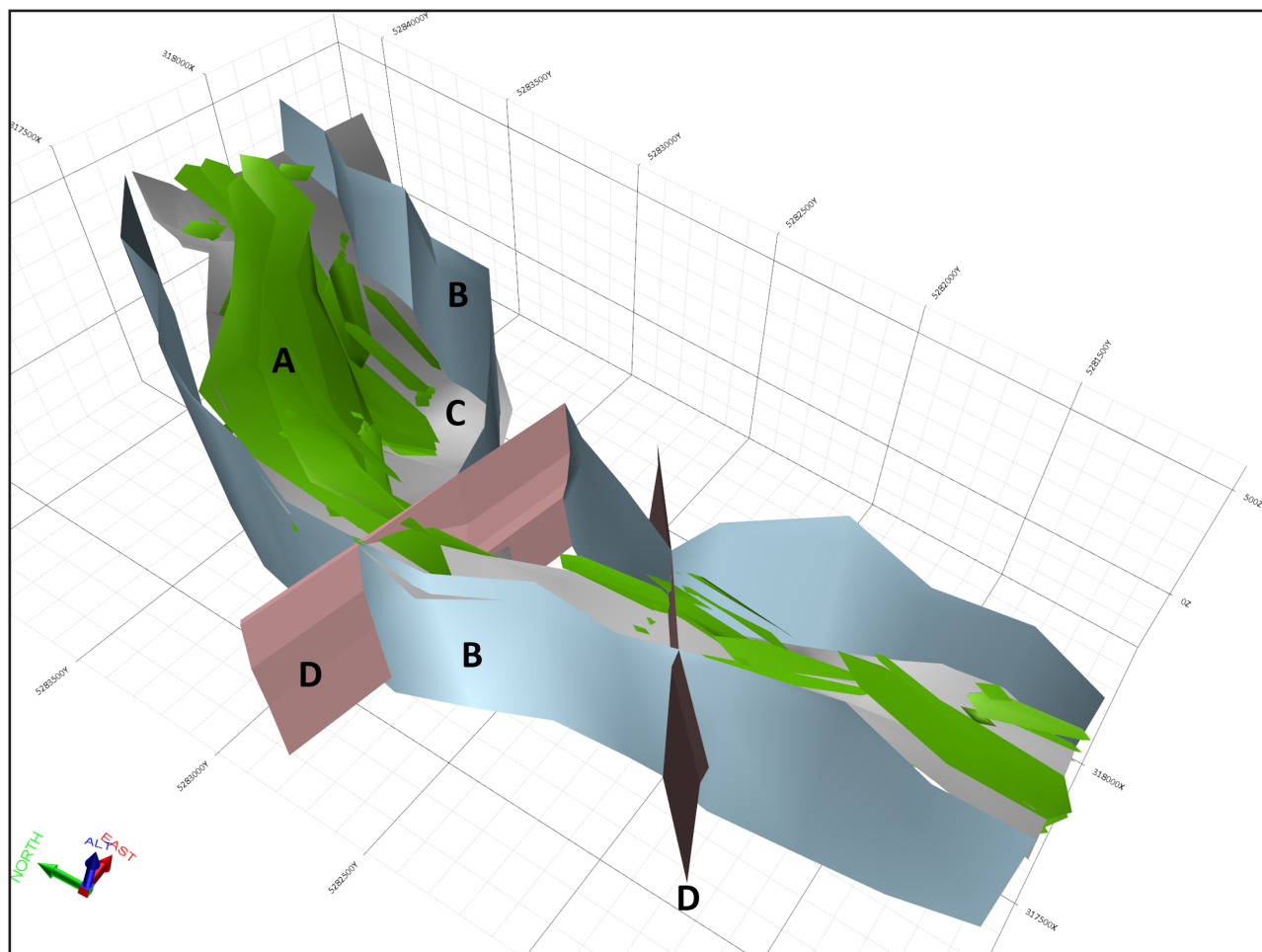


Рис. 1. Геолого-структурная 3D модель месторождения Дюсембай Центральный (вид на северо-восток, сверху вниз)

работы в древних толщах Карсакапайского поднятия, начатые еще в 1989 г., вскрыли богатое полиметаллическое оруденение на глубинах до 250 м [4]. В период изучения 2015–2022 гг. оруденение прослежено уже до глубины свыше 500 м, по простиранию рудная зона прослежена более чем на 3 км.

Согласно проведенному моделированию и по-вариантному подсчету запасов, предварительные запасы месторождения Дюсембай подсчитаны по бортовому содержанию 0,75 % условного цинка, для открытой разработки до максимальной глубины 300 м в объеме 108,4 млн т руды, цинка 2,8 млн т при среднем содержании 1,8 %, свинца 1,1 млн т при среднем содержании 1,1 %.

Результаты геологоразведочных работ на участке Дюсембай позволяют ожидать выявления крупного полиметаллического месторождения.

Краткая геологическая характеристика месторождения. В геологическом строении месторождения Дюсембай Центральный принимают участие отложения нижней подсвиты жиландысайской свиты верхнего протерозоя, которая имеет пятичленное строение снизу вверх.

Туфогенная пачка проявлена спорадически и представлена серыми, с зеленоватым оттенком мелко-среднеобломочными до крупнообломочными

литокристаллокластических туфов кислого состава.

Алевропесчаниковая пачка представлена кварц-полевошпатовыми песчаниками, алевропесчаниками, кремнистыми, кремнисто-глинистыми, глинистыми алевролитами с примесью вулканогенного материала.

Углеродисто-терригенная пачка представлена темно-серыми (до черных) углеродсодержащими алевроаргиллитами. **Пачка является рудовмещающей.**

Терригенная пачка включает следующие породы: алевроаргиллиты, алевропесчаники туфогенные и алевролиты кремнистые туфогенные.

Вулканогенная пачка. Наиболее характерной породой пачки являются серые, до темно-серых туфолавы и лавобрекчии риодацитового состава, порфиоровые массивные.

Месторождение Дюсембай Центральный представляет собой комплекс стратифицированных прожилково-вкрапленных рудных залежей (А) длиной 3,3 км, шириной (по падению) более 0,8 км, приуроченный к подошве углеродисто-терригенной пачки (С). Рудная зона ограничена субпараллельными и субмеридиональными рудоподводящими разломами глубокого заложения (В) и разделяется на три тектонических блока субширотными разломами (D) (рис. 1).

Согласно последним исследованиям, месторождение Дюсембай Центральный относится к новому формационному типу свинцово-цинковых месторождений, локализованных в черносланцевых толщах при значительной роли вулканической активности и является ремобилизованным месторождением типа SEDEX.

Минералого-петрографическая изученность руд месторождения. В 1989–1996 гг. в процессе изучения рудовмещающего комплекса было предварительно определено, что вмещающие породы представлены кристаллическими сланцами слюдисто-кварцевого, слюдисто-хлорит-кварцевого состава. Породы характеризуются мелко-, микрозернистыми лепидо-гранобластовыми структурами, интенсивно выраженной полосчатой, плоско-параллельной, участками волнистой сланцевой микротекстурой, обусловленной ориентированным расположением слюдистых микрочешуйчатых агрегатов. Кроме сланцев, в комплексе выделялись филлиты, кварциты и песчаники. Породы в целом плотные тонкозернистые, реже мелкозернистые, цвет от светло- до темно-зеленовато-серого и черного. Определялся скрытокристаллический графит в виде небольших скоплений, приуроченный преимущественно к слюдистым сланцам и филлитам.

В настоящее время в результате углубленного изучения петрографического состава определена более полная классификация рудовмещающих пород и их состав. К рудовмещающему комплексу отнесена углеродисто-терригенная пачка отложений нижней подсвиты жиландысайской свиты верхнего протерозоя.

Породы, вмещающие руды, месторождения представлены темно-серыми (до черных) углеродсодержащими алевроаргиллитами (рис. 2), неяснослоистыми за счет распределения углеродистого материала или четкослоистыми за счет наличия прослоев низкоуглеродистых песчаных разностей мощностью до 5 см.

Для пород характерно переменное количество углеродистого материала, визуальное от 1–3 до 3–5 %. Часто наблюдается микроскладчатость. Породы плотные и окрашены в серый и темно-серый цвета со светло-серыми и белыми прослоями, линзами и прожилками различной мощности и ориентировки. Структура пород бластоалевропелитовая, псаммито-алевропелитовая; вторичная – микролепидобластовая и гранобластовая. Текстура микролинзовиднослоистая; вторичная – сланцевая и плейчатая.

Породы в разной степени трещиноваты, основная их часть выполнена многочисленными прожилками карбонатного, кварц-карбонатного и сульфидного составов. Меньшее количество трещин – полые.

Основная масса углеродсодержащих алевроаргиллитов состоит из пелитовых углистых и глинистых частиц, микрозерен кварца, полевых шпатов и чешуек слюды. Акцессорные минералы представлены рутилом, сфеном, андалузитом,

силлиманитом и апатитом. К вторичным минералам относятся эпидот и хлорит.

Слюда представлена серицитом, редко встречаются единичные кристаллы мусковита. Серицит наблюдается в виде микрочешуек и микролейст в ассоциации с кварцем и полевыми шпатами.

Обломки кварца слагают кварцитовидные песчаники, алевропесчаники и, реже, кварциты, которые образуют прослой и линзы по сланцеватости в алевроаргиллитах. В составе кварцитовидного песчаника отмечается кварц первично-обломочный и новообразованный, выполняющий роль цемента. Структура пород остается псаммитовой с участками начально-бластической. Кварц метапесчаников сохраняет свои первичные особенности, вместе с тем отмечается кварц в виде удлинённых кристаллов с гранями пирамид и гексагональным поперечным сечением, а также в виде агрегатов плотно прижатых друг к другу неправильных зерен, в ассоциации с кальцитом и рудными минералами. Кристаллы кварца трещиноваты, а также в них видна примесь мельчайших частичек, из-за которых они выглядят мутными. Эти частички являются мельчайшими включениями жидкости или тонкими игольчатыми минералами (силлиманит, рутил). Можно выделить три генерации кварца.

Кварц-1 является пороодообразующим и представлен обломками различных размеров. Он входит в состав алевроаргиллитов, кварцитовидного песчаника и кварцита.

Кварц-2 ранний гидротермальный или перетотложенный образует трещиноватые и мутные кристаллы.

Кварц-3 – поздний гидротермальный, встречающийся в виде агрегатов неправильных зерен. Он выполняет кварц-карбонатные прожилки, как правило, расположен по периферии кальцита. Для кварца-2 и кварца-3 характерна ассоциация с кальцитом и рудными минералами. Кварц обеих генераций выполняет разновозрастные, разноориентированные и пересекающиеся кварц-кальцит-сульфидные прожилки, широко распространённые в породе. Невыдержанные кварцевые прожилки сильно изогнуты, порой образуют беспорядочную сеть. Встречаются разноориентированные и невыдержанные по мощности прожилки кальцитового и кварц-кальцитового состава, сопровождающиеся рудной минерализацией (рис. 3).

Второстепенные минералы представлены серицитом, рутилом и сфеном. В исследуемых породах встречаются призматические кристаллы андалузита с совершенной спайностью, это результат регионального метаморфизма глинистых углистых осадков, с образованием сланцев. Отдельные зерна андалузита содержат включения углеродистых частиц, чаще всего в виде полосок, параллельных удлинению продольных сечений, поэтому встреченный андалузит можно отнести к разновидности хиастолит (chiastolite). Кристаллы андалузита, как правило, замещаются серицитом и расположены они по сланцеватости

породы. Апатит отмечен в единичных случаях, главным образом в виде призматических кристаллов с гексагональным поперечным сечением.

Новообразования представлены кальцитом, достаточно крупных зерен с хорошо выраженной спайностью по ромбоэдру. Размер таблитчатых зерен – от 0,4 до 1,2 мм. Такой кальцит встречается в тесной ассоциации с кристаллами кварца-2. Более поздний кальцит имеет вид неправильных зерен, относительно мелких по размерам. Агрегат из таких плотно прижатых друг к другу зерен выполняет более поздние прожилки. Кальцит входит в состав тонкозернистых агрегатов, состоящих из пелитизированного эпидота и хлорита. Хлорит замещает слюду и встречается в виде агрегатов чешуйчатых зерен.

Углеродистое вещество равномерно распределено по сланцеватости вмещающей породы. Оно просматривается в виде мелких горизонтальных линий. Границы чаще всего волнистые. Углеродистое вещество вместе с глинистым входят в состав основной массы алевроаргиллитов. В образцах с пятнистой макротекстурой видны линзочки, в которых концентрируется углеродистое вещество. Микрозерна основной массы породы огибают линзы углеродистого вещества, благодаря чему наблюдается изгиб прослоек в такой породе.

Эпидот в виде пелитизированных тонких зерен входит в состав кальцит-эпидот-хлоритовых агрегатов, которые встречаются в основном по периферии кальцит-сульфидных прожилков в тесном сростании с рудными минералами.

Практически постоянно в породах отмечаются следы будинажа и смятия, горизонтальные складки и микросдвиги, что говорит об интенсивном тектоническом воздействии.

В основной массе рудные минералы образуют скопления, обогащающие отдельные прослои и подчеркивающие плейчатую текстуру пород (рис. 4).

Минераграфическая изученность руд месторождения. В результате современных исследований, в составе рудообразующих минералов определены сфалерит, галенит, пирит, марказит, мельниковит, халькопирит, пирротин, кубанит, арсенопирит, смитсонит, церуссит, виоларит, мандипит, герсдорфит, рутил, сфен и гидроксиды железа.

Сфалерит, галенит, пирит и халькопирит образуют зерна или кристаллы различной формы и различных размеров, расположенных в основной массе в виде вкрапленности и в прожилках. Характерны взаимные тесные сростания сульфидов (рис. 5).

Среди структур минералов, слагающих руду, широко распространены:

– *зернистая гипидиоморфно-, и аллотриоморфнозернистая структура* сростания, при которой галенит и сфалерит, иногда халькопирит имеют друг с другом взаимные границы сростания, свидетельствующие о близости времени их отложения;

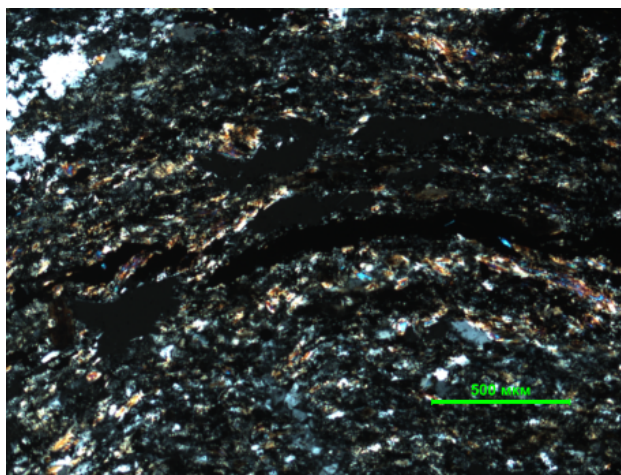


Рис. 2. Шлиф. Николи скрещены. Углеродсодержащие алевроаргиллиты. Микроскладки выполнены серицитом, углеродистым и рудным веществом



Рис. 3. Керн. Алевроаргиллит с кварц-кальцитовыми разноориентированными прожилками с гнездами сфалерита



Рис. 4. Керн. Характер плейчатости в углеродистых алевроаргиллитах, подчеркнутой сингенетичной пирит-пиротиновой минерализацией

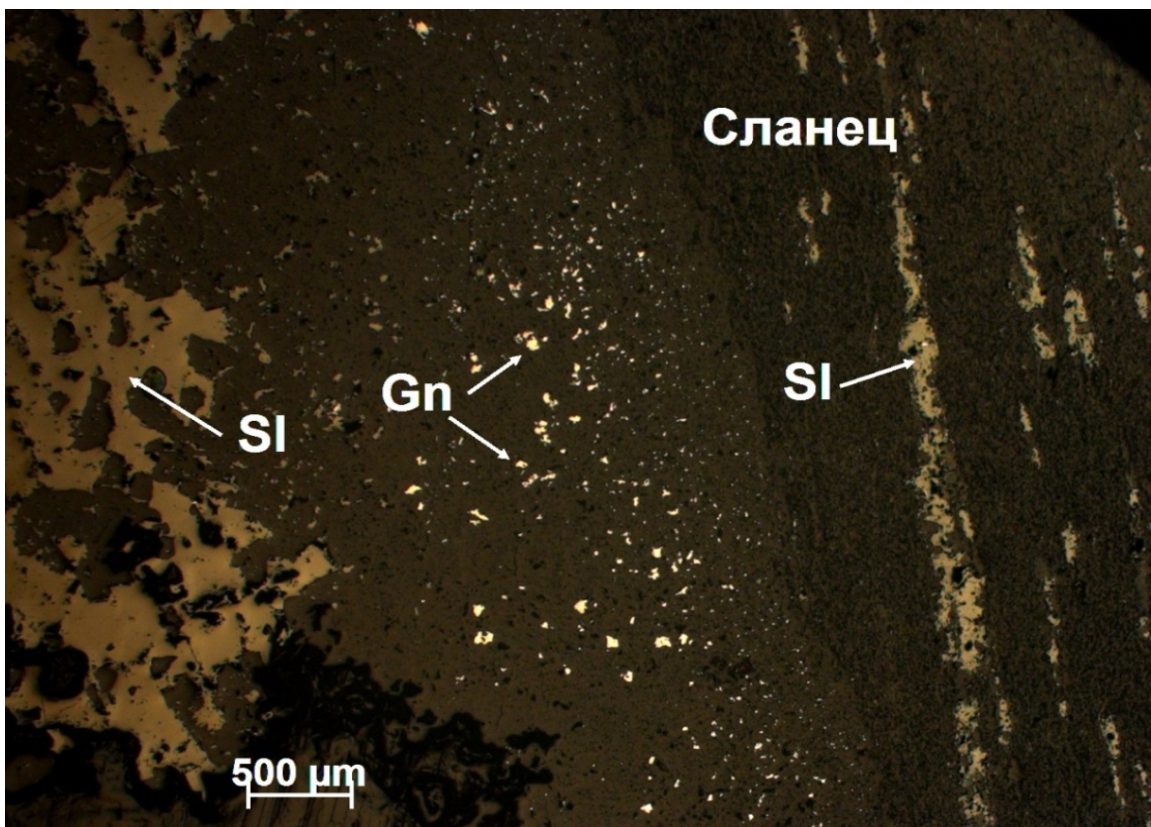


Рис. 5. Аншлиф. Различные агрегаты сфалерита (SI) и галенита (Gn) в рудах месторождения Дюсембай Центральный

– *интерстициальная структура* образуется развитием сульфидов в промежутках между зернами жильных и породообразующих минералов;

– *структуры замещения*: коррозионная – разъедание пирита галенитом, сфалеритом и халькопиритом; субграфическая структура характеризуется прорастанием сфалерита востками галенита, изредка халькопирита, а также халькопирита галенитом;

– *псевдоморфозные структуры* замещения галенитом, сфалеритом, пиритом с сохранением удлиненно-пластинчатой формы зерен нерудных минералов;

– *структура пересечений*, образуемая галенитом, сфалеритом, халькопиритом и другими минералами, распространяющимися жилками по трещинам в пирите;

– *пойкилитовая структура*, созданная тонкими включениями галенита, сфалерита, пирротина, молибденита и другими минералами в пирите, захваченными при возобновившемся росте зерен пирита;

– *структура распада твердых растворов*, характеризующаяся эмульсионной вкрапленностью халькопирита, пирротина в сфалерите, пластинчатыми выделениями кубанита в халькопирите;

– эмульсиевидная структура, образованная ультра-, тонкими взаимными округлыми включениями галенита и сфалерита;

– метаморфические структуры, распространенные в исследуемой руде, представлены структурой смятия в галените, структурой давления, характеризующейся появлением гранобластических структур сфалерита, галенита.

Сфалерит чаще всего образует зерна неправильной формы различных размеров. В зернах заметен катаклиз различной интенсивности. Наиболее распространена ассоциация с галенитом. Цвет сфалерита на месторождении Дюсембай Центральный обычно бурый или коричневый, непрозрачный, черта коричневая, что говорит о развитии железистой разновидности сфалерита – марматита. Увеличение содержания железа в кристаллической решетке сфалерита повышает его способность к окислению и образованию на поверхности гидроксида железа, чем объясняется коричневый цвет минерала. Марматит, как известно, проявляет низкую флотоактивность, поэтому изучение содержания и фазового нахождения железистой составляющей в сфалерите требует минералого-технологического картирования руд месторождения.

Содержание сфалерита в рудной зоне приблизительно: около 5–15 %. Образует ангедральную вкрапленность тонких (0,01–0,1 мм) и мелких (до 2,0 мм) зерен, преимущественно сконцентрированных в виде гнездообразных скоплений,

местами вытянутых в виде микрослоек, прослоек или коротких зернистых прожилок с массивной структурой, в основном приуроченных к промежуткам межзернового пространства породообразующих. Участками, сравнительно редко, отмечаются тесные ассоциации сфалерита с пирротином, в основном образующих структуры взаимных границ друг с другом. Вдоль границ сфалерита часто наблюдаются немногочисленные образования халькопирита и галенита (рис. 6), весьма редко халькопирита, образующие тесные сростания, как с ровными, так и с извилистыми очертаниями. Внутри незначительной части сфалерита наблюдаются микровключения халькопирита в виде многочисленной или редкой эмульсионной вкрапленности размером (0,001–0,1 мм), а также микровключения пирротина, галенита.

Галенит наблюдается в виде зерен аллотриоморфной, гипидиоморфной и игольчатой формы. Видны следы смятия: в относительно крупных зернах – по треугольникам выкрашивания; в мелких зернах – по игольчатым формам. Образует очень тесные, похожие на мирмекитовые, сростания со сфалеритом. Скорее всего, часть галенита более поздней генерации, так как наблюдается замещение галенитом других сульфидов.

Основное количество галенита наблюдается в виде скоплений тончайших микропросечек или тоненьких пластинок мощностью от 0,001 до 0,01 мм и длиной не более 0,1 мм, приуроченных к спайности нерудных минералов, или отмечается

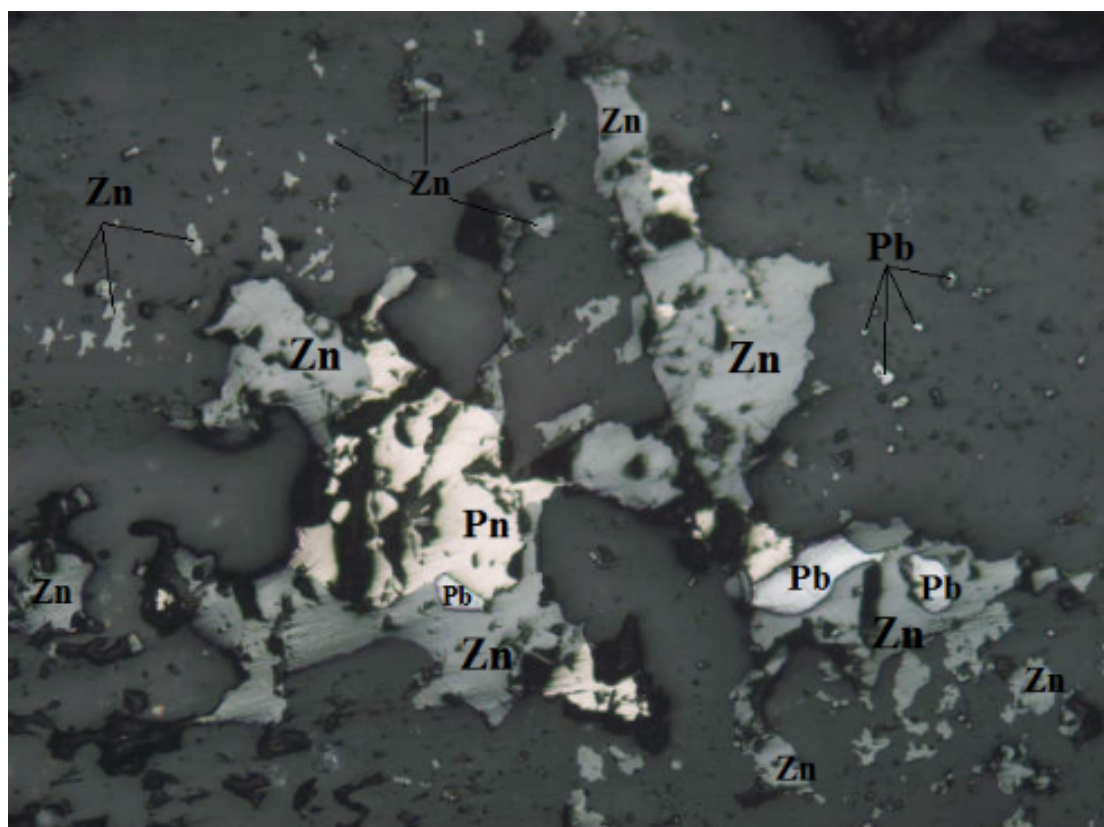


Рис. 6. Аншлиф. Тесные ассоциации сфалерита (Zn) с пирротином (Pn) и галенитом (Pb)

в виде ультратонких сростаний с углеродистым веществом (рис. 7).

Более крупные образования галенита размером от 0,15–0,20 до 1,0 мм характеризующиеся неправильными формами, встречаются в меньшем количестве, часто наблюдаются в наитеснейших сростаниях со сфалеритом и пирротинном.

Пирит в пробах перекристаллизован и разнообразен по формам нахождения. Встречаются бластозерна аллотриоморфной, гипидиоморфной и идиоморфной формы с ситовидным строением. Отмечаются зерна катаклазированные с различной интенсивностью. Нередко встречаются скелетообразные формы нахождения пирита, иногда с сохранившимися фрагментами гелевой структуры (мельниковит). Характерны тесные сростания с марказитом (превращение пирита в марказит).

Халькопирит в рудах наблюдается редко в виде зерен неправильной формы в ассоциации с другими сульфидами.

Редко встречающиеся минералы в рудах – пирротин, кубанит, арсенопирит, смитсонит, церуссит, виоларит, мандипит, герсдорфит, гидроксиды железа.

Руды в основной своей массе характеризуются чрезвычайной тонкозернистостью, на фоне которой отмечаются мелкокристаллические и крупнокристаллические гнездообразные и прожилковые выделения галенита и сфалерита, приуроченные к кварц-карбонатным прожилкам.

Средний размер зерен основных составляющих руды минералов изменяется в пределах от менее 1 мкм до 500 мкм в поперечнике.

Размер зерен и агрегатов сфалерита изменяется в пределах от 2 × 2 мкм до 1000 × 3000 мкм, мощность сфалеритовых прожилков колеблется от 5 мкм до 5–10 мм.

Размер зерен галенита составляет от менее 1 мкм до 150 × 500 мкм, редко мощность гнездообразных выделений и разветвленных прожилков

с раздувами и пережимами достигает 3000 мкм, в единичных случаях до 5–10 мм. При этом в весьма значительном количестве развит ультратонкий галенит крупностью до 5–10–20 мкм в поперечнике, реже до 50–100 мкм в сростках с углеродистым веществом.

Углеродистое вещество размером от субмикроскопического (<1 мкм) до 10 мкм в поперечнике, реже до 40 мкм, мощность прослоев и линз графитизированных вмещающих пород с неравномерно тонкорассеянной вкрапленностью сульфидов (чаще всего галенита) достигает от нитевидных до 10 000 мкм.

В целом специфической особенностью руды является наличие в ней относительно высокого содержания углеродистого вещества, образующего также тонкие сростания с сульфидами, в первую очередь, с тонкораспыленным галенитом.

Основные тесно ассоциирующие рудные минералы сфалерит и галенит образуют ориентированные согласно микрослоистости и сланцеватости вмещающих пород неравномерно разрозненные вкрапления вытянутой формы, скопления, цепочки зерен, тончайшую сыпь, струйчатые выделения, обусловленные субпараллельным направлением зерен, а также в ассоциации с кварцем и кальцитом самостоятельно или совместно выполняют метаморфические гнездообразные агрегаты и метаморфические прожилки.

В породной массе содержится довольно большое количество мельчайших и субмикроскопических «чешуйчатых» зерен галенита, который нередко в ассоциации со сфалеритом, развиваясь в интерстициях породообразующих минералов, неравномерно замещая их, находясь с ними в сложном тонком перемежающемся прорастании, образует рассеянные скопления, переходящие в ступковые обособления линзовидной, миндалевидной, эллипсовидной формы с сохранением незамещенных реликтов нерудных минералов.

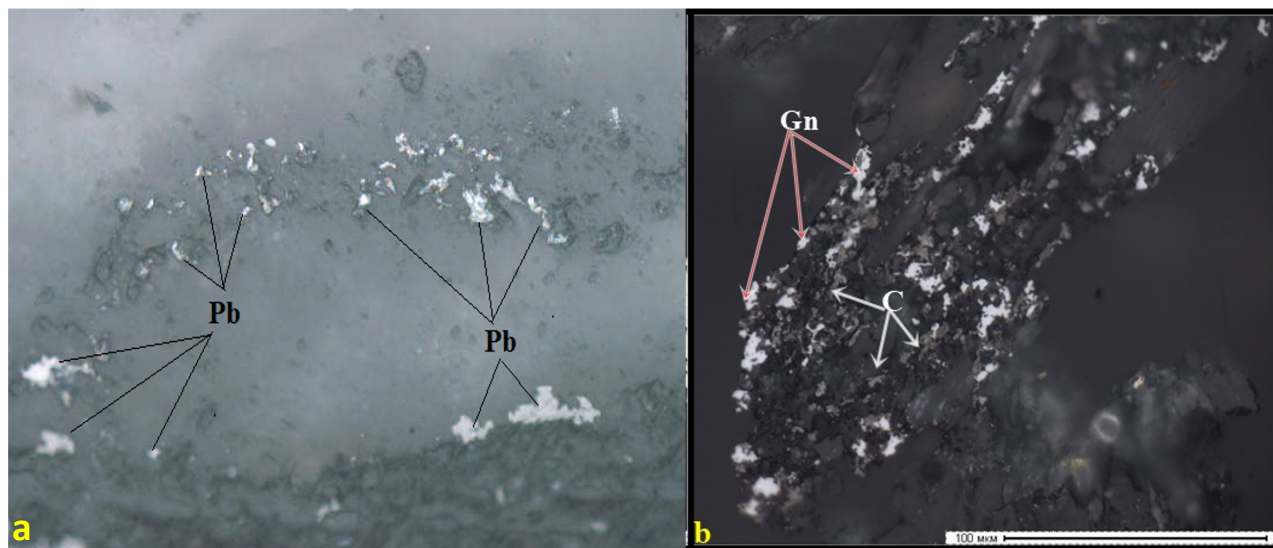


Рис. 7. Аншлиф. Тонкораспыленная вкрапленность галенита (Pb) в виде мелких гнезд в основной массе (а) и в виде ультратонких сростков с углеродом (б)

Химический состав руд месторождения. Описание особенностей химического состава руды месторождения Дюсембай Центральный приводится на основе наиболее расширенных исследований, проведенных Институтом ТОМС на 8 малых технологических пробах из различных рудных интервалов месторождения. Пробы отобраны из одной скважины в центральной части месторождения и характеризуют изменение химического состава по глубине от 228,6 м в 1-й пробе до 283,9 м в 8-й.

Аналитические работы выполнены с использованием оптико-эмиссионного, атомно-абсорбционного, ИК-спектроскопического, гравиметрического и титриметрического методов анализа.

Химический состав проб представлен в табл. 1.

Руды месторождения на 78–90 % состоят из литофильных компонентов. Среди них преобладает оксид кремния, его доля в различных пробах составляет 46,9–51,2 %, в 6-й пробе доля кремнезема достигает 58,7 %, при этом содержания цинка и свинца относительно ниже других проб. Отмечается увеличение содержания оксида кремния с глубиной. Также отмечается увеличение кальция с глубиной. Визуально в керне это выражается в увеличении количества кварц-карбонатных прожилков с глубиной.

Количество оксида алюминия в пробах находится на уровне 11,91–16,29 %. Суммарная доля оксидов щелочных и щелочноземельных металлов варьирует от 11 до 18,36 %. Количество углерода в пробах месторождения Дюсембай Центральный

Таблица 1

Химический состав руд месторождения Дюсембай Центральный

Элемент, компонент	Массовая доля в пробе, %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	49,3	46,9	48,0	50,5	48,2	58,7	48,0	51,2
Al ₂ O ₃	13,63	13,72	15,88	15,31	14,74	16,29	11,91	13,59
CaO	2,09	3,04	2,94	3,36	8,87	3,26	10,78	7,01
K ₂ O	4,95	5,33	7,95	9,40	5,28	5,75	4,10	5,13
MgO	3,96	3,83	3,48	3,32	2,99	3,35	3,48	3,12
MnO	0,118	0,109	0,102	0,123	0,284	0,207	0,349	0,25
P ₂ O ₅	0,149	0,117	0,140	0,112	0,144	0,142	0,112	0,132
TiO ₂	0,868	0,885	0,902	0,818	0,684	0,735	0,584	0,601
C _{общ}	3,63	3,16	2,03	2,97	4,33	2,14	2,95	4,31
C _{орг}	3,28	2,58	1,63	2,42	2,60	1,69	1,11	3,32
CO ₂	1,28	2,12	1,47	2,01	6,34	1,65	6,74	3,63
Fe _{общ}	3,53	3,20	3,40	2,61	3,06	3,73	3,79	3,06
Fe _{окисл}	2,61	2,25	2,50	2,04	2,20	2,75	2,99	2,46
Fe _{сульфид}	0,92	0,95	0,90	0,57	0,86	0,98	0,80	0,60
S _{общ}	2,99	3,04	2,87	2,62	2,98	2,60	2,06	2,45
Pb	1,27	1,53	1,43	1,51	1,29	1,18	0,97	1,46
Zn	3,50	4,06	3,00	3,53	2,94	3,57	2,28	3,00
Cu	0,015	0,021	0,043	0,039	0,021	0,020	0,023	0,051
As	0,016	0,033	0,008	0,018	0,015	0,009	0,033	0,037
Ba	0,160	0,160	0,100	0,150	0,130	0,074	0,130	0,140
Cd	0,022	0,024	0,019	0,021	0,018	0,020	0,013	0,020
Co	0,0022	0,0021	0,0037	0,0032	0,0020	0,0021	0,0021	0,0023
Cr	0,0130	0,0120	0,0130	0,0150	0,0260	0,0290	0,0300	0,029
Mo	0,0007	0,0010	0,0005	0,0007	0,0008	0,0008	0,0066	0,0011
Ni	0,0120	0,0096	0,0085	0,0090	0,0073	0,0073	0,0066	0,0099
Sr	0,0043	0,0060	0,0060	0,0056	0,0056	0,0040	0,0065	0,0039
W	0,0120	0,0140	<0,0010	<0,0010	0,0130	0,0130	0,0089	0,0150
Ag, г/т	7,06	6,27	4,68	5,69	5,86	5,63	4,15	4,98
Se, г/т	2,0	<0,1	<0,1	<0,1	1,9	0,9	1,7	2,1
Te, г/т	12,0	11,0	10,0	7,0	6,0	7,5	12,9	6,5
Re, г/т	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,9	0,7	1,0	<0,1

Примечание. Содержание элементов Na₂O, S_{сульфат}, Sb, Bi, Hg, Au во всех пробах находится ниже предела обнаружения.

Фазовый состав свинца и цинка в рудах месторождения Дюсембай Центральный

Проба	Величина	Массовая доля, %					
		Свинец			Цинк		
		Окисленный	Сульфидный	Общее	Окисленный	Сульфидный	Общее
1	Абс	0,330	0,940	1,27	0,224	3,276	3,50
	Отн	25,98	74,02	100,00	6,40	93,60	100,00
2	Абс	0,44	1,09	1,53	0,20	3,86	4,06
	Отн	28,76	71,24	100,00	4,93	95,07	100,00
3	Абс	0,23	1,20	1,43	0,16	2,84	3,00
	Отн	16,08	83,92	100,00	5,33	94,67	100,00
4	Абс	0,19	1,32	1,51	0,180	3,350	3,53
	Отн	12,58	87,42	100,00	5,10	94,90	100,00
5	Абс	0,33	0,96	1,29	0,12	2,82	2,94
	Отн	25,58	74,42	100,00	4,08	95,92	100,00
6	Абс	0,236	0,944	1,18	0,227	3,343	3,57
	Отн	20,00	80,00	100,00	6,36	93,64	100,00
7	Абс	0,17	0,80	0,97	0,08	2,20	2,28
	Отн	17,53	82,47	100,00	3,51	96,49	100,00
8	Абс	0,56	0,90	1,46	0,08	2,92	3,00
	Отн	38,36	61,64	100,00	2,74	97,26	100,00

варьирует в диапазоне 2,03–4,33 %. Содержание органического углерода присутствует в разных пробах в количестве 1,11–3,32 %, диоксида углерода в интервале 1,28–6,74 %.

Рудообразующие компоненты представлены железом, серой, свинцом и цинком. Доля железа, по данным химического анализа, в пробах различных интервалов находится на уровне 2,61–3,79 %. Во всех пробах окисленное железо преобладает над сульфидным. Сера в пробах присутствует в количестве 2,06–3,04 % и в полном объеме входит в состав сульфидов.

Свинец и цинк во всех пробах руды месторождения Дюсембай Центральный являются ценными компонентами. Доля свинца в разных пробах варьирует в небольшом диапазоне: 1,18–1,53 %. Содержание цинка в пробах разных интервалов находится на уровне 2,94–4,06 %.

Для свинца и цинка выполнен фазовый анализ. Результаты представлены в табл. 2.

По результатам фазового анализа установлено, что во всех пробах руды основная часть свинца и цинка входит в состав сульфидов. Рудная минерализация во всех пробах представлена сульфидами и окислами, но сульфиды преобладают над окисленными минералами. Сульфид цинка – сфалерит в пробах руды месторождения является наиболее устойчивым к процессу окисления.

Окисление свинца наименьшее в средней части рудного тела (проба 4) и возрастает к его лежащему и висящему боку (проба 1 и проба 8). Это говорит о том, что рудные тела имеют природные геологические границы, связанные, в первую очередь, с изменением степени трещиноватости

и проницаемости, что отражается на окислении сульфида свинца в преобладающей генерации тонкой вкрапленности в основной массе. Галенит в процессе окисления превращается в плюмбо-язрозит, который был выявлен в лежащем боку рудных тел, на глубинах более 300 м.

Окисление цинка снижается с глубиной и отличается от характера окисления свинца, вероятно, в связи с тем, что преобладают прожилково-вкрапленные агрегаты сфалерита, приуроченные к трещинам, заполненным кварц-карбонатными прожилками.

Сульфиды железа наиболее подвержены окислительным процессам в рудах месторождения. Степень окисления по железу, – более 25 %.

Для свинца и цинка в лаборатории ТОО «Каз-Цинк», на базе крупнообъемной (500 кг) керновой пробы руды месторождения Дюсембай Центральный проведен рациональный анализ для выяснения соединений этих металлов в окисленной и сульфидной формах. Результаты рационального анализа приведены в табл. 3.

По результатам рационального анализа, окисленные и труднообогатимые формы цинка в рудах месторождения представлены карбонатами и силикатами цинка, но их доля всего 5,4 %, окисленные и труднообогатимые формы свинца представлены карбонатами и сульфатами свинца, с незначительной долей в руде – 4,05 %.

В целом, по результатам расчетов степени окисления и изучения форм нахождения свинца и цинка, можно сделать вывод, что все исследованные пробы руды характеризуют первичный и смешанный, близкий к первичному, типы руды

Результаты рационального анализа пробы руды месторождения Дюсембай Центральный

Наименование	Содержание (абсолютное/относительное), %							
	PbCO ₃ окисл.	PbS сульф.	Pb ярозит	PbS общий	ZnCO ₃	ZnSiO ₂	ZnS сульф.	Zn общ.
Руда Дюсембай	0,02 1,35	1,42 95,95	0,04 2,70	1,48 100,00	0,07 3,80	0,03 1,63	1,74 94,57	1,84 100,0

в разных участках месторождения, но в целом руда месторождения Дюсембай Центральный относится к свинцово-цинковому типу сульфидного сорта.

Золото. По данным пробирного анализа, содержание золота в пробах руды месторождения Дюсембай Центральный находится ниже предела обнаружения. По результатам микроскопического исследования обнаружено золото золотисто-желтого цвета с красноватым оттенком, но отмечается оно крайне редко. Размеры золота варьируют в пределах $0,5 \times 1,5$ мкм.

Включения золота самостоятельно локализируются в жильной массе, но в основном находятся в тонких совместных выделениях хлорита и углерода, в том числе тесно прорастающих вкрапленностью галенита, сфалерита, пирита, а также в дефектах галенита (рис. 8).

Серебро. Содержание серебра в пробах разных интервалов варьирует в диапазоне 4,15–7,06 г/т, минимальное содержание фиксируется в пробе 7, максимальное – в пробе 1, т. е. с глубиной содержание серебра снижается. Это объясняется приуроченностью серебра к вышележащим над рудовмещающей пачкой туфогенно-терригенным породам.

Медь в рудах месторождения присутствует в поисковых значениях содержаний 0,01–0,05 %, в единичных рудных пересечениях отмечаются средние содержания меди до 0,1 %. Медь, в первую очередь, связана со скоплениями редкого халькопирита (CuFeS₂), который в аншлифах наблюдается в виде редких ксеноморфных зерен и агрегатов, вытянутой формы среди жильных минералов и сфалерита и в основном находится в сростании с сульфидами, слагает с ними

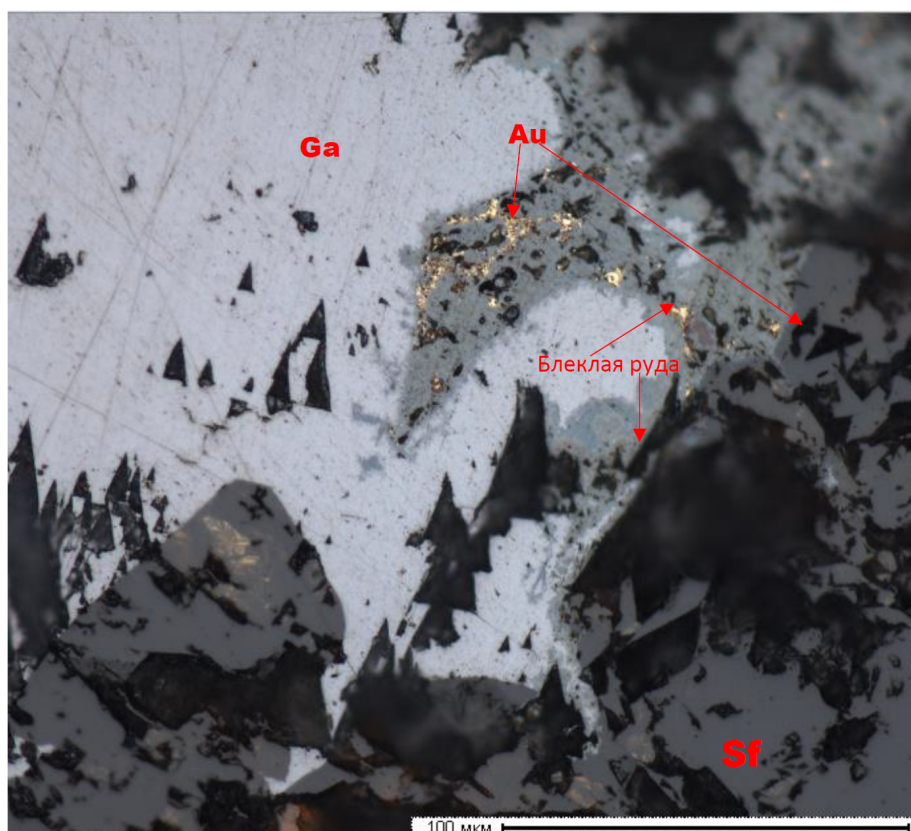


Рис. 8. Аншлиф. Золото в коррозионных дефектах галенита

прожилки. Со сфалеритом и галенитом образует простые и субграфические зернистые сростания, при этом слегка корродирует эти минералы. В крупных агрегатах пирита, марказит-пиритовых агрегатах совместно с полезными сульфидами развивается в виде жилок, распространяющихся по трещинам, а также отмечается в виде корродирующих включений. Иногда халькопирит отмечается в сфалерите в виде беспорядочно или закономерно расположенных эмульсионных включений (размером 0,5–3 мкм) округлой или штрих-пунктирной микротекстуры, подчеркивающих внутреннюю структуру сфалерита. Иногда в халькопирите наблюдаются тонкие неправильной или пластинчатой форм выделения кубанита (CuFe_2S_3).

Другие цветные металлы, а также мышьяк и сурьма в пробах разных интервалов отмечаются в количестве сотых и тысячных долей процента и не представляют промышленного интереса.

Особенности гранулометрического состава руд месторождения. На тех же восьми малых технологических пробах из различных рудных интервалов месторождения, на которых было изучено изменение химического состава по глубине, был выполнен ситовой анализ. На рис. 9 приведено распределение свинца и цинка в разных пробах исходной руды по классам крупности.

Содержание свинца, по данным ситового анализа, в разных пробах варьирует в узком диапазоне: 1,06–1,60 %. Распределение свинца по классам крупности пропорционально выходам материала в пробах.

Содержание цинка, по данным ситового анализа, в разных пробах варьирует в более широком диапазоне: 2,51–5,03 %. Цинк также распределяется по классам крупности пропорционально выходам материала.

Материал в поинтервальных по глубине пробах руды месторождения по классам крупности распределяется аналогично.

Основное количество свинца и цинка приходится на классы «крупных» фракций –2,0 + 0,6 мм и составляет 34–59 % свинца и 33–58 % цинка, в классах крупности –0,6 + 0,020 мм материал проб распределяется волнообразно с небольшими вариациями, но не выше 15 % по обоим металлам. Интерес представляет шламовый класс –0,020 мм, который характеризуется повышенным выходом материала относительно промежуточных классов, а количество свинца в нем доходит до 20 %, цинка – до 16 %. Большое количество свинца и цинка в шламовом классе обусловлено тонкой вкрапленностью минералов – сфалерита и галенита, находящихся в тесном сростании с вмещающим углеродистым веществом.

Выводы.

1. Породы месторождения представлены углеродсодержащими алевроаргиллитами и алевропесчаниками с прослоями, линзами кварцитов и кварц-карбонат-сульфидными прожилками раз-

личной мощностью и ориентировки. Рудовмещающие породы несут на себе следы интенсивного тектонического воздействия и метасоматических изменений, связанные с генетическими особенностями месторождения Дюсембай Центральный и определившими специфический вещественный состав руд.

2. Минеральный состав руд на 90 % представлен породообразующими минералами. Среди них существенно преобладают серицит, кварц, калиевые полевые шпаты, хлорит и кальцит. Наличие в рудах кварца и кальцита нескольких генераций – рудообразующего и переотложенного (гидротермального) в ассоциации с рудным веществом – говорит о ремобилизации и переотложении породного и части рудного вещества первичного стратиформного месторождения типа SEDEX в процессе последующего гипогенного воздействия вулканической деятельности и метаморфизма.

3. Руды в основной своей массе характеризуются тонкозернистостью, на фоне которой отмечаются мелкокристаллические и крупнокристаллические гнездообразные и прожилковые выделения галенита и сфалерита, приуроченные к кварц-карбонатным прожилкам. Это говорит о многоэтапном рудообразовании. Ранняя рудная генерация – сингенетичная с образованием тонкозернистых пирит-пирротиновых и сфалерит-галенитовых прослоев в основной породе. Поздняя рудная генерация – ремобилизованное под воздействием вулканических и метаморфических процессов рудное вещество, переотложенное в кварц-карбонатных прожилках. О явлении ремобилизации или переотложении рудного вещества свидетельствуют широко развитые на месторождении псевдоморфозные структуры замещения галенитом, сфалеритом, пиритом, зерен нерудных минералов с сохранением их первичных форм. Многоэтапность рудообразования выразилась в разном зернистости рудного материала.

4. Доля углеродистого вещества в разных частях месторождения находится на уровне 2–4 %, характерно наличие органического углерода, доля которого варьирует в диапазоне 1–3 % в разных частях месторождения. Содержания $C_{\text{орг}} = 1–3$ % можно считать типичными слабыми аномалиями на фоне кларкового процесса. Рудовмещающие породы в целом можно отнести к низкоуглеродистым [5].

5. В тесном сростании с органическим углеродом развита тонкорассеянная вкрапленностью сульфидов (чаще всего галенита). Доля свинца в тонкорассеянной вкрапленности может доходить до 20 %, а сфалерита – до 16 %, такие металлы будут теряться при любых процессах предобогащения руды, проводимых для удаления пустой породы (с легкой фракцией) в голове процесса обогащения руды, а углеродистое вещество будет засорять свинцовый продукт при флотации, т. е. количество углеродистого вещества влияет на сортировку руд по технологическим свойствам.

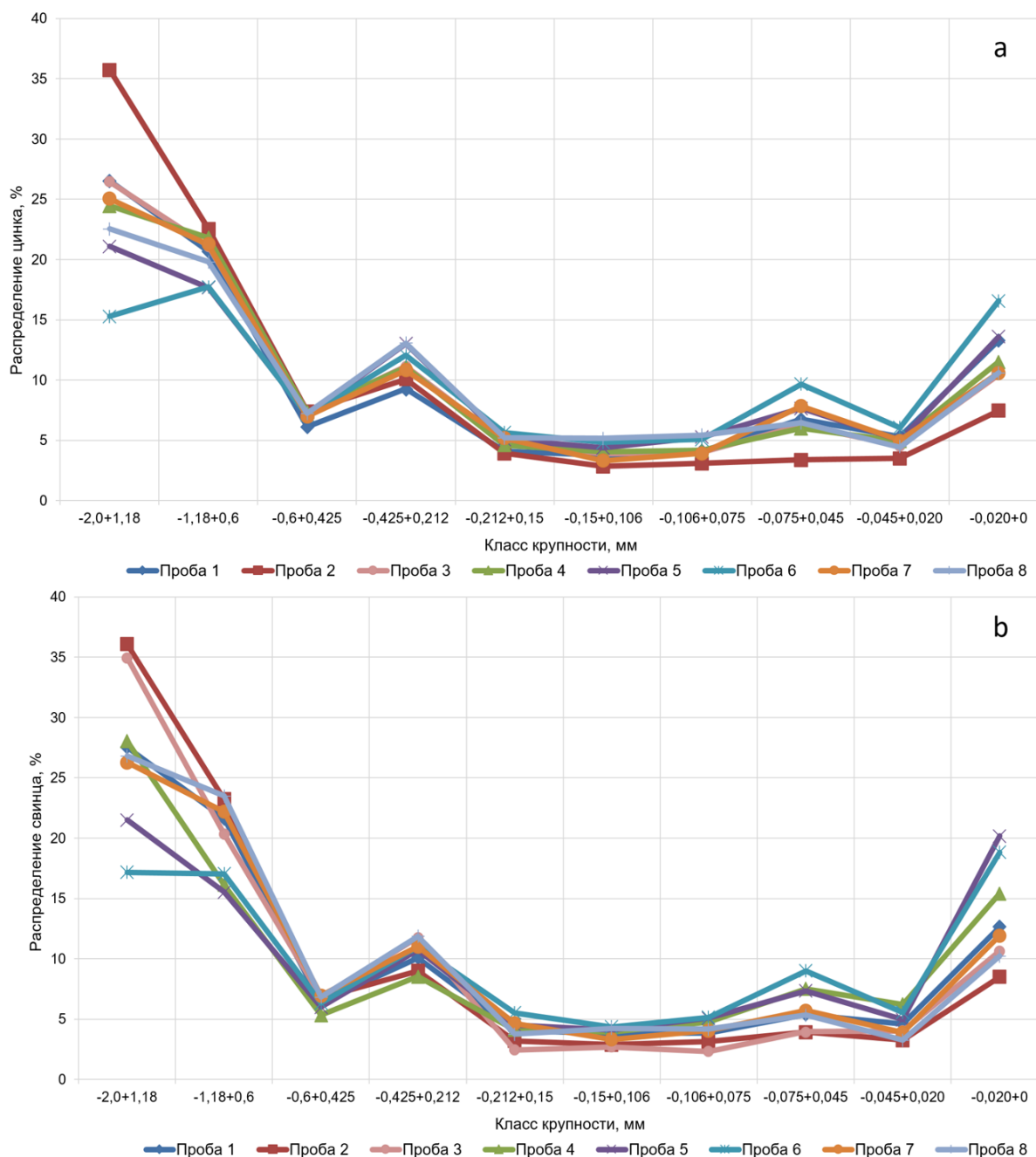


Рис. 9. Распределение цинка (а) и свинца (б) по классам крупности

6. Большое количество свинца и цинка в шламовом классе, обусловленное тонкой вкрапленностью сфалерита и галенита во вмещающем углеродистом веществе, будет влиять на оптимальный выбор способа рудоподготовки. Необходимо проведение технологических исследований по эффективному извлечению свинца и цинка из шламового класса. Например, на месторождении Шалкия (Казахстан) применение доизмельчения и модифицированного реагента позволило повысить извлечение из тонковкрапленных руд, свинца в концентрат на 16,6 %, извлечение цинка в цинковый концентрат – на 17,24 % [6].

7. Химический состав проб на 78,5–90,7 % состоит из литофильных компонентов, среди них

преобладает оксид кремния, а его доля в различных пробах варьирует от 46,9 до 58,7 %. Учитывая, что оксид кремния является весьма твердым и абразивным веществом, то в присутствии легко измельчающихся минералов кальцита и углеродистого вещества будет значительно влиять на качество и степень измельчения руды. Количество оксида кремния в разных частях месторождения также будет влиять на сортировку руд по технологическим свойствам.

8. Ценными компонентами в рудах месторождения являются свинец и цинк. Основная часть свинца и цинка входит в состав сульфидов. Среди сульфидов преобладает сфалерит, массовая доля галенита меньше на порядок и более,

поэтому цинк значительно преобладает над свинцом в рудах месторождения. Другие цветные металлы, а также вредные примеси (мышьяк и сурьма) на текущей стадии изучения месторождения не имеют промышленного значения. Промышленный интерес может представлять серебро (среднее содержание в рудах 10,5 г/т), а в отдельных рудных пересечениях до 2,7 кг/т.

9. Золото и медь не отмечаются в промышленно-значимых содержаниях, при этом обнаружены в рудах в виде корродирующих и заполняющих дефекты сульфидов образованиях, вероятно, наложенных и более поздних. Проявления золотоносных и меденосных, наложенных гидротермальных процессов говорит о возможности обнаружения значимых скоплений этих металлов в районе месторождения, за пределами разведываемой свинцово-цинковой зоны. Перспективы предварительно подтверждаются развитием в районе месторождения Дюсембай Центральный протяженных вторичных ореолов меди >0,03 % и обнаружением в кварцевых метасоматитах по алевропесчанникам северо-восточнее месторождения содержания Au 1,3 г/т, Ag 57,9 г/т при полном отсутствии свинца и цинка (0,02 и 0,0007 % соответственно).

1. Отчет по теме 814: «Изучение вещественного состава исходной свинцово-цинковой руды участка Дюсембай». Караганда: ТОО «Центргеоланалит»: ЛТИ, 2020.

2. Отчет по лабораторным исследованиям на обогащенность пробы руды месторождения «Дюсембай». Алтай: ТОО «КАЗЦИНК»: ОФ ГОК «Алтай», 2020.

3. Отчет «Предварительные лабораторно-технологические исследования материала пробы DU33-01Т месторождения Дюсембай». Иркутск: Институт ТОМС, 2020.

4. Когай С. Г., Исаков К. И. Поисковые геолого-геофизические работы м-ба 1 : 10 000 в древних толщах Центральной части Карсакпайского поднятия // Отчет Карсакпайской партии за 1989–1996 гг. – Жезказган, 1996.

5. Муханова А. А. Применение модифицированного сборителя пари флотации свинцово-цинковых руд месторождения Шалкия / А. А. Муханова, Н. К. Тусупбаев, Л. В. Семушкина, Д. К. Турысбеков // Комплексное использование минерального сырья. – 2015. – № 3. – 15 с.

6. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимия черных сланцев. – Л.: Наука, 1988. – 12 с.

1. Otchet po teme 814: «Izuchenie veshhestvennogo sostava ishodnoj svincovo-cinkovoj rudy uchastka Djusembaj». Karaganda, TOO «Centrgeolanalit», LTI, 2020.

2. Otchet po laboratornym issledovaniyam na obogatimost' proby rudy mestorozhdenija «Djusembaj». Altaj, TOO «KAZCINK», OF GOK «Altaj», 2020.

3. Otchet «Predvaritel'nye laboratorno-tehnologicheskie issledovanija materiala proby DU33-01T mestorozhdenija Djusembaj». Irkutsk, Institut TOMS, 2020.

4. Kogaj S. G., Isakov K. I. Poiskovyje geologo-geofizicheskie raboty m-ba 1 : 10 000 v drevnih tolshhah Central'noj chasti Karsakpajskogo podnjatija. Otchet Karsakpajskoj partii za 1989–1996. Zhezkazgan, 1996.

5. Muhanova A. A. Primenenie modifitsirovannogo sobiratelja pari flotacii svincovo-cinkovyh rud mestorozhdenija Shalkija. A. A. Muhanova, N. K. Tusupbaev, L. V. Semushkina, D. K. Turysbekov. Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ja. 2015, no. 3, 15 p.

6. Judovich Ja. Je., Ketris M. P. Geohimija chernyh slancev. Leningrad, Nauka, 1988, 12 p.

Нуржанов Галым Жумабаевич – ген. директор, ТОО «Казахмыс Барлау»¹. <Temirlan.zhunisbek@kazakhmys.kz>

Ниценко Павел Александрович – гл. геолог, ТОО «Казахмыс Барлау»¹. <Temirlan.zhunisbek@kazakhmys.kz>

Nurzhanov Galym Zhumabaevich – Director General, TOO Kazakhmys Barlau¹. <Temirlan.zhunisbek@kazakhmys.kz>

Nitsenko Pavel Aleksandrovich – Chief Geologist, TOO Kazakhmys Barlau¹. <Temirlan.zhunisbek@kazakhmys.kz>

¹ ТОО «Kazakhmys Barlau». Пр. Мангилик Ел, 52а, Астана, Казахстан, 010000.

ТОО Kazakhmys Barlau. 52a Mangilik El, Astana, Kazakhstan, 010000.