DOI: 10.24411/0869-7175-2018-10005

УДК 553.444.001.57(571.5)
© В.Д.Конкин, А.И.Донец, Г.В.Ручкин, 2018

Минералого-геохимические типы и региональные геологические особенности стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах

В.Д.КОНКИН, А.И.ДОНЕЦ, Г.В.РУЧКИН (Федеральное государственное бюджетное учреждение Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГБУ ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1)

Рассмотрены минералого-геохимические типы стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах: сарданский, миссисипский, силезско-краковский, миргалимсайский, шалкиинский, горевский, барвинский, новоземельский и учкулачский. Охарактеризованы основные особенности состава руд и их минералого-геохимические типы. Показано, что руды рассматриваемых месторождений характеризуются различным набором и концентрациями сопутствующих элементов в зависимости от региональных условий накопления рудовмещающих карбонатных толщ.
Ключевые слова: свинцово-цинковые месторождения, геолого-промышленные типы месторождений, минералого-геохимические типы руд, рудовмещающие формации и фации, генезис месторождений.

Конкин Виктор Дмитриевич metallogeny@tsnigri.ru
Донец Александр Иванович metallogeny@tsnigri.ru

Mineralogical-geochemical types and regional geological special characteristic of stratiform carbonate-hosted lead-zinc deposits

V.D.KONKIN. A.I.DONETS, G.V.RUCHKIN (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

Carbonate-hosted stratiform lead-zinc deposits of various geologic types such as Sardansky, Mississippi Valley, Silesian-Cracow, Mirgalimsay, Shalkia, Gorevsky, Barvinsky, Novaya Zemlya and Uchculach are described. In addition, the main compositional features and mineral-geochemical ore types are characterized. These deposits are associated with exfiltering systems of chloride brines. The nature of metalliferous brines and metal mobilization and metal transportation form are analyzed.
Key words: ccarbonate-hosted lead-zinc deposits, geological and economic deposit types, mineral-geochemical ore types, ore-hosting formations and facies, genesis of deposits.

По классификации месторождений полезных ископаемых В.И.Смирнова [26], стратиформные свинцово-цинковые месторождения в карбонатных толщах (ССЦМ) относятся к телетермальному классу гидротермальных месторождений. Они пространственно тесно связаны с доломито-известняковыми, глинисто-доломито-известняковыми, кремнисто-доломито-известняковыми, реже туфогенно-доломито-известняковыми толщами, имеющими широкий возрастной диапазон (от рифея до миоцена включительно) формирования в платформенных интракратонных осадочных бассейнах и субплатформенных режимах перикратонных прогибов на шельфе и склоне континентов с рассеянным спредингом.

В работах отечественных и зарубежных исследователей [1, 3, 28] *стратиформные свинцово-цинковые месторождения в карбонатных толщах* различных регионов мира классифицируются как стратиформные месторождения типа MVT *и включают разные минералого-геохимические подтипы свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах* Верхнемиссисипской долины, Юго-Восточного Миссури и Три-Стейт Северо-Американской платформы. К этой же рудной формации относятся стратиформные свинцово-цинковые месторождения Большекаратауской (Казахстан), Южно-Ферганской (Узбекистан), Центрально-Ирландской, Южно-Аппалачской (США), Силезско-Краковской (Польша) и ряда других провинций.

На территории России к регионам с широким развитием карбонатных толщ с месторождениями и рудопроявлениями свинцово-цинковых руд принадлежат

Юдомо-Майский, Пайхой-Новоземельский, Западного склона Урала, Байкало-Патомский (включая Прибайкальский пояс и Джелиндинский рудный район), Ангаро-Большепитский Енисейского кряжа, Приаргунский, Восточно-Саянский (Манский рудный район), обрамления Ханкайского, Колымского и Восточно-Чукотского массивов и, предположительно, отдельные проявления Дальнегорского и Ольгинского рудных районов Дальнего Востока.

Рудным залежам ССЦМ в карбонатных толщах присущ ярко выраженный сингенетично-эпигенетический облик, в отличие от месторождений колчеданно-полиметаллических стратиформных рудных залежей в углеродсодержащих карбонатно-терригенных толщах флишоидного строения с отчётливо проявленной сингенетичной природой первичного рудонакопления (тип SEDEX).

Для ССЦМ в карбонатных толщах установлены разноранговые элементы-признаки их геолого-тектонической позиции, особенностей строения рудовмещающих толщ, морфологии, минералого-геохимического состава рудных тел и другие, которые могут рассматриваться как классификационные, уточняющие рудноформационную и минералого-геохимическую типизацию месторождений и их рудных тел. К таким квалификационным элементам-признакам авторы считают целесообразным отнести следующие:

• палеотектоническую позицию накопления рудовмещающих формаций как внутри платформенных (внутриплитных) прогибов, так и в прогибах на шельфе и склоне континента с рассеянным спредингом;

• размещение рудовмещающих карбонатных (в том числе рифогенных и биогермных) фаций в латерально-вертикальных рядах бассейнов седиментации интракратонных и перикратонных прогибов на шельфе и склоне континентов с формированием в латеральном ряду синхронных им углеродисто-терригенно-карбонатных и карбонатно-терригенных фаций флишоидного строения;

• отсутствие, за исключением единичных случаев, магматических образований на площадях рудных полей и рудных районов;

• локализация рудных залежей в карбонатных и глинисто-карбонатных толщах на различных литолого-стратиграфических уровнях среди пластов с повышенным геохимическим фоном рудных элементов и многоярусное их размещение в рудовмещающем разрезе единых бассейнов седиментации;

• морфология рудных тел – согласная пластообразная и линзовидная, субсогласная линзообразная, ленто-, плито- и мантообразная, при подчинённой роли гнездовидных;

• текстурно-структурная особенность строения рудных тел – подчинённое количество слоистых и массивных руд при широком развитии полосчатых, прожилково-вкрапленных, брекчиевидных и экзотической бурундучной текстуры;

• однотипность и простота минерального состава рудных залежей – основные рудные минералы: галенит+сфалерит±пирит (как правило, в незначительных объёмах); широкий спектр попутных минералов в различных сочетаниях – рудных: халькопирит±борнит±арсенопирит±аргентит и другие, а также нерудных: барит±флюорит±кварц±сидерит±доломит±витерит;

• широкий спектр элементов-примесей в различных сочетаниях (серебро, германий, кадмий, индий, таллий, стронций, мышьяк, медь и другие);

• рудная матрица геологических тел, включающая основные рудные минералы (в зависимости от региональных палеотектонических условий накопления рудовмещающих толщ и состава рудоносных растворов) – доломитовая, известняково-доломитовая, сидеритовая, реже углеродсодержащая кремнистая;

• синрудные изменения (как правило, слабо проявленные) – доломитизация известняков, перекристаллизация доломитов (до сахаровидных), окварцевание, реже джаспероидизация известняков и гидрослюдизация глинистого материала;

• широкий диапазон изотопных характеристик серы сульфидов (от –18‰ до +35‰) с модальными значениями +20‰ (±5‰) в месторождениях интракратонных прогибов и +14‰ (±5‰) в рудных телах перикратонных прогибов на шельфе и склоне континентов с рассеянным спредингом;

• широкий разброс (280°–70°) температур минералообразования, часто с линзовидно-концентрической зональностью по латерали рудных тел;

• сингенетично-эпигенетичный генезис рудных залежей различных минералого-геохимических типов (отчётливая приуроченность рудных тел к карбонатным горизонтам с признаками метасоматического замещения вмещающих пород).

Перечисленные выше элементы-признаки позволили предшественникам объединить их в самостоятельную группу рудноформационного семейства – стратиформную свинцово-цинковую в карбонатных толщах рудную формацию. Вместе с тем эта формация достаточно разнообразна по индивидуальным особенностям обстановок формирования рудных залежей, морфологии руд и условиям их залегания, минералого-геохимическому составу руд и ряду других элементов-признаков [1, 7, 13–15, 19, 23, 25].

Классификация и типизация месторождений этого семейства с различными методическими подходами отражена в многочисленных отечественных и зарубежных публикациях. В частности, Д.И.Горжевский, П.Ф.Иванкин, А.Д.Щеглов и др. предложили выделять четыре типа месторождений этого семейства в зависимости от их региональной геотектонической позиции и локализации: 1) в перикратонных прогибах; 2) в чехлах древних (докембрийских) платформ; 3) в чехлах молодых (эпикаледонских и эпигерцинских) платформ; 4) в срединных массивах.

В.В.Поповым [19] предложена систематизация стратиформных свинцово-цинковых месторождений на геотектонической основе. Среди них выделяются две группы: *месторождения платформ и месторождения складчатых областей*. Дальнейшая систематизация основана на положении месторождений и их закономерных связях с крупными структурными единицами в пределах платформ и складчатых зон. Месторождения платформ ассоциируются с внутриплатформенными и краевыми прогибами, а также с эпиплатформенными рифовыми структурами. В.В.Попов также предложил учитывать возраст месторождений, выделяя среди них принадлежность к древним или молодым платформам.

К месторождениям складчатых областей отнесены объекты в складчатых миогеосинклинальных зонах, отделённых от платформ краевыми прогибами, и в складчатых зонах, сопряжённых со срединными массивами и субплатформенным типом структур в срединных массивах.

В упомянутой работе В.В.Попова отмечены и кратко охарактеризованы элементы минералого-геохимической специализации отдельных месторождений в зависимости от их региональной позиции. В частности, указано, что месторождения типовой обстановки долины реки Миссисипи (MVT) на Мидконтиненте (США) выявлены как собственно свинцово-цинковые рудные залежи, так и медно-свинцово-цинковые, флюорит-свинцово-цинковые и свинцово-цинковые баритовые. В.В.Попов также обратил внимание на возможную латерально-вертикальную связь месторождений рассматриваемого типа с фациями медистых песчаников.

Н.С.Скрипченко, учитывая литолого-фациальные особенности рудовмещающих толщ, выделил *три группы* месторождений, относящиеся к карбонатным толщам: слоистые, структур растворения (карстовые) и рифовые [25].

Аналогичную классификацию предложил и В.П.Феоктистов [2], который в зависимости от типа структурно-литологических коллекторов и морфологии рудных тел, выделяет также *три подтипа* стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных формациях: первый – пластовый или слоистый, представленный пластовыми рудными телами, залегающими согласно с вмещающими породами (Миргалимсай, Шалкия и др.); второй – выполнения разнообразных по форме полостей, в основном карстовых, представленных жильными гнездо-, трубо-, ленто-, пласто,- плито- и линзообразными залежами брекчиевых и колломорфных руд (Ачисай, район Три-Стейт и др.); третий – метасоматического замещения рифовых построек – зубчато выклинивающиеся линзовидные рудные тела, контролирующиеся конфигурацией и внутренней структурой рифовых сооружений (Пайн-Пойнт, месторождения Юго-Восточного Миссури и др.).

Р.Хатчинсон [28], используя тот же подход, выделил *четыре* наиболее важных и явно различающихся типа месторождений по морфологии рудных тел: массивные пластообразные (конкордантные); стратоидные гнездовидной и линзовидной морфологии; комбинациями стратоидных, мантообразных и трубообразных рудных тел; жильные и гнездовидные с серебром скарновые и полиметаллические (Fe, Cu, Pb, Au, Ag).

Наиболее полно комплекс информации о геолого-минералогических особенностях строения месторождений рассматриваемого типа был отражён в работе Э.И.Кутырева [17], в которой автор предложил выделять три минералого-геохимических типа стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах: барит-свинцовый и свинцово-цинковый в углеродисто-карбонатной слоистой формации *(миргалимсайский)*, свинцово-цинковый в карстовой карбонатной рифовой формации (сарданский в Юдомо-Майской металлогенической зоне) и барит-флюорит-свинцово-цинковый в карстовой карбонатной слоистой формации (барвинский в Прибайкальском полиметаллическом поясе).

Заслуживает внимания и классификация В.В.Архангельской, Ф.И.Вольфсона [1], которые предложили выделить рудные формации и субформации с минеральными типами, объединив в единую группу стратиформные низко- и среднетемпературные свинцово-цинковые месторождения. В эту группу были включены месторождения свинцово-цинковых руд как собственно стратиформные в карбонатных толщах (тип MVT), так и стратиформные месторождения типа SEDEX в углеродистых терригенных толщах и колчеданных (медно)-свинцово-цинковых руд в вулканогенных толщах (VMS). В соответствии с общепринятой классификацией рудных формаций цветных металлов, это три самостоятельные рудные формации и, соответственно, их геолого-промышленные типы.

Сложность типизации месторождений рассматриваемого типа обусловлена многообразием обстановок их формирования и определения принадлежности палеотектонических обстановок накопления рудовмещающих геологических формаций в латерально-вертикальных рядах с формированием рудовмещающих фаций со стратиформными месторождениями свинца и цинка в карбонатных толщах (тип MVT), в углеродистых карбонатно-терригенных толщах флишоидного строения (тип SEDEX) и терригенно-вулканогенных толщах (тип VMS).

Авторы настоящей публикации, проанализировав информацию отечественных и зарубежных исследователей о геологической позиции ССЦМ в карбонатных толщах, отмечают, что все исследователи фиксируют накопление рудовмещающих карбонатных толщ в обстановках платформенных и субплатформенных режимов. Они также установили, что такие режимы сопровождали осадконакопление рудовмещающих толщ как внутри континентальных прогибов, так и рифтогенных и надрифтогенных прогибов на шельфе и склоне

континента. Наиболее часто фиксируемые ряды синхронных рудовмещающих геологических формаций выявлены в задуговых бассейнах с прогибами на шельфе и склоне континентальных окраин. В частности, в прогибах, формировавшихся на шельфе и склоне континента в ряде рудных районов Западного Прибайкалья, Байкало-Патомского нагорья, Енисейского кряжа (РФ), Джунгарского Алатау (Казахстан), бассейна Селвин (США), Юго-восточного Китая и Австралии (бассейн Макартур), были установлены латерально-вертикальные ряды рудовмещающих карбонатных и углеродистых карбонатно-терригенных формаций соответственно со стратиформными месторождениями свинцово-цинковых руд (тип MVT) и колчеданно-полиметаллических (свинец+цинк+медь) руд в углеродистых карбонатно-терригенных толщах флишоидного строения (тип SEDEX) [1, 4, 12, 13, 22, 28].

Учёт приведённой краткой информации о геологии месторождений типа MVT позволил авторам уточнить их классификацию и выделить среди этого семейства следующие группы минералого-геохимических подтипов месторождений:

1. ***Пирит(±халькопирит)-свинцово-цинково-баритовый с флюоритом в кремнисто-известняково-доломитовой формации (миссисипский MVT).*** Месторождения приурочены к внутриконтинентальным впадинам древних платформ, представлены рудными телами в хемогенно-органогенных битумсодержащих известняках с кремнистыми прослоями и стяжениями, тонкослоистых водорослевых доломитах, кавернозных эпигенетических доломитах и залегают в отложениях от позднего кембрия до карбона включительно. Рудные тела ленто-, линзо-, плито- и мантообразной морфологии с параметрами от 2–4×10–70 м до 100–1000 м, сложены пиритом (до 10%), галенитом (до 25%), сфалеритом (до 50%), флюоритом (до 15%) и характеризуются отношением Pb к Zn от 3:2 до 1:10. Основные элементы-примеси: кадмий, серебро, таллий**,** мышьяк, медь. Типовыми объектами служат месторождения Северо-Американской платформы (Мидконтинента) – Ламотт (юго-восток Миссури, США), Коупер (Верхнемиссисипская долина, США), Джоплин (Три-Стейт, США), Лед-Хилл (Иллинойс-Кентукки, США), Мфуати, Дженгиле (среднего течения реки Ниари в Конго).

2. ***Пирит-свинцово-цинковый в глинисто-доломито-известняковой формации (силезско-краковский).*** Месторождения размещаются в надтроговых депрессиях на внутреннем и внешнем шельфе пассивных окраин молодых платформ. Рудные тела пласто-, линзо- и трубообразной морфологии с параметрами 3–30×40–400 м, сложены пиритом (15%), галенитом (25%) и сфалеритом (60%), локализуются в доломитах, слоистых доломитистых битумсодержащих известняках, эпигенетических доломитах и карбонатных брекчиях в отложениях от раннего карбона до неогена включительно [27]. Отношение свинца к цинку составляет 1:1–1:5. Основные элементы-примеси: кадмий, серебро, таллий, мышьяк, медь. Типовыми объектами служат месторождения: Сильвермайнс (Ирландия), Болеслав, Олькуш (Польша), Райбл (Италия), Блайберг (Австрия), Мезика (Словения), Туиссит (Марокко), Бу-Грин, Джамет (Тунис).

3. ***Свинцово-цинковый с германием, иногда с флюоритом в глинисто-известняково-доломитовой формации (сарданский),*** месторождения которого формировались в надрифтовых депрессиях на внутреннем и внешнем шельфе пассивной окраины древних платформ в период от рифея до ранней перми. Рудные тела ленто-, линзо-,плитообразной морфологии с параметрами от 5–20×50–220 м до 1–4×800–1200 м, сложены галенитом (30%), сфалеритом (60%) и флюоритом (10%), локализуются в битумсодержащих доломитизированных известняках, сахаровидных метасоматических доломитах и в «зебра-доломитах». Отношение Pb к Zn изменяется от 3:1 до 1:10. Основные элементы-примеси: германий, кадмий. Типовыми объектами служат месторождения Сардана, Уруй и др. Юдомо-Майской металлогенической зоны (Якутия, РФ).

4. ***Барит-цинково-свинцовый в углеродисто-доломито-известняковой формации (миргалимсайский).*** Месторождения формировались в рифтах и надрифтовых депрессиях на внутреннем и внешнем шельфе пассивных окраин микроконтинентов. Рудные тела пластообразной морфологии с параметрами 3–30×120–600 м сложены баритом (20%), галенитом (65%), сфалеритом (15%) и локализованы в слоистых доломитах, углеродистых доломитистых известняках и карбонатных брекчиях в отложениях от среднего девона до ранней юры включительно. Отношение свинца к цинку варьирует от 3:1 до 6:1. Основные элементы-примеси: серебро, медь, кадмий, индий, таллий. Типовыми объектами служат месторождения Сумсар (Киргизия), Миргалимсай (Казахстан) [1, 19, 25].

5. ***Свинцово-цинковый с пиритом в углеродисто-кремнисто-доломито-известняковой формации (шалкиинский).*** Месторождения размещаются в рифтах и внешнем шельфе пассивных окраин микроконтинентов. Рудные тела линзообразной морфологии с параметрами 10–2500×80–450 м сложены баритом (20%), галенитом (65%), сфалеритом (15%), локализуются в углеродисто-глинисто-кремнисто-карбонатных тонкослоистых породах («ритмитах»), битуминозных известняках и доломитах комковатой и брекчиевой структуры [5, 9, 25]. Отношение свинца к цинку изменяется от 1:3 до 1:10. Основные элементы-примеси: кадмий, серебро, германий, медь. Типовыми объектами служат месторождения: Шалкия, Талап (Казахстан).

6. ***Пирит-барит-свинцово-цинковый в туфогенно-терригенно-известняково-доломитовой формации (учкулачский).*** Месторождения локализуются в доломитах, известняковых рифтогенных брекчиях, известковистых доломитах, аргиллитах, туфопесчаниках,

гравелитах, туффитах и туфах трахириолит-дацитовых порфиров в прогибах на внешнем шельфе микроконтинента. Рудные тела линзо-пластообразной морфологии с параметрами 5–80×100–800 м сложены пиритом (10%), баритом (20%), галенитом (30%) и сфалеритом (40%). Отношение Pb к Zn в рудах варьирует от 1:2 до 3:2 (переходный тип к месторождениям типа SEDEX). Основные элементы-примеси: серебро, медь, кадмий, таллий, стронций. Типовыми объектами служат месторождения: Учкулач, Карамазар (Узбекистан) [5, 9, 25].

7. ***Сидерит-кварц-сфалерит-галенитовый в сланцево-карбонатной формации (горевский – переходный тип к месторождениям типа SEDEX).*** Характеристика месторождения приведена по данным В.В.Кузнецова [6]. Месторождение приурочено к конседиментационной впадине, выполненной мергелистыми, глинисто-известняковыми, сидерититовыми и глинисто-аргиллитовыми фациями с конседиментационной брекчией. Для главной рудной залежи характерны сидерититовые фации с подчинённой кремнистой составляющей. Породы и рудные залежи претерпели складчатость и метаморфизм. Рудные тела сложены сидеритом (25%), кварцем (1%), галенитом (25%), сфалеритом (30%) и пирротином (до 10%). Отношение Pb к Zn в рудах изменяется от 3:2 до 4:1. Второстепенные минералы в количестве до 10%: пирит, марказит, тетраэдрит, магнетит, халькопирит, гудмундит, теннантит, аргентит, самородное серебро, пираргирит, прустит, дискраизит, штенбергит, рутил. Типовым объектом служит месторождение Горевское (Енисейский кряж, РФ).

8. ***Барит-флюорит-свинцово-цинковый в терригенно-карбонатной формации с органогенными постройками (барвинский).*** Месторождения приурочены к полициклично развивавшемуся прогибу на шельфе и склоне континента с накоплением терригенно-карбонатных толщ с органогенными постройками и горизонтами битуминозных известняков на различных стратоуровнях средне-позднерифейского времени [21, 25]. Рудные тела пласто- и линзообразной формы имеют эпигенетичный облик и характеризуются вкрапленными, вкрапленно-прожилковыми текстурами руд. Породы и рудные залежи претерпели складчатость и метаморфизм (в зонах тектонитов развиты тальково-карбонатные метасоматиты). Главные рудные минералы – сфалерит, галенит, флюорит, кварц; второстепенные – пирит, арсенопирит, доломит, анкерит, сидерит, кальцит. Редкие – халькопирит, блёклая руда, буланжерит. Типовыми объектами служат месторождения Таборное, Хибелен, Луговое (Прибайкальский полиметаллический пояс Байкало-Патомской зоны).

К рассматриваемому семейству относится также Павловское серебро-свинцово-цинковое месторождение Безымянского рудного узла, расположенного в северо-западной части о. Южный архипелага Новая Земля [4, 10, 17, 19]. Оно входит в пятёрку крупнейших стратиформных месторождений свинцово-цинковых руд в карбонатных толщах России.

Павловское месторождение свинцово-цинковых руд было выявлено геологами Западно-Арктической поисково-съёмочной партии ФГУНПП ПМГРЭ (А.П.Каленич, А.К.Загайный, А.В.Ласточкин) в 1991 г. при производстве опережающих работ по подготовке геохимической основы для ГСР-50 [17, 20]. Рудные тела этого месторождения размещаются в органогенно-рифогенной толще раннего девона, сложенной слоистыми и массивными разностями микрозернистых, микритовых, биогенных, реже глинистых известняков девонского времени, которые характеризуются тесным сочетанием биогенных и микритовых фаций, слагающих конседиментационные рифогенные палеоподнятия со шлейфом брекчий обрушения. В современном структурном плане рудовмещающая толща расположена в крыле брахиантиклинали размахом крыльев 3–4 км. В ядре антиклинали обнажены терригенные песчано-алевро-глинистые породы, а крылья складки сложены рудовмещающими карбонатными породами различных литофаций и перекрывающими их породами аргиллито-глинистых фаций. Продуктивные литологические горизонты слагают полого наклонное (25°–45°) крыло периклинального замыкания Безымянской антиклинали, осложнённое серией разно амплитудных крутопадающих разрывных нарушений. Некоторые из них нарушают сплошность рудных залежей.

Морфология рудных залежей представлена линзовидно- и пластообразными телами средней мощностью около 50 м, внутреннее строение которых определяется грубо-ритмичным распределением кварц-пирит-сфалерит-галенитовых и существенно пиритовых горизонтов, которые преобладают в основании ритмов с углеродсодержащей кремнисто-карбонатной матрицей. Рудные залежи расположены ярусно друг над другом и кулисообразно, по отношению к общему структурному плану, со смещением в восточном направлении. Руды характеризуются преимущественно массивной, слоистой (?), грубо- и тонкополосчатой, гнездово-вкрапленной, прожилково-вкрапленной, реже сетчато-вкрапленной текстурами с коломорфными агрегатами сфалерита.

Главные минералы руд – галенит, сфалерит и пирит, второстепенные и редко встречающиеся – аргентит, миаргирит, пираргирит, буланжерит, геокронит. В сфалерите имеются примеси серебра, кадмия, галлия, германия. Типичными примесями для галенита являются серебро, сурьма, кадмий, в меньшей степени кобальт, цинк, еще реже отмечаются висмут и олово. В пирите главными примесями являются свинец, цинк, таллий, иногда серебро и индий. Содержания в рудах в среднем изменяется: Zn от 3 до 11% и Pb от 1,5 до 5%.

Формирование рудных залежей авторами связывается с пульсационным поступлением углеродисто-кремнисто-сульфидных растворов по зоне конседиментационных нарушений с последующим отложением в слабо

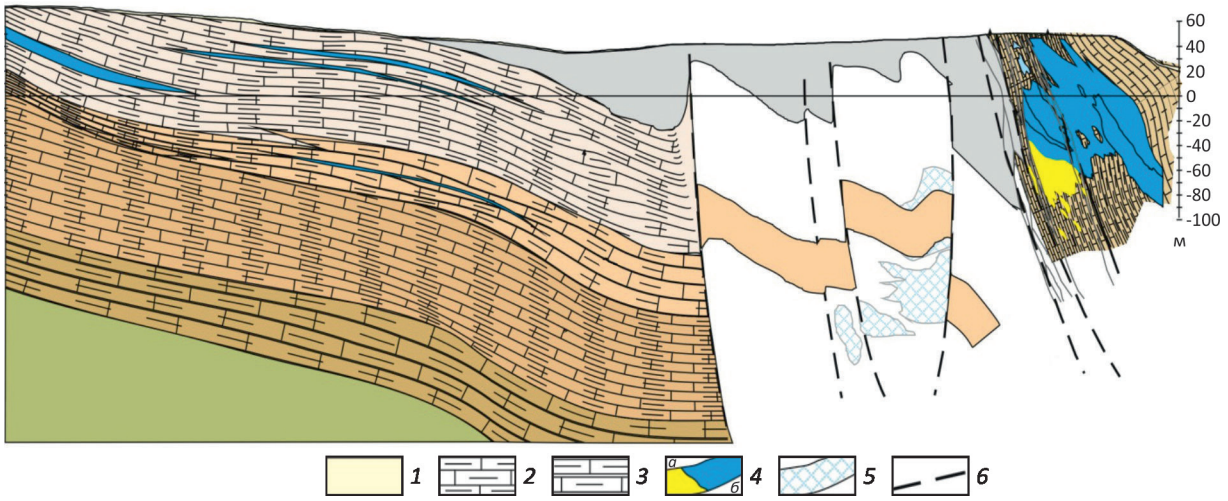


Рис. 1. Позиция рудных тел в центральной части Павловского месторождения. *По А.Л.Галямову и др.* [4]**:**

1 – четвертичные отложения; *2* – известняки глинистые; *3* – переслаивание органогенных и глинистых известняков; *4* – рудные тела: *а* – колчеданные и *б* – свинцово-цинковые; *5* – рудные тела предполагаемые; *6* – разрывные нарушения

диагенезированной карбонатной толще с органогенными постройками. Рудные залежи с пиритовой матрицей фиксируют ритмичность поступления рудоформирующих растворов с формированием мегаритмичной зональности строения рудных тел (рисунки 1 и 2).

Охарактеризованные выше минералого-геохимические типы месторождений отчётливо различаются по геологическим обстановкам нахождения, предполагаемым источникам металлов, а также по интенсивности проявления последующих рудообразующих процессов.

Анализ геотектонической принадлежности рудовмещающих прогибов с месторождениями свинцово-цинковых руд показывает, что накопление рудовмещающих карбонатных толщ в их пределах проходило как во внутриплатформенных прогибах молодых и древних платформ, так и на шельфе и склоне континента. При этом в прогибах внешнего шельфа и склона континента установлена латерально-вертикальная связь осадконакопления карбонатных хемогенно-органогенных фаций с углеродсодержащими карбонатно-терригенными и туфогенно-карбонатно-терригенными фациями флишоидного строения (рис. 3).

Первая группа месторождений (Мидконтинента США и Силезско-Краковская) размещается в платформенных (шельфовых) доломито-известняковых толщах с горизонтами известковисто-доломитовых пород, содержащих прослои сланцев, аргиллитов и органогенных фаций карбонатных пород на внутреннем и внешнем шельфе внутри континентальных прогибов.

Вторая группа характеризуется расположением рудовмещающих карбонатных толщ в латерально-вертикальных рядах геологических формаций в прогибах как внутреннего и внешнего шельфа внутриконтинентальных морских бассейнов, так и в прогибах на склоне континента с рассеянным спредингом. При этом рудовмещающие формации локализуются преимущественно в надрифтогенных прогибах, унаследовавших общую тенденцию к проседанию. Такая обстановка характеризуется формированием как стратиформных свинцово-цинковых руд в карбонатных толщах с органогенными постройками (тип MVT), так и стратиформных колчеданно-полиметаллических руд (тип SEDEX) в углеродистых карбонатно-терригенных толщах флишоидного строения, синхронных по времени накопления карбонатным толщам.

Предполагается, что рудные залежи в таких обстановках формировались из сходных по физико-химическим параметрам рудоносных растворов при излиянии рудоносных флюидов по конседиментационным разломам. Об этом, помимо других факторов, свидетельствуют близкие модальные значения изотопов серы сульфидов, варьирующие от −18‰ до +35‰ с модальными значениями +12‰ (±5‰) в месторождениях свинцово-цинковых руд в карбонатных толщах и от −1,9‰ до +22‰ с модальными значениями +14‰ (±5‰) в колчеданно-полиметаллических рудах в углеродисто-карбонатно-терригенных толщах флишоидного строения [8, 12, 13].

Рассматриваемые свинцово-цинковые месторождения выявлены как в слабо дислоцированных платформенных чехлах древних платформ, так и в орогенно-складчатых областях. К типовой обстановке с относительно слабо дислоцированными толщами отнесена крупнейшая в мире металлогеническая провинция стратиформных свинцово-цинковых

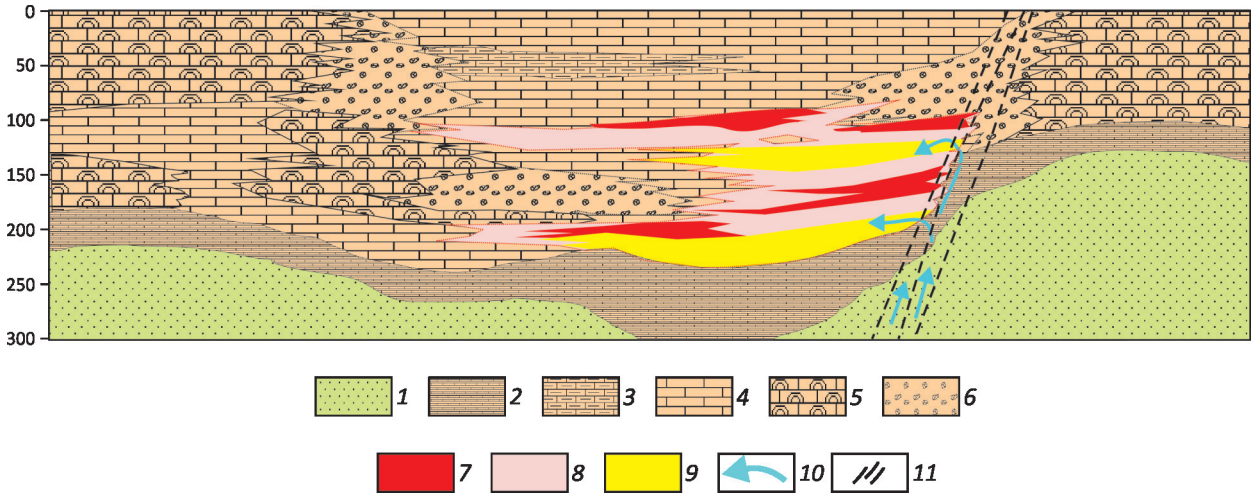


Рис. 2. Принципиальная схема размещения существенно пиритовых, галенит-сфалерит-пиритовых и пирит-галенит-сфалеритовых руд Павловского месторождения в доскладчатый этап:

породы: *1* – терригенные, *2* – глинисто-карбонатные и карбонатно-глинистые, *3* – глинисто-углеродсодержащие карбонатные, *4* – карбонатные; *5* – органогенные рифовые известняки; *6* – конседиментационные карбонатные брекчии; *7* – вкрапленные, густовкрапленные и прожилково-вкрапленные, брекчиевидные и массивные пирит-галенит-сфалеритовые руды; *8* – грубополосчатые (чередование полос шириной от 0,5 до 5 м с содержанием сульфидов (в %): 5–25, 25–50, 50–75, 75–90) галенит-сфалерит-пиритовые руды; *9* – существеннопиритовые руды массивногй и брекчиевидной текстуры; *10* – пути миграции растворов; *11* – зоны рудоподводящих неоднократно подновлявшихся каналов

месторождений Мидконтинента (США). Она представляет собой рудоносный осадочный бассейн (прогиб) в теле Северо-Американской платформы [1, 7, 19]. Строение бассейна осложнено глубинными разломами, рифтогенными структурами, синеклизами и антиклизами (сводами), на склонах которых расположены свинцово-цинковые рудные районы (Верхнемиссисипской долины, Юго-Восточный Миссури, Три-Стейт и др.). Рудоносные формации, в которых локализуются свинцово-цинковые месторождения, представлены главным образом карбонатными отложениями от позднекембрийского до позднекаменноугольного возраста, содержащими отдельные горизонты терригенно-сланцевых отложений.

К числу терригенно-карбонатных рудоносных осадочных бассейнов (РОБ) пассивных континентальных окраин со стратиформными свинцово-цинковыми месторождениями относятся: Большекаратауский (Казахстан), Южно-Ферганский (Узбекистан), Центрально-Ирландский, Южно-Аппалачский (США), Силезско-Краковский (Польша) и ряд других. На территории России к районам указанного типа принадлежат Юдомо-Майская, Пайхой-Новоземельская, Приаргунская и Байкало-Патомская металлогенические зоны (включая Прибайкальский пояс и Джелиндинский рудный район).

В литературе РОБ этого типа часто трактуются как структуры активизированных склонов кратонов и орогенно-складчатых сооружений, в пределах которых возможно выявление латерально-вертикального ряда геологических формаций с месторождениями типа SEDEX и MVT. Свинцово-цинковые месторождения типа MVT часто ассоциируют с баритом, сидеритом или флюоритом, размещаются в платформенных и субплатформенных карбонатных толщах и характеризуются угнетённой составляющей сульфидов железа. В отличие от месторождений типа SEDEX с повышенной составляющей сульфидов железа (преимущественно пирита), месторождения типа MVT имеют отчётливо выраженный эпигенетический облик, при приуроченности рудных залежей к определённым стратоуровням накопления карбонатных толщ единого палеобассейна.

Существует несколько гипотез происхождения месторождений рассматриваемого семейства. Первая включает участие глубинных бассейновых рассолов, спускающихся из воздымающихся областей передового прогиба [11]. Вторая гипотеза рассматривает участие растворов, генерировавшихся в условиях диагенеза и катагенеза карбонатных осадков и их соответственного уплотнения [24]. Считается, что масштабы флюидообразования вряд ли были значительными по причине больших расстояний переноса и слабого энергетического потенциала и могли проявляться эпизодически. Согласно третьей гипотезе оруденение связано с циркуляцией рассолов в огромных объёмах пород, обусловленной разностью давлений, температурой и

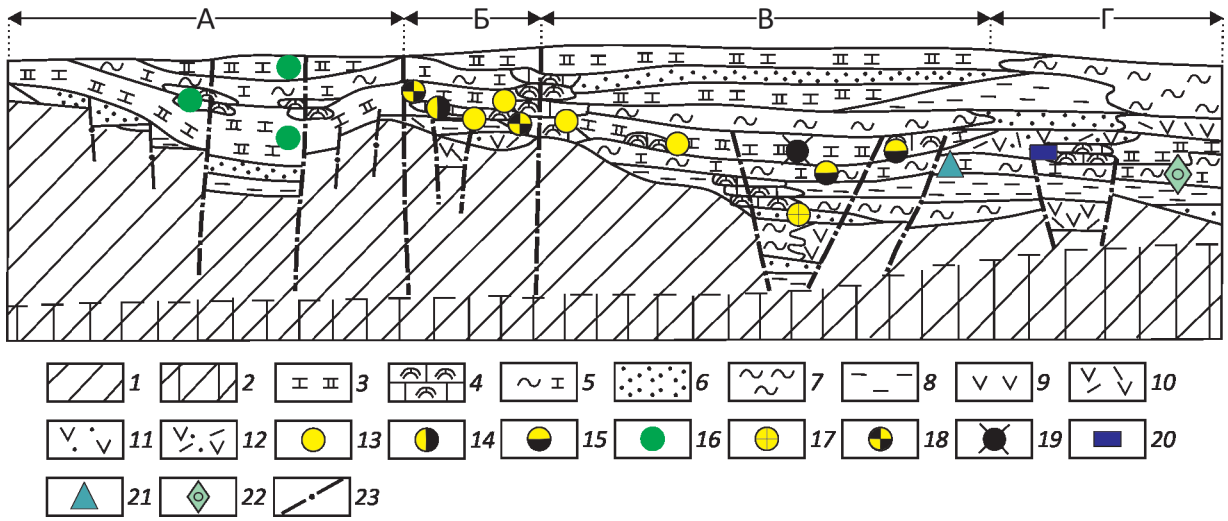


Рис. 3. Идеализированная схема палеотектонической позиции минералого-геохимических подтипов стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах:

кора: *1* –континентального и *2* – океанического типа; *3–12* – геологические формации: *3* – известняково-доломитовая, *4* – известняковая рифогенная, *5* – глинисто-карбонатная, *6* – терригенная (алеврито-песчаная), *7* – углеродисто-глинистая, *8* – глинисто-кремнистая, *9* – риолито-базальтовая натриевой серии, *10* – риолито-базальтовая натро-калиевой серии, *11* – вулканогенно-терригенная с вулканитами натриевой серии, *12* – вулканогенно-терригенная с вулканитами натро-калиевой серии; *13–14* – минералого-геохимические подтипы стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах: *13* – сарданский, *14* – миргалимсайский; *15* – шалкиинский; *16* – миссисипский (объединенный); *17* – учкулачский; *18* – силезско-краковский; *19* – барвинский; *20* – горевский; *21* – новоземельский; *22* – месторождения колчеданно-полиметаллических руд в углеродистых карбонатно-терригенных толщах флишоидного строения (тип SEDEX, холоднинский); *23* – разломы; буквами обозначены условные области: А – внутриплитных прогибов платформенного чехла; Б–В–Г – прогибы шельфа и склона континента: Б – внутреннего, В – внешнего шельфа, Г – склона континента (шельфа задугового бассейна (?))

плотностью флюидов в зависимости от их насыщенности минеральными компонентами. Эти условия обеспечивают длительное функционирование системы и обусловливают возможность переработки, в том числе доломитизацию, крупных объёмов вмещающих пород с формированием рудных залежей. Некоторые исследователи предполагают, что источником рудного вещества могли служить как захороненные минерализованные рассолы, так и металлоносные растворы, поступавшие из нефтегазоносных бассейнов [7, 18]. Ряд исследователей отмечает, что стратиформные месторождения свинцово-цинковых руд – производные эксфильтрационных систем, хлоридные рассолы которых мобилизовали рассеянное рудное вещество глубоких горизонтов осадочных бассейнов.

Необходимые для формирования руд объёмы и температуры рудоносных флюидов обеспечиваются гидродинамически сосредоточенными потоками термальных хлоридных рассолов [9]. Структурные элементы с повышенной фильтрационной проницаемостью (зоны секущих разрывных нарушений), проницаемые тела флюидопроводников (внутриформационные пласты-коллекторы) играют роль растворособирающих, растворопределяющих, транзитных, а в верхних горизонтах коры – рудолокализующих структур и контролируют формирование эпигенетических, стратоидных, секущих или комбинированных залежей свинцово-цинковых руд [9, 11].

Главный фактор, контролирующий образование сингенетично-эпигенетических свинцово-цинковых рудных залежей, – взаимодействие кислых металлоносных рассолов с гидрохимическими сероводородными (щелочно-сероводородными) барьерами или гидравлическими завесами. При сосредоточенной разгрузке металлоносных рассолов по транзитным зонам на дно бассейнов карбонатного осадконакопления в результате необратимого взаимодействия рассолов и морских вод, смешивающихся в различных пропорциях, при уменьшении доли рассолов по мере удаления от места их излияния образуются сингенетичные (осадочно-эксфильтрационные) рудные тела [3, 11].

Стратиформные свинцово-цинковые руды участвуют в комплексе длительных геологических процессов преобразования карбонатных осадков и пород, которые начинаются с частичной регенерации рудного вещества ещё на стадиях диагенеза и эпигенеза. Большое

Основные минералого-геохимические подтипы стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах

Минералого-геохимический подтип*	Минеральный типы руд	Примеси в рудах	Примеры рудных районов; месторождений
Пирит (халькопирит)-свинцово-цинково-баритовый с флюоритом в кремнисто-известняково-доломитовой формации *(миссисипский* – MVT)	Сфалерит-галенитовый с соотношением Pb к Zn от 3:2 до 1:10	Cd, Ag, Cu, Ni, Co	*Юго-восточный Миссури* (*США*) *Долины реки Ниари* (*Конго*); Дженгеле, Мфуати
Пирит-свинцово-цинковый в глинисто-доломито-известняковой формации (*силезско-краковский*)	Галенит-сфалеритовый с соотношением Pb к Zn от 1:1 до 1:5	Ag, Cu, Sb, Ge	*Силезско-Краковский* (*Польша*) *Пайн-Пойнт* (*Канада*)
Свинцово-цинковый с германием (иногда флюоритом) в глинисто-известняково-доломитовой формации (*сарданский*)	Сфалерит-галенит-германие-носный с соотношением Pb к Zn от 3:1 до 1:10	Cd, Ge Ag, F	*Иллинойс-Кентукки* (*США*), *Юдомо-Майский* (*РФ*); Сардана, Уруй и др.
Барит-цинково-свинцовый в углеродисто-доломито-известняковой формации (*миргалимсайский*)	Сфалерит-галенит-баритовый с соотношением Pb к Zn от 3:1 до 6:1	Ag, Cd, Cu, Ga, In	*Каратауссский* (*Казахстан*); Миргалимсай
Свинцово-цинковый с пиритом в углеродисто-кремнисто-доломито-известняковой формации (*шалкиинский*)	Пирит-галенит-сфалерито-вый с соотношением Pb к Zn от 1:1 до 3:2	Ag, Sb, Cd	*Каратауссский* (*Казахстан*); Шалкия, Талап
Пирит-барит-свинцово-цинковый в туфогенно-терригенно-известняково-доломитовой *формации* (*учкулачский* – переходный к месторождениям типа SEDEX)	Пирит-барит-галенит-сфале-ритовый с соотношением Pb к Zn от 1:2 до 3:2	Ag, Cu, Sb, Cd, Ge	*Фергано-Нуратинская зона* (*Узбекистан*); Учкулач
Сидерит-кварц-сфалерит-галенитовый в сланцево-карбонатной толще (*горевский – переходный тип к месторождениям типа SEDEX и* VMS)	Сидерит-пирит-сфалерит-галенитовый с соотношением Pb к Zn от 3:2 до 4:1	Ag, Cd, Ge	*Ангаро-Большепитский Енисейс-кий кряж* (*РФ*); Горевское
Барит-флюорит-свинцово-цинковый в терригенно-карбонатной формации с органогенными постройками (*барвинский*)	Сфалерит-галенит-флюоритовый и сфалерит-галенит-баритовый с соотношением Pb к Zn (нет данных)	Ag, Cu	*Байкало-Патомская металлоге-ническая зона* (*включая Прибай-кальский пояс и Джелиндинский рудный район)* (*РФ*)**;** Анайское и др. *Три-Стейт (США)*
Серебро-свинцово-цинковый в карбонатно-рифогенной толще с органогенными постройками (*новоземельский*)	Галенит-сфалерит-пиритовый с соотношением Pb к Zn от 1:1 до 1:5	Ag, Sb, Cd	*Безымянкинский Пайхой-Новозе-мельской зоны* (*РФ*); Павловское, Саурейское

Примечание. *необходимо отметить наличие *региональных особенностей* минералого-геохимического набора попутных элементов рудных залежей ССЦМ в карбонатных толщах: рудные залежи *Юдома-Майского района* (Сардана) характеризуются повышенными содержаниями Ge; *Байкало-Патомской металлогенической зоны (включая Прибайкальский пояс и Джелиндинский рудный район)* (Таборное и др.) – CaF_2, барита, сидерита; Верхнемиссисипского района (США) — Cu, *Каратауского района в Казахстане (Миргалимсай и др.*) – Ba (барита).

значение в преобразовании руд имеют высокотемпературные гидротермальные растворы, омывающие руды в процессе складчато-разрывных нарушений.

Гидротермальный метаморфизм выражается в перегруппировке и переотложении рудного вещества с частичным изменением морфологии рудных тел и созданием новых рудных залежей в субпластовых срывах, зонах послойного брекчирования, полостях отслоения и секущих тектонических нарушениях, а также в формировании зон рассеянной свинцово-цинковой минерализации с разнообразными попутными компонентами. При этом образуются жильные рудные тела свинца и цинка, в том числе с повышенной сереброносностью, потерявшие (в значительной мере или полностью) связи с первичными стратиформными концентрациями.

Регенерация рудного вещества стратиформных свинцово-цинковых месторождений при их контактовом метаморфизме происходит под воздействием тепловых полей, формирующих контактовые ореолы гранитоидных массивов, и наиболее ярко проявляется в скарнировании первично стратиформных руд и образовании свинцово-цинковых руд в скарнах. Масштабы таких изменений и их сочетаний в той или иной степени влияют на методику прогнозных и поисковых работ и оценку прогнозных ресурсов.

При общности разноранговых элементов-признаков стратиформных свинцово-цинковых месторождений и их минералого-геохимических типов в карбонатных толщах рассматриваемое семейство достаточно разнообразно по индивидуальным особенностям их

проявления, в том числе по набору и концентрации попутных элементов, минеральному составу руд и их матрицы, палеотектоническим обстановкам формирования рудовмещающих толщ и ряду других признаков.

В частности, для ряда рудных районов установлена устойчивая ассоциация в латерально-вертикальных рядах карбонатных хемогенно-рифогенных толщ с углеродистыми терригенно-карбонатными и терригенными толщами флишоидного строения, формировавшихся в прогибах на шельфе и склоне континентальных окраин с различными, хотя и сходными по составу и строению геологическими формациями.

Такое сочетание рудовмещающих формаций в прогибах палеобассейнов по профилю континент–шельф–склон–островная дуга обусловливает и локализацию на единых литолого-стратиграфических уровнях осадконакопления стратиформной свинцово-цинковой в карбонатных толщах и колчеданно-полиметаллической в углеродисто-карбонатно-терригенной толще флишоидного строения рудных формаций [3, 22].

Необходимо также отметить, что в отдельных регионах установлены вариации минералого-геохимических типов рудных тел по простиранию рудовмещающих толщ. Так, в Байкало-Патомской металлогенической зоне, включая Прибайкальский пояс и Джелиндинский рудный район, с типовым флюорит-барит-свинцово-цинковым месторождением Таборное установлено резкое снижение содержаний флюорита (до его полного отсутствия) в рудных телах Ново-Анайского месторождения, расположенного по простиранию рудовмещающих толщ. В прогибах на Мидконтиненте (США) также установлена зональность размещения минералого-геохимических типов стратиформной свинцово-цинковой рудной формации месторождений в карбонатных толщах (тип MVT) — свинцово-цинково-баритовый (рудный район юго-восточного Миссури), медно-свинцово-цинковый (рудный район Верхнемиссисипский) и флюорит-свинцово-цинковый (рудный район Три-Стейт).

На основе анализа геологических обстановок их нахождения, морфологии и минералого-геохимических особенностей состава руд предложено вне зависимости от их геотектонической позиции в современном структурном плане выделять минералого-геохимические подтипы месторождений единой рудной формации ССЦМ в карбонатных толщах рассматриваемого семейства (см. таблицу).

В данной работе не рассматриваются месторождения жильных и скарновых (в том числе скарнированных) свинцово-цинковых и серебро-свинцово-цинковых руд Дальневосточного, Алтае-Саянского, Приаргунского и других регионов. Месторождения указанной группы имеют специфические минералого-геохимические и морфологические особенности, обусловленные процессами тектономагматической активизации, включая формирование вулкано-плутонических поясов, и требуют дополнительного анализа. Такие работы начаты В.В.Кузнецовым с соавторами [16].

Эмпирически установленные латерально-вертикальные ряды рудных и геологических формаций и их закономерные сочетания с фациями, вмещающими залежи свинцово-цинковых руд типа MVT и SEDEX, служат одним из ведущих факторов при региональных прогнозно-металлогенических построениях. Эти элементы-признаки также, как и минералого-геохимические, могут быть использованы при поисках и оценке свинцово-цинковых месторождений в Ангаро-Большепитском районе Енисейского кряжа, Байкало-Патомской металлогенической зоне (включая Прибайкальский пояс и Джелиндинский рудный район), в Приаргунье и Пайхой-Новоземельской металлогенической зоне, а также в обрамлениях Колымского и Восточно-Чукотского массивов.

Спектр попутных и сопутствующих геохимических элементов в рудных телах, характерный для исследуемого района с месторождениями свинцово-цинковых руд рассматриваемого типа месторождений, рекомендуется, помимо основных элементов, включать в анализ геохимических аномалий для установления зональности рудных тел и, как следствие, выявления возможного эрозионного среза для оценки перспектив рудоносности площадей месторождений и рудных полей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архнгельская В.В., Вольфсон Ф.И.* Геотектоническая позиция и систематика стратифориных свинцово-цинковых месторождений. – М.: Наука, 1977.
2. *Броки Д.К., Хейр Э.Г., Дингес П.Р.* Геология и рудные месторождения района Три-Стейт (штаты Миссури, Канзас, Оклахома) // Рудные месторождения США. – М.: Мир, 1971. С. 80–113.
3. *Беленицкая Г.А., Романовский С.И., Феоктистов В.П.* Тектономагматическое моделирование и прогнозно-минерагенический анализ основных геодинамических групп рудоносных осадочных бассейнов России. – С-Пб.: ВСЕГЕИ, 2001.
4. *Галямов А.Л., Волков А.В., Лобанов К.В.* Поисковая модель SEDEX-MVT месторождений арктической зоны / Изучение и освоение природных ресурсов //Арктика: экология и экономика. 2016. № 1 (21). Стр. 46–54.
5. *Геология* и генезис стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных породах хребта Каратау / В.П.Стеценко, А.И.Донец, Н.Н.Севрюгин и др. – М.: Недра, 1989.
6. *Горевское* цинково-свинцовое месторождение / В.В.Кузнецов, В.Д.Конкин, Т.П.Кузнецова и др. // Геология рудных месторождений. 1990. № 5. С. 23–28.
7. *Горжевский Д.И., Карцев А.А., Павлов Д.И.* и др. Парагенезис металлов и нефти в осадочных толщах нефтегазоносных бассейнов. – М.: Недра. 1990.
8. *Горжевский Д.И., Павлов Д.И.* Современное состояние и проблемы свинцово-цинковых месторождений

стратиформного типа (эндогенные и экзогенные факторы формирования) // Литогенез и рудообразование (критерии разграничения экзогенных и эндогенных процессов). – М.: Недра, 1989.
9. *Гриненко Л.Н.* Изотопный состав серы, углерода и свинца руд и рудовмещающих пород. // Стратиформные свинцово-цинковые месторождения в отложениях венда юго-восточной Якутии. – Новосибирск: Наука, 1979.
10. *Донец А.И., Емельянов С.А., Тарасов А.С.* Многофакторные модели стратиформных свинцово-цинковых месторождений. Атлас. – М.: ЦНИГРИ, 1994.
11. *Ильченко В.О., Антонов А.В.* Околорудные метасоматиты Павловского полиметаллического месторождения (Архипелаг Новая Земля) // ISSN 0135-3500. Записки Горного института. Т. 159. Часть 1. Стр. 13–16.
12. *Кисляков Я.М., Щеточкин В.Н.* Гидрогенное рудообразование. – М.: Геоинформмарк, 2000.
13. *Конкин В.Д.* Геологические основы прогноза и оценки месторождений свинца и цинка в терригенных комплексах // Автореф. ... д-ра геол.-минер. наук. – М.: ЦНИГРИ, 1994.
14. *Конкин В.Д., Ручкин Г.В., Донец А.И.* Свинцово-цинковые месторождения осадочных бассейнов // Отечественная геология. 1993. № 7. С. 69–73.
15. *Кривцов А.И.* Прикладная металлогения. – М.: Недра, 1989.
16. *Кутырев Э.И.* Геология и прогнозирование согласных месторождений меди, свинца и цинка. – Л.: Недра, 1984.
17. *Металлогения* Приаргунской структурно-формационной зоны / В.В.Кузнецов, А.И.Брель, Н.Н.Богославец и др. // Отечественная геология. 2008. № 2. С. 32–43.
18. *Новое* месторождение серебросодержащих свинцово-цинковых руд на архипелаге Новая Земля / А.П.Каленич, В.Д.Крюков, А.В.Ласточкин и др. / Разведка и охрана недр. 2002. № 9. С. 20–23.
19. *Парагенезис* металлов и нефти в осадочных толщах нефтегазоносных бассейнов / Д.И.Горжевский, А.А.Карцев, Д.И.Павлов и др. – М.: Недра, 1990.
20. *Попов В.В.* Геологические условия экзогенно-гидротермального рудообразования. – М.: Недра, 1980.
21. *Презентация* проекта «РУСБУРМАШ» // http://www.rbm.armz.ru/media/File/rbm/2014/pgrk_ presentation.pdf.
22. *Прибайкальский* полиметаллический рудный пояс / А.А.Тычинский, Е.П.Акульшина, М.В.Баулина и др. – Новосибирск: Наука, 1984.
23. *Ручкин Г.В., Конкин В.Д., Кудрявцева Н.Г.* Металлогенические ряды месторождений цветных и благородных металлов в основных геотектонических обстановках // Руды и металлы. 1997. № 4. С. 30.
24. *Ручкин Г.В., Донец А.И.* Стратиформные свинцово-цинковые месторождения в карбонатных толщах. – М.: ЦНИГРИ, 2002.
25. *Ручкин Г.В., Донец А.И.* Гидрогенная концепция формирования рудообразующих систем стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах // Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении. – М.: МГУ, 2010. С. 93–106.
26. *Скрипченко Н.С.* Классификация стратиформных свинцово-цинковых месторождений на литолого-фациальной основе // Геология рудных месторождений. 1970. № 6. С. 3–15.
27. *Смирнов В.И.* Геология полезных ископаемых. – М.: Недра, 1985.
28. *Goresca E.* Geological setting of Silesian-Cracow Zn-Pb deposits // Polish Institute of Geology Geological Quarterly. 1993. Vol. 37. P. 27–146.
29. *Hutchinson R.W.* Regional metallogeny of carbonate hosted ores by comparison of field relations // Society of Economic Geologists Special Publication. 1996. № 4. P. 8–17.