

Классификация свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений на основе их формационных типов

Аннотация. На основе анализа литературных данных и изучения закономерностей локализации полиметаллических месторождений Российской Федерации авторы разработали классификацию формационных типов свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений. В статье выделены ключевые группы: SEDEX, MVT, VMS и скарновый тип, а также переходные формы. Приведены эталонные модели месторождений, описаны их геологические особенности, минеральный состав и промышленная значимость. Особое внимание уделено спорным вопросам классификации, включая смешанные типы и критерии их идентификации. Результаты исследования позволяют оптимизировать прогнозирование, разведку и разработку месторождений, учитывая их генетическое разнообразие и геодинамические условия формирования.

Ключевые слова: классификация, свинцово-цинковые месторождения, колчеданно-полиметаллические месторождения, формационные типы месторождений, SEDEX, MVT, VMS.

КУЗНЕЦОВ ВЛАДИМИР ВЕНИАМИНОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела, okt@tsnigri.ru

СЕРАВИНА ТАТЬЯНА ВАЛЕРЬЕВНА, кандидат геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией, seravina@tsnigri.ru

КОНКИНА АНАСТАСИЯ АЛЕКСАНДРОВНА, старший научный сотрудник, konkina@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

Classification of lead-zinc and polymetallic massive sulfide deposits based on their formational types

V. V. KUZNETSOV, T. V. SERAVINA, A. A. KONKINA

Federal State Budgetary Institution "Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals" (FSBI "TSNIGRI"), Moscow

Annotation. Based on analyzing the literature data and studying the patterns of localization of polymetallic deposits in the Russian Federation, the authors developed a classification of formational types of lead-zinc and polymetallic massive sulfide deposits. The article distinguishes several key groups (SEDEX, MVT, VMS, and skarn types), as well as their transitional forms. Reference models for the ore deposits are provided. The geological features, mineral composition, and industrial significance of the deposits are described. Particular attention is paid to controversial issues of the classification, including mixed types and criteria for their identification. The results of the investigation allow us to optimize the forecasting, exploration, and development of ore deposits, taking into account their genetic diversity and geodynamic formation conditions.

Key words: classification, lead-zinc deposits, polymetallic massive sulfide deposits, formational types of ore deposits, SEDEX, MVT, VMS.

Введение. Свинцово-цинковые и колчеданно-полиметаллические месторождения играют ключевую роль в мировой горнодобывающей промышленности. Они служат важными источниками не только свинца и цинка, но и меди, золота, серебра, кадмия и других ценных элементов, поскольку руды являются комплексными и характеризуются сложным минеральным составом. Помимо двух главных металлов – Zn и Pb (при этом в большинстве случаев цинк преобладает над свинцом) – в рудах в том или ином количестве содержатся Cu, Ag, Au, Cd, In, Sn, Sb, Bi, Se, Te, Ge, которые извлекаются в качестве попутных компонентов. В свинцово-цинковых рудах сосредоточено более 80 % мировых запасов кадмия, 40–50 % таллия, 25–30 % германия, 20–25 % селена, теллура, индия, 15–20 % галлия и висмута. Особо следует обратить внимание на то, что они служат важнейшим источником серебра – около 32 % его мировой добычи извлекаются попутно при переработке свинцово-цинковых руд. Однако их геологическое строение, условия формирования и минеральный состав значительно варьируются, что требует системного подхода к их изучению.

В настоящее время принято выделять 4 группы месторождений:

SEDEX (Sedimentary Exhalative) – серебро-свинцово-цинковые или серебросодержащие колчеданно-свинцово-цинковые месторождения в терригенных, углеродисто-терригенных и терригенно-карбонатных формациях.

MVT (Mississippi Valley-type) – свинцово-цинковые месторождения в карбонатных формациях.

VMS (Volcanogenic Massive Sulfide) – золото-серебросодержащие колчеданно-полиметаллические месторождения в вулканогенных ассоциациях. В данной группе выделяется самостоятельный подтип жильных месторождений (*VMS_G*).

Skarn type – месторождения скарнового типа.

Основные месторождения свинца и цинка Российской Федерации расположены в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах. Наиболее крупные месторождения находятся в Иркутской (Прибайкальская минерагеническая зона (МЗ)), Архангельской (Центрально-Новоземельская МЗ) и Кемеровской (Салаирская МЗ) областях; Красноярском (Ангари-Большепитская МЗ), Алтайском (Рудноалтайская МЗ) и Забайкальском (Приаргунская МЗ) краях; республиках Саха (Якутия) (Кыллахская МЗ), Бурятия (Удино-

Витимская МЗ, Олоkitская МЗ) и Тыва (Улугуйская МЗ) (рис. 1) [18].

По суммарной добыче свинца и цинка в Российской Федерации месторождения распределяются следующим образом: месторождения типа *MVT* – 49 %, *VMS* – 30 %, жильные месторождения – 16 %, а доля скарновых месторождений составляет 5 %. Крупнейшее Холоднинское месторождение, которое относится к типу *SEDEX*, расположено в Центральной экологической зоне Байкальской природоохранной территории и по этой причине не может быть вовлечено в освоение.

Историческая справка. Классификация свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений прошла сложный путь развития, отражая прогресс в понимании их генезиса, геологических условий формирования и промышленного значения. Эти классификации эволюционировали от простых морфологических описаний до сложных генетических систем, учитывающих тектонические обстановки, минеральные ассоциации и геодинамические условия формирования. В разных регионах мира развивались свои классификационные подходы.

Существует значительное количество классификаций свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений. Отметим следующие: А. И. Кривцов и др. (1986, 2002, 2010) [9, 11, 12], Д. Р. Сох и др. (1986) [36], Д. И. Горжеvский и др. (1997) [4], Г. В. Ручкин и др. (2002) [27], В. В. Авдонин и др. (2005) [1], А. G. Galley и др. (2007) [38], D. L. Mosier и др. (2009) [46], F. Pirajno (2009) [48], W. C. Shanks (2012) [52], В. В. Кузнецов и др. (2020) [16, 18, 41], И. В. Викентьев и др. (2023) [2].

Ранние этапы классификации (до середины XX в.). Первые попытки систематизации свинцово-цинковых месторождений основывались преимущественно на их морфологических особенностях и вещественном составе. В работах начала XX в. выделялись жильные, пластовые и колчеданные залежи.

В России важный вклад в раннее изучение колчеданных месторождений внёс А. Н. Заварицкий [6], который в 1936 г. детально описал месторождение Блява на Южном Урале и внёс первые генетические представления об этом типе оруденения.

Развитие генетических классификаций (вторая половина XX в.). С развитием геологических знаний и накоплением данных о геодинамических обстановках формирования месторождений

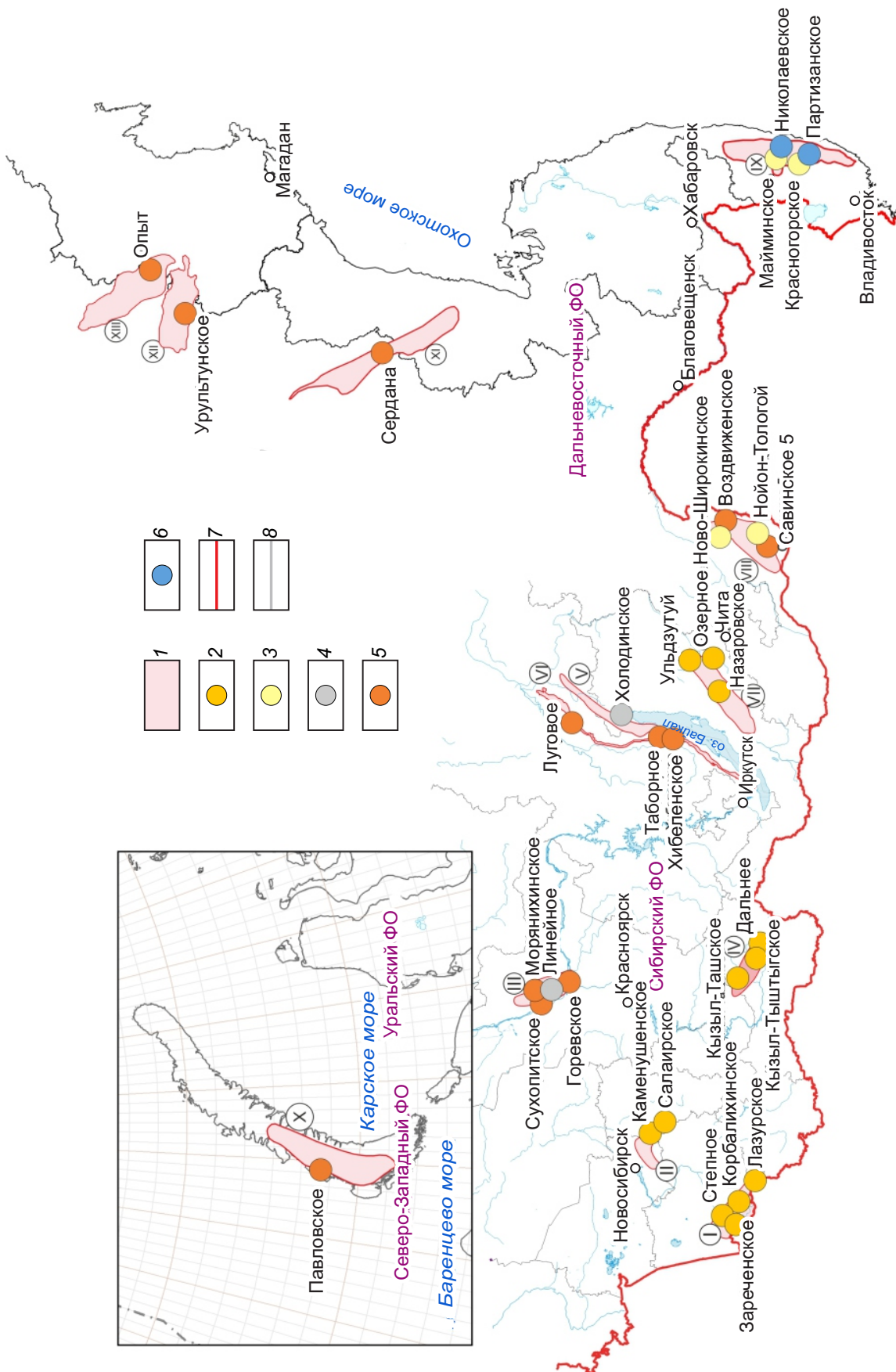


Рис. 1. Основные свинцово-цинковые и колчеданно-полиметаллические месторождения Российской Федерации:

1 – минерогенные свинцово-цинковые зоны: I – Рудноалтайская, II – Салаирская, III – Ангаро-Большепитская, IV – Улугуйская, V – Олохитская, VI – Прибайкальская, VII – Удино-Витимская, VIII – Приаргунская, IX – Кемско-Таушинская, X – Центрально-Новоземельская, XI – Кылаха, XII – Омутевская, XIII – Приколымская; тилы месторождений: 2 – VMS, 3 – VMS_G, 4 – SEDEX, 5 – MVT, 6 – Skarn type; 7–8 – границы: 7 – Российской Федерации, 8 – субъектов РФ

в середине XX в. классификации стали учитывать генетические аспекты формирования месторождений. Были выделены: гидротермальные (включая жильные и метасоматические (скарновые) типы), экзогенные и вулканогенно-осадочные (колчеданные) месторождения.

Особое внимание уделялось колчеданно-полиметаллическим месторождениям, которые стали рассматриваться как самостоятельный тип, сочетающий черты колчеданных и полиметаллических образований. В этот период были детально изучены месторождения Рудного Алтая, что позволило выделить барит-полиметаллический, собственно-полиметаллический и колчеданно-полиметаллический типы.

Важным достижением стало выделение трёх основных семейств полиметаллических месторождений: SEDEX, MVT и VMS.

Месторождения типа SEDEX, согласно первоначальному определению (R. C. Carne, 1982) [35], представлены пластовыми или слоистыми табличными сульфидными телами, которые формируются в углистых сланцах или других мелкозернистых обломочных породах.

Классификация месторождений SEDEX была существенно расширена последующими исследователями, включившими в неё несколько генетически или геологически связанных типов месторождений.

Согласно данным Goodfellow W. D., Lydon J. W. [40], тип SEDEX включает в себя три подтипа – месторождения седиментационно-эксгальационные, придонные (ирландский подтип – Irish), а также месторождения, схожие с месторождением Брокен Хилл (BHT). Отметим, что объекты, относящиеся к Ирландскому подтипу, сходны с месторождениями группы MVT.

Месторождения типа долины Миссисипи (MVT) выделены в отдельный класс Zn-Pb месторождений с 1930-х гг. (Bastin, 1939) [34]. Было подсчитано, что 17% известных мировых запасов цинка, 16% свинца и 2,9% серебра сосредоточены на месторождениях этого типа (D. F. Sangster, 1996) [51].

Классификация месторождений типа MVT остаётся несколько проблематичной, поскольку, основываясь на критериях, предложенных Leach D. L. [42, 43], некоторые объекты, классифицированные как SEDEX, демонстрируют признаки замещения отложений на раннем диагенетическом этапе. В то же время выявлены месторождения, которые

классифицированы как MVT, сформированы на диагенетическом этапе и характеризуются сложными текстурами руд.

Совпадение обусловлено рядом критериев, используемых для разделения месторождений, в частности: ряд исследователей делают упор на тектонические условия, другие авторы проводят систематизацию на основании литологии вмещающих пород. Также существует точка зрения пост-литификационной минерализации, поскольку карбонаты обычно литифицируются очень быстро, что позволяет им формировать «эпигенетические» структуры в условиях, близких к морскому дну.

Колчеданно-полиметаллические месторождения в вулканогенных ассоциациях (VMS). В настоящее время существует большое количество классификационных систем для этих месторождений. Попытки их классифицировать подчеркнули различия вулканических и осадочных пород, вмещающих месторождения. Данная терминология используется более 35 лет и охватывает временные и пространственные ассоциации сульфидной минерализации, связанные с подводными вулканическими процессами. Похожие термины для колчеданных месторождений в вулканогенных ассоциациях (VMS), встречающиеся в литературе, включают: «вулканогенные сульфиды», «вулканические массивы сульфидов», «эксгальационные массивы сульфидов», «вулканогенно-эксгальационные массивы сульфидов», «подводно-эксгальационные массивы сульфидов», «вулканические породы, вмещающие массивы сульфидов», «вмещающие массивы сульфидов вулканогенно-осадочные породы», «связанные с вулканиками массивы сульфидов» и «вулканофильные залежи массивов сульфидов» [33, 37, 52]. В ряде более ранних исследований термины «медноколчеданные» и «колчеданные» месторождения использовались применительно к богатым колчеданным рудным телам, связанным с офиолитовыми вулканическими циклами на Кипре и в других местах. Позже термин «колчеданные полиметаллические» месторождения был применён многими авторами к минерализации VMS на современном океаническом дне, которая содержит значительное количество металлов.

В нашей стране В. И. Смирновым было выделено «колчеданное семейство», в которое колчеданно-полиметаллические месторождения различных типов входят в статусе рудной формации [30].

Современные классификации (конец XX–начало XXI вв.). Современные классификации учитывают комплекс критериев, включая: геодинамические обстановки, вещественный состав, текстурно-структурные особенности, сопутствующие минеральные ассоциации, степень метаморфизма. В. В. Авдонин и др. (2005) [1] предложили детальную классификацию металлических месторождений, включая свинцово-цинковые, и выделили пять основных геолого-промышленных типов: колчеданно-полиметаллические в терригенных и карбонатно-терригенных формациях; колчеданно-полиметаллические в вулканогенных формациях; стратиформные в карбонатных формациях; метасоматические; жильные и скарновые.

А. И. Кривцов с коллегами [10, 12] для типизации месторождений «колчеданного семейства» проанализировали данные по месторождениям Урала, Рудного Алтая, Прибайкалья и Кавказа, отнесённые к кипрскому, уральскому, рудноалтайскому, малокавказскому и филизчайскому типам. Выделенные типы месторождений различаются по соотношениям содержаний рудообразующих элементов, уровням их концентраций и масштабам запасов руды и металлов. Для них были созданы количественные модели, разработанные в ЦНИГРИ.

В 2010 г. А. Л. Дергачев [5] предложил эволюционную классификацию колчеданных месторождений, выделив четыре основных типа: кипрский (медно-колчеданные месторождения в офиолитовых комплексах), уральский (медно-цинково-колчеданные месторождения в бимодальных базальт-риолитовых формациях), куроко (колчеданно-полиметаллические (с баритом) месторождения в базальт-андезит-дацит-риолитовых формациях) и бесси (аналоги кипрского типа в архее и протерозое).

А. А. Маракушев и др. (2007) [24] разработал петрогенетическую модель, связывающую состав руд с типами сопутствующих вулканических пород: медно-свинцово-цинковые руды ассоциируют преимущественно с риолитами.

Особое внимание в современных исследованиях уделяется переходным типам месторождений [2].

Формационные типы свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений. Создание классификаций для месторождений различных типов имеет важное практическое значение в геологоразведочных работах, добыче и переработке руд. Их применение позволяет оп-

тимизировать прогнозирование, поиски, оценку и разработку (выбор технологии добычи и обогащения, а также увеличить прибыль за счёт извлечения попутных компонентов) месторождений.

Прогнозно-поисковые модели играют ключевую роль при разработке классификации свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений, обеспечивая системный подход к их изучению и оценке.

Поскольку ФГБУ «ЦНИГРИ» занимается прогнозом и поисками свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений, поэтому создание классификации для объектов этого типа является важнейшей задачей.

На основании приведённых обширных литературных данных и нашего изучения закономерностей локализации полиметаллических месторождений в основных металлогенических зонах Российской Федерации, а также создания эталонных моделей месторождений в их пределах предлагается следующая классификация формационных типов свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений (табл. 1). Классификация на основе выделения формационных типов имеет фундаментальное и прикладное значение, поскольку позволяет: унифицировать подходы к их изучению, улучшить прогнозирование новых объектов и оптимизировать методы разведки и добычи.

Значение отдельных геолого-промышленных типов месторождений в сырьевой базе тех или иных металлов весьма разнообразно, в связи с чем среди них выделяются главные, на которые приходится свыше 5–10% запасов (или добычи) соответствующего металла, и второстепенные – обычно менее 2–2,5%.

В настоящее время достаточно чётко выделяются следующие рудно-формационные и геолого-промышленные типы месторождений свинца и цинка, каждый из которых характеризуется своей геологической позицией в истории развития регионов, условиями образования, экономическим значением, морфологией, размерами и условиями залегания рудных тел, минеральным и вещественным составом руд, их технологическими свойствами, а также требованиями, предъявляемыми к результатам разведочных и эксплуатационных работ (см. табл. 1).

При создании классификации приняты следующие классические определения геолого-промышленного типа месторождений и рудной формации:

Таблица. Формационные типы свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений (предлагаемая классификация)

Типы и подтипы	Группа	Геологические формации, с которыми ассоциируют месторождения	Морфология и размеры рудных тел от и до, в м (А – по простиранию, Б – по падению, В – по мощности)	Средние содержания	Попутные компоненты	Примеры месторождений
Медно-свинцово-цинковый колчеданный в углеродистых терригенных породах (филизчайский)	SEDEX	Терригенно-филизоидная	Линзо- и пластообразные залежи (А – до первых тыс. м, Б – до 1000, В – от 1 до 250)	Свинец – 0,5–2,5, цинк – 3,5–7,5, медь – 0,1–2,0	Серебро, кадмий, титан, индий, кобальт, сурьма иногда золота и селен	Холоднинское, Линейное, Кызыл-Дере (Российская Федерация), Филизчайское (Азербайджан), Брокен-Хилл, МакАртур Ривер, Маунт-Айза, Меррининей Дам, Хилтон Джордж Фишер, Сенчури, Абра, Каннингтон (Австралия), Хорвард Пассе, Салливан, Том (Канада) Ред-Дог (США), Наван, Лишин, Галмой, Силвермайнс (Ирландия), Грасберг, Свартберг (ЮАР), Меттен, Раммельсберг (Германия), Донгшенмяо, Чангба-Личжау, Хуогеки, Джиндинг (КНР), Раджпура-Дариба, Рампура Агуча, Завар (Индия), Пир-Ленд (Гренландия)
Свинцово-цинковый стратиформный в терригенных породах (лайсвальский)		Терригенные (преимущественно песчаные) в сочетании с глинистыми карбонатными	Пласто- и линзообразная (А – до 1500, Б – до 1000, В – до 100)	Свинец – 0,6–4,5, цинк – 0,9–7,0	Серебро, висмут	Лайсваль (Швеция), Ларжантье (Франция)
Свинцово-цинковый стратиформный в карбонатных породах (миргалимсайский)*	MVT	Карбонатные, известняково-доломитовые, глинисто-карбонатные (в т. ч. рифогенные и биотермные)	Пласто- и линзообразная реже мантообразная и жильная (А – до 1000, Б – до 900, В – от 1 до 50)	Свинец – 0,6–4,0, цинк – 0,9–7,0	Флюорит, медь, барий, серебро, германий	Сардана, Павловское, Воздвиженское, Савинское-5, Саурей, Луговое, Таборное, Сухопитское, Моряхинское (Российская Федерация), Олд Лид Бэлт, Три-Стрейт, Вибурнум, Ист Теннесси (США), Мехдибад, Эмарат (Иран), Пайн-Пойнт, Гаяна Ривер, Поларис, Нанишвик, Прайри Крик (Канада), Адмирал Бей, Элура, Пиллара (Австралия) Миргалимсай, Талап, Шалкия (Казахстан), Дженгеле, Мфуати (Конго), Уччулачское, Эскимазар (Узбекистан), Фангу, Далиангзи, Хуаюань Тяньбаошань (КНР), Силезия-Краков (Польша), Реоцин, (Испания), Скорпион, Дамара (Намибия), Туисит (Марокко), Блэк Энжэл (Гренландия), Эль-Абед (Алжир)

Типы и подтипы	Группа	Геологические формации, с которыми ассоциируют месторождения	Морфология и размеры рудных тел от и до, в м (А – по простиранию, Б – по падению, В – по мощности)	Средние содержания	Попутные компоненты	Примеры месторождений
Железо-марганцево-барит-свинцово-цинковый колчеданный в трахитоидных вулканогенно-терригенно-карбонатных породах (атагуйский)	MVT	Кремнисто-карбонатная в сочетании с трахибазальт-трахиандезит-трахириолитовой	Линзо- и пластообразная (А – до 1000, Б – до 900, В – от 1 до 100)	Свинец – 0,5–7,5, цинк – 1,5–11,5, медь – 0,1–1,5	Медь, мышьяк, кадмий, таллий, серебро	Горевское (Российская Федерация), Жайрем, Ушкатын-1, Каражал (Казахстан)
Свинцово-цинковый колчеданный стратиформный в терригенно-карбонатных и углеродисто-карбонатных породах (приаргунский)		Терригенно-карбонатная, известняково-доломитовая в сочетании с глинисто-кремнисто-терригенной	Линзо- и пластообразная, реже жилкообразная и штокерковая (А – до 700, Б – до 500, В – от 1 до 50)	Свинец – 1,1–4,5, цинк – 1,9–8,5	Серебро, кадмий, золото	Воздвиженское, Савинское-5, Ивановское, Акагуй, Кадаинское, Михайловское (Российская Федерация), Учкулачское, Эскимазар (Узбекистан)
Свинцово-цинковый в карбонатных породах, часто со скарнами (дальнегорский)	Skarn type	Карбонатные, терригенно-карбонатные часто в сочетании с гранитоидными вулкано-плутоническими поясов	Линзо- и пластообразные, реже изометричные тела, трубо- и жилкообразные (А – 200–800, Б – 100–600, В – 1–70)	Свинец – 1,1–7,5, цинк – 1,7–6,5	Серебро, кадмий, висмут, индий, золото	Николаевское, Партизанское, П Советское (Российская Федерация), Алтын-Топкан, Кургашикан (Узбекистан)
Медно-свинцово-цинковый колчеданный в осадочно-вулканогенных породах (рудноалтайский)	VMS**	Контрастная базальт-риолитовая, последовательная базальт-андезит-дацит-риолитовая в сочетании с туфогенно-кремнисто-терригенной	Линзо- и пластообразные залежи; штокерковые и жилные зоны подводящих систем (А – до 1500, Б – до 900, В – от 1 до 100)	Свинец – 0,5–7,5, цинк – 1,5–11,9, медь – 0,1–2,5	Золото, серебро, кадмий, селен, сурьма, теллур, таллий, индий, германий, барит	Корбалихинское, Рубцовское, Новозолотушинское, Салаирское, Каменухинское, Кызыл-Таштыгское, Озерное, Назаровское (Российская Федерация), Риддер-Сокольское, Новоленингорское, Тишинское, Малеевское, Чекарть, Орловское, Белоусовское, Зыряновское, (Казахстан), Нью-Браунсвик, Кидд-Крик, Маттагами Лэйк, Карибу, Харпер Крик, Ла Ронде (Канада), Рио Тинто, Маса Вальверде, Асналькольяр, Ла Сарса, Тарсис (Испания), Невес-Корво, Алжущтрел (Португалия), Вудлон, Роузбери (Австралия), Арктик (США), Саса-Тораница (Македония), Кекетале, (КНР), Гарпенберг (Швеция)

Окончание таблицы

Типы и подтипы	Группа	Геологические формации, с которыми ассоциируют месторождения	Морфология и размеры рудных тел от и до, в м (А – по простиранию, Б – по падению, В – по мощности)	Средние содержания	Попутные компоненты	Примеры месторождений
Свинцово-цинковый медноколчеданный в осадочно-вулканогенных породах (малокавказский)	VMS**	Туфогенно-кремнисто-терригенная в сочетании с последовательной базальт-андезит-дацит-риолитовой	Линзо- и пластообразные залежи; штокерковые и жильные зоны подводящих систем (А – до 900, Б – до 700, В – от 1 до 100)	Свинец – 0,5–7,5, цинк – 1,5–11,3, медь – 0,1–2,5	Золото, серебро, кадмий, селен, сурьма, теллур, таллий	Шамлуг (Армения), Радка, Челопеч (Болгария), Хокуроку, Дайкоку, Учнотаи, Шаканаи (Япония), Батерст (Канада), Хандиза (Узбекистан), Маднеули (Грузия)
Свинцово-цинковый жильный в разнообразных породах (1. Нойн-тологийский; 2. Садонский)	VMS_G	1. Сочетание различных формаций преимущественно эффузивной серии кислого и среднего состава; 2. Последовательная базальт-андезит-дацит-риолитовая в сочетании с кремнисто-терригенной	Жилы, жильные и штокерковые зоны уплощённой линзовидной формы (А – 20–800, Б – 50–500, В – от 1 до 40)	Свинец – 1,2–2,8, цинк – 1,9–7,3	Серебро, галлий, таллий, индий медь	1. Нойн-Тологийское, Ново-Широкинское, Талман, Красногорское, Майминовское, Арцевское, Лидовское (Российская Федерация); 2. Садон, Згид (Российская Федерация), Кер-д’Ален (США)

Примечание. * – на основании исследований Г. В. Ручкина и А. И. Донца (2002) [27] в данном типе выделяются следующие подтипы: 1.1 – свинцово-цинковый с германием, иногда с флюоритом (сарданский); 1.2 – пирит-свинцово-цинковый с флюоритом (миссисипский); 1.3 – пирит-свинцово-цинковый (силезско-краковский); 1.4 – барит-цинково-свинцовый (мирталимакский); 1.5 – свинцово-цинковый с пиритом (шалкинский); 1.6 – пирит-барит-свинцово-цинковый (учкулачский); ** – в классификации рассматриваются только свинцово-цинковые и колчеданно-полиметаллические месторождения.

Рудная формация – группа месторождений или рудопоявлений, однотипных по вещественному – элементному и минеральному – составу руд и геологической обстановке нахождения, которая характеризуется связью с определённой геологической формацией (либо сочетанием геологических формаций) и структурными условиями рудонакопления [25].

Рудная формация ассоциирует с геологической формацией, которая фиксирует определённый тектонический режим развития [31].

Основу минерально-сырьевой базы свинца и цинка составляют следующие геолого-промышленные типы месторождений:

- медно-свинцово-цинковый в углеродисто-терригенных породах (филизчайский) – в структурах пассивных окраин с рассеянным спредингом (терригенных эвгеосинклиналей на границе блоков континентальной и океанической коры) и авлакогенов;
- медно-свинцово-цинково-колчеданный в осадочно-вулканогенных породах (рудноалтайский) – в рифтогенных структурах;
- свинцово-цинковый стратиформный в карбонатных породах (миргалимсайский) – в структурах активизированных чехлов платформ и срединных массивов, а также авлакогенов.

В качестве второстепенных по промышленному значению, роли в сырьевой базе свинца и цинка и распространённости выделяются типы:

- свинцово-цинковый колчеданный стратиформный в терригенно-карбонатных и углеродисто-карбонатных породах (приаргунский);
- свинцово-цинковый жильный в разнообразных породах (нойон-тологойский, садонский);
- свинцово-цинковый медноколчеданный в осадочно-вулканогенных породах (малокавказский или куроко) в структурах окраинно- и внутриконтинентальных рифтов и островных дуг на моэаичной кратонизированной коре;
- железомарганцево-барит-свинцово-цинковый колчеданный в трахибазальт-трахит-кремнисто-карбонатно-терригенных формациях (атасуйский) – в структурах внутриконтинентальных зон слабого прогибания.

Помимо месторождений упомянутых выше типов промышленные концентрации свинца и цинка известны в связи с месторождениями прочих весьма малораспространённых типов: свинцово-цинковый стратиформный (лайсвальский) в терригенных формациях, слагающих базальные горизонты чехлов древних платформ.

Значительная доля мировых запасов свинца и цинка заключена в серебро-свинцово-цинковых месторождениях в карбонатных толщах основания андезитовидных вулканоплутонических поясов. Эти месторождения, часто объединяемые в зарубежной литературе в группу месторождений типа «манто» или «метасоматического замещения», пока не имеют чёткой рудно-формационной принадлежности. Возможно, что они представляют собой глубоко метаморфизованные и регенерированные месторождения миргалимсайского типа.

Необходимо указать, что существенное значение в минерально-сырьевой базе свинца и цинка имеют месторождения других видов полезных ископаемых. В частности, более 30 % учтённых запасов цинка России заключены в медно-цинково-колчеданных месторождениях уральского типа.

В мировой МСБ по запасам свинца и цинка доминируют месторождения филизчайского (36 и 31 % запасов соответственно), миргалимсайского (15,6 и 17 %) и рудноалтайского (15,4 и 21,7 %) типов; на месторождения типа «метасоматического замещения» приходится 12 % мировых запасов свинца и 6 % цинка, а на месторождения приаргунского типа по 3,7 % запасов каждого металла. Доля месторождений малокавказского типа в запасах оценивается по свинцу в 3 % и по цинку в 5,7 %.

В МСБ России главное значение имеют месторождения следующих типов: по запасам – филизчайского, миргалимсайского и рудноалтайского, суммарные запасы которых составляют около 96 % для каждого из металлов, а по добыче – миргалимсайского и рудноалтайского. Это связано с тем, что крупнейшее Холодинское месторождение филизчайского типа находится в зоне отчуждения озера Байкал и вряд ли будет отрабатываться в обозримом будущем. В 660 месторождениях свинца различного типа заключено около 310 млн т свинца, а в 884 месторождениях цинка – 680 млн т этого металла, при этом распределение запасов характеризуется следующими особенностями:

- около 79 % запасов сосредоточены в месторождениях, в которых содержания свинца и цинка превышают средние для всей выборки объектов (2,1 и 3,9 % соответственно);
- месторождения с низкими содержаниями свинца и цинка обладают меньшими запасами, чем

месторождения с высокими содержаниями этих металлов;

- содержания свинца и цинка в 10 % наиболее богатых месторождений составляют 9 и 10 % соответственно;

- 10 % крупнейших месторождений свинца и цинка (мирового класса) в сумме содержат 71 % мировых запасов свинца и 73 % цинка, а уникальные месторождения (около 1 % от выборки) несут в сумме более 30 % запасов свинца и 25 % запасов цинка.

По запасам месторождения подразделяются на следующие категории (суммы свинца и цинка, млн т): весьма крупные > 10, крупные 5–10, средние 2,5–5, мелкие < 0,5 [26].

Примеры месторождений различных формационных типов. Месторождения атасуйского, приаргунского и нойон-тологойского типов были подробно описаны в ранее опубликованных наших работах [7, 13–15, 19, 20, 29]. В данной публикации приводятся примеры месторождений трёх наиболее значимых для мировой и российской МСБ формационных типов: филизчайского, миргалимсайского и рудноалтайского.

Группа SEDEX. Медно-свинцово-цинковый колчеданный в углеродисто-терригенных породах (филизчайский) формационный тип. Месторождение Филизчай (Азербайджан). Филизчай – крупное колчеданно-полиметаллическое месторождение, расположенное в Дашкесанском районе Азербайджана, на южном склоне Большого Кавказа. Оно находится в зоне интенсивной тектонической активности, где пересекаются Евразийская и Арабская литосферные плиты (рис 2.).

Филизчай является ключевым сырьевым источником для цветной металлургии Азербайджана. Его разработка ведётся с советских времён, а современные технологии позволяют извлекать металлы с высокой эффективностью. Месторождение играет важную роль в экономике страны, обеспечивая сырьём как внутренний рынок, так и экспортные поставки.

Филизчайская рудная залежь размещается в пределах рудоносного горизонта, который фациально изменчив по латерали: глинистые и углеродисто-глинистые сланцы на расстоянии в несколько сотен метров сменяются песчаными флишoidalными фациями, а пиритовые конкреции – песчано-сидеритовыми (рисунки 3, 4).

Месторождение содержит значительные запасы свинца, цинка, меди, а также сопутствующие

металлы – золото, серебро и висмут. Среднее содержание металлов следующее: Zn – 3,61, Pb – 1,48 и Cu – 0,58 %, Ag – 44,7 г/т, Au – 0,6 г/т. Запасы месторождения составляют около 6,5 млн т свинца и цинка.

Группа MVT. Свинцово-цинковый стратиформный в карбонатных породах (миргалимсайский). Месторождение Мехдибад (Иран). Мехдибад – одно из крупнейших цинково-свинцовых месторождений в мире, расположенное в центральной части Ирана, в провинции Йезд. Разработка месторождения ведётся подземным способом с привлечением иностранных инвесторов.

Месторождение является стратегическим для Ирана, обеспечивая сырьём металлургические предприятия и экспортные потоки. Его освоение способствует развитию горнодобывающего сектора страны и укреплению её позиций на мировом рынке цветных металлов.

Оно сформировалось в осадочно-вулканогенных толщах, характерных для Иранского нагорья, где преобладают карбонатные и терригенные породы. Рудные тела представлены стратиформными залежами, сформировавшимися в результате гидротермально-осадочных процессов.

Месторождение содержит большие запасы цинка и свинца (22 млн т), а также значительное количество серебра. Среднее содержание Zn – 7,3 % (в окисленных рудах – 7,15 %), Pb – 2,3 % (в окисленных рудах – 2,47 %).

Группа VMS. Медно-свинцово-цинковый колчеданный в осадочно-вулканогенных породах (рудноалтайский). Месторождение Невес-Корво (Португалия). Невес-Корво – крупное колчеданно-полиметаллическое месторождение, расположенное в южной части Португалии, в регионе Алентежу. Месторождение входит в состав Иберийского пиритового пояса (Пиренейский полуостров) и было открыто в 1977 г.

Эксплуатация месторождения ведётся с 1980-х гг. Оно остаётся одним из ключевых источников меди и цинка в Европе. Современные технологии добычи и переработки позволяют эффективно извлекать металлы, что делает Невес-Корво важным объектом для горнодобывающей промышленности Португалии.

На месторождении выделяются несколько рудных тел: Ломбадор, Невес, Граса-Корво и Замбуджал, которые локализованы в углеродистой толще.

Основные рудные минералы – халькопирит, сфалерит и галенит, содержащие медь, цинк, свинец

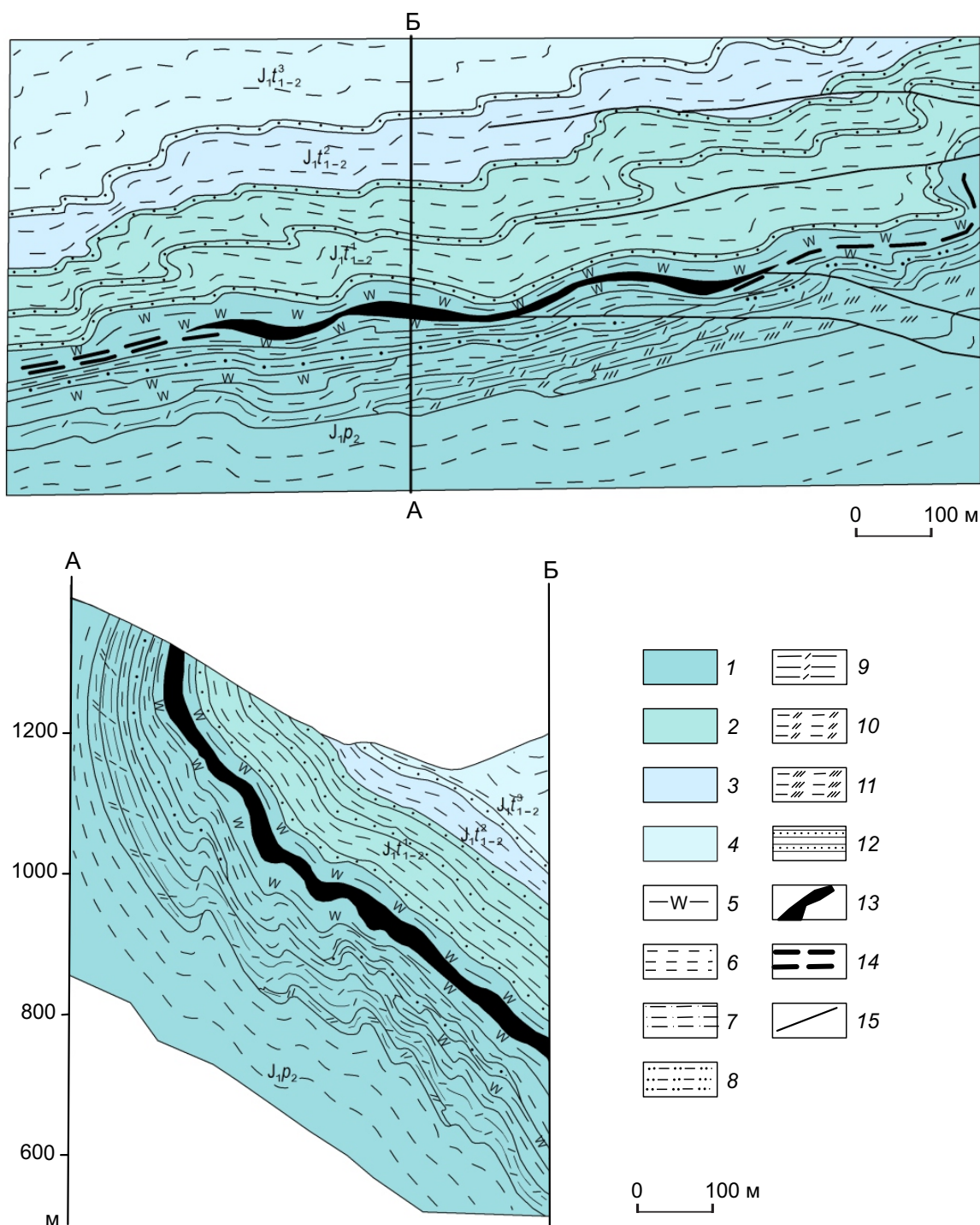


Рис. 2. Геологическая карта и разрез месторождения Филизчай. С использованием материалов Н. К. Курбанова и др., 1971, 1982; Г. В. Ручкина и др., 1992 [21, 22, 28]:

1–4 – нижняя юра: 1 – плинсбахский ярус, верхний подъярус (филизчайская серия), J_1p_2 , 2–4 – тоарский ярус, нижний–средний подъярусы (губахская серия), $J_1t_{1-2}^1$, $J_1t_{1-2}^2$, $J_1t_{1-2}^3$; 5–12 – литологические разности пород: 5 – углеродистые глинистые сланцы, 6 – глинистые сланцы с редкими прослоями алевролитов, 7 – песчано-глинистые сланцы (маломощный двучленный флишоид), 8 – мощный флишоид, 9 – песчано-алевролитоглинистые сланцы (маломощный трёхчленный флишоид), 10 – средний трёхчленный флишоид, 11 – мощный трёхчленный флишоид, 12 – аритмичное переслаивание песчаников, алевролитов и глинистых сланцев; 13 – рудные залежи; 14 – вкрапленные, сгустковые, послойные скопления сульфидов; 15 – разрывные нарушения; А–Б – линия разреза

и драгоценные металлы (золото, серебро). Среднее содержание металлов в цинковых рудах (в %): Zn – 7,3, Pb – 1,7, Cu – 0,4, а Ag – 66 г/т, в медных рудах (в %): Zn – 0,9, Pb – 0,3, Cu – 3,0, а Ag – 44 г/т. Запасы месторождения составляют 10,7 млн т свинца и цинка.

Спорные вопросы классификаций. В англоязычной литературе закрепились краткие наименования трёх главных групп: SEDEX, MVT и VMS. Однако внутри этих семейств выделено множество дополнительных типов и подтипов, что отражает неполноту и противоречивость современных знаний о генезисе свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений.

Ключевые различия между типами включают:

- характер вмещающих пород (вулканогенные для VMS, терригенные для SEDEX, карбонатные для MVT);
- геодинамические обстановки (рифтинговые зоны для SEDEX, орогенные пояса для MVT);
- температуры образования (высокие для VMS, средние для SEDEX, низкие для MVT);
- источники рудообразующих флюидов (магматические для VMS, осадочные бассейны для SEDEX и MVT).

Месторождения каждого типа имеют некоторые характеристики, сближающие их с месторождениями других типов, что в ряде случаев затрудняет отнесение конкретного объекта к тому или иному геолого-промышленному типу. Так, например, колчеданно-полиметаллические месторождения в осадочно-вулканогенных толщах разделены на два типа: рудноалтайский в связи с вулканогенными породами риолитоидного ряда и малокавказский в связи с вулканогенными породами андезитоидного ряда. Малокавказский является переходным между медно-цинково-колчеданным (уральский) и колчеданно-полиметаллическим (рудноалтайским) рудно-формационными типами. Объекты атасуйского типа обнаруживают черты сходства как с месторождениями рудноалтайского типа, так и свинцово-цинковыми стратиформными в карбонатных формациях.

В природе существуют сложные объекты, известные по всему миру и демонстрирующие признаки как типа VMS, так и SEDEX и MVT, что вызывает дискуссии среди исследователей. Особенности таких месторождений свидетельствуют о сложной истории формирования месторождений, включающей как первичное гидротермально-

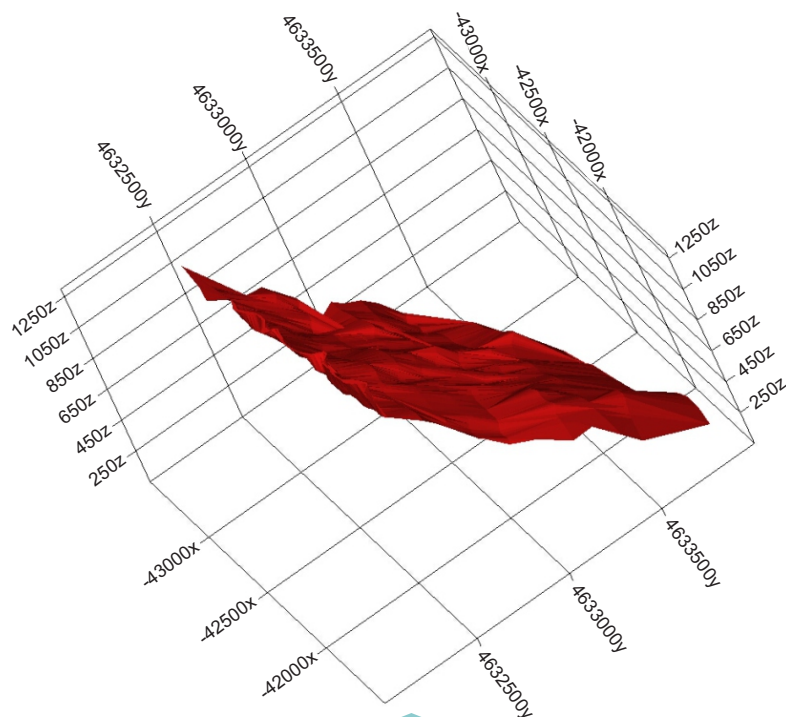


Рис. 3. 3D-модель рудной залежи месторождения Филизчай

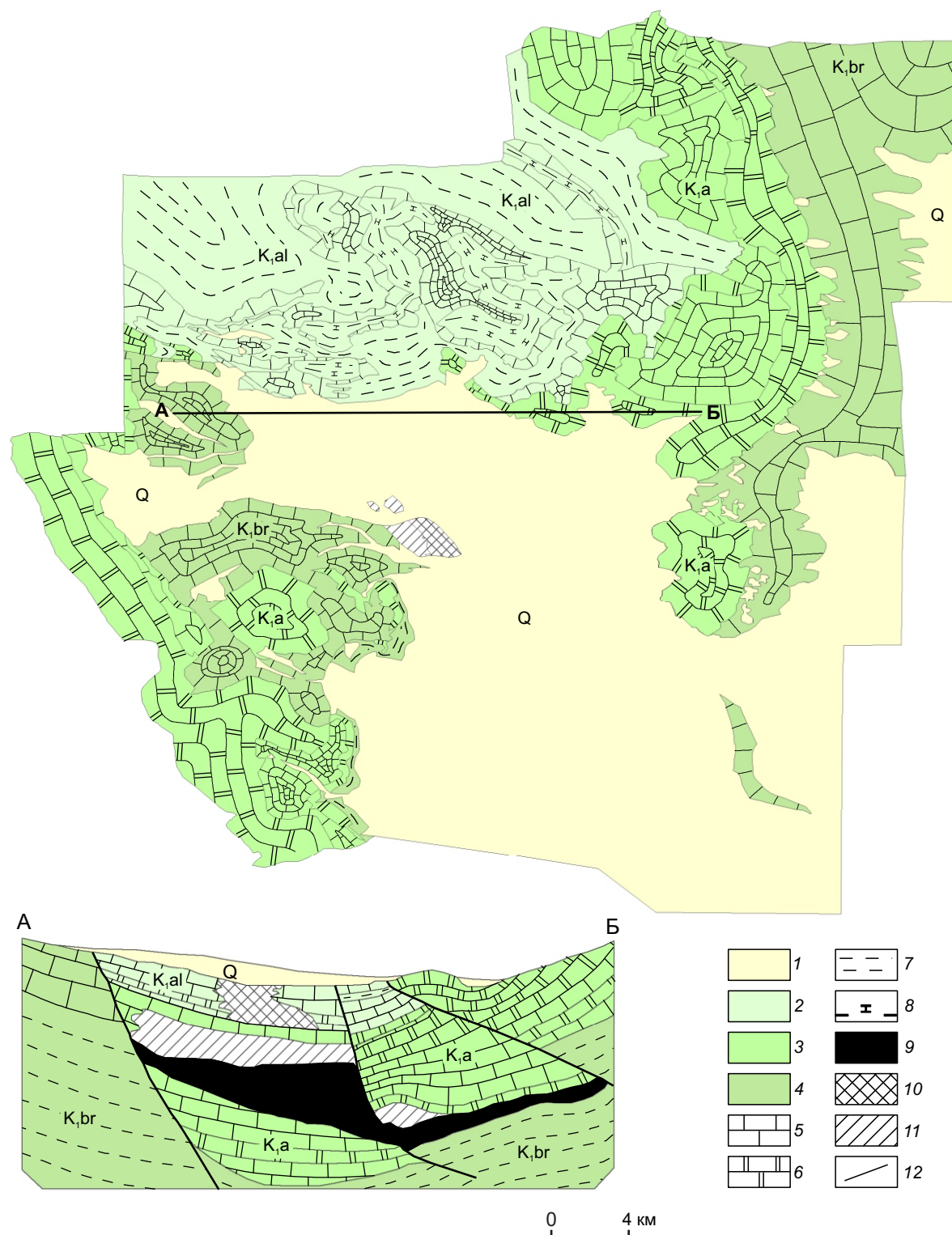


Рис. 4. Геологическая карта и разрез месторождения Мехдиабад. С использованием материалов S. Maghfouri et al., 2018; M. E. Mohseni et al., 2008; J. Reichert et al., 2020 [44, 45, 49]:

1 – четвертичные отложения, Q; 2–4 – нижний мел, ярусы: 2 – альбский, K₁al, 3 – аптский, K₁a, 4 – барремский K₁br; 5–8 – литологические разности пород: 5 – известняки, 6 – доломиты, 7 – алевролиты, 8 – известковистые алевролиты; 9–11 – руды: 9 – сульфидные, 10 – баритовые, 11 – окисленные; 12 – разрывные нарушения; А–Б – линия разреза

осадочное рудоотложение, так и последующие метаморфогенно-метасоматические преобразования.

Такие переходные месторождения представляют особый интерес для понимания процессов рудообразования и разработки эффективных поисковых критериев.

Ярким примером объекта переходного типа, по мнению многих исследователей, является Озерное полиметаллическое месторождение в Забайкалье (Россия). К. В. Лобанов (2017) отнёс это месторождение к группе SEDEX [23]. А по мнению И. В. Викентьева [2], Озерное месторождение демонстрирует признаки сразу трёх семейств: SEDEX, VMS и MVT.

Оруденение вышеописанного месторождения Невес-Корво локализовано в углеродистой толще (рис. 5), в связи с чем объект также характеризуется признаками месторождений типа SEDEX.

Хотелось бы отметить, что рудные тела как месторождения Озерное, так и Невес-Корво занимают надвулканическое положение, связаны с вулканизмом и локализованы в удалённых фациях, что в целом характерно для месторождений формационного типа: медно-свинцово-цинковый колчеданный в осадочно-вулканогенных породах (группа VMS).

Другим примером сложного свинцово-цинкового объекта является Горевское месторождение. Это месторождение демонстрирует признаки синсидиментационного отложения, единовременного с формированием вмещающих углеродисто-слюдисто-кремнисто-карбонатных пород, но при этом подверглось значительным пострудным преобразованиям под влиянием регионального и динамотермального метаморфизма. В нашей классификации Горевское месторождение отнесено к группе MVT, однако ряд исследователей считают, что оно принадлежит к типу SEDEX [23] или Irish-type (переходному между SEDEX и MVT) [8].

В литературе упоминаются и другие месторождения с переходными характеристиками. В частности, месторождения Арктической зоны, где наблюдаются сочетания SEDEX–MVT типов в карбонатно-терригенных комплексах. А. Л. Галямов с соавторами [3] на примере Павловского месторождения указывают, что широкое распространение на месторождении консидиментационных брекчий обрушения в окремнённых сланцах, глинистых известняках и доломитах, наличие компактных галенит-сфалерит-пиритовых скоплений

и существенно пиритовых руд с метаколлоидными, брекчиевыми и брекчиевидными пятнистыми текстурами руд с отчётливо проявленными следами нагрузки и микроскладками оползания в углеродисто-карбонатно-кремнистой матрице Восточного участка месторождения вполне могут свидетельствовать о формировании SEDEX руд на стадии седиментогенеза – раннего диагенеза в интервале температур 245–360 °С в условиях малых глубин. Присутствие в непосредственной пространственно-временной близости подводных вулканических построек с шаровыми лавами и туфами основного состава указывает на геодинамические условия рифтогенных областей. Вместе с тем особенности литологического состава пород и характер наложенных изменений имеют признаки MVT-условий. К последним относят доломитовый и известняковый состав рудовмещающих карбонатных слоёв, приуроченность рудных лент и линз к периферии сравнительно мощных органогенных построек, существенно сфалеритовый (клеюфановый) состав руд на периферии рудного поля, наличие, хоть и маломощных, пиритизированных водорослевых матов, текстуры выщелачивания карбонатной матрицы в рудах, наложенные изменения в виде кальцитизации и доломитизации.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются:

1. Детальное изотопно-геохимическое изучение руд и минералов для выявления источников вещества.
2. Микротермометрические исследования флюидных включений для реконструкции РТХ-условий.
3. Геохронологическое датирование различных стадий рудообразования.
4. Разработка количественных моделей массопереноса в сложных системах.
5. Создание интегрированных поисковых критериев для переходных типов месторождений.

Понимание природы переходных месторождений имеет не только теоретическое значение для рудной геологии, но и важное практическое значение для совершенствования стратегий поисков и разведки свинцово-цинкового и колчеданно-полиметаллического оруденения в сложных геологических обстановках.

Закключение. 1. Основу минерально-сырьевой базы свинца и цинка составляют следующие геолого-промышленные типы месторождений:

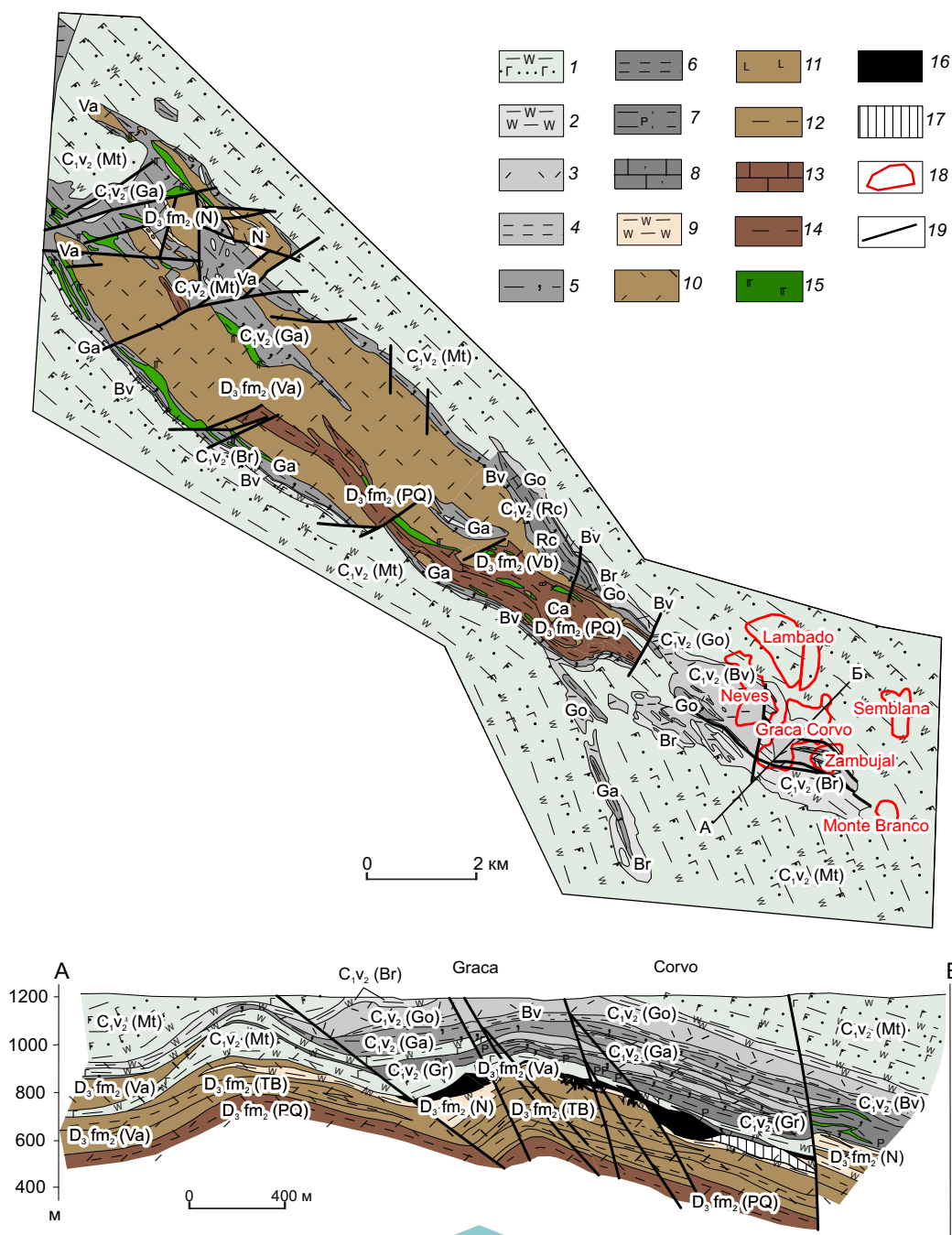


Рис. 5. Геологическая карта и разрез месторождения Невес-Корво. С использованием материалов L. Albardeiro et al., 2020; O. S. Gaspar, 2002; P. Newall et al., 2017; J. Relvas et al., 2006 [32, 39, 47, 50]:

1–8 – нижний карбон, визейский ярус, верхний подъярус: 1 – формация Мертола: граувакки и чёрные сланцы, $C_1v_2(Mt)$, 2 – формация Бранканес: углеродистые сланцы, $C_1v_2(Br)$, 3 – формация Годияно: кремнистые сланцы и туффиты, $C_1v_2(Go)$, 4 – формация Борра де Винью: зелёные и фиолетовые сланцы, $C_1v_2(Bv)$, 5 – формация Грандасош: кремнистые сланцы с прослоями карбонатных пород $C_1v_2(Ga)$, 6 – формация Рибейра де Кобриш: сланцы $C_1v_2(Rc)$, 7 – формация Граса: серые и чёрные сланцы с прослоями кремнисто-фосфатных конкреций $C_1v_2(Gr)$, 8 – яшмы, карбонаты, хлоритовые сланцы $C_1v_2(J)$; 9–14 – верхний девон, фаменский ярус, верхний подъярус: 9 – формация Невес: чёрные сланцы, $D_3fm_2(N)$, 10 – лавы риолитового состава, $D_3fm_2(Va)$, 11 – лавы базальтового состава, $D_3fm_2(Vb)$, 12 – туфобрекчии, сланцы с прослоями карбонатных и вулканогенных пород, $D_3fm_2(TB)$, 13 – известняки, $D_3fm_2(Ca)$, 14 – сланцы и кварциты, $D_3fm_2(PQ)$; 15 – вулканогенные породы среднего и основного состава, d ; 16–17 – руды: 16 – массивные сульфидные, 17 – брекчиевые; 18 – проекции рудных тел; 19 – разрывные нарушения; А–Б – линия разреза

- медно-свинцово-цинковый в углеродисто-терригенных породах (филизчайский);

- медно-свинцово-цинково-колчеданный в осадочно-вулканогенных породах (рудноалтайский);

- свинцово-цинковый стратиформный в карбонатных породах (миргалимсайский).

2. В мировой МСБ по запасам свинца и цинка доминируют месторождения филизчайского (36% и 31% запасов соответственно), мургалимсайского (15,6 и 17%) и рудноалтайского (15,4 и 21,7%) типов. В МСБ России главное значение имеют месторождения следующих типов: филизчайского, рудноалтайского и приаргунского, суммарные запасы которых составляют около 96% для каждого из металлов.

3. Приводятся примеры месторождений трёх формационных типов – филизчайского, мургалимсайского и рудноалтайского.

4. Месторождения каждого типа имеют некоторые характеристики, сближающие их с месторождениями других типов, что в ряде случаев затрудняет отнесение конкретного объекта к тому или иному геолого-промышленному типу. Основой отнесения месторождения, а при прогнозно-поисковых работах участка недр для выбора эта-

лонной модели к тому или иному формационному типу является обстановка локализации месторождения. В частности, на месторождениях группы VMS рудоносными являются вулканогенные формации, рудные тела обычно занимают надвулканическое положение, а локализованы в удалённых туфогенно-терригенных, в ряде случаев углеродистых фациях.

5. Проблема классификации свинцово-цинковых и колчеданно-полиметаллических месторождений осложняется тем, что многие текстурно-структурные признаки и характеристики генезиса руд в выделенных группах являются конвергентными. Практически все рудовмещающие разрезы при преобладании пород одного типа содержат горизонты других типов, что делает традиционное деление отчасти условным.

6. Правильное использование классификаций месторождений позволяет эффективно управлять ресурсами и повышать экономическую отдачу от прогнозно-поисковых и оценочных работ.

7. Перспективным направлением является разработка классификаций, учитывающих как первичные условия рудообразования, так и последующие преобразования руд в ходе метаморфизма и тектонических деформаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонин В. В., Бойцов В. Е., Григорьев В. М. [и др.] Месторождения металлических полезных ископаемых. – М. : Трикта, 2005. – 720 с.
2. Викентьев И. В., Дамдинов Б. Б., Минина О. Р., Спирина А. В., Дамдинова Л. Б. Классификация процессов полиметаллического рудообразования и переходный VMS–SEDEX–MV-тип – пример гигантского Озерного месторождения в Забайкалье, Россия // Геология рудных месторождений. – Т. 65, № 3. – 2023. – С. 201–237.
3. Галямов А. Л., Волков А. В., Лобанов К. В. Поисковая модель SEDEX-MVT месторождений арктической зоны // Арктика: экология и экономика. – 2016. – № 1(21). – С. 46–55.
4. Горжевский Д. И., Ручкин Г. В., Клименко Н. Г. Минеральное сырьё. Свинец и цинк : Справочник. – М. : ЗАО «Геоинформмарк», 1997. – 47 с.
5. Дергачев А. Л. Эволюция вулканогенного колчеданообразования в истории Земли : специализация 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» : автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. геол.-минерал. наук / Дергачев Александр Лукич. – М. : МГУ, 2010. – 262 с.
6. Заварицкий А. Н. Колчеданное месторождение Бява на Южном Урале и колчеданные залежи вообще // Тр. Геол. Ин-та АН СССР. – 1936. – № 5. – С. 26–66.
7. Зайцева М. Н., Кузнецов В. В., Конкин В. Д., Серавина Т. В., Инякин А. В., Богославец Н. Н., Хачатуров М. М. Обстановки формирования месторождений свинца и цинка Ангара-Большепитской минералогической зоны (Енисейский край) // Руды и металлы. – 2020. – № 3. – С. 52–67.
8. Ковалев К. Р., Калинин Ю. А., Лобанов К. В., Наумов Е. А., Боровиков А. А., Сухоруков В. П. Горевское полиметаллическое месторождение (Сибирь, Россия): минеральный состав руд и особенности рудоотложения // Геология рудных месторождений. – 2023. – Т. 65, №4. – С. 302–336.
9. Кривцов А. И., Бородаевская М. Б., Волчков А. Г. Оценка прогнозных ресурсов меди, свинца, цинка, никеля, кобальта : Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. – М. : ЦНИГРИ, 1986. – Ч. VI. – 107 с.
10. Кривцов А. И., Волчков А. Г., Минина О. В. Месторождения колчеданного семейства. Серия «Модели

- месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» / Под ред. А. И. Кривцова. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
11. Кривцов А. И., Мигачев И. Ф., Володин Р. Н., Волчков А. Г. Оценка прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «медь». – М. : ЦНИГРИ, 2002. – 212 с.
 12. Кривцов А. И., Ручкин Г. В., Кузнецов В. В. Роль и место месторождений рудноалтайского типа в колчеданном семействе // Большой Алтай – уникальная редкометалльно-золото-полиметаллическая провинция Центральной Азии. – Усть-Каменогорск, 2010. – С. 20–22.
 13. Кузнецов В. В., Брель А. И., Богославец Н. Н., Елишина С. Л., Кузнецова Т. П., Серавина Т. В. Металлогения Приагунской структурно-формационной зоны // Отечественная геология. – 2018. – № 2. – С. 32–43.
 14. Кузнецов В. В., Брель А. И., Кузнецова Т. П., Серавина Т. В., Мигачёв И. Ф., Донец А. И., Кудрявцева Н. Г., Богославец Н. Н., Елишина С. Л. Особенности строения и минералогическая характеристика руд полиметаллического месторождения в вулканогенных ассоциациях (VMS) Нойон-Тологой // Отечественная геология. – 2021. – № 6. – С. 65–84.
 15. Кузнецов В. В., Инякин А. В., Серавина Т. В., Зайцева М. Н., Корчагина Д. А. Перспективы выявления месторождений свинца и цинка в пределах Салаирской и Ангара-Большепитской минерагенических зон // Материалы XI международного конгресса «Цветные металлы и минералы-2019». – Красноярск, 2019. – С. 677–686.
 16. Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В. [и др.] Основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. – М. : ЦНИГРИ, 2019. – 207 с.
 17. Кузнецов В. В., Серавина Т. В. Методика поисков коренных месторождений свинца и цинка в вулканогенных ассоциациях на закрытых территориях, основанная на опыте работ ФГБУ «ЦНИГРИ» 2010–2022 гг. // Труды научно-практической конференции «Актуальные проблемы поисковой геологии». – М. : 2023. – С. 159–166.
 18. Кузнецов В. В., Серавина Т. В. Прогноз и поиски месторождений свинца и цинка в вулканогенных (VMS) и терригенно-карбонатных ассоциациях (SEDEX) // Материалы XIV международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле». – М. , 2019. – Т. 2. – С. 173–176.
 19. Кузнецов В. В., Серавина Т. В., Донец А. И., Кудрявцева Н. Г., Кузнецова Т. П., Филиппова С. С. История изучения и основные особенности свинцово-цинково-колчеданных месторождений типа MVT Приаргунской минерагенической зоны // Отечественная геология. – 2023. – № 5. – С. 3–25.
 20. Кузнецов В. В., Серавина Т. В., Корчагина Д. А. Минерально-сырьевая база и обстановки локализации полиметаллических месторождений Сибири // Руды и металлы. – 2017. – № 1. – С. 19–32.
 21. Курбанов Н. К. Основные этапы формирования комбинированных медно-полиметаллических месторождений и их соотношение со стадиями эволюции альпийской терригенной геосинклинали Большого Кавказа // Тр. ЦНИГРИ. – 1982. – Вып. 168. – С. 3–18.
 22. Курбанов Н. К., Алиев Г. И., Велиев Г. А. Закономерности размещения и структурные условия локализации колчеданно-медно-пирротиновых месторождений Балакен-Загатайского рудного района // Тр. ЦНИГРИ. – 1971. – Вып. 99. – С. 170–179.
 23. Лобанов К. В., Некос В. В. Месторождения типа SEDEX – важнейший источник Zn, Pb и Ag в мире. Краткий мировой обзор. Перспективы России и Красноярского края // Журнал СФУ. Техника и технологии. – 2017. – № 7. – С. 881–907.
 24. Маракушев А. А., Панях Н. А., Зотов И. А. Петрологическая модель образования сульфидных месторождений // Доклады АН. – 2007. – Т. 416, № 2. – С. 232–235.
 25. Металлогенический кодекс России. Министерство природных ресурсов и экологии РФ, РАН, Отделение наук о Земле / сост. А. И. Кривцов [и др.], отв. ред. Н. В. Межеловский, И. Ф. Мигачев. – М. : Геокарт-ГЕОС, 2012. – 124 с.
 26. Пространственные металлогенические таксоны. Справочное руководство / под ред. А. И. Кривцова и Г. В. Ручкина. – М. : ЦНИГРИ, 2002. – 82 с.
 27. Ручкин Г. В., Донец А. И. Стратиформные свинцово-цинковые месторождения в карбонатных толщах. Серия: Модели месторождений благородных и цветных металлов. – М. : ЦНИГРИ, 2002. – 123 с.
 28. Ручкин Г. В., Конкин В. Д., Кузнецов В. В., Пугачева И. П. Параметрические геолого-поисковые модели колчеданно-полиметаллических месторождений. – М. : ЦНИГРИ, 1992. – 150 с.
 29. Серавина Т. В., Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Кузнецова Т. П., Елишина С. Л. Серебро-свинцово-цинковые месторождения в вулканогенных ассоциациях Черемшанского рудного узла, Дальнегорский рудный район // Руды и металлы. – 2020. – № 2. – С. 47–57.
 30. Смирнов В. И., Бородаевская М. Б. Колчеданные месторождения мира. – М. : Недра, 1979. – 283 с.
 31. Филатов Е. И., Ширай Е. П. Формационный анализ рудных месторождений. – М. : Недра, 1988. – 143 с.
 32. Albardeiro L., Matos J. X., Mendes M., Solá R., Pereira Z., Morais I., Salgueiro R., Pacheco N., Araújo V., Oliveira J. T. Geological correlation of Neves-Corvo Mine and Pomarão Antiform sequences (Iberian Pyrite Belt, Portugal) // Comunicações Geológicas. – 2022. – 107, Especial III. – P. 111–132.

33. *Barrie C. T., Hannington M. D.* Classification of VMS deposits based on host rock composition // *Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits: Processes and Examples in Modern and Ancient Settings*. – 1999. – P. 2–10.
34. *Bastin E. S.* Theories of formation of ore deposits // *Scientific American*. – 1939. – V. 49, № 6. – P. 538–547.
35. *Carne R. C., Cathro R. J.* Sedimentary exhalative (SEDEX) zinc-lead-silver deposits, northern Canadian Cordillera // *CIM Bulletin*. – 1982. – V. 75, № 840. – P. 66–78.
36. *Cox D. P., Singer D. A.* Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin. – 1693. – 379 p.
37. *Franklin J. M., Sangster D. M., Lydon J. W.* Volcanic-associated massive sulfide deposits // *Econ. Geol.* – 1981. – 75th Anniv. vol. – P. 485–627.
38. *Galley A. G., Hannington M., Jonasson I.* Volcanogenic massive sulphide deposits, in: *Mineral deposits of Canada – A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division*. – 2007. – Special Publication 5. – P. 141–161.
39. *Gaspar O. C.* Mineralogy and sulfide mineral chemistry of Neves-Corvo ores, Portugal: insight into their genesis // *The Canadian Mineralogist*. – 2002. – V. 40. – P. 611–636.
40. *Goodfellow W. D., Lydon J. W.* Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits // *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. Geol. Assoc. Canada, Mineral Deposits Division*. – 2007. – Special Publ. № 5. – P. 163–183.
41. *Kuznetsov V. V., Seravina T. V.* VMS and SEDEX (+MVT) deposits of the Russian Federation // *Геология и охрана недр*. – 2020. – № 3. – С. 27–33.
42. *Leach D. L., Sangster D. F.* Mississippi Valley-type lead-zinc deposits // *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. Geol. Assoc. Canada, Mineral Deposits Division*. – 2007. – Special Publ. № 5. – P. 185–203.
43. *Leach D. L., Sangster D. F., Kelley K. D., Large R. R., Garven G., Allen C.R., Gutzmer J., Walters S.* Sediment-hosted lead-zinc deposits: a global perspective // *Society of Economic Geologists. – Economic Geology One Hundredth Anniversary volume, 1905–2005*. – P. 561–607.
44. *Maghfouri S., Hosseinzadeh M. R., Rajabi A., Choulet F.* A review of major nonsulfide zinc deposits in Iran // *Geoscience Frontiers*. – 2018. – 9. – P. 249–272.
45. *Mohseni M. E., Hassannezhad A. A., Taghipour N.* The Mehdiabad zinc-lead-barite deposit in Iran: Implications for fluid inclusion and stable isotopes // *Paideuma journal*. – 2021. – V. XIV, Is. 2. – P. 76–102.
46. *Mosier D. L., Berger V. I., Singer D. A.* Volcanogenic massive sulfide deposits of the world – Database and grade and tonnage models: U.S. Geological Survey Open-File Report. – 2009. – 1034. – 46 p.
47. *Newall P., Hill A., Ellis R., King P., Holley S.* NI 43-101 Technical report for the Neves-Corvo mine, Portugal. – Lunding mining. – 2017. – 236 p.
48. *Pirajno F.* Hydrothermal Processes and Mineral Systems. – Netherlands : Springer, 2009. – 1252 p.
49. *Reichert J., Borg G.* 2008. Numerical simulation and a geochemical model of supergene carbonate-hosted non-sulphide zinc deposits // *Ore Geology Reviews*. – 33. – P. 134–151.
50. *Relvas J., Barriga F., Ferreira A., Noiva P., Pacheco N., Barriga F.* Hydrothermal alteration and mineralization in the Neves-Corvo volcanic hosted massive sulphide deposit, Portugal. I // *Geology, mineralogy, and geochemistry. Economic Geology*. – 2006. – 101. – P. 753–790.
51. *Sangster D. F.* Carbonate-hosted lead-zinc deposits // *Society of Economic Geologists*. – 1996. – Special Publ. № 4. – 664 p.
52. *Shanks W. C., Thurston R.* Volcanogenic massive sulfide occurrence model: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report. – 2010-5070-C. – 2012. – 345 p.

REFERENCES

1. *Avdonin V. V., Boytsov V. Ye., Grigor'yev V. M.* [et al.] Месторождения металлических полезных ископаемых [Deposits of metallic minerals], Moscow, Triksa publ., 2005, 720 p. (In Russ.)
2. *Vikent'yev I. V., Damdinov B. B., Minina O. R., Spirina A. V., Damdinova L. B.* Klassifikatsiya protsessov polimetallicheskogo rudoobrazovaniya i perekhodnyy VMS–SEDEX–MV-tip – primer gigantaskogo Ozernogo mestorozhdeniya v Zabaykal'ye, Rossiya [Classification of polymetallic ore formation processes and transitional VMS–SEDEX–MV type – an example of the giant Ozernoye deposit in Transbaikalia, Russia], *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, V. 65, No. 3, 2023, pp. 201–237. (In Russ.)
3. *Galyamov A. L., Volkov A. V., Lobanov K. V.* Poiskovaya model' SEDEX-MVT mestorozhdeniy arkticheskoy zony [SEDEX-MVT Search Model for Arctic Zone Deposits], *Arktika: ekologiya i ekonomika*, 2016, No. 1(21), pp. 46–55. (In Russ.)

4. Gorzhevskiy D. I., Ruchkin G. V., Klimenko N. G. Mineral'noye syr'ye. Svinets i tsink, Spravochnik [Mineral raw materials. Lead and zinc, Handbook], Moscow, ZAO «Geoinformmark» publ., 1997, 47 p. (In Russ.)
5. Dergachev A. L. Evolyutsiya vulkanogennoy kolchedanoobrazovaniya v istorii Zemli [Evolution of volcanogenic pyrite formation in the history of the Earth], Moscow, MGU publ., 2010, 262 p. (In Russ.)
6. Zavaritskiy A. N. Kolchedannoye mestorozhdeniye Blyava na Yuzhnom Urale i kolchedannyye zalezhi voobshche [The Blyava pyrite deposit in the Southern Urals and pyrite deposits in general], Tr. Geol. In-ta AN SSSR, 1936, No. 5, pp. 26–66. (In Russ.)
7. Zaytseva M. N., Kuznetsov V. V., Konkin V. D., Seravina T. V., Inyakin A. V., Bogoslavets N. N., Khachaturov M. M. Obstanovki formirovaniya mestorozhdeniy svintsa i tsinka Angaro-Bol'shepitskoy mineragenicheskoy zony (Yeniseyskiy kryazh) [Formation environments of lead and zinc deposits of the Angara-Bolshepitskaya mineragenic zone (Yenisei Ridge)], Rudy i metally, 2020, No. 3, pp. 52–67. (In Russ.)
8. Kovalev K. R., Kalinin Yu. A., Lobanov K. V., Naumov Ye. A., Borovikov A. A., Sukhorukov V. P. Gorevskoye polimetallicheskoye mestorozhdeniye (Sibir', Rossiya): mineral'nyy sostav rud i osobennosti rudotolozheniya [Gorevskoye polymetallic deposit (Siberia, Russia): mineral composition of ores and features of ore deposition], Geologiya rudnykh mestorozhdeniy, 2023, V. 65, No. 4, C. 302–336. (In Russ.)
9. Krivtsov A. I., Borodayevskaya M. B., Volchkov A. G. Otsenka prognoznnykh resursov medi, svintsa, tsinka, nikelya, kobal'ta, Metodicheskoye rukovodstvo po otsenke prognoznnykh resursov tverdykh poleznykh iskopayemykh [Evaluation of predicted resources of copper, lead, zinc, nickel, cobalt, Methodological guide to assessing predicted resources of solid minerals], Moscow, TSNIGRI publ., 1986, CH. VI, 107 p. (In Russ.)
10. Krivtsov A. I., Volchkov A. G., Minina O. V. Mestorozhdeniya kolchedannogo semeystva. Seriya «Modeli mestorozhdeniy almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov» [Deposits of the pyrite family. Series «Models of deposits of diamonds, noble and non-ferrous metals»], ed. Krivtsov A. I., Moscow, TSNIGRI publ., 2001, 232 p. (In Russ.)
11. Krivtsov A. I., Migachev I. F., Volodin R. N., Volchkov A. G. Otsenka prognoznnykh resursov almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov. Vypusk “med” [Evaluation of predicted resources of diamonds, precious and non-ferrous metals. Issue “copper”], Moscow, TSNIGRI publ., 2002, 212 p. (In Russ.)
12. Krivtsov A. I., Ruchkin G. V., Kuznetsov V. V. Rol' i mesto mestorozhdeniy rudnoaltayskogo tipa v kolchedannom semeystve [The role and place of deposits of the Ore-Altai type in the pyrite family], Bol'shoy Altay – unikal'naya redkometall'no-zoloto-polimetallicheskaya provintsiya Tsentral'noy Azii, Ust'-Kamenogorsk, 2010, pp. 20–22. (In Russ.)
13. Kuznetsov V. V., Brel' A. I., Bogoslavets N. N., Yelshina S. L., Kuznetsova T. P., Seravina T. V. Metallogeniya Priargunskoy strukturno-formatsonnoy zony [Metallogeny of the Priargunskaya structural-formational zone], Otechestvennaya geologiya, 2018, No. 2, pp. 32–43. (In Russ.)
14. Kuznetsov V. V., Brel' A. I., Kuznetsova T. P., Seravina T. V., Migachov I. F., Donets A. I., Kudryavtseva N. G., Bogoslavets N. N., Yelshina S. L. Osobennosti stroyeniya i mineralogicheskaya kharakteristika rud polimetallicheskogo mestorozhdeniya v vulkanogennykh assotsiatsiyakh (VMS) Noyon-Tologoy [Structural features and mineralogical characteristics of ores of the Noyon-Tologoy polymetallic deposit in volcanogenic associations (VMS)], Otechestvennaya geologiya, 2021, No. 6, pp. 65–84. (In Russ.)
15. Kuznetsov V. V., Inyakin A. V., Seravina T. V., Zaytseva M. N., Korchagina D. A. Perspektivy vyyavleniya mestorozhdeniy svintsa i tsinka v predelakh Salairskoy i Angaro-Bol'shepitskoy mineragenicheskikh zon [Prospects for identifying lead and zinc deposits within the Salair and Angara-Bolshepitskaya mineragenic zones], Krasnoyarsk, 2019, pp. 677–686. (In Russ.)
16. Kuznetsov V. V., Kudryavtseva N. G., Seravina T. V. [et al.] Osnovy prognoza i poiskov kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdeniy Rudnogo Altaya, Moscow, TSNIGRI publ., 2019, 207 p. (In Russ.)
17. Kuznetsov V. V., Seravina T. V. Metodika poiskov korennykh mestorozhdeniy svintsa i tsinka v vulkanogennykh assotsiatsiyakh na zakrytykh territoriyakh, osnovannaya na opyte rabot FGBU «TSNIGRI» 2010–2022 gg. [Methodology for prospecting for primary lead and zinc deposits in volcanogenic associations in closed areas, based on the experience of the Federal State Budgetary Institution «TSNIGRI» in 2010–2022], Trudy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktual'nyye problemy poiskovoy geologii», Moscow, 2023, pp. 159–166. (In Russ.)
18. Kuznetsov V. V., Seravina T. V. Prognoz i poiski mestorozhdeniy svintsa i tsinka v vulkanogennykh (VMS) i terrigenno-karbonatnykh assotsiatsiyakh (SEDEX) [Forecast and prospecting for lead and zinc deposits in volcanogenic (VMS) and terrigenous-carbonate associations (SEDEX)], Materialy XIV mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Novyye idei v naukakh o Zemle», Moscow, 2019, V. 2, pp. 173–176. (In Russ.)
19. Kuznetsov V. V., Seravina T. V., Donets A. I., Kudryavtseva N. G., Kuznetsova T. P., Filippova S. S. Istoriya izucheniya i osnovnyye osobennosti svintsovo-tsin-kovo-kolchedannyykh mestorozhdeniy tipa MVT Priargunskoy mineragenicheskoy zony [History of the study and main features of lead-zinc-pyrite deposits of the MVT type of the Priargunsky mineragenic zone],

- Otechestvennaya geologiya, 2023, No. 5, pp. 3–25. (In Russ.)
20. Kuznetsov V. V., Seravina T. V., Korchagina D. A. Mineral'no-syr'yevaya baza i obstanovki lokalizatsii polimetallicheskih mestorozhdeniy Sibiri [Mineral resource base and localization environments of polymetallic deposits in Siberia], Rudy i metally, 2017, No. 1, pp. 19–32. (In Russ.)
21. Kurbanov N. K. Osnovnyye etapy formirovaniya kombinirovannykh medno-polimetallicheskih mestorozhdeniy i ikh sootnosheniye so stadiyami evolyutsii al'piyskoy terrigennoy geosinklinali Bol'shogo Kavkaza [The main stages of formation of combined copper-polymetallic deposits and their relationship with the stages of evolution of the Alpine terrigenous geosyncline of the Greater Caucasus], Tr. TSNIGRI, 1982, Is. 168, pp. 3–18. (In Russ.)
22. Kurbanov N. K., Aliyev G. I., Veliyev G. A. Zakonomernosti razmeshcheniya i strukturnyye usloviya lokalizatsii kolchedanno-medno-pirrotinovykh mestorozhdeniy Balaken-Zagatal'skogo rudnogo rayona [Regularities of placement and structural conditions of localization of pyrite-copper-pyrrhotite deposits of the Balaken-Zagatala ore region], Tr. TSNIGRI, 1971, Is. 99, pp. 170–179. (In Russ.)
23. Lobanov K. V., Nekos V. V. Mestorozhdeniya tipa SEDEX – vazhneyshiy istochnik Zn, Pb i Ag v mire. Kratkiy mirovoy obzor. Perspektivy Rossii i Krasnoyarskogo kraya [SEDEX-type deposits are the most important source of Zn, Pb and Ag in the world. Brief world review. Prospects of Russia and Krasnoyarsk Krai], Zhurnal SFU. Tekhnika i tekhnologii, 2017, No. 7, pp. 881–907. (In Russ.)
24. Marakushev A. A., Paneyakh N. A., Zotov I. A. Petrologicheskaya model' obrazovaniya sul'fidnykh mestorozhdeniy [Petrological model of formation of sulfide deposits], Dokl. AN, 2007, V. 416, No. 2, pp. 232–235. (In Russ.)
25. Metallogenicheskiy kodeks Rossii. Ministerstvo prirod. resursov i ekologii RF, Ros. akad. nauk, Otdeleniye nauk o Zemle [Metallogenic Code of Russia. Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, Russian Academy of Sciences, Department of Earth Sciences], compiled by A. I. Krivtsov [et al.], ed. N. V. Mezhelovskiy, I. F. Migachev, Moscow, Geokart-GEOS publ., 2012, 124 p. (In Russ.)
26. Prostranstvennyye metallogenicheskiye taksony. Spravochnoye rukovodstvo [Spatial metallogenic taxa. Reference manual], ed. Krivtsov A. I., Ruchkin G. V., Moscow, TSNIGRI publ., 2002, 82 p. (In Russ.)
27. Ruchkin G. V., Donets A. I. Stratiformnyye svintsovo-tsinkovyie mestorozhdeniya v karbonatnykh tolshchakh. Seriya: Modeli mestorozhdeniy blagorodnykh i tsvetnykh metallov [Stratiform lead-zinc deposits in carbonate strata. Series: Models of deposits of noble and non-ferrous metals], Moscow, TSNIGRI publ., 2002, 123 p. (In Russ.)
28. Ruchkin G. V., Konkin V. D., Kuznetsov V. V., Pugacheva I. P. Parametricheskiye geologo-poiskovyie modeli kolchedanno-polimetallicheskih mestorozhdeniy [Parametric geological exploration models of pyrite-polymetallic deposits], Moscow, TSNIGRI publ., 1992, 150 p. (In Russ.)
29. Seravina T. V., Kuznetsov V. V., Kudryavtseva N. G., Kuznetsova T. P., Yelshina S. L. Serebro-svintsovo-tsinkovyie mestorozhdeniya v vulkanogennykh assotsiatsiyakh Cheremshanskogo rudnogo uzla, Dal'negorskii rudnyy rayon [Silver-lead-zinc deposits in volcanogenic associations of the Cheremshansky ore cluster, Dalnegorsk ore region], Rudy i metally, 2020, No. 2, pp. 47–57. (In Russ.)
30. Smirnov V. I., Borodayevskaya M. B. Kolchedannyye mestorozhdeniya mira [Pyrite deposits of the world], Moscow, Nedra publ., 1979, 283 p. (In Russ.)
31. Filatov Ye. I., Shiray Ye. P. Formatsionnyy analiz rudnykh mestorozhdeniy [Formational analysis of ore deposits], Moscow, Nedra publ., 1988, 143 p. (In Russ.)
32. Albardeiro L., Matos J. X., Mendes M., Solá R., Pereira Z., Morais I., Salgueiro R., Pacheco N., Araújo V., Oliveira J. T. Geological correlation of Neves-Corvo Mine and Pomarão Antiform sequences (Iberian Pyrite Belt, Portugal), Comunicações Geológicas, 2022, 107, Especial III, P. 111–132.
33. Barrie C. T., Hannington M. D. Classification of VMS deposits based on host rock composition, Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits: Processes and Examples in Modern and Ancient Settings, 1999, pp. 2–10.
34. Bastin E. S. Theories of formation of ore deposits, Scientific American, 1939, V. 49, No. 6, pp. 538–547.
35. Carne R. C., Cathro R. J. Sedimentary exhalative (SEDEX) zinc-lead-silver deposits, northern Canadian Cordillera, CIM Bulletin, 1982, V. 75, No. 840, pp. 66–78.
36. Cox D. P., Singer D. A. Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin, 1693, 379 p.
37. Franklin J. M., Sangster D. M., Lydon J. W. Volcanic-associated massive sulfide deposits, Econ. Geol., 1981, 75th Anniv. Vol., pp. 485–627.
38. Galley A. G., Hannington M., Jonasson I. Volcanogenic massive sulphide deposits, in: Mineral deposits of Canada – A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, 2007, Special Publication 5, pp. 141–161.
39. Gaspar O. C. Mineralogy and sulfide mineral chemistry of Neves-Corvo ores, Portugal: insight into their genesis, The Canadian Mineralogist, 2002, V. 40, pp. 611–636.

40. *Goodfellow W. D., Lydon J. W.* Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits, Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. Geol. Assoc. Canada, Mineral Deposits Division, 2007, Special Publ. No. 5, pp. 163–183.
41. *Kuznetsov V. V., Seravina T. V.* VMS and SEDEX (+MVT) deposits of the Russian Federation, *Geologiya i okhrana nedr*, 2020, No. 3. pp. 27–33.
42. *Leach D. L., Sangster D. F.* Mississippi Valley-type lead-zinc deposits, Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods. Geol. Assoc. Canada, Mineral Deposits Division, 2007, Special Publ. No. 5, pp. 185–203.
43. *Leach D. L., Sangster D. F., Kelley K. D., Large R. R., Garven G., Allen C.R., Gutzmer J., Walters S.* 2005. Sediment-hosted lead-zinc deposits: a global perspective, Society of Economic Geologists, Economic Geology One Hundredth Anniversary volume, 1905–2005, pp. 561–607.
44. *Maghfouri S., Hosseinzadeh M. R., Rajabi A., Choulet F.* A review of major nonsulfide zinc deposits in Iran, *Geoscience Frontiers*, 2018, 9, pp. 249–272.
45. *Mohseni M. E., Hassannezhad A. A., Taghipour N.* The Mehdiabad zinc-lead-barite deposit in Iran: Implications for fluid inclusion and stable isotopes, *Paideuma journal*, 2021, V. XIV, Is. 2, pp. 76–102.
46. *Mosier D. L., Berger V. I., Singer D. A.* Volcanogenic massive sulfide deposits of the world – Database and grade and tonnage models: U.S. Geological Survey Open-File Report, 2009, 1034, 46 p.
47. *Newall P., Hill A., Ellis R., King P., Holley S.* NI 43-101 Technical report for the Neves-Corvo mine, Portugal, *Lunding mining*, 2017, 236 p.
48. *Pirajno F.* Hydrothermal Processes and Mineral Systems, Netherlands, Springer, 2009, 1252 p.
49. *Reichert J., Borg G.* 2008. Numerical simulation and a geochemical model of supergene carbonate-hosted non-sulphide zinc deposits, *Ore Geology Reviews*, 33, pp. 134–151.
50. *Relvas J., Barriga F., Ferreira A., Noiva P., Pacheco N., Barriga F.* Hydrothermal alteration and mineralization in the Neves-Corvo volcanic hosted massive sulphide deposit, Portugal. I, *Geology, mineralogy, and geochemistry. Economic Geology*, 2006, 101, pp. 753–790.
51. *Sangster D. F.* Carbonate-hosted lead-zinc deposits, Society of Economic Geologists, 1996, Special Publication 4, 664 p.
52. *Shanks W. C., Thurston R.* Volcanogenic massive sulfide occurrence model: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report, 2010-5070-C, 2012, 345 p.

Статья поступила в редакцию 04.07.25; одобрена после рецензирования 15.07.25; принята к публикации 16.07.25.
The article was submitted 04.07.25; approved after reviewing 15.07.25; accepted for publication 16.07.25.