

УДК 553.446'445.068.2:551.73(571.56)

Г. А. Козлов (Институт Карпинского)

ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРАТИФОРМНОГО СВИНЦОВО-ЦИНКОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ (MVT ТИП) В ЭПИПЛАТФОРМЕННЫХ РАННЕПАЛЕОЗОЙСКИХ КОМПЛЕКСАХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ПРИМЕРЕ СИНСКО-БОТОМСКОЙ ПЛОЩАДИ

В статье рассматриваются вопросы локализации и региональные особенности стратиформного свинцово-цинкового оруденения в карбонатных толщах в пределах слабоизученной части венд-раннепалеозойского карбонатного бассейна чехла Сибирской платформы. Дана характеристика породных и вещественных комплексов, тектонических структур, фациальных неоднородностей строения территории, контролирующих положение оруденения, его морфоструктурные, минералого-геохимические особенности, геофизические и изотопно-геохимические характеристики. Обоснована принадлежность оруденения к миссисипскому геолого-промышленному типу стратиформных свинцово-цинковых месторождений, уникальной особенностью которого в пределах Сибирской платформы является связь оруденения с процессами девонско-каменноугольного внутриконтинентального рифтогенеза и Pb, Zn, Ag, Mn специализации руд. Предложенные элементы модели позволяют использовать их в качестве поисковых критериев и индикаторов стратиформного свинцово-цинкового оруденения, в том числе на территориях закрытого типа.

Ключевые слова: свинцово-цинковые месторождения, прогноз, цветные металлы, ранний кембрий.

G. A. Kozlov (Karpinsky Institute)

GENETIC GEOLOGICAL MODEL OF STRATIFORM LEAD-ZINC MINERALIZATION (MVT TYPE) IN EPIPLATFIRM EARLY PALEOZOIC COMPLEXES OF THE SIBERIAN PLATFORM EXEMPLIFIED BY THE SINISK-BOTOMA AREA

The article discusses the issues of localization and regional features of stratiform lead-zinc mineralization in carbonate strata within the poorly studied part of the Vendian-Early Paleozoic carbonate basin of the Siberian Platform cover. It gives the characteristics of rock and material complexes, tectonic structures, facies heterogeneities in the areal structure that control the position of mineralization, its morphostructural, mineralogical and geochemical features, geophysical and isotopic geochemical characteristics. It substantiates that mineralization belongs to the Mississippian commercial geological type of stratiform lead-zinc deposits, a unique feature of which within the Siberian Platform is the association of mineralization with the Devonian-Carboniferous intracontinental rifting and Pb, Zn, Ag, Mn orientation of ores. The proposed model elements make it possible to use them as prospecting criteria and indicators of stratiform lead-zinc mineralization, including in buried areas.

Keywords: lead-zinc deposits, prediction, non-ferrous metals, Early Cambrian.

Для цитирования: Козлов Г. А. Геолого-генетическая модель стратиформного свинцово-цинкового оруденения (MVT тип) в эпиплатформенных раннепалеозойских комплексах Сибирской платформы на примере Синско-Ботомской площади // Региональная геология и металлогения. – 2024. – № 97. – С. 81–99.

Стратиформное свинцово-цинковое оруденение широко распространено в периферийных рифей-венд-раннепалеозойских карбонатных отложениях эпиконтинентального бассейна и пассивной окраины Сибирского континента (рис. 1). Области распространения оруденения и его признаков оконтурены сегодня в семь минерагенических подразделений различного ранга на юго-западной, южной, восточной и северо-восточной границах платформы. В основном они приурочены к крайним час-

тям (Тычано-Столбовская минерагеническая зона (далее МЗ) [7]) и форландам байкальских (Предбайкальская МЗ и Джеллиндинская рудная зона) или киммерийских (Кыллахская потенциальная МЗ, Туора-Сисская МЗ) складчато-надвиговых поясов [6; 7; 21; 25; 26].

В их пределах выявлено три крупных, два средних месторождения и 92 рудопроявления свинца и цинка MVT типа в карбонатных толщах рифея, венда, кембрия и раннего ордовика. В то же время

рудопроявления и пункты минерализации, локализованные во внутриплитных структурах на юго-востоке платформы, а также в ее центральной и северной частях, остаются недостаточно изученными, а минерагеническое районирование данной территории остается несогласованным в рамках карт различного масштаба.

Так, в карбонатных отложениях раннего палеозоя в пределах Алданской антеклизы выявлено девять рудопроявлений и 50 пунктов минерализации свинца и цинка, а в пределах Анабарской антеклизы

и востока Тунгусской синеклизы в аналогичных обстановках выявлено около 20 рудопроявлений и пунктов минерализации, объединяемых в Анабарскую минерагеническую область [17].

Создание методической основы для поисков и оценки подобных объектов, разработка геолого-генетической модели оруденения в раннепалеозойских карбонатных отложениях, выявление его поисковых предпосылок и признаков, в том числе на закрытых территориях, является важной задачей, учитывая, что свинец и цинк относятся

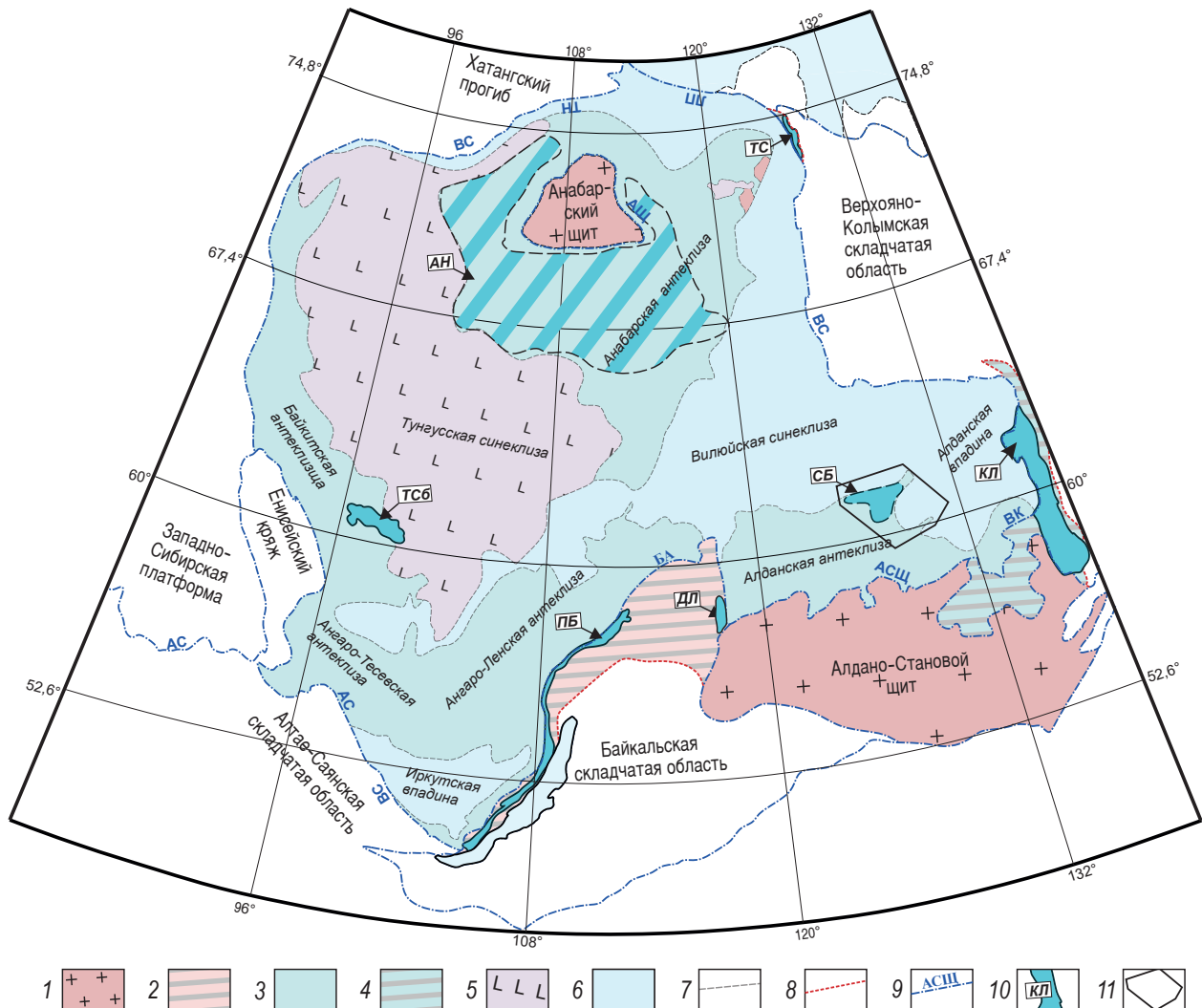


Рис. 1. Схема размещения минерагенических подразделений, специализированных на свинцово-цинковое оруденение MVT типа, в пределах рифей-раннепалеозойских отложений Сибирской платформы и ее складчатого обрамления (на основе данных [4–7; 17; 21] с авторскими дополнениями)

1 – выступы кристаллического фундамента; 2 – рифей-вендские отложения пассивной окраины Сибирского континента в пределах Байкальской складчатой области; 3, 4 – венд-раннепалеозойские карбонатные отложения Сибирского континента: 3 – в пределах Восточно-Сибирской платформы, 4 – в пределах Верхояно-Колымской складчатой области; 5 – области развития покровных пермско-триасовых траппов; 6 – отложения мезозойского и кайнозойского возраста; 7 – границы структурно-тектонических подразделений; 8 – границы распространения отложений рифей-раннепалеозойской пассивной окраины Сибирского континента в пределах его складчатого обрамления; 9 – границы минерагенических провинций и их наименования: БА – Байкальская, АС – Алтае-Саянская, ВС – Восточно-Сибирская, АШ – Анабарский щит, АСШ – Алдано-Становой щит, ВК – Верхояно-Колымская, ТН – Таймырско-Новоземельская, ЛП – Лаптевоморская; 10 – разноранговые минерагенические подразделения со стратиформным Pb-Zn оруденением MVT типа: ПБ – Прибайкальская минерагеническая зона, КЛ – Кыллахская минерагеническая зона, ТС – Туора-Сисская потенциальная минерагеническая зона, ТСБ – Тычанско-Столбовская минерагеническая зона, ДЛ – Джелиндинская рудная зона, АН – Анабарская минерагеническая область, СБ – Синско-Ботомский потенциальный рудный район; 11 – контур рассматриваемой в работе Синско-Ботомской площади

к категории металлов, текущие уровни добычи которых недостаточно обеспечены запасами разрабатываемых месторождений.

Геологическое строение территории. Рассматриваемая в работе площадь расположена в пределах северо-западной части Алданской антеклизы в зоне ее сочленения с Вилуйской синеклизой. Осадочный чехол имеет трехчленное строение (рис. 2).

Нижний структурный этаж представлен нижне-среднекембрийскими карбонатными, терригенно-карбонатными, углеродисто-карбонатными рифогенными отложениями со сложной фациальной зональностью, включающей 17 свит и четыре толщи. Падение пород субгоризонтальное с незначительным погружением на северо-восток не более 1–2°. В зоне контакта с вышележащими толщами фрагментарно развита существенно ожелезненная глинистая кора выветривания мощностью до 20 м.

Средний структурный этаж сложен терригенными и прибрежно-морскими отложениями мезозойского возраста, плащеобразно перекрывающими отложения палеозойского возраста и кору выветривания. Они представлены в пределах территории раннеюрской укугутской свитой.

Верхний структурный этаж сложен терригенными и аллювиально-озерными образованиями сырсарской толщи палеоген-неогенового возраста. Горы представлены существенно ожелезненными песчано-глинистыми отложениями и аллогенными переотложенными корами выветривания, распространенными в долине р. Ботомы. Их аналогом в более возвышенной части водораздела рек Лена и Амга на юге площади являются породы кырбыканской толщи, локализованные в карстовых полостях кембрия.

На площади интенсивно проявлены разрывные нарушения девонско-раннекаменноугольного возраста, формирование которых связано с процессами континентального рифтогенеза в центральной части Сибирской платформы (Палеовилуйская грабен-рифтовая система) [23], южный сегмент которой объединяется в Чаро-Синскую зону [18]. Разрывные нарушения характеризуются существенно раздвиговой кинематикой и группируются в протяженные трещинно-интрузивные пояса шириной 30–45 км при протяженности 300–450 км [18; 23].

Свинцово-цинковое оруденение и его признаки широко развиты в северной части территории. Результаты работ отдела металлогении и месторождений полезных ископаемых Института Карпинского по составлению комплекта Государственной геологической карты масштаба 1 : 1 000 000 листа Р-52 в 2017–2022 гг. позволили оконтурить в пределах территории Синско-Ботомскую перспективную площадь, соответствующую рангу потенциального рудного узла, и сформировать прогнозно-поисковую и геолого-генетическую модель оруденения с выявлением его прогнозных критериев и предпосылок (табл. 1). Всего в ее границах и на сопредельной территории выявлено

четыре рудопроявления и более 45 пунктов минерализации свинца и цинка в карбонатных породах. Все известные проявления приурочены к полям распространения пород кетеменской и титаринской свит раннего кембрия.

Литолого-стратиграфическая и формационная позиция. Горы осадочного чехла платформ наследуют морфологические особенности залегания кристаллического фундамента, что выражается в закономерном положении рифовых и рифогенных отложений и направлении их проградации в ходе эволюции осадочного бассейна (рис. 3). Большинство фациально-палеогеографических реконструкций ранне-среднекембрийского бассейна [2; 19; 20; 25] Сибирской платформы опираются на выделение трех различных генетических типов отложений, отвечающих солеродному лагунному (западному), доманикоидному глубинно-морскому (восточному) и мелководно-морскому с органогенными рифовыми постройками (переходному) типам разрезов (рис. 4, 5). Границы данных фациальных регионов [4; 7; 17] соответствуют выделяемым в пределах территории структурно-формационные области, (далее СФО) [17].

Рассматриваемая площадь приурочена к южной части развития пород переходного типа (Анабаро-Синская СФО) со сложной внутренней фациальной зональностью [3]. Основными структурными элементами районирования территории являются две разновозрастные полосы рифовых отложений: раннекембрийский Западно-Якутский барьерный риф и наследующий его среднекембрийский Танхайско-Усть-Мильский риф [19; 25]. В зависимости от положения относительно осей данных структур северо-восточного простирания в пределах СФО выделяются три структурно-формационные зоны (далее СФЗ), объединяющие отложения фации барьерного рифа (Толбо-Мухаттинская СФЗ, в пределах которой выделены две подзоны (далее СФЗ): Малыканская и Мухаттинская), фации предрифового склона (Синско-Ботомская СФЗ) и мелководно-морские периодически затопляемые банки (Амгинская СФЗ) (рис. 4, 5). В предшествующих исследованиях было показано, что оруденение локализуется только в пределах Синско-Ботомской СФЗ в отложениях тойонского яруса нижнего кембрия, представленных массивными или тонко-слоистыми тонко-мелкозернистыми известняками и доломитами кетеменской и титаринской свит, являющимися геохимически специализированными на Pb, Zn, Mn, Ba и Co, с мощностью рудовмещающего разреза от 10–50 м на юго-западе до 170 м на северо-востоке [12]. По результатам литолого-геохимических исследований карбонатных пород территории установлено и обогащение пород кетеменской и титаринской свит рассеянным кремнистым веществом в виде конкреций и сферолитов, занимающих от 0,2 до 2,0% в породе [2; 12]. Важно отметить, что осадочный рифогенный бассейн располагался на значительном удалении от денудированной суши, что обусловило

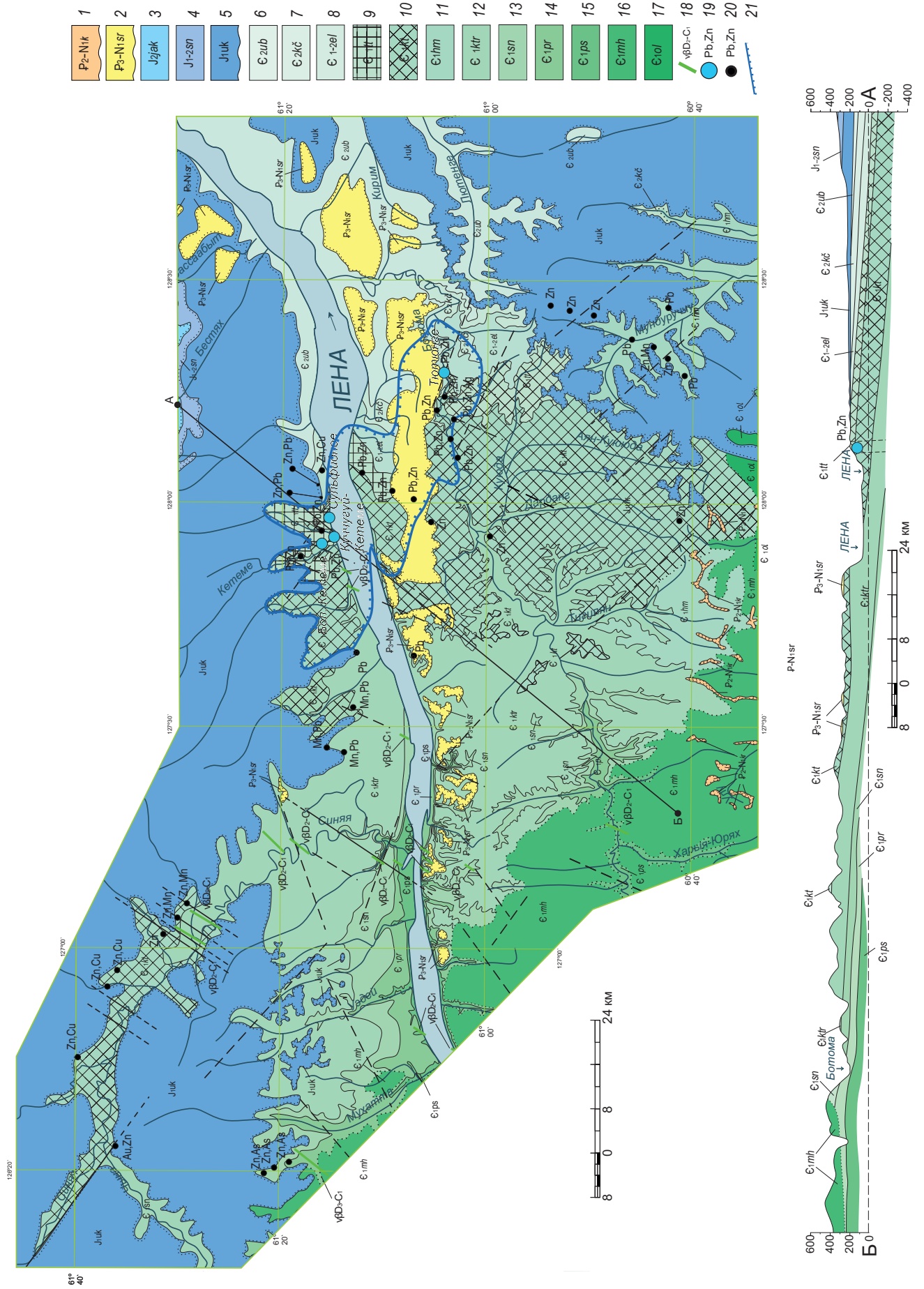


Рис. 2. Карта геологического строения юго-восточной части Анабаро-Синской СФЗ [3–5] (на основе данных В. А. Камалетдинова (1985 г.), С. Д. Костюка (1992 г.) с авторскими дополнениями)
 Кайнозойские отложения: 1 – кырбыканская толща – аллювиальные юры выветривания, 2 – сырсарская толща – гравелисты, песчаники, глины, бурые железняки; ранне-среднеюрские отложения: 3 – якутская свита – песчаники, алевролиты, прослой бурых углей, 4 – сунтарская свита – песчаники, алевролиты, 5 – укутская свита – галечники, алевролиты; среднекембрийские отложения: 6 – усть-ботомская свита – переслаивание глинистых известняков и мергелей, 7 – кычкская свита – известняки органогенно-обломочные, водорослевые, доломиты, мергели, песчаники и алевролиты известковые; ранне-среднекембрийские отложения: 8 – еланская свита – известняки, в том числе органогенно-обломочные, доломиты, песчаники известковые; раннекембрийские отложения: 9 – титаринская свита – массивные доломиты, известняки, 10 – кетеменская свита – известняки массивные, доломиты, 11 – хомустахская свита – известняки и доломиты органогенные, 12 – кутургиновая свита – известняки и доломиты битуминозные, 13 – синская свита – битуминозные сланцеватые алевролиты, аргиллиты, 14 – переходная свита – известняки, глинистые известняки, доломиты, 15 – пестроцветная свита – пестроцветные известняки, мергели, доломиты, 16 – мухаттинская толща – массивные кавернозные доломиты, в том числе водорослевые и оолитовые, 17 – олекминская свита – доломиты, известняки, в том числе органогенно-обломочные; 18 – дифференцированные дайки долеритов – моноклатоидолеритов чарошинского комплекса; 19 – рудопроявления полезных ископаемых и их индексы; 20 – пункты минерализации полезных ископаемых и их индексы; 21 – контуры перспективной Синско-Ботомской площади ранга потенциального рудного узла (выделен авторами)

незначительную примесь терригенного материала и обеднение пород бассейна примесными элементами. В таких обстановках повышенная концентрация Pb, Zn в рудовмещающей части разреза не может быть объяснена их терригенным привносом с размываемой суши [12].

В то же время в конце прошлого века в разрезе кетеменской и титаринской свит нижнего кембрия на левобережье р. Лена были выявлены прослой дезинтегрированных гиалобазальтов [4]. Результаты полевых работ подтверждают наличие линз и прослоев вулканогенного и вулканомиктового материала в разрезе данных свит в пределах площади [12; 13].

Повышенные содержания и закономерные ассоциации Pb, Zn, Ag, Co, Mn, Ba в карбонатных породах являются характерными маркерами синхронного вулканизма в области накопления карбонатных осадков [27]. Направленностью морских течений обусловлен привнос элементов в зону предрифового склона [2; 19; 20; 25], где в условиях гумидного климата и повышенной температуры вод физико-химические особенности среды были благоприятны для накопления элементов на геохимическом и сорбционном барьерах [27]. В то же время барьерный риф не позволял выносить материал западнее, что обусловило обеднение свинцом и цинком более мелководных фациальных аналогов кетеменской и титаринской свит в Амгинской СФЗ, имеющих Li, Rb, Sr специализацию [12].

Важно отметить, что фациальные аналоги рудовмещающих отложений тойонского яруса в Толбо-Мухаттинской СФЗ, отвечающих фациям барьерного рифа, не сохранились в геологической летописи. Не исключено, что данные комплексы, в особенности фации передового рифа, также являлись специализированными на свинец и цинк.

Связь оруденения с фациальными рядами рифовых и черносланцевых отложений является одной из визитных карточек месторождений MVT типа [8; 24]. При этом, если оруденение кетеменского типа локализовано во внешнем, открытом к морскому бассейну сегменту, то для большинства месторождений наблюдается приуроченность оруденения к фациям рифа и предрифового склона или внутренней зарифовой области с открытым и ограниченным водообменом. В аналогичных обстановках локализованы некоторые месторождения *миссисипского* и *миргалимсайского* типов [8; 24].

Подрудные отложения представлены существенно битуминозными известняками, углеродистыми сланцами синской и кутургиновой свит, а также ритмично-слоистыми известняками, доломитами и мергелями пестроцветной и переходной свит. Надрудное положение занимают органогенно-обломочные известняки и известковые песчаники и алевролиты еланской и кычкской свит нижнего и среднего кембрия. Учитывая объемы распространения определенных литологических разновидностей пород в разрезе, особенности их фациального и стратиграфического положения, карбонатные отложения нижнекембрийской части рудовмещающего разреза Синско-Ботомской СФЗ могут быть сопоставлены с кремнисто-известняково-доломитовой рудоносной формацией, характерной для месторождений *миссисипского* типа (табл. 2).

Связь с пликвативной и дизъюнктивной тектоникой. Примечательной особенностью площади является практически не нарушенный характер залегания рудовмещающих толщ. Региональная вергентность залегания пород в северо-восточном направлении обусловлена последовательной компенсацией осадками бассейна Вилуйской синеклизы [20; 25] и морфологией поверхности фундамента. В центральной части площади отмечается наличие крупной, но весьма пологой складки поперечного изгиба или так называемой штамповой складки изометричного типа, ось которой расположена в 60 км к западу от известных проявлений, в районе устья р. Лабыйя [21]. В районе рудопроявлений отмечаются лишь незначительные по длине и амплитуде флексуры и флексурные изгибы низшего порядка. В то же время характерной особенностью строения всего венд-палеозойского чехла юго-западной части Сибирской платформы является распространенность крутых

Геолого-генетическая модель стратиформного Pb-Zn оруденения в раннепалеозойских карбонатных толщах внутриконтинентальной впадины Сибирской платформы кетеменского типа

Признаки	Кетеменский тип
Региональная тектоническая позиция	Внутриконтинентальная впадина кратона
Палеотектоническая позиция	Рифогенный карбонатный комплекс со сложной фациальной зональностью, преимущественно предрифовый склон
Рудоносная формация и субформация	Кремнисто-известково-доломитовая формация; известково-доломитовая субформация
Палеофациальная обстановка отложений рудовмещающих пород	Мелководно-морские условия с органогенными постройками, активная гидродинамика
Рудовмещающие отложения	Рифогенные массивные хемогенные известняки, эпигенетические доломиты
Возраст вмещающих пород	Є ₁
Возраст формирования оруденения	D ₃ -C ₁
Пликативная тектоника	Крыло пологой складки II порядка (угол на крыльях 1-2°); малоамплитудные брахиантиклинальные складки III порядка
Дизъюнктивная тектоника	Не активная. Слабоамплитудные разломы и трещины северо-восточного простирания 20-30° (в пределах проявления не более 1 м)
Магматические образования	Долериты, габродолериты D ₃ -C ₁ , эффузивы и туфы раннего кембрия
Рудоконтролирующие тектонические структуры	Зоны сочленения конседиментационных разломов северо-западного простирания и рифтогенных разломов северо-восточного простирания
Количество рудоносных уровней	Два (три, включая пирит-марказитовый непродуктивный)
Морфология рудных тел	Нижний горизонт – пласти, зоны, горизонты Средний горизонт – рудные ленты, субпластовые залежи Верхний уровень – рудные столбы, субпластовые лентовидные залежи
Преобладающие текстуры руд	Прожилково-вкрапленная, гнездовидная, массивная до колчеданной, брекчиевидная
Гидротермально-метасоматические процессы	Вторичная доломитизация, джаспероидизация, кальцитизация
Основные сульфидные минералы	Пирит, марказит, галенит, сфалерит
Второстепенные сульфидные минералы	Халькопирит, арсенопирит (ед.)
Вторичные минералы	Гётит, гидрогётит, гидрогематит лимонит, гидроокислы Fe-Mn сложного состава, церуссит
Нерудные минералы	Кальцит, доломит, кварц, монтмориллонит, гидрослюда, гипс
Преобладающий тип руд	Сфалерит-галенит-марказит-пиритовый
Элементы примеси	Ag, Mn, Fe, Co
Зональность оруденения	Рост Pb, Zn, Mn к центру, преобладание Zn над Pb во внешней зоне, рост Pb по рудному разрезу
Вторичные преобразования руд	Интенсивный гипергенез
Преобладающая надрудная ассоциация	Sr, Ca
Изотопный состав свинца сульфидов	Близок к составу вмещающих пород
Изотопный состав серы сульфидов	От 7,4 до 12,0‰
Парагенетические магматические образования	Раннекембрийские рифтогенные гиалобазальты и вулканогенно-осадочные породы
Генезис месторождения	Гидротермально-метасоматический
Источник рудного вещества	Вмещающие и подстилающие породы
Механизм транспортировки и способ мобилизации вещества	Мобилизация металлов агрессивными катагенетическими, в том числе нафтидными флюидами в хлоридной и комплексной форме. Осаждение рудных элементов на геохимических и гидродинамических барьерах

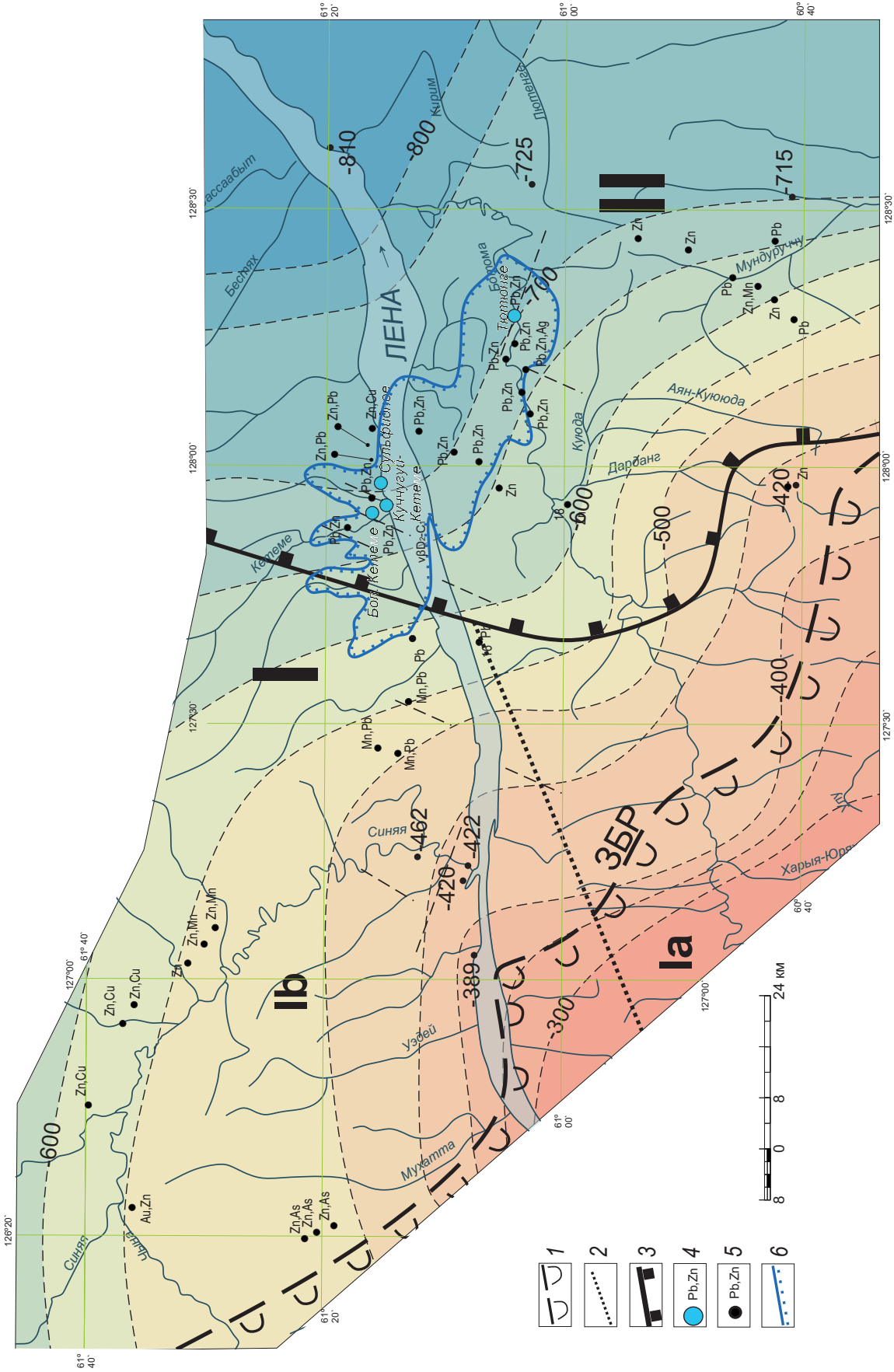


Рис. 3. Схема положения изогипс поверхности докембрийского фундамента Сибирской платформы [4; 21]

1 – внешняя граница распространения рифовых фаций Западно-Якутского барьерного рифа (ЗБР) (современное положение); 2 – границы структур III порядка; Ib – Усть-Синский выступ, Ia – Алдано-Ленский свод; 3 – границы структур II порядка; 4 – Амгинский прогиб и Суолинская котловина; 5 – известные точки минерализации; 6 – контуры перспективной Синско-Ботомской площади ранга потенциального рудного узла

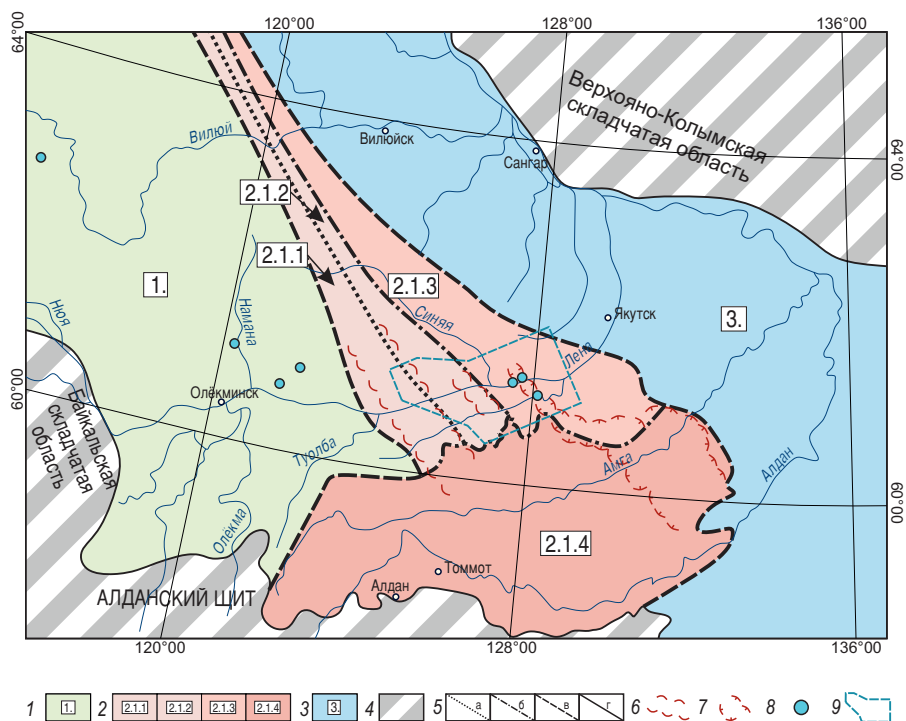


Рис. 4. Схема структурно-формационного районирования раннекембрийских отложений юго-восточной части Восточно-Сибирской платформы (на основе [4] с дополнениями)

1 – Лено-Тунгусская СФО; 2 – Анабаро-Синская СФО; Толбо-Мухаттинская СФЗ: 2.1.1 – Мальканская СФЗ, 2.1.2 – Мухаттинская СФЗ, 2.1.3 – Синско-Ботомская СФЗ, 2.1.4 – Амгинская СФЗ; 3 – Куонамская СФО; 4 – область отсутствия раннекембрийских отложений; 5 – границы структурно-формационных подразделений: а – границы Восточно-Сибирской платформы, б – границы СФО, в – границы СФЗ, г – границы СФЗ; 6, 7 – границы распространения раннекембрийских рифовых отложений: 6 – Западно-Якутский барьерный рифовый комплекс, 7 – Танахайско-Усть-Мильский риф; 8 – положение известных рудопроявлений свинца и цинка; 9 – контуры участка исследования

асимметричных, вплоть до субвертикальных складок в зонах контакта пород с магматическими образованиями чаро-синского комплекса. Такие структуры зафиксированы в пределах рудопроявления Куччугуй-Кетеме.

В целом роль пликативной тектоники в локализации оруденения в долине р. Лена незначительна, однако разновозрастные дизъюнктивы различного генезиса имеют широкое распространение в пределах территории. По результатам обобщения работ предшественников и дешифрирования данных дистанционных снимков в пределах площади могут быть выделены три системы разрывных нарушений (рис. 6).

Наиболее древние из них объединяются в Лена-Ботомскую систему и относятся к структурам, разграничивающим блоки фундамента с выраженной сдвиговой кинематикой при амплитудах смещения до 100 км, отчетливо выраженные в геофизических полях. Разломы данной системы распространены в долине рек Лена и Ботома, формируя линейную структуру шириной 25 км при протяженности до 300 км. Основным разломам – Ленскому и Ботомскому, ограничивающим структуру с севера и с юга, сопутствуют многочисленные разрывы субширотного простирания, выявляемые по данным дешифрирования АФС. Формирование данных структур происходило до формирования чехла платформы.

Вторая – Усть-Учурская система разрывных нарушений включает в себя в пределах площади глубокие Улуйский, Усть-Учурский и Билирский разломы, выраженные знакопеременными аномалиями геофизических полей, ограничивающие различные по составу блоки кристаллического фундамента, что отражается в морфологии его поверхности. Предшественниками данные структуры определялись как рифтогенные [4].

Данные разломы, заложенные на докембрийском этапе развития территории, испытали впоследствии неоднократную ремобилизацию и отчетливо проявлены в карбонатном чехле зонами брекчирования, интенсивной трещиноватостью и малоамплитудными складками, обусловленными неравномерным проседанием блоков фундамента за счет накопления осадков, в связи с чем могут рассматриваться как *конседиментационные*. Крупные разрывные нарушения сопровождаются маломощными сателлитами, мелкими разрывами и трещинами. Их количество и степень проявленности увеличивается к восточному крылу Лено-Алданского поднятия и зоне его сочленения с Амгинским прогибом, там, где прямые и косвенные признаки оруденения проявлены наиболее интенсивно.

Третья зона разрывных нарушений характеризуется северо-восточным простиранием и представлена кулисообразными протяженными линей-

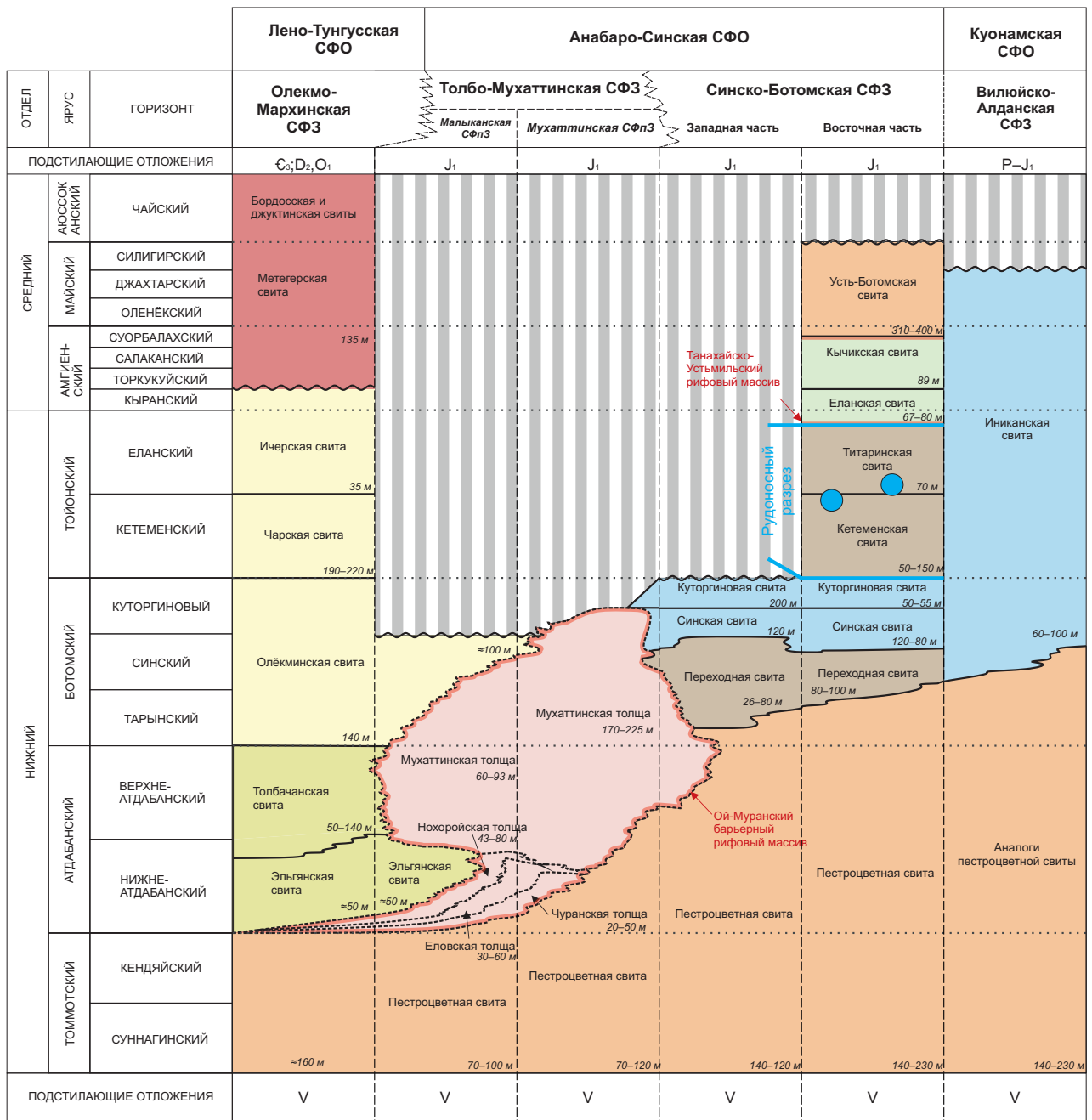


Рис. 5. Схема сопоставления и корреляции разрезов нижнего–среднего кембрия различных типов в восточной части Сибирской платформы (по [4] с авторскими дополнениями)

Синими точками показано положение свинцово-цинкового оруденения в центральной и северо-западной частях Алданской антеклизы

ными трещинно-интрузивными поясами Чаро-Синской тектонической зоны мощностью около 20–40 км при протяженности до 400 км [18; 23]. Данные разломы в пределах площади плохо проявлены в геофизических полях, но отчетливо трассируются дайками долеритов и габродолеритов чаро-синского комплекса. Разломы имеют существенно раздвиговой характер с незначительным (не более 40 м) вертикальным смещением блоков пород при неустановленных масштабах горизонтальных смещений. Данные структуры имеют девонско-раннекаменноугольный возраст, а их формирование связано с процессами внутриконтинентального

рифтогенеза и раскрытием Палеовилуйской грабен-рифтовой системы [18; 23]. В долинах рек Синяя, Ботома и Лена выделяются Туоблинская зона на северо-востоке (№ 1 на рис. 7), Усть-Синская зона в центральной части (№ 2–4 на рис. 7) и Курумканская зона на востоке (№ 5–9 на рис. 7). Характер распространения данных образований восточнее рассматриваемой площади окончательно не ясен. На рис. 7 показано, что все известные рудопроявления локализованы в участках суперпозиций Усть-Учурской и Курумканской зон разрывных нарушений и, несмотря на стратифицированный характер, рудные тела закономерно

Характеристика литологического состава осадочных формаций юго-востока Анабаро-Синской СФО

Характеристика	Содержание литологических разновидностей пород				
	Толбо-Мухаттинская СФ3 (ранний кембрий)	Амгинская СФ3 (ранний кембрий)	Амгинская СФ3 (средний кембрий)	Синско-Ботомская СФ3 (ранний кембрий)	Синско-Ботомская (средний кембрий)
Глинистые осадки	10%	15%	15%	10%	25%
Кремнистые осадки	Менее 1%	Менее 1%	Менее 1%	–	–
Углеродистое вещество	–	Менее 1%	Менее 1%	5%	Менее 1%
Известняки	35%	30%	35%	40%	55%
Доломиты	50%	50%	45%	45%	10%
Трахирiolит-дациты и их туфы, туффиты и другие вулканические образования	–	–	–	Менее 1%	–
Алевролиты, песчаники, гравелиты	–	5%	5%	–	10%
Рудовмещающая формация и ее состав	Глинисто-известковая доломитовая	Глинисто-известковая доломитовая	Кремнисто-известково-доломитовая	Кремнисто-известково-доломитовая	Доломит-глинисто-известняковая

приурочены к крупным проницаемым суб-вертикальным зонам. Такое сочетание тектонических структур также является одной из характерных особенностей оруденения MVT типа в целом и наблюдается на месторождениях всех типов.

Рудно-метасоматическая зональность. Особенности структурно-тектонических и литолого-формационных элементов строения территории обусловили и геохимические особенности генетически связанных с рудами гидротермально-метасоматических (далее ГМ) образований. Выявленные рудопроявления приурочены к горизонтам сопряженных низкотемпературных умереннощелочных и кислотных метасоматитов, формирование которых связано с миграцией в элизонном режиме захороненных седиментогенных катагенетических вод Лена-Оленёкского артезианского палеобассейна [1; 9; 16]. Вещественные проявления данных процессов наблюдаются как в карбонатных породах в виде зональных апокарбонатно-кремнистых метасоматитов, так и в магматических породах девонского и кембрийского возраста в виде аргиллизит-березитовых эпипород.

Площадным распространением пользуются поля эпигенетических доломитов, в то время как кварц-карбонатные и кремнисто-карбонатные метасоматиты (джаспероиды) характеризуются локальным околотрещинным положением и пространственно сопряжены с Pb-Zn рудами (рис. 7). Ореол вторичных преобразований достигает 12 000 км² и превосходит по площади аналогичные структуры крупнейших свинцово-цинковых районов мира, таких как Южный Миссури (1600 км²), Верхнемиссисипский (7800 км²), Верхнесилезский (2800 км²) [28; 33].

Если генетическая связь оруденения MVT типа с площадными ореолами вторичных доломитов является широко распространенной, то окварцевание и окремнение отмечены далеко не на всех объектах MVT типа. Такая зональность характерна для месторождений *миссисипского геолого-промышленного типа* [8; 24]. К примеру, на месторождениях рудного района Три-Стэйт и в округе Металин (США), кварц и халцедоновидный кварц формируют зоны вторичного замещения в ядерной части каверн и пустот или же формируют каркасные колломорфно-друзовые агрегаты в околорудной части рудно-метасоматической колонки [30]. Кварц в виде крупнозернистых кристаллов фиксируется на некоторых месторождениях района Вибурнум Тренд (США) [28]. Также околорудное окварцевание в ядерных частях рудно-метасоматических колонок характерно для некоторых месторождений сарданского типа, например, Маскотт-Джефферсон Сити (США) [30]. Умеренное окварцевание

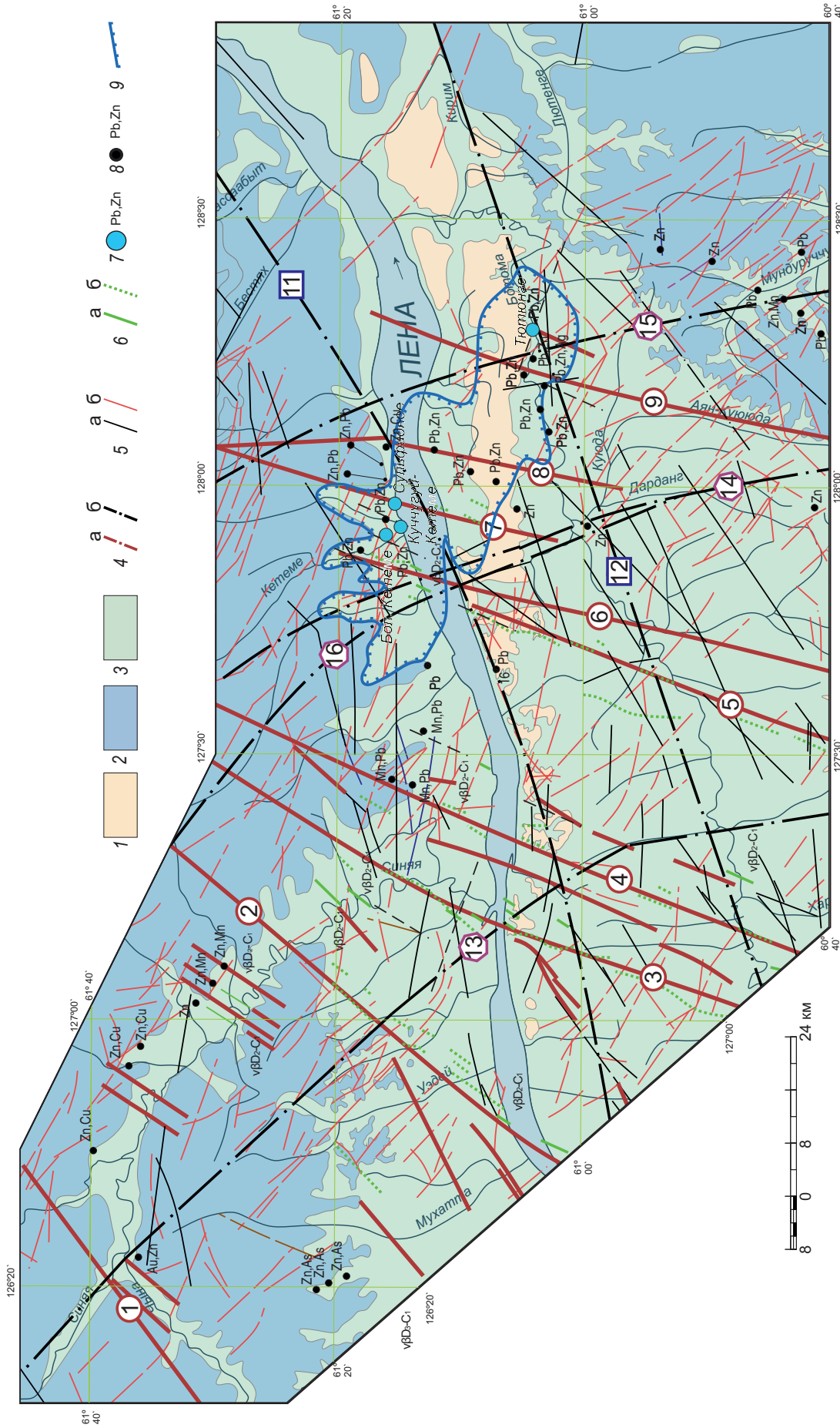


Рис. 6. Тектоническая схема территории юго-восточной части Анабар-Сингинской СФО [4; 21]

1 – породы верхнего структурного этажа (кайнозойские аллювиально-озерные и элювиальные породы); 2 – породы среднего структурного этажа (юрские мелководно-морские и терригенные породы); 3 – породы нижнего структурного этажа: карбонатные, карбонатно-глинистые отложения ранне-среднего кембрия; 4 – проекции плоскостей зон региональных разрывных нарушений 1-го порядка; а – девонского заложения, б – докембрийского заложения; 5 – осевые линии малоамплитудных трещин и разрывов низшего порядка; а – конседиментационного заложения, б – рифтогенного заложения; 6 – интрузивные образования долеритов и габродолеритов чаро-сингинского гипабиссального дифференцированного комплекса; а – выходящие на поверхность, б – не выходящие на поверхность, установленные по данным интерпретации геофизических данных; 7 – рудопроявления полезных ископаемых и их индексы; 8 – пункты минерализации полезных ископаемых и их индексы; 9 – контуры перспективной Синко-Ботомской площади ранга потенциального рудного узла.
 Цифрами на карте обозначены: 1–9 – мантийные разрывные нарушения Чаро-Сингинской зоны палеозойского возраста; 11, 12 – мантийные разрывные нарушения Ленской системы; 13–16 – мантийные и мантийно-коровые разрывные нарушения Учурской системы

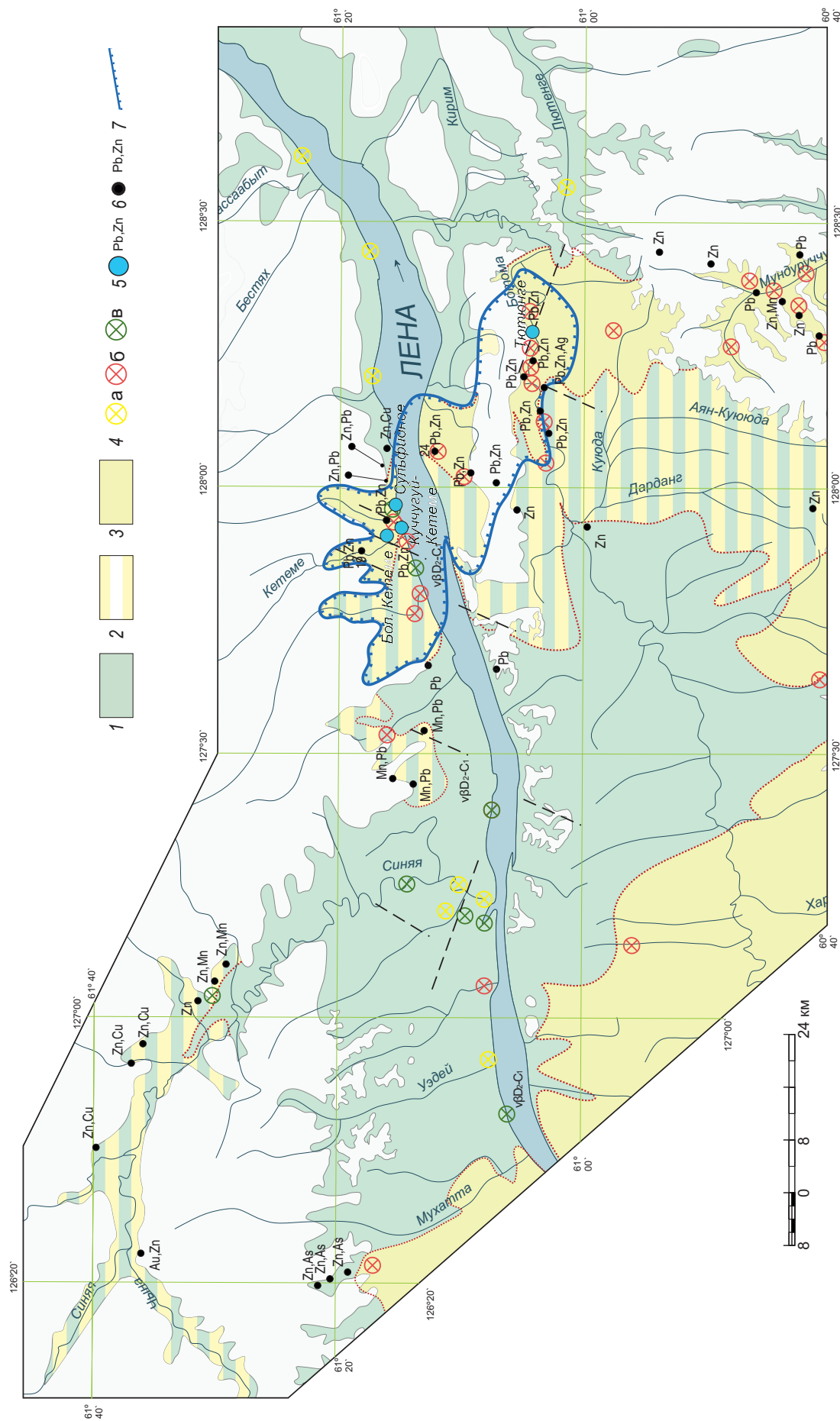


Рис. 7. Карта распространения гидротермально-метасоматических образований по карбонатным породам кембрия и девонским магматическим комплексам в пределах междуречья Лена-Амга
 1 – карбонатные, карбонатно-глинистые отложения раннего-среднего кембрия, не подверженные вторичным преобразованиям; 2 – области площадного развития слабо и умеренно проявленной эпигенетической доломитизации (10–75% новообразованных минералов); 3 – области полнопроявленного площадного развития эпигенетической доломитизации (более 75% новообразованных минералов); 4 – вмесаштабные участки развития ГМ образований; а – эпигенетической доломитизации, б – кварц-карбонатных метасоматитов (джаспероидов), в – аргиллизит-березитовых метасоматитов; 5 – рудопроявления полезных ископаемых и их названия; 6 – пункты минерализации полезных ископаемых и их индексы; 7 – контуры перспективной Синюю-Ботомской площади ранга потенциального рудного узла

вещающих и околорудных пород наблюдается на месторождениях шалкинского типа [9; 22]. В целом наличие кварцевой составляющей в разрезе рудоносных ГМ образований обуславливается степенью его концентрации в осадочных породах-протолитах. Как уже отмечалось, обогащение кремнистым веществом является региональной особенностью карбонатных пород юго-востока Сибирской платформы [2].

Геохимические особенности апокарбонатно-кремнистых метасоматитов значительно разнятся для продуктивного и непродуктивного типов разреза Анабаро-Синской СФО, что обусловлено литолого-геохимическими особенностями пород-протолитов [12; 13]. Предшествующие исследования показали, что в пределах Амгинской СФЗ метасоматиты характеризуются слабо выраженной Si, Mo, W, Zn специализацией и не несут оруденения. В то время как для Синско-Ботомской СФЗ характерна Pb, Zn, Mn, Ag специализация метасоматитов и руд. Обращает на себя внимание выраженное обеднение руд кетемского типа такими характерными типоморфными элементами, как Ba и F, а также примесными элементами: Cd, Ge, In. Возможной причиной этого является слабая сохранность сфалерита в зоне окисления и переконцентрация Zn на более глубокие горизонты. Полученные данные указывают на *региональную минералого-геохимическую особенность* руд и в дальнейшем, в случае проведения поисковых и других крупномасштабных работ, могут быть существенно дополнены.

Марганец, содержание которого достигает в рудах от 3–5 до 10%, не является типоморфным минералом-спутником руд MVT типа, однако зачастую формирует значительные концентрации вплоть до промышленнозначимых во внешних ореолах рудно-метасоматической системы, на флангах рудных полей и узлов, а также в глубоководных фациальных аналогах рифогенных отложений. Такие примеры известны в рудовещающих отложениях месторождения Озерное Предбайкальской минерагенической зоны [22], а также месторождений миргалимсайского и шалкинского типов в ассоциации с периферийными частями рудных зон [9; 22; 24] или на пространственно-сопряженных свинцово-цинковых и марганцеворудных рудопроявлениях и месторождениях Пай-Хой-Новоземельской и Уральской минерагенических провинций. На месторождении Миргалимсай марганцевая минерализация в виде окислов и карбонатов приурочена к ядерной части рудно-метасоматической колонки и ассоциирует с серебром и баритом [22].

Серебро, содержание которого в рудах достигает 34–100 г/т, может считаться характерным сопутствующим элементом на месторождениях сарданского типа. К примеру, для месторождения Сардана прогнозные ресурсы серебра категории Р₁ составляют 679 т [11], для месторождений Прейри Крик и Нанисивик в Канаде среднее содержание серебра в рудах составляет 161 и 34 г/т соответственно [32]. На месторождениях мирга-

лимсайского типа серебро наблюдается в ядерной части рудно-метасоматической колонки в ассоциации с баритовым ядром. Месторождения миссисипского типа являются наиболее сложными и разнообразными по составу примесных элементов, в особенности месторождения района Вибурнум Тренд, где Cu разрабатывается в качестве попутного компонента, а в качестве примесных и акцессорных (местами и порообразующих) минералов выявлен широкий спектр минералов Co, Ni, Fe, Ag, Sb, самородное Au [30].

Рудная зональность сопряжена с гидротермально-метасоматической и характеризуется своими минералого-геохимическими особенностями. В пределах известных рудопроявлений до 90% объема руд подвержены интенсивному окислению, что осложнило выявление минеральных парагенезисов, этапов и уровней оруденения. Руды рассматриваемой территории характеризуются простым минеральным составом. Основными минералами руд являются пирит, марказит, галенит и сфалерит, из нерудных минералов преобладают кварц, сидерит, доломит.

В рудоносной части разреза может быть выделено в общей сложности три рудных уровня, а также зона наложенного гипергенеза (табл. 3).

Рудные тела *нижнего уровня* не являются продуктивными и характеризуются марказитовым и пирит-марказитовым составом при низких содержаниях Pb, Zn, вкрапленной и прожилково-вкрапленной текстурами. Данный уровень приурочен к средней, местами к нижней части разреза кетемской свиты с суммарной мощностью около 30–70 м.

Центральнорудный уровень приурочен к верхней части разреза кетемской свиты и зоны ее стратиграфического контакта с титаринской свитой. Для него характерно развитие «колчеданной» пирит-марказитовой со сфалеритом и галенитом минерализации с локальными участками развития сфалерит-пирит-марказит-галенитовых до существенно сфалеритовых руд. Мощность данного уровня составляет в среднем 50–55 м. Рудные тела данного уровня фиксируются на проявлениях Большая Кетеме и Куччугуй-Кетеме, а также на проявлении Тютюнге (в окисленном и полностью разложенном виде) и на рудопроявлении Сульфидное, где слагают рудные тела в нижней части близ уреза воды р. Лена. Кроме того, данные образования вскрываются скважинами, пройденными с цоколя неоген-четвертичных террасовых отложений р. Лена, в районе рудопроявления Сульфидное [4].

Верхнерудный уровень приурочен к толще эпигенетических доломитов титаринской свиты, преимущественно к ее нижней части. Наиболее характерными для него являются тела существенно галенитовых руд с различными содержаниями пирита, марказита и сфалерита, с широким развитием кварц-карбонатных метасоматитов. Мощность данного уровня составляет от 10 до 50 м и зависит от степени тектонической переработки пород титаринской свиты в средней и верхней частях разреза. Соответствующие породы установлены

Таблица 3

Характеристика уровней оруденения в пределах изученной территории и их основные отличительные особенности

Уровень оруденения	Нижний уровень	Центральный уровень	Верхний уровень	Зона гипергенеза
Минеральные разновидности руд	Пиритовые, марказитовые	Сфалерит-марказит-пиритовые, сфалерит-галенит-марказит-пиритовые, существенно сфалеритовые	Пирит-марказит-галенитовые и существенно галенитовые с пиритом	Лимонит-гётитовые с галенитом и церусситом, реже пирролизит-псиломелан-лимонитовые
Текстура	Вкрапленная, гнездовидно-вкрапленная, редко массивная	Вкрапленная, гнездовидно-вкрапленная, массивная «колчеданная»	Прожилково-вкрапленная, вкрапленная, массивная, брекчиевая	Наследует текстуры первичных руд, колломорфная
Структура	Гранобластовая, аллотриоморфно-нозернистая, мелкозернистая	Гранобластовая, аллотриоморфно-зернистая, мелко-среднезернистая	Мелко-среднезернистая до крупнозернистой, аллотриоморфнозернистая	Тонко-мелкозернистая, реликто-вая, аллотриоморфнозернистая
Рудные минеральные ассоциации	Пирит-марказит-сфалерит	Пирит-марказит-сфалерит-галенит	Галенит-сфалерит, пирит	Лимонит-гётит-церуссит-галенит
Нерудные минералы	Доломит, Mn-доломит, кварц, халцедон	Доломит, Fe-доломит, Mn-кальцит, сидерит, лимонит	Манганоделомит, доломит, Mn-доломит, сидерит, халцедон, кварц, лимонит	Редки, преимущественно халцедоновоидный кварц
Акцессорные минералы		Кварц, халцедон, пирролизит, вернадит, кальцит	Пирролизит, вернадит, гётит, гидрогётит, смитсонит	Гематит, гидрогематит, смешанно-слоистые минералы
Среднее содержание	Zn – 0,025–0,5%; Pb – 0,02%	Zn – 0,5–6,0%; Pb – 0,5–3,2%	Zn – 1,0–3,0%; Pb – 2,5–13,1%	Zn – в среднем до 0,5%; Pb – 0,5–4,2%
Элементы-примеси	Fe, Ag	Fe, Mn, Ag, Cu, Ba	Fe, Mn, Ag, Cu, Ba	Fe, Mn, Ba, Ag, Cu
Морфология рудных тел	Пласты, линзовидные зоны	Пласты, линзы, рудные ленты	Линзы, рудные ленты, реже рудные столбы	Наследуют морфологию первичных руд
Проявления и пункты минерализации	Куччугуй-Кетеме	Куччугуй-Кетеме, Сульфидное, Тютюнге	Сульфидное	Тютюнге, Сульфидное, Куччугуй-Кетеме

на рудопроявлении Сульфидное в верхней части рудопроявления в западном распадке.

Надрудные уровни сложены преимущественно кварц-кальцитовыми, кальцитовыми и кварц-кальцит-доломитовыми жильными метасоматитами, приуроченными преимущественно к трещинам. Также в кровельной части кембрийского плато в пределах потенциального рудного поля рудопоявления Сульфидное и Куччугуй-Кетеме отмечаются карстовые провалы, сложенные грубообломочной карбонатной существенно ожелезненной брекчией с цементом в виде гидроокислов железа.

Для рудных тел различного уровня характерны как схожие, так и весьма отличные элементы зональности и строения. Нижнерудный уровень характеризуется развитием существенно вкрапленных и прожилково-вкрапленных пирит-марказитовых руд, центральный – массивными и прожилково-гнездовидными рудами, а верхний – брекчиевидными и столбообразными рудами.

Важный элемент зональности – отношение Pb к Zn для нижних горизонтов составляет 1 : 2–1 : 5, в центральных рудных уровнях оно составляет от 1 : 1–1 : 3, а в верхне-рудном уровне увеличивается с 2 : 1 до 5 : 1 с преобладанием Pb. Повышенное отношение Pb к Zn в верхних частях коренных выходов зачастую приурочено к зоне окисления и может указывать на наличие нескрытого несульфидного цинкового оруденения по примеру месторождений Ачисайское (Казахстан) или Бытом (Польша) [8; 24]. В целом для оруденения наблюдается характерная вертикальная и концентрическая зональность при росте содержания свинца, цинка к центральным зонам оруденения при более широком развитии галенитовых руд в верхней и центральной частях проявлений. Такая морфология позволяет ассоциировать оруденение кетемского типа с объектами миссисипского геолого-промышленного типа [8; 24].

Развитие массивных до «колчеданных» пирит-марказитовых руд является не характерным для месторождений MVT типа. Существенно пиритовые вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды присутствуют на большинстве объектов миссисипского типа, но не всегда выделяются авторами в качестве рудных горизонтов ввиду рассеянного характера минерализации и низких содержаний полезных компонентов.

Характер фракционирования изотопов серы в сульфидах из руд территории при незначительных колебаниях значений от +7,4 до +12‰ [13] указывает на наличие как минимум двух существенно коровых ее источников, которыми с наибольшей долей вероятности выступали сульфаты морской воды, инфильтрующиеся из области солеродных лагунных отложений Лено-Тунгусской СФО и углеродистые отложения синской и куторгиновой свит. Такие изотопные характеристики серы и их интерпретации отмечаются для многих объектов MVT типа [10; 22; 24; 28; 33]. Изотопный состав свинца в сульфидах из руд и околорудных метасоматитов характеризуется как весьма близкий с составом рудовмещающих пород [15].

В целом изотопные характеристики серы и свинца сульфидов характерны для пород и руд месторождений *сарданского и миссисипского типов* [8; 22; 24].

Выводы. Приводимые особенности Pb-Zn оруденения в пределах внутриплитного бассейна Сибирской платформы позволяют сопоставить его с *миссисипским геолого-промышленным типом* не только на основе геодинамического положения, но и на основе литолого-геохимических особенностей рудно-осадочного бассейна, пликативной и дизъюнктивной тектоники, характера гидротермально-метасоматических образований и их зональности, а также морфологических и структурно-вещественных особенностей оруденения.

Вышеперечисленные особенности геолого-генетической модели оруденения кетемского типа позволяют выделить и ряд закономерных особенностей оруденения территории. В первую очередь – весьма широкую проявленность и масштабность ореолов низкотемпературных ГМ образований с высоким содержанием кремнезема, геохимическую специализацию руд, а также наличие «колчеданных», существенно пирит-марказитовых типов руд. Кроме того, отличительной особенностью оруденения является то, что региональным геодинамическим процессом, «запустившим» рудоформирующий, стал континентальный рифтогенез, в то время как большая часть известных месторождений MVT типа приурочена к внешним зонам складчатых областей, а формирование оруденения, как правило, связано с процессами орогенеза.

Синрифтовые тектонические процессы сформировали в пределах Юго-Восточной Якутии значительную по площади магмо- и тектоноактивную зону, разделенную на несколько сегментов, оперяющих оси Палеовиллюйского и Молодинского рифтов [18]. Такое крупномасштабное тектоническое событие, несмотря на существенно раздвиговую кинематику процессов, привело к формированию проницаемых структур и вызвало миграцию рудогенерирующих рассольных катагенетических вод в элизонном режиме. Из мировых объектов-аналогов MVT типа в схожей геодинамической обстановке сформировано несколько месторождений, таких как Нанисвик в Канаде (*сарданский тип*) [31] и месторождения рудного района Леннард Шельф *миссисипского типа* в Австралии [29; 32].

Заключение. Представленная геолого-генетическая модель стратиформного свинцово-цинкового оруденения показывает, что в пределах северного склона Алданской антеклизы рудоконтролирующую роль выполняют крупные осадочные и тектонические структуры, характеризующиеся региональным распространением в пределах платформенного комплекса Сибирской платформы. Это касается, в первую очередь, карбонатных рифовых отложений кембрий-ордовикского возраста, протягивающихся через всю Сибирскую платформу от устья р. Хатанга на северо-западе до р. Амага на юго-востоке, а также фрагментарно наблюдаю-

щиеся в пределах Харулахского и Омүлөвского поднятий на северо-востоке континента и микроконтинентах Колымо-Омолонского блока [21]. Такая общность развития осадочного бассейна и наложенных тектоно-магматических процессов в пределах Сибирской платформы позволяет предполагать, что прогнозно-поисковый потенциал свинцово-цинкового оруденения, связанного с внутриконтинентальными впадинами Сибирской платформы, еще не раскрыт.

На текущий момент для области распространения карбонатных отложений в северной части Синско-Ботомской площади, на левобережье р. Лена подсчитаны и апробированы прогнозные ресурсы категории P_3 , составляющие 187 тыс. т Pb и 603 тыс. т Zn [4]. Прямые и косвенные признаки свинцово-цинкового оруденения отмечаются в широкой полосе рифогенных, преимущественно кембрийских отложений как на западе, так и на юге Анабарской антеклизы, а также на севере и северо-западе Алданской антеклизы, в месте ее сочленения с Березовским прогибом в виде практически непрерывной полосы, разделенной наложенной мезозойской Вилюйской синеклизой [14]. В то же время степень изученности данных объектов крайне низкая и лишь единицы из них заверялись горными выработками. Частично это связано с пространственной удаленностью выявленных объектов и исторически сложившейся специализацией геолого-поисковых работ в пределах территории на алмазы и горючие полезные ископаемые (нефть, газ, уголь). Предлагаемые элементы модели стратиформного свинцово-цинкового оруденения применимы для всей территории развития рифогенных венд-раннепалеозойских отложений Сибирской платформы и могут быть использованы в качестве прогнозно-поисковых критериев оруденения при проведении средне- и крупномасштабных работ. В наибольшей степени они применимы к площади Анабарской минерагенической области как наименее изученной на предмет стратиформного Pb-Zn оруденения [17].

Автор выражает благодарность заведующему отделом металлогении и геологии МПИ Института Карпинского А. В. Молчанову, директору центра прогнозно-металлогенических исследований Института канд. геол.-минерал. наук В. В. Шатову, д-ру геол.-минерал. наук В. Д. Конкину, зав. Отделом цветных металлов ЦНИГРИ канд. геол.-минерал. наук В. В. Кузнецову за ценные консультации, содержательные обсуждения, помощь и поддержку в подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басков Е. А. Минеральные воды и палеогеогеология Сибирской платформы. – М. : Недра, 1977. – 145 с.
2. Булгакова М. Д. Осадочно-гидротермальные силциты раннего кембрия средней Лены // Металлоносность осадочных и магматических комплексов средней Лены. – Якутск : ЯНЦ СО РАН, 1995. – С. 109–119.
3. Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т. 3. Восточная Сибирь / ред. Н. С. Малич, Е. П. Миронюк, В. П. Орлов, Е. В. Туганова. – СПб. : ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2002. – 396 с.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000. Третье поколение. Серия Анабаро-Вилюйская. Лист P-52 – Якутск. Объяснительная записка / И. О. Лебедев, Г. А. Козлов, А. В. Молчанов и др. – СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2022. – 290 с.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Серия Амгинская, Листы P-52-XXV (Синск), P-52-XXVI (Тит-Ары), P-52-XXVII (Булгунняхтах). Объяснительная записка / ред. О. И. Щербаков, Л. А. Юганова, М. Л. Коккоулин и др. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 1999. – 75 с.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист N-49 – Чита. Объяснительная записка / Н. А. Фишев, К. М. Шелгачев, В. И. Игнатович, Ю. П. Гусев. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011. – 604 с.
7. Государственная геологическая карта СССР. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист P-46,47 – Байжит. Объяснительная записка / ред. Е. К. Ковригина. – Л. : ВСЕГЕИ, 1984. – 154 с.
8. Донец А. И. Геолого-промышленные типы и региональные геологические особенности стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных толщах / А. И. Донец, Г. В. Ручкин, В. Д. Конкин // Отечественная геология. – 2017. – № 6. – С. 31–38.
9. Донец А. И. Метасоматические доломиты – основные рудовмещающие породы Сарданского рудного района (Якутия) / А. И. Донец, В. Д. Конкин, В. М. Крутий // Геология рудных месторождений. – 1978. – № 6. – С. 90–93.
10. Ковалев К. Р. Изотопные исследования в решении проблем рудогенеза Озернинского рудного узла / К. Р. Ковалев, А. П. Перцева, А. И. Бусленко // Изотопные исследования процессов рудообразования. – Новосибирск : Наука, 1991. – С. 56–83.
11. Ковтонюк Г. П. Прогнозные ресурсы твердых и твердых горючих (уголь) полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2019 года. Вып. 2. Благородные металлы и алмазы / Г. П. Ковтонюк, Р. В. Грушин, А. Б. Анисимова, С. А. Данильянц. – М. : ФГБУ «Росгеолфонд», 2019. – 202 с.
12. Козлов Г. А. Литолого-геохимические особенности раннекембрийских карбонатных отложений юго-восточной части Анабаро-Синской структурно-формационной области Республики Саха (Якутия) и их связь со стратиформным свинцово-цинковым оруденением / Г. А. Козлов, В. Е. Гузев, А. В. Молчанов, А. В. Терехов // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 86. – С. 31–44.
13. Козлов Г. А. Минералого-геохимические особенности и рудоносность апокарбонатно-кремнистых гидротермально-метасоматических образований в раннекембрийских отложениях Синско-Ботомской структурно-формационной зоны, Республика Саха (Якутия) / Г. А. Козлов, С. В. Кашин, В. Е. Гузев, А. В. Молчанов, А. В. Терехов // Региональная геология и металлогения. – 2021. – № 88. – С. 65–83.
14. Козлов Г. А. Перспективы выявления стратиформных месторождений свинца и цинка в палеозойских карбонатных отложениях юго-восточной части Сибирской платформы // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов». – М. : ЦНИГРИ, 2022. – С. 98–101.
15. Козлов Г. А. Рудно-формационная принадлежность Pb-Zn-Mn оруденения в раннекембрийских карбонатных отложениях Синско-Ботомской структур-

но-формационной зоны, Республика Саха (Якутия) / Г. А. Козлов, А. В. Терехов, В. Е. Гузев, О. Л. Соловьев, Е. И. Хорохорина, Ю. Л. Светлова // Материалы II Молодежной научно-образовательной конференции «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче». – М. : ЦНИГРИ, 2021. – С. 77–78.

16. Крайнов С. Р. Гидродинамические и геохимические условия формирования стратиформной Zn-Pb сульфидной рудной минерализации хлоридными растворами / С. Р. Крайнов, Б. Н. Рыженко, Е. В. Черкасова // Геохимия. – 2006. – № 4. – С. 298–425.

17. Легенда Анабаро-Виллюйской серии листов ГКК РФ масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). – СПб. : ВСЕГЕИ, 2009. – 311 с.

18. Масайтис В. Л. Вулканизм и тектоника Патомско-Виллюйского среднепалеозойского авлакогена / В. Л. Масайтис, М. В. Михайлов, Т. В. Селивановская. – М. : Недра, 1975. – 183 с.

19. Мельников Н. В. Палеогеография Сибирской платформы в раннем кембрии / Н. В. Мельников, В. А. Асташкин, Л. И. Килина и др. // Палеогеография фанерозоя Сибири (сб. науч. трудов СНИИГГиМС). – Новосибирск, 1989. – С. 10–17.

20. Палеогеография Сибирской платформы в кембрии / Я. К. Писарчик, М. А. Минаева, Г. А. Русецкая // Труды ВСЕГЕИ, нов. сер. Т. 215. – Л. : Недра, 1975. – 195 с.

21. Перспективы выявления месторождений миссисипского типа на Северо-Востоке России / А. Л. Галямов, А. В. Волков, К. Ю. Мурашов, В. Н. Сидорова, Т. П. Кузнецова // Литосфера. – 2020. – Т. 20, № 2. – С. 254–270.

22. Принципы и методы построения геолого-генетических моделей стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных и терригенных формациях / ред. Д. И. Горжевский, В. Д. Конкин, А. И. Донец, В. В. Кузнецов, Е. Б. Соловьев // Геолого-генетические модели стратиформных месторождений свинца и цинка. – Новосибирск : Наука, 1991. – С. 5–41.

23. Рифтогенная природа формирования Виллюйского бассейна (Восточная Сибирь) на основе реконструкций осадконакопления и механикоматематических моделей / О. П. Полянский, А. В. Прокопьев, А. В. Бабичев, С. Н. Коробейников, В. В. Ревердатто // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 2. – С. 163–183.

24. Ручкин Г. В. Стратиформные свинцово-цинковые месторождения в карбонатных толщах / Г. В. Ручкин, А. И. Донец. – М. : ЦНИГРИ, 2002. – 124 с.

25. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Кембрий Сибирской платформы. Т. 1. Стратиграфия / ред. Ю. Я. Шабанов. – Новосибирск : Изд-во ИНГГ СО РАН, 2016. – 497 с.

26. Стратиформные свинцово-цинковые месторождения в отложениях венда Юго-Восточной Якутии / В. Г. Пономарев, Ю. В. Давыдов, А. А. Тышинский. – Новосибирск : Наука, 1979. – 232 с.

27. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Геохимические индикаторы литогенеза (литологическая геохимия). – Сыктывкар : Геопринт, 2011. – С. 742.

28. A deposit model for Mississippi Valley-Type lead-zinc ores, chap / D. L. Leach, R. D. Taylor, D. L. Fey, S. F. Diehl, R. W. Saltus // A of Mineral deposit models for resource assessment: U. S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–A. – 2010. – 52 p.

29. Dörling S. L., Groves D. I., Muhling P. Lennard Shelf Mississippi Valley-type (MVT) Pb-Zn deposits, Western Australia // AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics. – 1998. – No. 17 (4). – Pp. 115–120.

30. Heyl A. V. Geologic characteristics of three major Mississippi Valley districts, in Kisvarsanyi / eds.: G. Grant, S. K. Pratt, W. P. and J. W. Koenig // International conference on Mississippi Valley type lead-zinc deposits. – University of Missouri Rolla, 1983. – Pp. 27–60.

31. Olson R. A. Genesis of paleokarst and stratabound zinc-lead sulfide deposits in a Proterozoic dolostone, northern Baffin Island. – Canada : Economic Geology, 1984. – Vol. 79. – Pp. 1056–1103.

32. Page R. W., Sun S.-S. Aspects of geochronology and crustal evolution in the Eastern fold belt, Mt. Isa inlier // Australian Journal of Earth Sciences. – 1998. – Vol. 45. – Pp. 343–362.

33. Paradis S., Hannigan P., Dewing K. Mississippi Valley-type lead-zinc deposits / ed. by W. D. Goodfellow // 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. Special Publication, 2007. – No. 5. – Pp. 185–203.

REFERENCES

1. Baskov M. A. Mineral'nye vody i paleogidrogeologiya Sibirskoj platform [Mineral waters and paleogeography of the Siberian platform]. Moscow, Nedra, 1977, 145 p. (In Russian).

2. Bulgakova M. D. Osadochno-gidrotermal'nye silitsity rannego kembriya sredney Leny [Early Cambrian sedimentary hydrothermal silicites of the middle Lena]. Metallic content of sedimentary and magmatic complexes of the middle Lena. Yakutsk, 1995, pp. 109–119. (In Russian).

3. Geologiya i poleznye iskopaemye Rossii. V shesti tomakh. Tom 3. Vostochnaya Sibir' [Geology and mineral deposits of Russia, vol. 6, East Siberia]. Eds.: N. S. Malich, E. P. Mironyuk, V. P. Orlov, E. V. Tuganovayu. St. Petersburg, FGBU «VSEGEI», 2002, 396 p. (In Russian).

4. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii mashtaba 1 : 1 000 000. Tret'e pokolenie. Seriya Anabaro-Vilyujskaya. List P-52 – Yakutsk. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1 000 000. Third edition. Anabaro-Vilyujskaya series. Sheet P-52 – Yakutsk. Explanatory note]. Eds.: I. O. Lebedev, G. A. Kozlov, A. V. Molchanov, et. all. St. Petersburg, Kartfabrika VSEGEI, 1999, 290 p. (In Russian).

5. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federatsii. Mashtab 1 : 200 000. Seriya Amginskaya, Listy P-52-XXV (Sinsk), P-52-XXVI (Tit-Ary), P-52-XXVII (Bulgunnyakhtakh). Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 200 000. Amginskaya series. Sheets P-52-XXV (Sinsk), P-52-XXVI (Tit-Ary), P-52-XXVII (Bulgunnyakhtakh). Explanatory note]. Eds.: O. I. Shcherbakov, L. A. Yuganova, M. L. Kokoulin et al. St. Petersburg, Kartfabrika VSEGEI, 1999, 75 p. (In Russian).

6. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj federacii. Mashtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie) Seriya Aldano-Zabajkal'skaya. List N-49 – Chita. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation (New Edition). Scale 1 : 1 000 000. Sheet N-49 – Chita. Explanatory note]. Eds.: N. A. Fishev, K. M. Shelgachev, V. I. Ignatovich, Yu. P. Gusev. St. Petersburg, VSEGEI, 2011, 604 p. (In Russian).

7. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR. Mashtab 1 : 1 000 000 (novaya seriya). List P-46,47 – Bajkit. Ob'yasnitel'naya zapiska [State geological map of the Russian Federation (New Edition). Scale 1 : 1 000 000. Sheet P-46,47 – Bajkit. Explanatory note]. Ed.: E. K. Kovrigina. Leinigrad, VSEGEI, 1984, 154 p. (In Russian).

8. Donets A. I., Ruchkin G. V., Konkin V. D. Geologopromyshlennye tipy i regional'nye geologicheskie osobennosti stratiformnykh svintsovo-tsinkovykh mestorozhdeniy v karbonatnykh tolshchakh [Geological-industrial types and regional geological features of stratiform lead-zinc deposits in carbonate strata]. National Geology, 2017, no. 6, pp. 31–38. (In Russian).

9. Donets A. I., Konkin V. D., Krutiy V. M. Metasomaticheskie dolomity – osnovnye rudovmeshchayushchie porody Sardaninskogo rudnogo rayona (Yakutiya) [Metasomatic dolomites – the main ore-bearing rocks of the Sardaninsky ore region (Yakutia)]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, 1978, no. 6, pp. 90–93. (In Russian).
10. Kovalev K. R., Pertseva A. P., Buslenko A. I. Izotopnye issledovaniya v reshenii problem rudogeneza Ozerninskogo rudnogo uzla [Isotopic studies in solving the problems of ore genesis of the Ozerninsky ore cluster]. *Izotopnye issledovaniya protsessov rudoobrazovaniya*. Novosibirsk, Nauka, 1991, pp. 56–83. (In Russian).
11. Kovtonyuk G. P., Grushin R. V., Anisimova A. B., Danil'yants S. A. Prognoznye resursy tverdykh i tverdykh goryuchikh (ugol') poleznykh iskopaemykh rossyskoy federatsii na 1 January 2019. Vol. 2 Blagorodnye metally i almazy [Forecast resources of solid and solid combustible (coal) minerals of the Russian Federation for January 1, 2019. vol. 2 Noble metals and diamonds]. Moscow, FGBU «Rosgeofond», 2019, 202 p. (In Russian).
12. Kozlov G. A., Guzev V. E., Molchanov A. V., Terekhov A. V. Litologo-geokhimicheskie osobennosti rannekembrijskikh karbonatnykh otlozheniy yugo-vostochnoy chasti Anabaro-Sinskoy struktarno-formatsionnoy oblasti Respubliki Sakha (Yakutiya) i ikh svyaz' so stratiformnym svintsovo-tsinkovym orudneniem [Lithology and geochemistry of the Early Cambrian carbonate deposits in the SE Anabar-Sin region, the Republic of Sakha (Yakutia), and their implication to stratiform Pb-Zn mineralization]. *Regional geology and metallogeny*, 2021, no. 86, pp. 31–44. (In Russian).
13. Kozlov G. A., Kashin S. V., Guzev V. E., Molchanov A. V., Terekhov A. V. Mineralogo-geokhimicheskie osobennosti i rudonosnost' apokarbonatno-kremnistykh gidrotermal'no-metasomaticheskikh obrazovaniy v rannekembrijskikh otlozheniyah Sinsko-Botomskoy struktarno-formatsionnoy zony, Respublika Saha (Yakutiya) [Mineralogical and geochemical features and ore content of apocarbonate-siliceous hydrothermal-metasomatic formations in Early Cambrian deposits of the Sinsko-Botom structural-formational zone, Republic of Sakha (Yakutia)]. *Regional geology and metallogeny*, 2021, no. 88, pp. 65–83. (In Russian).
14. Kozlov G. A. Perspektivy vyyavleniya stratiformnykh mestorozhdeniy svintsa i tsinka v paleozoyskikh karbonatnykh otlozheniyakh yugo-vostochnoy chasti Sibirskoy platformy [Prospects for identifying stratiform deposits of lead and zinc in Paleozoic carbonate deposits of the southeastern part of the Siberian Platform]. *Materialy XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauchno-metodicheskie osnovy prognoza, poiskov, otsenki mestorozhdeniy almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov»*. Moscow, TsNIGRI, 2022, pp. 98–101. (In Russian).
15. Kozlov G. A., Terekhov A. V., Guzev V. E., Solov'ev O. L., Horohorina E. I., Svetlova Yu. L. Rudno-formatsionnaya prinadlezhnost' Pb-Zn-Mn orudneniya v rannekembrijskikh karbonatnykh otlozheniyah Sinsko-Botomskoy struktarno-formatsionnoy zony, respublika Saha (Yakutiya) [Ore-formational affiliation of Pb-Zn-Mn mineralization in Early Cambrian carbonate deposits of the Sinsko-Botom structural-formational zone, Republic of Sakha (Yakutia)]. *Materialy II Molodezhnoy nauchno-obrazovatel'noy konferentsii «Mineral'no-syr'evaya baza almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov – ot prognoza k dobyche»*. Moscow, TsNIGRI, 2021, pp. 77–78. (In Russian).
16. Krajnov S. R., Ryzhenko B. N., Cherkasova E. V. Gidrodinamicheskie i geokhimicheskie usloviya formirovaniya stratiformnoj Zn-Pb sul'fidnoj rudnoj mineralizatsii hloridnymi rassolami [Hydrodynamic and geochemical conditions for the formation of stratiform Zn-Pb sulfide ore mineralization by chloride brines]. *Geochemistry*, 2006, no. 4, pp. 298–425.
17. Legenda Anabaro-Vilyujskoj serii listov GGK RF masshtaba 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie) [Legend of the Anabar-Vilyui series of sheets of the State Geological Map of Russian Federation, scale 1 : 1 000,000 (third edition)]. St. Petersburg, VSEGEI, 2009, 311 p. (In Russian).
18. Masajtis V. L., Mihajlov M. V., Selivanovskaya T. V. Vulkanizm i tektonika Patomsko-Vilyujskogo srednepaleozojskogo avlakogena [Volcanism and tectonics of the Patomsko-Vilyui Middle Paleozoic aulacogen]. Moscow, Nedra, 1975, 183 p. (In Russian).
19. Mel'nikov N. V., Astashkin V. A., Kilina L. I. et al. Paleogeografiya Sibirskoy platformy v rannem kembrii [Paleogeography of the Siberian Platform in the Early Cambrian]. *Paleogeografiya fanerozojy Sibiri*. Novosibirsk, 1989, pp. 10–17. (In Russian).
20. Pisarchik Ya. K., Minaeva M. A., Rusetskaya G. A. et al. Paleogeografiya Sibirskoy platformy v kembrii [Paleogeography of the Siberian platform in the Cambrian]. Leningrad, Nedra, 1975, 195 p. (In Russian).
21. Galyamov A. L., Volkov A. V., Murashov K. Yu., Sidorova V. N., Kuznecova T. P. Perspektivy vyyavleniya mestorozhdenij missisipskogo tipa na Severo-Vostokey Rossii [Prospects for discovering the Mississippi-Valey-Type deposits in Northeast Russia]. *Litosfera*. Moscow, 2020, vol. 20, no. 2, pp. 254–270. (In Russian).
22. Principy i metody postroeniya geologo-geneticheskikh modelej stratiformnykh svincovo-tsinkovykh mestorozhdeniy v karbonatnykh i terrigennykh formatsiyah [Principles and methods for constructing geological-genetic models of stratiform lead-zinc deposits in carbonate and terrigenous formations]. Eds.: D. I. Gorzhevskij, V. D. Konkin, A. I. Donec, V. V. Kuznecov, E. B. Solov'ev. *Geologo-geneticheskie modeli stratiformnykh mestorozhdeniy svinca i cinka*. Novosibirsk, Nauka, 1991, pp. 5–41. (In Russian).
23. Polyanskiy O. P., Prokop'ev A. V., Babichev A. V., Korobeynikov S. N., Reverdatto V. V. Riftogennaya priroda formirovaniya Vilyuyskogo basseyna (Vostochnaya Sibir') na osnove rekonstruktsiy osadkonakopleniya i mekhaniko-matematicheskikh modeley. *Geologiya i geofizika*, 2013, vol. 54, no. 2, pp. 163–183. (In Russian).
24. Ruchkin G. V., Donets A. I. Stratiformnye svintsovo-tsinkovye mestorozhdeniya v karbonatnykh tolshchakh [Stratiform lead-zinc deposits in carbonate strata]. Moscow, TsNIGRI, 2002, 124 p.
25. Stratigrafiya neftegazonosnykh basseynov Sibiri. Kembriy Sibirskoy platformy. Tom 1: Stratigrafiya [Stratigraphy of Siberian oil and gas basins. Cambrian of the Siberian Platform. Vol. 1: Stratigraphy]. Ed.: Yu. Ya. Shabanov. Novosibirsk, Izd-vo INGG SO RAN, 2016, 497 p.
26. Ponomarev V. G., Davydov Yu. V., T'shinskiy A. A. et al. Stratiformnye svintsovo-tsinkovye mestorozhdeniya v otlozheniyakh venda Yugo-Vostochnoy Yakutii [Stratiform lead-zinc deposits in the Vendian deposits of Southeastern Yakutia]. Novosibirsk, Nauka, 1979, 232 p.
27. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. Geokhimicheskie indikatory litogeneza (litologicheskaya geokhimiya) [Geochemical indicators of lithogenesis (lithological geochemistry)]. Syktyvkar, Geoprint, 2011, pp. 742.
28. Leach D. L., Taylor R. D., Fey D. L., Diehl S. F., Saltus R. W. A deposit model for Mississippi Valley-Type lead-zinc ores, chap. A of Mineral deposit models for resource assessment: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–A, 2010, 52 p.
29. Dörling S. L., Groves D. I., Muhling P. Lennard Shelf Mississippi Valley-type (MVT) Pb-Zn deposits, Western Australia. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 1998, vol. 17(4), pp. 115–120.
30. Heyl A. V. Geologic characteristics of three major Mississippi Valley districts, in Kisvarsanyi. Eds.: G. Grant, S. K. Pratt, W. P. and J. W. Koenig. International conference on Mississippi Valley type lead-zinc deposits. University of Missouri Rolla, 1983, pp. 27–60.
31. Olson R. A. Genesis of paleokarst and strata-bound zinc-lead sulfide deposits in a Proterozoic dolostone, northern Baffin Island. Canada, *Economic Geology*, 1984, vol. 79, pp. 1056–1103.

32. Page R. W., Sun S.-S. Aspects of geochronology and crustal evolution in the Eastern fold belt, Mt. Isa inlier. *Australian Journal of Earth Sciences*, 1998, vol. 45, pp. 343–362.

33. Paradis S., Hannigan P., Dewing K. Mississippi Valley-type lead-zinc deposits. Ed. by W. D. Goodfellow //

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. Special Publication*, 2007, no. 5, pp. 185–203.

Козлов Глеб Александрович – канд. геол.-минерал. наук, ведущий геолог, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (Институт Карпинского). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, Россия, 199106. <Gleb_Kozlov@vsegei.ru>

Kozlov Gleb Aleksandrovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Geologist, A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (Karpinsky Institute). 74 Sredny Pr., St. Petersburg, Russia, 199106. <Gleb_Kozlov@vsegei.ru>