

УДК 553.3/4

САЛАИРО-АЛТАЕ-ТУВИНСКИЙ УРОВЕНЬ СТРАТИФОРМНОГО ОРУДЕНЕНИЯ ТИПА SEDEX

Гусев А.И.

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукишина, Бийск,
e-mail: anzerg@mail.ru*

Приведены новые данные по широкому распространению стратифицированного свинцово-цинково-серебряного оруденения SEDEX, приуроченного к венд-кембрийскому уровню Алтая, Салаира, Тувы и Горной Шории. Образование руд связано с эксгалиционно-осадочным процессом, приуроченным к палеовпадинам. Соотношение изотопов серы указывает на увеличение тяжёлого изотопа серы за счёт сульфатов морской воды. К основным рудообразующим металлам иногда присоединяются значительные концентрации золота и платиноидов.

Ключевые слова: стратиформное оруденение, венд-кембрийский уровень, свинец, цинк, серебро, золото, платиноиды

SALAIRO-ALTAIE-TUVINSKII LEVEL STRATIFORMING DEPOSITS OF TYPE SEDEX

Gusev A.I.

A new data quoted on broad expansion stratiform lead-zink-silver ore mineralization type SEDEX, accustoming to Vendium-Cambrian stratigraphic level of Altay, Salair, Tuva, Mountain Shoria. Forming of ores link with exgalation-sedimentary processes, training to paleobasins. Ratio of isotopes sulfur point on increase hard isotope sulfur for count sulfate sea water. Pronounced concentrations of gold and platinum metals attach sometimes to basic ore forming metals.

Keywords: stratiform ore mineralization, Vendium-Cambrian level, lead, zinc, silver, gold, platinum metals

Стратиформное оруденение типа SEDEX в углеродисто-кремнисто-сланцевых разрезах дают супергигантские месторождения свинца, цинка, серебра [3,4]. Достаточно отметить, что комплексные месторождения этого типа (Ред Дог на Аляске) содержат объекты мирового класса с суммарными запасами и ресурсами цинка свыше 140 млн т. (средние содержания в рудах цинка – 16,6%, свинца – 4,6%). Львиную долю свинцово-цинковых руд в мировом балансе составляют месторождения типа SEDEX [1]. Венд-кембрийский уровень развития вулканогенных, терригенно-вулканогенных и кремнисто-углисто-вулканогенных образований Горного Алтая, Салаира и Тувы распространены в регионе широко и вмещают многочисленные проявления слоистых руд в терригенно-сланцевых, кремнисто-углеродисто-карбонатных разрезах. Процессы типа SEDEX с образованием стратиформного оруденения в регионе отмечаются в проявлениях, относящихся к типичным объектам свинцово-цинково-серебряного, серноколчеданного и золото-черносланцевого.

Цель настоящего исследования – провести сравнительное изучение всех объектов в регионе, в составе которых отмечаются продукты процессов типа SEDEX, и классифицировать их в рамках существующих представлений. Прогнозно-поисковый комплекс месторождений типа SEDEX имеет специфические особенности и предполагает значительную роль в нём картирования

аутигенной и диагенетической минерализации в рудовмещающих металлотектах и их использование для палеореконструкций с выделением благоприятных локальных палеовпадин с признаками эксгалиций на морское дно.

Остановимся на кратком обзоре проявлений указанных типов.

Шлаттер-Катунское полиметаллическое проявление расположено в правом борту р. Катунь (Горный Алтай), юго-восточнее с. Быстрянка на г. Рудник. Рудовмещающий металлотект представлен углисто-кремнисто-глинисто-карбонатным разрезом эдиганской (V- C_1) и метабазальтами манжерокской свит (C_1). Проявление представлено слоистыми, полосчатыми, линзовидно-полосчатыми рудами в углеродистых силицитах и глинистых сланцах, обогащённых карбонатным материалом, и локализуется среди образований эдиганской свиты. Густая вкрапленность пирита, реже сфалерита, галенита, халькопирита образует обогащённые прослой и гнёзда, местами сопровождаемые кварц-баритовыми оторочками мощностью до 1–2 см. Мощность обогащённых прослоев варьирует от 1 до 20 см. Мощность зоны с такими рудами от 2 до 12 м. Отмечаются 3 генерации пирита. Самая ранняя представлена неправильными зёрнами и линзочками мучнистого пирита, имеющего микроглобулярное строение. Вторая генерация локализуется по периферии линзочек микроглобулярного пирита и представлена метакристаллами кубиче-

ского габитуса, иногда сопровождающиеся тонкостебельчатым кварцем и удлинёнными чешуйками гидробиотита. Третья генерация дисульфида железа отмечается в прожилках кварца, кварца с карбонатом и представлена кубическими и пентагон-додекаэдрическими кристалликами. Мощность прожилков варьирует от 2 до 8 мм. Местами отмечается микроплоччатость рудных слоёв, указывающая на складчатость и метаморфизм первичных эксгалационно-осадочных накоплений сульфидов. Со стороны лежащего бока рудной залежи отмечаются конкреции сидерита размерами от 0,5 до 3,5 см, содержащие пирит и пирротин. Редко наблюдаются мелкие септарии размером до 3,5 см, сложенные сидеритом, баритом с пиритом, пирротинном, редко галенитом и сфалеритом. Сфалерит, галенит и халькопирит присутствуют в виде вкрапленности и гнезд также и в слоях пирита в ритмично-слоистых рудах. Содержания элементов в рудах составляют: цинка – от 0,05 до 1,5%, свинца – от 0,08 до 3,5%, меди – от 0,03 до 0,4%, серебра от 15° до 1560 г/т.

Со стороны висящего бока стратиформной залежи наблюдается жила кварца мощностью 1,5 м, содержащая вкрапленность и линзочки пирита, галенита, редко сфалерита, халькопирита. Содержания металлов в жиле: свинца – 3,75–6,87%, серебра – 65–1620 г/т, цинка – 0,2–0,8%, меди – 0,1–0,2%. Вероятно, жила представляла собой подводный канал для эксгалаций на морское дно, залеченное впоследствии кварцевой жилой.

Солонцовое медно-цинковое проявление расположено в правом борту р. Ангуреп (Салаирский край) и приурочено к пачке углеродистых кремнисто-карбонатных сланцев верхней толщи ангурепского полиметаморфического комплекса (PZ₁). Представлено зоной вкрапленных и реже массивных слоистых сульфидных руд, претерпевших метаморфизм. Пирит, пирротин, редко сфалерит, галенит, арсенопирит и халькопирит образуют линзовидные и полосчатые агрегаты среди углеродистых кремнисто-карбонатных сланцев. Сульфиды сопровождаются гнездами и прожилками кварца, барита, анкерита. Выше слоистых руд отмечаются согласные линзы барита мощностью от 0,2 до 1,8 м. Местами в барите отмечаются прожилки кварца с вкрапленностью галенита. Содержания цинка от 0,1 до 1,5%, свинца от 0,2 до 2,8%, меди от 0,05 до 0,5%. Пачка оруденелых пород прослеживается на 4 км по простиранию и сопровождается ореолами цинка, бария, меди, марганца, серебра, мышьяка.

На территории юго-западной части Тувы в 60–70 годы было выявлено весьма

перспективное стратиформное полиметаллическое оруденение. Перспективное проявление *Сарыгиматейское* выявлено в 1956 г. Проявление приурочено к северо-восточному крылу Сарыгиматейской антиклинали в месте её осложнения флексурным перегибом и сменой широтного простирания на юго-восточное. Центральная часть проявления сложена толщей светлых, серых, желтоватых слоистых, плитчатых мраморов курайской свиты (Є₁). Простирание толщи 280–300°. Она смята в крутые складки с размахом крыльев в сотни метров. В северо-восточной и юго-восточной частях проявления на толще карбонатных пород залегают переслаивающиеся тонко косослоистые, рассланцованные алевропесчаники, алевролиты, известковые алевролиты и песчаники с прослоями серых, тёмных известняков. В юго-восточной части в тектонических блоках появляются ортосланцы и отдельные линзы рассланцованных долеритовых порфиринов (Є₁). Полиметаллическое оруденение приурочено к пачке серых до тёмно-зеленовато-серых песчаных алевролитов с прослоями алевритистых кварцевых песчаников, отдельными горизонтами светло-серых и тёмных мраморизованных известняков. Мощность пачки около 100–120 м. По простиранию она прослежена на 5 км. Отложения балхашской свиты шириной 0,5–3 км прослеживаются на расстоянии более 20 км и в западном направлении уходят в пределы Горного Алтая.

В пределах Белатр-Сарыгиматейской полиметаллической рудной зоны выделяются 3 подзоны: Центральная, Восточная и Западная.

Центральная подзона протягивается в северо-западном (290–300°) направлении вдоль правого борта р. Сарыг-Ыйматы на 2 км при ширине около 100–110 м и пространственно совпадает с выходами рудовещающей пачки. В юго-восточной части подзоны выявлено рудное тело №1 (северное). Прослеженная длина тела около 600 м, мощность не менее 24 м. Канавы не вышли из рудного тела. Руды сложены тонкозернистыми, тонкослоистыми сфалерит-галенитовыми образованиями, интенсивно окисленными. Мощность первичных слоёв сульфидов варьирует от долей мм до первых мм, протяжённость от 0,5 до 3 см. Они группируются в визуально различные слоики существенно галенитового или сфалеритового состава. Микроскопические исследования показали последовательность выделения сульфидов: пирит 1 – галенит 1 + сфалерит 1 – сфалерит 2 + галенит 2. Вмещающие породы метаморфизованы и превращены в сланцы серицит-мусковит-

кварц-хлоритовые с обильной насыщенностью рудными минералами (галенитом, сфалеритом, пиритом, редко пирротин). Содержания свинца колеблются от 0,5 до 12,6%, цинка от 0,3 до 4,6%. На мощность 14 м средние содержания элементов составляют: свинца 5,21%, цинка – 2,78%. С рудным телом совпадает отрицательная аномалия естественного поля интенсивностью (–100) – (–250 мВ) протяжённостью 1750 м и шириной 80–200 м. Рудное тело сопровождается 4 ореолами свинца (0,1–1%), цинка (0,04–0,06%), бария (0,2–0,4%) от 300 до 600 м в поперечнике в аномальную зону протяжённостью около 2,5 км при ширине от 200 м до 1 км.

Восточная рудная подзона протягивается в юго-восточном направлении от водораздела руч лагерного и Аржан на 200 м при ширине 100–300 м. В северо-западной части подзоны выделено рудное тело №2, приуроченное к контакту пачки светлых известняков с пачкой тёмных, часто переслаивающихся косослоистых песчаников и алевролитов, локализуясь в последних. Рудное тело имеет пластовый характер протяжённостью 14 м и мощностью 1,8 м. Фланги рудного тела перекрыты осыпями. Рудное тело окислено и имеет зональное строение. Лежащий бок выполнен оолитообразными агрегатами каламина. Центральная часть сложена кварц-баритовой и барит-целестиновой массой с целестином и вкрапленностью галенита. Висячий бок выполнен розовым кальцитом, смитсонитом с оторочкой натёчных корок пирролюзита и лимонита. Текстуры руд – вкрапленные и полосчато-вкрапленные. На продолжении рудного тела обнаружены обломки массивных мелко-тонкозернистых галенит-сфалеритовых руд (типа свинчаков), окисленных с поверхности, а также выходы коренных окисленных руд размерами 1×0,5 м. Общая протяжённость пластового тела с учётом свалов и отдельных выходов руд составляет 350 м. Содержания компонентов в рудном теле №2 составляют (%): свинца от 1,17 до 8,08 (среднее 4,59), цинка – 21, меди – 0,12, индия – 0,1, кадмия – 0,0025, серебра – 0,0015. Рудному телу соответствует отрицательная аномалия ЕП интенсивностью до 300–600 мВ протяжённостью 2,5 км при ширине 250–300 м. В юго-восточной части рудной подзоны к восточному флангу аномалии ЕП тяготеет первичный ореол свинца и цинка с содержанием более 1%. В эпицентре аномалии при проходке 2 канав вскрыты 3 пласта мощностью 20–30 м рассланцованных тонко-косослоистых алевропесчаников с убогим стратиформным оруденением колчеданного типа (пирротин,

реже халькопирит и сфалерит) с содержанием до 0,8–1% меди. *Западная рудная подзона* располагается в междуречье Сарыг-Ыматгы-Борт-Адыр. Подзона выделяется по серии литохимических и шлиховых ореолов и потоков рассеяния свинца и цинка, а также по отдельным находкам вторичных полиметаллических руд при ширине около 700 м и протяжённости до 2 км. Подзоне соответствуют 19 ореолов свинца (0,1–1%), цинка (0,08–0,1%), бария (0,1–0,2%) размерами от 50×50 м до 2500×300 м. Ореолы не проверялись.

Выходы балхашской и курайской свиты протягиваются на территорию Горного Алтая до пос. Акташ в северо-западном направлении, а также на территорию Монголии – в юго-восточном. Общая протяжённость рудовмещающей курайской свиты составляет 180 км при средней ширине выходов 2 км. На этой площади выделяется Акташ-Сарыгиматейская рудная зона со стратиформным оруденением в терригенных комплексах типа SEDEX (аналог – филизчайский тип на Кавказе). Удельная рудоносность суммы свинца и цинка филизчайского типа для ранга рудного района составляет 0,0425 млн/км². Для Акташ-Сарыгиматейской рудной зоны площадью 360 км² и коэффициенте геологического подобия 0,7 прогнозные ресурсы свинца и цинка категории Р₃ составят: 360·0,0425·0,7 = 10,7 млн т, что соответствует одному крупному запасам месторождению.

Серноколчеданное проявление Нижнекуюсское расположено в правом борту р. Катунь (Горный Алтай), приурочено к кремнисто-черносланцевым образованиям эдиганской свиты (кремнисто-глинистые сланцы с прослоями силицилитов). Наблюдаются 3 зоны серноколчеданной минерализации на интервале 200–250 м. Первая зона шириной 37 м имеет субширотное простираание и представлена линзами и гнездами пирита первой генерации, тонким переслаиванием пирита «мучнистого» и кремнистых углеродистых сланцев (вплоть до рудного флиша). Размеры гнезд и линз от 0,5×1,5 до 3×7 см. Вторая генерация пирита представлена метакристаллами пирита кубического габитуса размерами до 1,5 мм, образующими такие же по размерам гнезда и линзы. Метаморфогенный пирит в прослоях образует микроплойчатость. Местами он ассоциирует с пирротинном в виде вкрапленности и линзочек. Третья генерация пирита приурочена к кварцевым прожилкам мощностью от 1–3 мм до 3–5 см и гнездам. Внутри зоны ближе к центру отмечается зона брекчии и милонитизации мощностью до 3 м. В брекчии обломки представлены

кремнистыми сланцами, силицилитами с густой вкрапленностью пирита и пирротина. Изредка ближе к висячему боку зоны отмечаются конкреции сидеритового и сидерит-пиритового состава размерами от 0,5 до 2 см. Пирит в конкрециях кубического габитуса, как правило, имеет зональное строение. В центре кристаллов пирита изредка наблюдается глобулярный дисульфид железа с углеродистой матрицей, а по периферии – кристаллическая разность без углеродистой составляющей, образующая тонкую каёмку.

Две другие зоны мощностью до 5–12 м расположены севернее первой. Они имеют принципиально аналогичные состав, строение и залегание. В целом содержание пирита в зонах варьирует от 5 до 25%, редко отмечаются массивные линзы пирита размерами 10×40 см. Проявление имеет типичное экскаляционно-осадочное происхождение в углеродисто-кремнисто-терригенных разрезах типа SEDEX.

«Мучнистый пирит» представляет собой наиболее раннюю генерацию дисульфида железа и образует микроглобулярную структуру. Он тесно ассоциирует с карбонатом и углеродистым веществом. Как правило, повышенные концентрации пирита первой генерации позитивно коррелируют с магнизиально-железистым карбонатом и тонко рассеянным углеродистым веществом. С более поздними тремя генерациями пирита ассоциируют сульфиды и золото, редко – платиноиды.

Сходная минерализация наблюдается в кембрийских терригенно-углеродистых сланцах Сиинско-Коуринской золоторудной зоны в Горной Шории. Также наблюдаются повышенные концентрации платины, палладия, родия. Золото, преимущественно, находится в сульфидах. В пирите его концентрации колеблются от 2 до 18,7 г/т, в арсенопирите от 95 до 140 г/т. Реже встречается свободное золото размерами от 0,01 до 2 мм. Рудные зоны сопровождаются березитами, фельдшпатолитами и комплексными геохимическими аномалиями Au, As, Sb, Pb, Zn, Cu. В пирите I генерации, имеющем фрамбоидальную микроструктуру, величина $\delta^{34}\text{S}$ варьирует от +12,13 до +12,21 ‰. Вероятно, увеличение в составе серы концентраций тяжёлого изотопа происходило за счёт сульфатов морской воды. В метаморфогенном пирите 3 генерации $\delta^{34}\text{S}$ соотношение составляет 18,17 ‰, что, вероятно, связано с заимствованием тяжёлого изотопа серы из подстилающих пород. Аналогичное золото-черносланцевое оруденение развито в прогнозируемых Сокпанды-Чичкитерекском, Устюбино-Каянчинском рудных узлах и Учекском рудном поле.

Сунгайская рудоносная зона в Салаире приурочена к венд-кембрийскому стратиграфическому уровню. Стратифицированные вкрапленные и слоистые сульфидные руды имеют специфические особенности. Иногда они образуют своеобразный «рудный флиш», в котором прослойки сульфидов образуют полосы мощностью 0,5–2 см, чередующиеся с полосами углисто-глинисто-кремнистых сланцев такой же мощности. Нередко силикатные прослойки хлоритизированы и эпидотизированы. Нижнекембрийский уровень приурочен к океаническим разрезам, формировавшимся в обстановках, близких к современным симаунтам, а нижнедевонский – к бассейнам седиментации трансформной континентальной окраины, генерированным в процессе рифтогенного растяжения. Слоистые сульфидные руды локализуются в чёрных углисто-глинистых сланцах с содержанием $\text{C}_{\text{орг}}$ от 2 до 5%, реже – свыше 5%. Сульфиды представлены пиритом нескольких генераций, пирротинном, реже – сфалеритом, халькопиритом, спорадически – арсенопиритом. Они ассоциируют с кварцем, баритом, доломитом, иногда – афросидеритом и скаполитом. Наличие последнего указывает на высокие концентрации хлора в составе экскаляций. Мощности горизонтов слоистых руд варьируют от 5 до 70 м. Такие руды характеризуются повышенными концентрациями Au (0,05 – 15 г/т), Cu (0,03 – 0,6%), Zn (0,03 – 0,9%), Pt (0,02 – 1,12 г/т), Pd (0,05 – 0,34 г/т), Rh (0,05 – 0,23 г/т). Отмечаются аномальные содержания Pb, W, Mo, V, Ag, Co, Ni. Золото приурочено к кварцу и углестому материалу. Оно также присутствует в сульфидах в тонкодисперсной форме в количествах от 0,8 до 6,4 г/т. Углисто-глинисто-кремнистые сланцы, вмещающие слоистые руды, имеют молекулярные отношения S/C от 0,14 до 0,16, обнаруживая близкие значения этого показателя в пелагических осадках Чёрного моря, образовавшихся в условиях сероводородного заражения придонных вод. Аутигенный пирит I генерации представлен фрамбоидами с низкопорядоченным композиционным типом строения. Соотношение изотопов серы ($\delta^{34}\text{S}$) фрамбоидального пирита варьирует от +10,76 до +12,21 ‰, близкие к таковым в экскаляционно-осадочных месторождениях типа SEDEX. Установлена значительная реювенация и ремобилизация золота и платиноидов в процессе метаморфизма и наложения гидротерм. Увеличение концентраций благородных металлов в таких процессах на участках Ушпа (Горный Алтай), Сунгай (Салаир) происходит в 1,8 и более раз относительно первоначальных содержаний

в рудах. Проведено моделирование фракционирования изотопов серы, содержаний золота и других элементов в процессе ремобилизации всех компонентов слоистых руд. Установлена положительная корреляция содержаний золота и платиноидов на этапах метаморфизма и позднего гидротермального процессов. Установлена высокая мобильность благородных металлов при этих процессах. Повышенная золотоносность слоистых руд региона указывает на то, что палеоокеанский и островодужный рудогенез в разрезах венда – нижнего кембрия мог формировать и самостоятельное золотое оруденение типа Эксиал Симаунт и Южное Эксплорер Ридж, обнаруженные на Галапагосских симаунтах, где оно ассоциируется с проявлениями колчеданов эксгальционного типа и марганцевым оруденением [2]. Характерно, что многие проявления стратифицированных руд с повышенной золотоносностью описываемого региона АССО ассоциируют с марганцевым оруденением, также широко распространённым в обстановках океанического дна (Сунгай, Ушпа, Сия). Многие участки развития золотоносных эксгальционно-осадочных слоистых

руд региона сопровождаются россыпями золота (Сунгай, Сия, Кубань).

Таким образом, в регионе проявлено стратиформное оруденение SEDEX довольно широко и имеет различное наполнение металлами – от серноколчеданного с незначительными содержаниями благородных и цветных металлов до комплексных свинцово-цинково-серебряных с медью и существенно золото-черносланцевых с повышенными концентрациями платиноидов и золота. Во всех случаях главный рудоконтролирующий фактор накопления эксгальционно-осадочной основы сводится к наличию локальных палеовпадин со своеобразным восстановительным режимом осадконакопления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Goofellow W.D., Lydon J.W., Turner R.J.W. Mineral Deposit Modeling. – Canada, 1995. – P. 201–252.
2. Hannington M.D., Peter J.M., Scott S.D. / Economic Geol. – 1986. – Vol. 81, № 8. – P. 1867–1883.
3. Kelley K., Johnson C., Leach D. // 32-nd IGC Florence. – 2004 – Scientific Sessions: abstracts (part.1). – P. 656.
4. Large R.R., McGoldrick P.J // Journal of Geochemical Exploration. – 1998. – Vol. 63, №1. – P. 37–56.