

КОМПЛЕКСНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНАХ

Ефим Семенович Контарь
eskontar@mail.ru

Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург

Актуальность данного обзора обусловлена целесообразностью обобщения опубликованных материалов по геологическим особенностям месторождений полиметаллических руд, локализованных в осадочных бассейнах многих регионов мира.

Цель работы: составление обзора опубликованных в отечественной и зарубежной литературе в последние 25–30 лет материалов по характеру размещения, геологическому строению и минералогии нетрадиционных месторождений благородных и цветных металлов, что должно учитываться при прогнозировании подобных объектов в соответствующих геологических обстановках.

Методология исследования: выполнен обзор, базирующийся на анализе опубликованных данных, в которых с разной степенью полноты и достоверности охарактеризованы нетрадиционные комплексные месторождения благородных и цветных металлов различных геологических провинций мира.

Результаты. Своеобразные комплексные полиметаллические (благородные и цветные металлы) месторождения локализованы в осадочных бассейнах многих регионов мира. В состав руд этих месторождений входят Mo, Ni, Cu, Zn, U, Se, V, и они сопровождаются аномально высокими содержаниями благородных металлов, в том числе металлов платиновой группы, среди которых, как правило, преобладают Pt и Pd. Общим для всех известных провинций с комплексными полиметаллическими месторождениями является наличие рудоносных терригенных углеродистых формаций различного возраста в аноксических частях шельфа внутри- или окраинно-континентальных морских бассейнов, которые занимают принципиально однотипное палеотектоническое положение – они входят в состав чехлов древних платформ или верхних частей их фундаментов.

Выводы. Наиболее обстоятельная информация имеется по месторождениям Южного Китая, Канады, Онежского прогиба в Карелии. Изложены также сведения о благороднометалльном оруденении Верхнекамского месторождения солей. Приведены данные о вероятной перспективности на подобное оруденение некоторых структур восточной окраины Восточно-Европейской платформы.

Ключевые слова: черные сланцы; цветные металлы; благородные металлы; металлоорганические комплексы; осадочные бассейны; соли; Южный Китай; Канада; Онежский прогиб; Восточно-Европейская платформа.

Введение
В последние 25–30 лет опубликованы материалы о своеобразных месторождениях комплексных полиметаллических руд, локализованных в осадочных бассейнах многих регионов. В состав этих месторождений входят молибден, никель, медь, цинк, уран, селен, ванадий. Руды этих месторождений сопровождаются аномально высокими содержаниями благородных металлов, в том числе металлов платиновой группы (МПГ). Среди последних, как правило, преобладают платина и палладий.

Эти объекты приурочены к углеродистым терригенным формациям различного возраста, но имеющим принципиально однотипное палеотектоническое положение – они входят в состав чехлов древних платформ или верхних частей их фундаментов. Общим для всех известных провинций с комплексными полиметаллическими и золото-платиноидными месторождениями является наличие рудоносных терригенных углеродистых формаций в аноксических частях шельфа внутри- или окраинно-континентальных морских бассейнов.

Настоящий обзор базируется на анализе опубликованных данных, в которых с разной степенью полноты и достоверности охарактеризованы месторождения комплексных полиметаллических руд различных геологических провинций мира. Наиболее обстоятельная информация имеется по месторождения Южного Китая, Канады, Онежского прогиба в Карелии [1–3, 4, 5–11].

Описание объектов

В Южном Китае рудоносная черносланцевая толща раннего кембрия входит в состав раннепалеозойского чехла Южно-Китайской платформы, которая несогласно перекрывает позднепротерозойские (синийские) отложения. Эта толща с перерывами прослежена в широтном направлении на 1600 км в пределах нескольких административных провинций Южного Китая. В рудоносной толще расположено несколько молибден-никелевых месторождений, два из которых – *Зунья* (*Цзуньши*) в провинции Гуайжоу (Гуйчжоу) и *Даюн* в провинции Юнань (Хунань) в настоящее время отрабатываются.

На месторождении *Зунья* (*Цзуньши*) добывается в год около 1000 т руды, которая содержит в среднем 2,7 % Mo, 7,7 % Ni, 1,6 % Zn. Благородные металлы присутствуют в следующих количествах, г/т: Au – 0,7, Ag – 3–5, Pt – 0,7, Pd – 0,87, Os – 0,06, Ru – 0,0034, Ir – 0,05, Rh – 0,025. Кроме того, руды этих месторождений содержат до 1 % ванадия и до 0,5 % меди.

В черносланцевой толще оруденение локализовано в рудовмещающей пачке 10-метровой мощности, а в ней – в горизонтах мощностью от нескольких сантиметров до 15 см (максимально 35 см). Рудоносные горизонты образованы частым переслаиванием сульфидных слоев с фосфатоносными черными сланцами, содержащими конкреции и нодулы фосфатов и карбонатов, углеродистыми и кремнистыми аргиллитами и микрозернистыми песчаниками. Фосфатоносные глинистые сланцы имеют Ni–Mo специализацию, а кремнистые – существенно ванадиевую. Сульфиды представлены фромбоидальным пиритом, миллеритом (NiS), бравоитом (Fe,NiS₂), вазситом (NiS₂), герсдорфитом (NiAsS), молибденитом и иордизитом (аморфная разновидность молибденита).

Руды этих месторождений представляют собой мелкообломочную породу, состоящую из нодулярного пирита, конкреций фосфорита, округлых агрегатов органического вещества, литифицированных обломков кварца, аргиллита и кремнистых пород. Обычны следующие разновидности обломков: 1) угловатые и субокатанные, обогащенные C_{орг}; 2) обогащенные C_{орг} с высоким содержанием Mo и S; 3) сферические обломки морских организмов, богатые C_{орг}, фосфатные конкреции (некоторые являются биотурбидитами); 4) богатые сульфидами фосфатные конкреции; 5) бедные

углеродом фосфатные обломки; б) угловатые и субокатанные сульфидные обломки и конкреции. Фосфаты имеют, как правило, ячеистую структуру, допускающую образование их по древним бактериальным формам.

Минералогия руд достаточно сложная и своеобразная. Наиболее распространенным минералом является пирит. Он присутствует в виде нодулей, фромбоидов, идиоморфных кристаллов, рассеянных в матриксе всех типов пород, включая фосфатные ячеи, слойков слившихся кристаллов. Молибден присутствует в виде иордизита, чаще всего ассоциирующегося с органическим веществом или замещающего его. Сульфиды никеля (ваэсит и миллерит) обычны в виде единичных кристаллов в фосфатных конкрециях, но чаще в виде микросфероидальных форм, что наводит на мысль о возможном замещении ими микрофоссилий. Сульфиды Mo и Ni вместе с пиритом, фосфатами, сгустками органического вещества входят в состав рудных обломков размером от 0,1 до 1 см.

Помимо названных минералов, в рудах этих месторождений присутствует уранинит в виде микровключений в фосфатах, халькопирите и пирите. Селенид ртути (тиеманнит HgSe) находится в бедных углеродом фосфатных обломках и в качестве микропримесей содержит платину и палладий. Не исключено также, что МПГ входят в состав металлоорганических комплексных соединений.

Важной особенностью руд южнокитайских месторождений является постоянное присутствие в них органического вещества (ОВ), количество которого составляет 6–22 %. В его составе присутствуют остатки водорослей, а также остатки беспозвоночных, о чем свидетельствуют присутствие скелетных элементов радиолярий и спикул губок. В тех случаях, когда количество $C_{орг}$ превышает 15 %, что по теплотворной способности соответствует 800 ккал/кг, это ОВ на объектах называют каменным углем.

Накопление южнокитайских кембрийских черных сланцев происходило в морском мелководном бассейне шельфового типа в условиях жаркого аридного климата при относительно стабильной гидродинамической обстановке.

Черносланцевые комплексные полиметалльные руды формировались сингенетично с осадконакоплением в застойных анокисных частях бассейна. Источником металлов являлась морская вода, откуда они адсорбировались органическим углеродсодержащим веществом; а в морской бассейн металлы поступали вместе с гидротермами, поднимающимися по глубинным разломам, ограничивающим Южно-Китайскую платформу.

В Канаде углеродсодержащие черные сланцы с полиметалльным оруденением, близким южнокитайскому, располагаются на Северо-Американской платформе, где приурочены к позднедевонским отложениям бассейна Селвин (территория Юкон), вдоль западного края пояса Маккензи, вблизи западной аконсервационной зоны Западно-Канадского нефтегазоносного бассейна. На северной окраине бассейна Селвин расположена небольшая впадина (16 × 2 км), в которой находится полиметалльное Ni–Mo–Zn–МПГ месторождение Ник.

Полиметалльные руды в черносланцевой толще находятся в едином латеральном ряду со стратиформными барит-свинцово-цинковыми месторождениями (Говард-Пас и др.), хотя стратиграфически расположены несколько выше. В разрезе рудоносной толщи выделено два продуктивных горизонта. Нижний горизонт залегает на своде антиклинали, он сложен глинисто-карбонатными и карбонатными породами с барит-свинцово-цинковыми рудами. На западном борту этой антиклинали залегает черносланцевый горизонт с полиметалльными рудами, прослеженный на 14 км. Причем этот горизонт расположен в 20–50 м выше контакта углеродистых пород девона с подстилающими карбонатными породами раннего палеозоя.

Рудоносный черносланцевый горизонт мощностью 5–8 м представлен ритмично-слоистыми углеродистыми фосфатноносными кремнистыми сланцами темно-серого или черного цвета, обусловленного рассеянными или послойно расположенными скоплениями ОВ и сульфидами. Сланцы имеют фосфатный, кварцевый и полевошпатовый цемент, в котором встречается большое количество конодонтов и обломков микрофоссилий.

Оруденение локализовано в маломощных (5–15 см) сульфидных слойках. Ведущим сульфидом является ваэсит, количество которого обеспечивает содержание никеля в среднем по месторождению 5,7 % (5,1–7,8 %). Подсчитанные запасы Ni приближаются к 1 млн т. Кроме ваэсита, присутствует пирит в виде фромбоидов, идио- и ксеноморфных кристаллов, слойков слившихся кристаллов и фромбоидов, а также сфалерит, вюрцит, иордизит, герсдорфит, битумы. Для породы характерно в среднем 2,12 % $C_{орг}$.

Средние содержания цветных (%) и благородных (г/т) металлов в рудах месторождения Ник следующие: Ni – 5,7 (5,1–7,8), Mo – 0,2 (0,17–0,25), Zn – 0,75 (0,3–1,2), Pt – 0,7 (0,43–0,62, до 1,2), Pd – 0,3 (0,25–0,3, до 0,7), Au – 0,1 (0,07–0,14), Ag – 3–6; кроме того, в рудах содержатся 370–740 г/т ванадия, 240–350 г/т кобальта, 10–23 г/т рения. Минеральные формы МПГ не установлены; вероятнее всего, они в виде микропримесей входят в сульфиды железа и никеля.

Вероятная модель образования оруденения представляется следующей. Допускается, что Ni–Mo–Zn–МПГ оруденение возникло как результат взаимодействия металлоорганических комплексов с горячими (130–140 °С) рассолами, поступавшими в бассейн седиментации из близрасположенных нефтяных впадин. Источником ОВ могли служить раннепалеозойские известковистые граптолитовые сланцы, подстилающие девонские рудоносные отложения, а также синхронные им продуктивные нефтегазоносные толщи. Этим, вероятно, объясняется присутствие в рудном пласте битумов, образующих прожилки и даже жилы протяженностью до 20 м. Взаимодействие термальных рассолов с металлоорганическими соединениями приводило к образованию обогащенных металлами минерализованных растворов, которые проникали в нелигифицированные отложения вдоль поверхности *вода-осадок*, что, в свою очередь, способствовало развитию бактерий, восстанавливавших сульфат-ион до сульфидов, и их отложению в виде рудного пласта.

В Южной Карелии объекты с комплексным полиметалльным Mo–U–V–МПГ оруденением располагаются в Онежском прогибе [1]. Они представлены шестью месторождениями (Средняя и Верхняя Падма, Царевское, Весеннее, Космозерское, Шульгиновское), запасы одного из которых (Средняя Падма) учтены Государственным балансом.

Рудоносной является заонежская свита шунгитсодержащих терригенно-карбонатных пород и мафит-ультрамафитовых вулканитов раннего протерозоя. Эта свита залегает на туломозерской свите, сложенной доломитами, известняками, мраморами. Заонежская свита разделена на нижнюю – алевролит-вулканогенную и верхнюю – туфопелитовую.

вую подсвиту. Для обеих подсвит характерным является ритмичное переслаивание алевролитов и шунгитсодержащих глинисто-карбонатных сланцев. Этим обусловлена многоуровневность шунгитсодержащих пород в разрезе свиты. При этом промышленные скопления Мо–U–V–МПГ руд приурочены к нижней подсвите, а шунгитов – к верхней.

Важным элементом, определяющим локализацию оруденения, являются зоны складчато-разрывных дислокаций, секущих породы заонежской свиты. Именно к этим деформационным зонам непосредственно приурочены рудные тела. Как правило, они залегают в шарнирах и на крыльях антиклинальных складок и имеют плащеобразную (с пережимами) или сигарообразную (ролловидную) форму. Протяженность рудных тел составляет 1,5–2,5 км, мощность 15–50 м, ширина 300–600 м; они залегают на глубинах 100–150 м от поверхности.

Комплексное полиметальное оруденение непосредственно вмещается магниезильно-щелочно-карбонатными метасоматитами сложного состава, развитыми в местах пересечения шунгитсодержащих пород деформационными зонами. В строении метасоматитов установлена следующая зональность: в их центральных частях расположены хромфенгит-флогопит-роскоэлитовые породы (слюдиты), которые к периферии постепенно сменяются карбонат-роскоэлит-хромфенгитовыми (карбонатно-слюдистые породы) и рибекит-доломит-хромфенгитовыми. В осевых частях зон метасоматитов расположены жильные и штокверковые рудные тела.

Уран-ванадиевое оруденение приурочено к слюдитам и карбонатно-слюдистым породам, а благородные металлы – к жильно-штокверковым телам. На выклинках рудных тел развита бедная (медно-молибденовая) минерализация.

Ванадиевые руды образованы массивными слюдитами, в составе которых ведущая роль принадлежит роскоэли-ту ($KV_2[AlSi_3O_{10}][OH]_2$), а также ванадийсодержащему гематиту. Урановая минерализация сосредоточена в настурине, уранините, коффените $U(SiO)_{1-x}(OH)_{4x}$. Медь, молибден, а также цинк представлены в соответствующих сульфидах. Благородные металлы присутствуют в самородном виде, а также в интерметаллических соединениях и в изоморфной примеси в висмутидах, сульфидах и селенидах.

На наиболее изученном месторождении Средняя Падма средние содержания металлов составляют: V_2O_5 – 2,35 % (местами до 7 %), U – 0,068 % (иногда достигая 0,25 %), Cu – 0,05 % (до 0,8 %), Mo – 0,022 % (до 0,1–0,2 %), Bi – 0,1–0,3 %, МПГ – 0,309 г/т (в том числе Pd – 0,293, Pt – 0,016), Au – 0,159 г/т. На отдельных участках мощностью 1,5–2,5 м содержания благородных металлов достигают 56 г/т Pt, 140–420 г/т Pd, 1 г/т Rh и 126 г/т Au.

Общий потенциал этих руд оценен следующим образом [5]: V_2O_5 по сумме категорий $C_1 + C_2 + P_1$ – в 510 тыс. т при среднем содержании 2,53 %, урана – по категориям $C_1 + C_2$ – в 3,0 тыс. т при среднем содержании 0,07 %, сумма золота, палладия и платины по категории P_1 – в 10–20 т при средних содержаниях 0,23, 0,29 и 0,02 г/т соответственно. На основе этих параметров оценен ресурсный потенциал благородных металлов всего Онежского прогиба [12] в 1 600 т, в том числе МПГ – 650 т, золото – 250 т, серебро – 700 т.

Принципиальная генетическая модель комплексных руд Онежского прогиба связывается с металлоорганическими комплексами. Это подтверждается следующими данными. Руды насыщены мелкодисперсным шунгитом, количество которого составляет 1–5 % и более. В шунгитах содержится 50 % ОВ в виде керогена, в составе которого присутствуют битумы, смолы и асфальтены. Допускается изначально осадочное накопление металлов в застойном (аноксическом) бассейне с их концентрированным перераспределением в зонах наложенных складчато-разрывных деформаций, обусловленных процессами тектономагматической активизации.

В *Предуральском осадочном бассейне*, относящемся к восточной окраине Восточно-Европейской платформы, также известны проявления благородных металлов в терригенных углеродистых толщах позднего докембрия.

На Южном Урале, в Ишлинском грабене Башкирского мегантиклинория, залегают толща среднерифейских черных углеродистых сланцев с редкими прослоями алевролитов и песчаников, насыщенных кварцевыми прожилками. Эта толща зажата между двумя дайками долеритов. Сланцы и кварцевые прожилки содержат обильную сульфидную минерализацию. Сульфидизированные черные сланцы содержат 0,05 г/т Pt и 0,004 г/т Os, а в кварцевом прожилке установлены 0,005 г/т Os и 0,006 г/т Ru [13].

Гораздо более интересным представляется *Кокуйское (Григорьевское)* рудопроявление на Среднем Урале, установленное при проведении ГДП-200 территории листа О-40-ХVIII в 1999 г. [14, 15]. Рудопроявление расположено в Кваркушко-Каменогорском антиклинории, и оно приурочено к терригенным углеродистым отложениям кырминской свиты позднего рифея, залегающим на терригенно-карбонатных отложениях клыкчанской свиты. (Напомним, что рудоносные черные сланцы Канады и Онежского прогиба залегают на карбонатных отложениях.) Породы кырминской свиты представлены черными углеродисто-серицит-кварцевыми, углеродисто-серицитовыми, углеродисто-кварцевыми сланцами. Углеродистые сланцы содержат 2–5 % $C_{орг}$, и им свойственен следующий геохимический спектр элементов: ванадий – 0,036–0,058 % (в пересчете на V_2O_5), фосфор – 0,23–0,69 % (в пересчете на P_2O_5), Zn – 100–400 г/т, Ni – 79–150 г/т, Mo – 1,9–4,0 г/т, Cu – 0,008 % (максимально 0,15 %). В углеродистых сланцах расположены тонкие (0,5–1 мм) слои тонкозернистого пирита. Обогащенные пиритом (в среднем около 10 %, местами достигая 25 %) сланцы образуют пачки мощностью 2–3 м. Наряду с тонкозернистым пиритом сланцы содержат его метакристаллы (размером до 1,5 см), которые ассоциируют с вытянутыми по сланцеватости кварцевыми прожилками. В сульфидизированных черных сланцах установлены до 0,5 г/т золота, до 0,4 г/т платины и до 5,5 г/т палладия.

Принципиально новым и важным в промышленном отношении является обнаружение благородных металлов в солях *Верхнекамского* месторождения [16–19]. Были изучены две штучных пробы красного сильвинита средней и верхней частей основного промышленного пласта Кр.-II на Первом и Четвертом Березниковском рудниках. Проба весом 2,2 кг отобрана из слоя 3 средней части пласта, проба весом 1,5 кг – из слоя 1 верхней части пласта. Пробы разделялись на сильвинитовую и галитовую части. Анализировались исходные сильвин и галит, полученные из них нерастворимые остатки, а также чистые соли. В составе нерастворимых остатков присутствуют (в порядке убывания): ангидрит, доломит, кварц, серицит, полевые шпаты, гематит, хлорит, каолинит, пирит.

Содержания благородных металлов приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Содержания благородных металлов в средней части пласта, г/т.
Table 1. Content of precious metals in the middle part of the formation, ppm.

Благородные металлы	Сильвин			Галит		
	Исходный	Нерастворимый остаток (выход 2,2 %)	Чистая соль	Исходный	Нерастворимый остаток (выход 1,13 %)	Чистая соль
Au	0,18	2,5		0,38	0,46	
Ag	2,04	17,1		1,76	7,04	
Pt	0,14	6,3	Не обнаружены	0,387	4,85	Не обнаружены
Pd	0,29	1,23		0,083	1,07	
Rh	0,022	0,1		Н. о.	Н. о.	
In	0,156	7,5		0,75	9,7	

Таблица 2. Содержания благородных металлов в верхней части пласта, г/т.
Table 2. Content of precious metals in the upper part of the formation, ppm.

Благородные металлы	Сильвин			Галит		
	Исходный	Нерастворимый остаток (выход 22 %)	Чистая соль	Исходный	Нерастворимый остаток (выход 26 %)	Чистая соль
Au	0,011	0,05		0,017	0,06	
Ag	25,36	110,6		45,17	171,66	
Pt	2,26	10,25	Не обнаружены	6,36	24,20	Не обнаружены
Pd	0,47	2,10		0,94	3,40	
Rh	0,066	0,3		0,011	0,43	
In	4,74	21,5		6,6	25,1	

Наибольшие содержания золота установлены в средней части пласта, а серебра и МПГ – в его верхней части. Формы нахождения благородных металлов следующие. Основное количество золота и все МПГ находятся в несамородной форме. Доля самородного золота и его интерметаллов не превышает 3–4 % общего его количества в солях. Большая часть золота сосредоточена в сильвине и связана с его пигментом в форме карбонилгалогенидов. Серебро и МПГ сосредоточены в нерастворимом остатке сильвинита и связаны с органическим веществом (ОВ), представленным хлороформенными и спиртобензольными битумами. В каменной соли благородные металлы сосредоточены в нерастворимом остатке, причем МПГ также связаны с ОВ. Исследования показали, что ОВ Верхнекамского месторождения относится к нефтяному ряду, преимущественно планктонного и водорослевого типов, является автохтонным и преобразовано в самих соляных породах без признаков миграции из нижележащих толщ. Поэтому приуроченность МПГ к ОВ может свидетельствовать о существовании их в виде органических соединений (металлоорганических комплексов) и их сингенетичности вмещающим породам.

При переработке солей благородные металлы концентрируются в шламах (глинисто-солевых отходах) обогатительных фабрик. Нерастворимый остаток шламов, образующийся после их отмывки, представляет собой продукт, содержащий благородные металлы в следующих количествах, г/т: золото – 0,8–3,0, платина – 2,4–26,3, палладий – 11,8–41,8. При гигантских объемах получаемых шламов количество заключенных в них благородных металлов может быть сопоставлено с запасами крупных и даже сверхкрупных месторождений. Предложена методика извлечения благородных металлов из солей Верхнекамского месторождения [16].

Подобная рудоносность допускается для солей Прикаспийской впадины [20].

Заключение

Таким образом, изложенное свидетельствует о своеобразии нетрадиционных месторождений комплексных руд цветных и благородных металлов в осадочных бассейнах, не имеющих видимых связей с магматизмом. Прилегающая с запада к горно-складчатому Уралу восточная окраина Восточно-Европейской платформы, рассматриваемая автором в качестве Предуральского осадочного бассейна, также обладает потенциальными возможностями формирования подобных комплексных месторождений, содержащих в тех или иных количествах благородные металлы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Билибина Т. В., Мельников Е. К., Савицкий А. В. О новом типе месторождений комплексных руд в Южной Карелии // Геология рудных месторождений. 1991. № 6. С. 3–14.
2. Додин Д. А., Чернышов Н. М., Яцкевич Б. А. Платинометалльные месторождения России. СПб.: Наука, 2000. 755 с.
3. Конкин В. Д., Ручкин Г. В., Букинга О. Б. и др. Обстановки нахождения платинометалльного оруденения в черносланцевых формациях // Руды и металлы. 1993. № 1-3. С. 22–28.
4. Полуаршинов Г. П., Константинов В. М. О новых типах платиноидного оруденения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 1994. № 4. С. 20–23.
5. Трофимов Н. Н., Голубев А. И. Геодинамические условия формирования и металлогения Онежской впадины // Руды и металлы. 2000. № 5. С. 10–25.
6. Barnes S., Schmid S., Coveney Jr. R. M., et al. Geochemical investigation of the lower Cambrian mineralised black shales of South China and late Devonian Nick deposit, Canada // Ore Geology Reviews. 2018. Vol. 94. P. 396–413.
7. Coveney Jr. R. M., Nancheng C. Ni–Mo–PGM–Au–rich ores in Chinese black shales and speculation on possible analogues in United States // Mineralium Deposita. 1991. Vol. 26, № 2. P. 83–88.
8. Coveney Jr. R. M., Grauch R. I., Murowchick J. B. The Geologic Setting of Precious Metal-bearing Ni–Mo Ores Beds // Society of Economic

Geologists Newsletter. 1994. Vol. 18. P. 1–10.

9. Grauch R. I., Murowchick J. B., Coveney Jr. R. M. et al. Extreme concentration of Mo, Ni, PGE and Au in anoxic marine basins, China and Canada / In Source, Transport and Deposition of Metals (M. Pagel & J. L. Leroy, eds.). Proc. 25th SGA Anniversary Meeting, Balkema, Rotterdam, The Netherlands. 1991. P. 531–534.

10. Coveney Jr. R. M., Murowchick J. B., Grauch R. I. et al. Gold and Platinum in Shale with Evidence against extraterrestrial Sources of Metals // Chemical Geology. 1992. Vol. 99. P. 101–114.

11. Lott D. A., Coveney Jr. R. M., Murowchick J. B., Grauch R. I. Sedimentary exhalative nickel-molibdenium ores in South China // Economic Geology. 1999. Vol. 94(7). P. 1051–1066.

12. Гурская Л. И. Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. 208 с.

13. Ковалев С. Г., Сначев В. И., Высоцкий И. В. и др. О новом типе благороднометалльной минерализации на западном склоне Южного Урала // Руды и металлы. 1997. № 6. С. 27–32.

14. Золотов К. К., Мардиросьян А. Н. Платинометалльное оруденение в геологических комплексах Среднего Урала. Екатеринбург: Уралгеолфонд, 2000. 260 с.

15. Петров Г. А., Григорьев А. Г. Геологическое доизучение масштаба 1:200 000 и подготовка к изданию Госгеолкарты-200 (новая серия) листов О-40-XVIII и О-41-XIII Среднеуральской серии (Салдинская площадь). Екатеринбург: Уралгеолфонд, 2001. 285 с.

16. Сметанников А. Ф., Шанина С. Н., Синегрибов В. А. и др. Благородные металлы Верхнекамского месторождения солей // Горный журнал. 2006. № 6. С. 62–64.

17. Константинов В. М., Заварзин А. В., Файзулин М. И. и др. Нетрадиционные типы рудопроявлений платиноидов и золота на востоке Русской платформы и в Уральском регионе // Руды и металлы. 1999. № 4. С. 13–21.

18. Сметанников А. Ф., Кудряшов А. И. О возможном извлечении золота и серебра из руд Верхнекамского месторождения калийных солей // Руды и металлы. 1995. № 5. С. 118–121.

19. Сметанников А. Ф., Кудряшов А. И. Содержание и распределение Au, Ag и Pt-металлов в сильвинитах Верхнекамского месторождения // Геохимия. 1995. № 9. С. 1348–1351.

20. Милецкий Б. Е., Шелудяков Ю. Л. О предполагаемом открытии первого благороднометалльного рудопроявления в соляной толще Прикаспийской впадины // Руды и металлы. 2012. № 1. С. 62–65.

Статья поступила в редакцию 10 сентября 2017 г.

Complex deposits of nonferrous and precious metals in sedimentary basins

Efim Semenovich Kontar'
eskontar@mail.ru

Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia

The urgency of this review is conditioned by the expediency of generalization of published materials on geological features of complex ore deposits localized in sedimentary basins of many regions of the world.

The purpose of the study is to compose a review of the papers published in Russia and in foreign countries during the last 25–30 years. These papers should be concerned with the issues of the placement, geological structure and Mineralogy of non-traditional deposits of precious and non-ferrous metals. This should be taken into account when forecasting such objects in appropriate geological conditions.

Research methodology: the review is based on the analysis of the published data. This information characterizes unconventional complex deposits of precious and non-ferrous metals of different geological provinces of the world with varying degrees of completeness and reliability.

Results. Peculiar complex polymetallic deposits of noble and non-ferrous metals are localized in sedimentary basins of many regions of the world. The ores of these deposits include Mo, Ni, Cu, Zn, U, Se, and V. They are accompanied by abnormally high concentrations of noble metals, including platinum group metals, among them Pt and Pd usually prevail. The presence of ore-bearing terrigenous carbon formations of different ages in the anoxic parts of the shelf of the inland sea basins or in marginal-continental sea basins is common to all known provinces with complex polymetallic deposits. The basins maintain a fundamentally similar paleotectonic position: they are part of the covers of ancient platforms or of the upper parts of their foundations.

Summary. The most detailed information is available on deposits of Southern China, Canada, and Onega deflection in Karelia. The information about precious-metal mineralization of the Verkhnekamsk salt deposit is also presented. The data on the likely prospects for similar mineralization of some structures of the Eastern edge of the East European platform are given as well.

Keywords: black shales, non-ferrous metals; precious metals; organometallic complexes; sedimentary basins; salts; Southern China; Canada; Onega deflection; Eastern European platform.

REFERENCES

1. Bilibina T. V., Mel'nikov Ye. K., Savitsky A. V. 1991, *O novom tipe mestorozhdeniy kompleksnykh rud v Yuzhnoy Karelii* [On a new type of deposits of complex ores in South Karelia]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* [Geology of ore deposits], no. 6, pp. 3–14.
2. Dodin D. A., Chernyshov N. M., Yatskevich B. A. 2000, *Platinometal'nyye mestorozhdeniya Rossii* [Platinum metal deposits of Russia], Saint Petersburg, 755 p.
3. Konkin V. D., Ruchkin G. V., Bukinga O. B. and others 1993, *Obstanovki nakhozhdeniya platinometal'nogo orudneniya v chernoslantsevyykh formatsiyakh* [Situations of finding platinum-metal mineralization in black-shale formations]. *Rudy i metally* [Ores and metals], no. 1–3, pp. 22–28.
4. Poluarshinov G. P., Konstantinov V. M. 1994, *O novykh tipakh platinoidnogo orudneniya* [On new types of platinum mineralization]. *Mineral'nyye resursy Rossii* [Mineral resources of Russia. Economics and management], no. 4, pp. 20–23.
5. Trofimov N. N., Golubev A. I. 2000, *Geodinamicheskiye usloviya formirovaniya i metallogeniya Onezhskoy vpadiny* [Geodynamic conditions of formation and metallogeny of Onega depression]. *Rudy i metally* [Ores and metals], no. 5, pp. 10–25.
6. Barnes S., Schmid S., Coveney Jr. R. M., et al. 2018, Geochemical investigation of the lower Cambrian mineralised black shales of South China and late Devonian Nick deposit, Canada. *Ore Geology Reviews*, vol. 94, pp. 396–413.
7. Coveney Jr. R. M., Nancheng C. 1991, Ni–Mo–PGM–Au–rich ores in Chinese black shales and specification on possible analyses in United States. *Mineralium Deposita*, vol. 26, no. 2, pp. 83–88.
8. Coveney Jr. R. M., Grauch R. I., Murowchick J. B. 1994, The Geological Setting of Precious Metal-bearing Ni–Mo Ores Beds. Society of Economic Geologists Newsletter, pp. 1–10.
9. Grauch R. I., Murowchick J. B., Coveney Jr. R. M. et al. 1991, Extreme concentration of Mo, Ni, PGE and Au in anoxic marine basins, China and Canada. In *Source, Transport and Deposition of Metals* (M. Pagel & J. L. Leroy, eds.). Proc. 25th SGA Anniversary Meeting, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, pp. 531–534.
10. Coveney Jr. R. M., Murowchick J. B., Grauch R. I. et al. 1992, Gold and Platinum in Shale with Evidence against extraterrestrial Sources of Metals. *Chemical Geology*, vol. 99, pp. 101–114.
11. Lott D. A., Coveney Jr. R. M., Murowchick J. B., Grauch R. I. 1999, Sedimentary exhalative nickel-molibdenium ores in South China. *Economic Geology*, vol. 94(7), pp. 1051–1066.
12. Gurskaya, L. I. 2008, *Platinometal'noye orudneniye chernoslantsevogo tipa i kriterii ego prognozirovaniya* [The platinum-metal mineralization in the black-shale type and criteria of its forecasting], Saint Petersburg, 208 p.
13. Kovalev S. G., Snachev V. I., Vysotsky V. I., and others 1997, *O novom tipe blagorodnometal'noy mineralizatsii na zapadnom sklone Yuzhnogo Urala* [About a new type of precious metal mineralization on the Western slope of the southern Urals]. *Rudy i metally* [Ores and metals], no. 6, pp. 27–32.
14. Zoloyev K. K., Mardirosyan A. N. 2000, *Platinometal'noye orudneniye v geologicheskikh kompleksakh Srednego Urala* [The platinum-metal mineralization in the geological complexes of the Middle Urals]. Ekaterinburg, 260 p.
15. Petrov G. A., Grigor'yev A. G. 2001, *Geologicheskoye doizucheniye masshtaba 1:200 000 i podgotovka k izdaniyu Gosgeolokarty-200 (novaya seriya) listov O-40-XVIII i O-41-XIII Sredneural'skoy serii (Saldinskaya ploshchad')* [The geological survey of scale 1:200,000 and preparation for publishing state geological map – 200 (new series) of leaves O-40-XVIII, and O-41-XIII Sredneural'skaya series (Salda area)]. Ekaterinburg, 285 p.
16. Smetannikov A. F., Shanina S. N., Sinegribov V. A., and others 2006, *Blagorodnyye metally Verkhnekamskogo mestorozhdeniya soley* [Noble metals of the Verkhnekamskoye deposit of salts]. *Gornyy zhurnal* [Mining Journal], no. 6, pp. 62–64.
17. Konstantinov V. M., Zavarzin A. V., Fayzulin M. I. and others 1999, *Netraditsionnyye tipy rudoproyavleniy platinoidov i zolota na vostokeye Russkoy platformy i v Ural'skom regione* [Non-traditional types of occurrences of platinum and gold in the East of the Russian platform and in the Ural region]. *Rudy i metally* [Ores and metals], no. 4, pp. 13–21.
18. Smetannikov A. F., Kudryashov A. I. 1995, *O vozmozhnom izvlechenii zolota i serebra iz rud Verkhnekamskogo mestorozhdeniya kaliynnykh soley* [On possible extraction of gold and silver from ores of Verkhnekamsk deposit of potassic salts]. *Rudy i metally* [Ores and metals], no. 5, pp. 118–121.
19. Smetannikov A. F., Kudryashov A. I. 1995, *Soderzhanie i raspredeleniye Au, Ag i Pt-metallov v sil'vinitakh Verkhnekamskogo mestorozhdeniya* [Content and distribution of Au, Ag and Pt-metals in the sylvinites of the Verkhnekamskoe potash deposit]. *Geokhimiya* [Geochemistry], no. 9, pp. 1348–1351.
20. Miletsky, B. E., Y. L. Sheludyakov 2012, *O predpolagayemom otkrytii pervogo blagorodnometal'nogo rudoproyavleniya v solyanoy tolshche Prikaspiyskoy vpadiny* [On the expected opening of the first hosting precious metal deposits in the salt thickness of the Caspian basin]. *Rudy i metally* [Ores and metals], no. 1, pp. 62–65.

The article was received on September 10, 2017