

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕСУЛЬФИДНЫХ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ РУД

А.И.Донец

ФГУП Центральный научно-исследовательский
геологоразведочный институт цветных
и благородных металлов,
г. Москва

Рассмотрено геологическое строение трех групп месторождений несulfидных свинцово-цинковых руд. Группа I включает месторождения преимущественно каламиновых руд, образовавшихся при окислении и замещении первичных руд свинца и цинка. В группу II входят преимущественно виллемитовые залежи в верхнепротерозойских – нижнекембрийских терригенно-карбонатных и карбонатных толщах. Группа III представлена гипергенными залежами гидросиликатов и гидрокарбонатов свинца и цинка, которые сформировались в коре выветривания и зоне окисления первичных сульфидных руд этих металлов.

Ключевые слова: несulfидные свинцово-цинковые руды, запасы, минеральный состав руд, содержание металлов, геохимические ореолы.

Месторождения несulfидных свинцово-цинковых руд в последние годы вызвали у горнодобывающих компаний и исследователей значительный интерес, обусловленный высокими концентрациями металлов в рудах (Zn до 50, Pb до 9%), высокой технологичностью процессов переработки и относительно слабым загрязнением окружающей среды. Последнее связано в основном с незначительным присутствием в рудах сульфидов, генерирующих при переработке серную кислоту [6].

На основе анализа и обобщения данных о геологическом строении, минералогии, геохимии, минеральных фазах, времени формирования руд, составе и возрасте вмещающих пород D.Large [9] разделил месторождения несulfидных руд на три группы (таблица).

Группа I включает в основном месторождения каламиновых руд $Zn_4[(OH)_2Si_2O_7]H_2O$ (со смитсонитом $ZnCO_3$, гидроцинкитом $Zn_5[(OH)_3CO_3]_2$), тесно связанные со стратиформными свинцово-цинковыми месторождениями, руды которых слагают гидротермально-осадочные и гидротермально-метасоматические залежи в кар-

бонатных породах. Гипергенные несulfидные свинцово-цинковые руды возникли при окислении и замещении первичных сульфидных руд этих металлов и выполняют каверны и гнезда в карстовых структурах. К изучаемой группе относятся несulfидные залежи месторождений Верхней Силезии в Польше (Бытом), Испании (Реосин, Ланестоза), Бельгии (Каламин), Австрии (Блайберг), Словении (Мезика), Италии (Райбл, Горно, Салафосса), Греции (Лорион, Атенс, Тасос), Таиланда (Паданг).

В Верхней Силезии несulfидные свинцово-цинковые руды наиболее широко проявлены на **месторождении Бытом** [4]. Здесь в период с 1960 по 1989 гг. добыто 17,3 млн т несulfидной руды со средним содержанием Zn 17,2% (всего 2,97 млн т Zn). Первичные стратиформные сульфидные свинцово-цинковые залежи локализуются в доломитизированных известняках триасового возраста и метасоматических доломитах [1]. Несulfидные руды установлены в горстобразном блоке на глубине 120 м. Они сформировались при окислении первичных сульфидов свинца и цинка поверхностными водами, цирку-

Несульфидные свинцово-цинковые месторождения

Месторождения	Группа	Запасы руд, объем добычи	Содержание металлов, %	Минеральный состав руд	Вмещающие породы (возраст)
Бытом (Верхняя Силезия, Польша)	I	Добыча 17,3 млн т	Zn 17,2	Смитсонит, гемиморфит, гидроцинкит, гидроксиды железа, церуссит	Известняки, доломиты (Т)
Иглесиас (Сардиния, Италия)	I	Добыча в 1970 г. 84 000 т	Zn 20–35	Смитсонит, гидроцинкит, редко гемиморфит	Доломиты, известняки (ε)
Каламин (Бельгия)	I	Добыча 1,4 млн т	Zn 33–47	Гемиморфит, смитсонит, соконит, франклинит	Известняки (D–C ₁)
Горно (Италия)	I	Добыча 780 000 т	Zn 30–50	Смитсонит, гидроцинкит с незначительным количеством англезита, церуссита	Известняки (Т)
Райбл (Италия)	I	Добыча 180 000 т	Zn 30–45	Смитсонит, гидроцинкит, церуссит	Известняки (Т)
Реосин (Испания)	I	Запасы 3,76 млн т	Zn 8	Гемиморфит, церуссит	Известняки, доломиты (К)
Паданг (Таиланд)	I	Запасы 4,59 млн т	Zn 28,9	Смитсонит, гемиморфит	Известняки, доломиты (Т ₂)
Белтана (Австралия)	II	Разведанные запасы 850 000 т	Zn 36	Виллемит, коронадит, франклинит, миметезит, гедифан, смитсонит	Доломиты, известняки (ε)
		Полупромышленные запасы 800 000 т	Pb 8,9 Zn 3,9 As 1,0		
Тайнаг (Ирландия)	III	Запасы 1,2 млн т	Zn 4,66 Pb 9,92	Церуссит, смитсонит, гемиморфит, лимонит	Известняки, известковистые сланцы (С)
Сильвермайнс (Ирландия)	III	Запасы 1 млн т	Pb+Zn 19,7	Смитсонит, церуссит, гемиморфит, лимонит, иногда малахит	Известняки, известковистые сланцы (С)
Шаймерден (Казахстан)	III	Запасы 4,6 млн т	Zn 21,0 Pb 0,8	Гемиморфит, смитсонит	Доломиты, известняки (С)
Скорпион (Намибия)	III	Запасы 24,6 млн т	Zn 10,6	Соконит, каламин, смитсонит, шольцит, торбуттит, анакамит, гидроцинкит, гетеролит	Вулканогенно-осадочные породы (риолиты, песчаники, мраморы) (PR ₃)

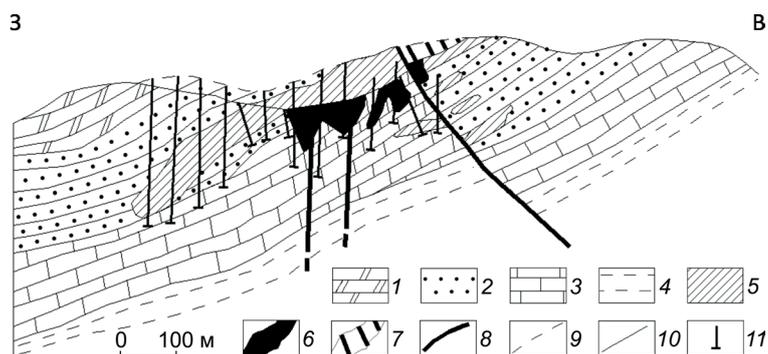


Рис. 1. Геологический разрез месторождения Паданг (Таиланд) [10]:

1 – доломиты; 2 – песчаники; 3 – известняки; 4 – алевритистые известняки; 5 – стратиформные сульфидные рудные тела; 6 – тела несulfидных руд, связанных с карстообразованием; 7 – смитсонитовые руды; 8 – разломы; 9 – поверхность эрозионного среза; 10 – поверхность, вскрытая горными выработками и скважинами; 11 – скважины

лирующими во вмещающих породах по разломам и зонам трещиноватости, и последующем отложении этих металлов в несulfидной форме в карбонатных породах при высоких значениях рН и окислительной обстановке. Степень окисления первичных руд зависит от глубины залегания рудовмещающих пород, интенсивности движений по разломам, а также от локальных гидрогеологических факторов (пористости пород, наличия экранирующих пластов, внутрислового давления и др.). Несulfидные руды сложены мелкозернистым гемиморфитом (каламин), смитсонитом, гидроцинкитом, церусситом и гидроксидами железа.

На месторождении Паданг (Таиланд) (рис. 1) стратиформные сульфидные залежи размещаются в среднетриасовых терригенно-карбонатных отложениях и локализованы в эпигенетических доломитах. Они сложены в основном сфалеритом; в небольших количествах присутствуют пирит и галенит. Над этими рудами на поверхности развита кора выветривания – «смитсонитовая шляпа». При фильтрации поверхностных вод через первичные руды по пластам пористых известняков, зонам трещиноватости и разломам образуются цинксодержащие кислые флюиды. Последние вызывают карстообразование в подрудных известняках (до глубины 150 м), которое сопровождается отложением гемиморфита и смитсонита. Несulfидные руды (запасы 4,59 млн т со средним содержанием Zn 28,9%, всего 1,26 млн т металла) выполняют карстовые воронки и гнезда непосредственно под первичными сульфидными рудами и обогащены цинком. Содержание Zn в сульфидных рудах составляет 10% [10].

Группа II месторождений несulfидных свинцово-цинковых руд включает преимущественно виллемитовые Zn_2SiO_4 залежи в среднепротерозойских – нижнекембрийских терригенно-карбонатных толщах на месторождениях Белтана (Австралия), Вазанти (Бразилия), Франклин и Стерлинг-Хилл (США), Кабве (Замбия). Рудные тела обычно ассоциируются с зонами карбонатных брекчий (гидротермальный карст). Руды формировались из гидротермальных растворов при низком содержании S и высокой активности кислорода. Среди рудных минералов преобладает виллемит, отмечаются франклинит $ZnFe_2O_4$, ганит $ZnAl_2O_4$, коронадит $Pb_2Mn_8O_{16}$ и др.

Типичный представитель рассматриваемой группы – месторождение Белтана (рис. 2), расположенное в нижнекембрийских доломитах и известняках осадочного бассейна Аррова (Австралия) вблизи крупного конседиментационного разлома, пересекающего краевую часть бассейна [8]. Рудные тела линзообразной и клиновидной форм приурочены к приразломной карстовой воронке, прослеженной на глубину >100 м. Они локализируются в брекчированных эпигенетических доломитах, которые сформировались при доломитизации известняков и перекристаллизации первичных доломитов. Эпигенетические доломиты содержат вкрапленную виллемитовую (1–3% Zn) и гематитовую минерализацию. В центральной части карстовой воронки размещаются богатые свинцово-цинковые руды (до 40% Zn), сложенные виллемитом и коронадитом с небольшим количеством миметезита $Pb_5[Cl(AsO_4)_3]$, гедифана (разновидность миметезита с 14% CaO) и смитсонита. На периферии месторождения в оруденелых карстовых брекчиях

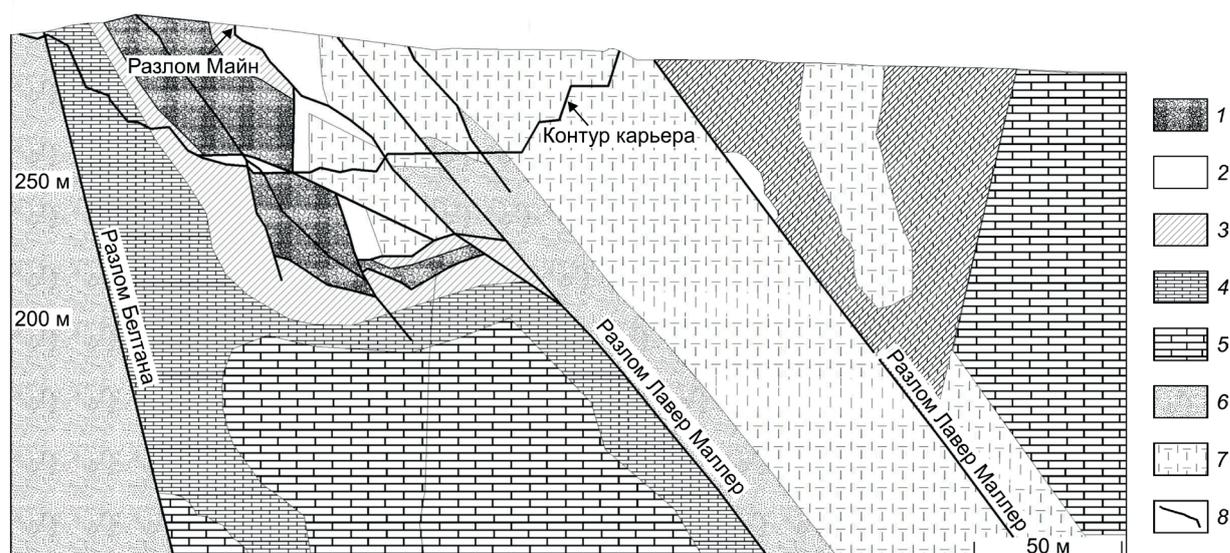


Рис. 2. Геологический разрез виллемитового месторождения Белтана (Южная Австралия) [8]:

1 – виллемитовые руды; 2 – коронадитовые руды; цинково-гематитовая брекчия: 3 – Zn >3%, 4 – Zn >1%; 5 – доломиты; 6 – кварциты Ронсли; 7 – брекчия Каланна; 8 – разломы

интенсивно проявлен смитсонит, образовавшийся при выветривании виллемита. Характерны отсутствие в рудах серебра и низкая концентрация S (<20 ppm). Нерудные минералы – манганокальцит, доломит, в меньших количествах кварц. Текстура виллемитовых образований отражает разные способы формирования руд: частичное или полное замещение карбонатов вмещающих пород, выполнение включений в цементе брекчий, заполнение трещин с образованием жил [5].

Различные исследователи [6] рассматривают три варианта генезиса несulfидных руд: гидротермально-метасоматический – формирование руд из кислых металлоносных гидротермальных растворов в окислительной обстановке с дефицитом сульфидной серы; гипергенное преобразование массивных сфалерит-галенитовых руд типа залежей долины Миссисипи-Миссури; гипогенное образование виллемита в связи с внедрением солевых диапиров. Исследования газожидких включений показали, что температура рудообразования варьирует от 50 до 170°C. Возраст оруденения по K-Ar датировке коронадита 435 млн лет.

Разведанные запасы виллемитовой руды составляют 850 000 т со средним содержанием Zn 36% (306 000 т металла). Запасы несulfидных

цинково-свинцовых руд – 800 000 т со средними содержаниями, %: Pb 8,9 (71 200 т), Zn 3,9 (31 200 т), As 1 (8000 т). Рудные тела сопровождаются геохимическими аномалиями Zn, Pb, Cd, As, Mn. Месторождение Белтана открыто по геохимическим ореолам Zn (7000 ppm) и Pb (217 ppm) в центре аномальной зоны протяженностью 5 км.

В группу II месторождений несulfидных свинцово-цинковых руд входит также объект **Вазанти** (Бразилия), находящийся в северо-западной части штата Минас-Жерайс в пределах рудного района Вазанти-Паракату [11]. Указанный район протягивается на 250 км в меридиональном направлении и включает цинковые месторождения Морро Агудо, Амброзия, Фагундес и ряд рудопроявлений. Месторождения данной группы размещаются в породах серии Вазанти в зонах разломов с брекчированием и смещением блоков. Серия Вазанти представлена толщей протерозойских метаседиментов, отложившихся в зоне интенсивного проседания в пределах Бразильского складчатого пояса. Свинцово-цинковое оруденение рудного района Вазанти-Паракату ассоциируется преимущественно с доломитовыми отложениями формаций Сьерра де Посо Верде и Морро де Калкарио. Месторождения Вазанти и Амброзия приурочены к слоис-

тым доломитам, сланцам, филлитам, мраморам и пиритсодержащим карбонатным сланцам формации Сьерра де Посо Верде. Месторождения Морро Агудо и Фагундес размещаются в отложениях рифового комплекса, представленных строматолитовыми доломитами и доломитовыми песчаниками формации Морро де Калкарио. Запасы металлов на месторождении Морро Агудо составляют, т: 630 500 Zn, 162 000 Pb.

Стратифицированные согласные тела массивных и брекчиевидных виллемитовых руд месторождения Фагундес распространены в доломитах фации обратного рифа, которые подверглись гидротермальному изменению с возникновением послойных и мозаичных кремнистых обособлений, нодулей халцедона, прожилков кристаллического доломита и анкерита. Виллемитовые рудные тела месторождения Амброзия тяготеют к брекчиевидным доломитам в зонах разломов, сопровождаются окремнением, перекристаллизацией и образованием прожилков доломитов.

Месторождение Вазанти пространственно связано с разломом северо-западного направления, в котором сформировалась брекчия, сопровождающаяся прожилками доломита, анкерита, сидерита, кварца, гематита, хлорита. Основные рудные тела месторождения сложены виллемитом, реже гемиморфитом, доломитом, кварцем, гематитом с небольшим количеством барита, апатита, франклинита, цинкита. Мощность тел виллемитовых руд 1–15 м; иногда они разделяются доломитовыми прослоями на два и более маломощных тела. По падению прослежены на 480–620 м. Виллемитовые руды могут формировать тектонические чешуи с доломитами, брекчированными метаседиментами и сульфидными рудами. Состав руд, %: 50–70 виллемит, 10–40 доломит, 10–15 кварц, 0,5–10 гематит, <5 барит, <5 франклинит, <5 цинкит.

Гемиморфитовые руды слагают тела, расположенные вблизи виллемитовых рудных тел, и представлены брекчией обрушения в сланцах и обогащенных цинком доломитах. Наиболее распространенные минералы – гемиморфит и гидроцинкит. Они сформировались при окислении сульфидных и виллемитовых руд в некоторых участках до глубины около 50 м. Подчиненные сульфидные руды представлены сфалеритом (с

примесью кадмия), галенитом, доломитом, кварцем, гематитом, сидеритом. Запасы силикатных руд месторождения составляют 18,5 млн т, содержание Zn 18,3%, запасы металла 3,415 млн т. Изучение стабильных изотопов С и О на месторождении показало, что обстановка с локальным увеличением отношения O_2/S_2 (обусловившим отложение виллемита) связана с эволюцией рудовмещающей толщи и смешением метеорных вод с горячими металлоносными растворами в каналах, приуроченных к разломам.

В штате Нью-Джерси (Хайленд, США), где обнажаются породы среднепротерозойского фундамента Гренвилл, в пределах Аппалачского складчатого пояса известны месторождения железо-марганцево-цинковых руд Стерлинг-Хилл и Франклин, сложенных виллемитом, франклинитом, цинкитом ZnO. Здесь добыто 6,5 млн т руды со средним содержанием Zn 20%.

Группа III месторождений несulfидных свинцово-цинковых руд представлена в основном гипергенными залежами гидросиликатов. (соконит $(Zn,Mg)_3[(OH)_2(Si,Al)_4O_{10}](0,5Ca,Na)(H_2O)_4$) и гидрокарбонатов $Zn_5[(OH)_3CO_3]_2$ цинка. Сформировались в коре выветривания и зоне окисления первичных цинковых сульфидных руд в карбонатных толщах в результате реакции содержащих цинк растворов с карбонатными породами, а затем перекрывались аллювиальными или ледниковыми отложениями.

Представитель третьей группы – **месторождение Тайнаг** (Ирландия) [4], где известны стратиформные залежи сульфидных свинцово-цинковых руд в карбонатных толщах каменноугольного возраста. Несulfидные руды месторождения образовались в палеоген-неогеновое время в карстовой депрессии размером 50х600 м, глубиной 75 м, приуроченной к зоне разлома. С последней ассоциируются первичные сульфидные руды, которые трансформировались в несulfидные залежи. В депрессии установлены брекчиевидные руды, сложенные обломками известняков, доломитов, первичных руд и сцементированные глинистым материалом со смитсонитом, гемиморфитом, реже церусситом $PbCO_3$, лимонитом $HFeO_2 \cdot nH_2O$, иногда малахитом $Cu_2CO_3(OH)_2$. Несulfидные руды перекрыты ледниковыми отложениями мощностью 6–10 м.

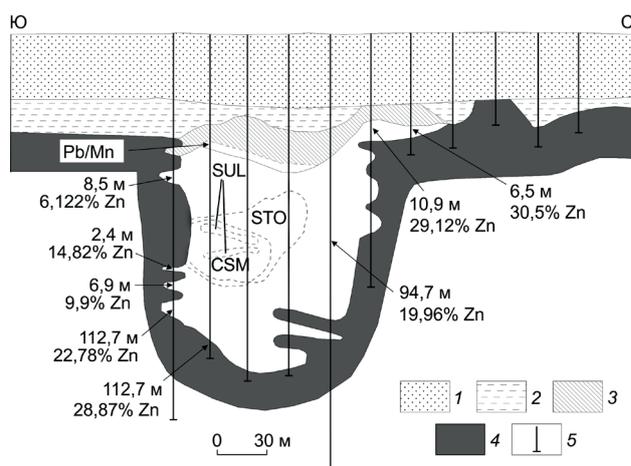


Рис. 3. Геологический разрез месторождения Шаймерден [3]:

1 – аллювиальные отложения; 2 – бокситовые глины; 3 – слабо минерализованные глины; 4 – каменноугольный известняк; 5 – буровая скважина с минерализованным интервалом; Pb/Mn – глина с повышенными значениями отношения; STO – кремнистая руда; CSM – скопления каламина и смитсонита; SUL – сульфиды

Гипергенное **месторождение** несulfидных свинцово-цинковых руд **Шаймерден** (рис. 3) в Казахстане размещается в визейской карбонатной толще с эвапоритами и приурочено к карстовой депрессии в известняках размером 450x150 м, глубиной 200 м. В центральной части месторождения сохранились массивные сульфидные свинцово-цинковые руды, постепенно переходящие на флангах в гемиморфит-смитсоновые глины, образовавшиеся при выветривании первичных сульфидных руд. Размер месторождения 450x300 м, запасы свинцово-цинковых руд 4,645 млн т. Средние содержания, %: 21,06 Zn, 0,8 Pb. Запасы металлов, млн т: 0,97 Zn, 0,037 Pb. Руды перекрыты меловыми глинами и четвертичными отложениями мощностью до 40 м.

Цинковое **месторождение Скорпион** [7] расположено в Южной Намибии. Оно представлено крупной залежью несulfидных свинцово-цинковых руд (26,4 млн т), содержащих 10,6% Zn (2,6 млн т Zn), и подчиненным количеством первичных сульфидных руд, залегающих под несulfидными. Погребенное тело несulfидных

руд и остаточная сульфидная минерализация залегают во внутриконтинентальной рифтовой системе между кратонными провинциями Калahari и Рио де ла Плата. Метавулканические и субвулканические породы региона сформировались при внутриплитном расширении земной коры. Возраст вулканитов риолитового потока лавы по данным U-Pb анализа цирконов 751 млн лет. Бассейн, где накапливались рудовмещающие толщи месторождения, включая обломочные и карбонатные породы, характеризуется сочетанием горстов и грабенных с мелководной и более глубоководной обстановками осадконакопления. Породы региона метаморфизованы в период Панафриканско-Бразильской орогении (545–550 млн лет). Территория интенсивно деформирована (складки, разломы, блоковые структуры); метаморфизм пород от зеленосланцевой до амфиболитовой фации. Рудное тело месторождения размещается в аркозовых метапесчаниках и метавулканиках. Залежь неправильной формы с плоской кровлей залегает трансгрессивно к напластованию и перекрыта песчаниками, галечниками, современными песчаными дюнами (рис. 4). На глубине рудное тело имеет резкий контакт с безрудными мраморами (на востоке и юге) и постепенные переходы с силикатными кластитами (на западе и севере). Несulfидные руды сложены преимущественно соконитом (цинковый смектит), постоянно присутствуют гемиморфит, смитсонит, реже встречаются шольцит $\text{CaZn}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, тарбуттит $\text{Zn}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})$, атакмит $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$, гидроцинкит, гетеролит ZnMn_2O_4 . Рудные минералы идиоморфной и гипидиоморфной структур выполняют пустоты, трещины, цемент брекчий, а также замещают полевошпат и слюду. В метаседи-ментах с несulfидными рудами отмечаются гидроксиды железа по рассеянным сульфидам, реже по слоям массивных сульфидных руд. Несulfидные рудные тела в метаосадочных кластитах на западном и северо-восточном флангах сопровождаются «железными шляпами», содержащими марганцевые минералы и гидроксиды железа.

Наибольшее количество сульфидных залежей приурочено к потокам метариолитов и фельзитовых геокластитов под несulfидными руд-

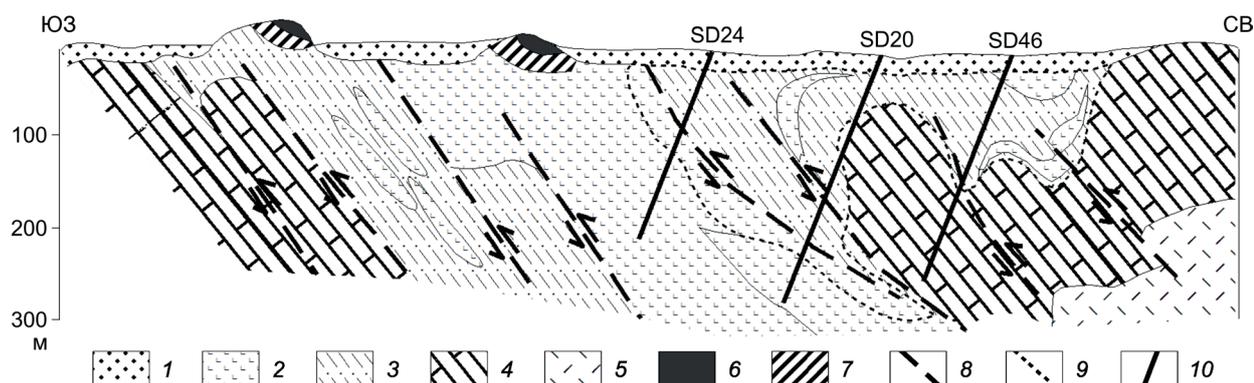


Рис. 4. Схематический геологический разрез месторождения Скорпион [7]:

1 – перекрывающие породы; 2 – пачка фельзитовых метавулканитов; 3 – пачка кремнистых кластитов; 4 – мраморы; 5 – пачка мафических метавулканитов; 6 – «железная шляпа»; 7 – сульфиды; 8 – разломы; 9 – контуры несulfидных рудных тел; 10 – буровые скважины

ными телами. Сульфидные руды представлены пиритом, пирротинном, сфалеритом с небольшим количеством халькопирита, галенита и халькозина. Несulfидные руды образовались в дометаморфический период, о чем свидетельствуют слагающие их низкотемпературные, низкобарические, водосодержащие минеральные ассоциации. Таким образом, гипергенные несulfидные цинковые руды месторождения Скорпион сформировались при окислении сульфидов циркулирующими поверхностными водами, что подтверждается текстурными особенностями руд и данными изотопных исследований. Время образования руд точно не установлено; предполагается, что они сформировались в промежутке от 545 млн лет (пик метаморфизма) до времени размыва и переотложения с перекрытием безрудными гравелитами Намибийской пустыни (~21 млн лет).

Месторождения несulfидных свинцово-цинковых руд первой и третьей групп пространственно и парагенетически связаны со стратиформными свинцово-цинковыми объектами в карбонатных толщах, поэтому прогнозно-поисковые модели, разработанные для последних, можно применить к данным месторождениям [2, 12]. Прогнозно-поисковые модели собственно несulfидных руд (в ранге месторождения или рудного тела) включают эрозионные поверхности, а также коры выветривания в верхних частях и на флангах сульфидных месторождений,

разломы, зоны трещиноватости, к которым приурочены карстовые воронки и тектонические депрессии [6].

Структуры гидротермального обрушения (подрудного карста) контролируют размещение рудных залежей месторождений первой группы. Указанные залежи формировались из поверхностных вод, которые мигрировали вниз через первичные руды и выщелачивали из них свинец и цинк. В подрудных слоях известняков, не содержащих сульфидную серу и органический углерод, отлагались несulfидные руды.

Виллемитовые залежи месторождений второй группы, по мнению ряда исследователей, формировались в карбонатных породах из металллоносных гидротермальных растворов седиментно-катагенного происхождения в обстановке повышенной активности кислорода и дефицита сульфидной серы. Очевидно, главный дополнительный прогнозно-поисковый признак залежей виллемитовых руд (по сравнению со стратиформными сульфидными свинцово-цинковыми месторождениями в карбонатных толщах) – литолого-фациальный, обусловленный развитием известняков с повышенным отношением Ca/Mg, низкими концентрациями органического углерода и серы (в рудах фиксируется незначительное количество сульфидов железа).

Следует отметить, что несulfидные свинцово-цинковые месторождения всех трех типов сопровождаются геохимическими аномалиями

Zn, Pb, Cd, As и Mn, которые могут рассматриваться как поисковый признак. Для несulfидных руд и геохимических ореолов характерны отсутствие серебра, пониженные концентрации S и повышенные As (до 1%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методическое* руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Выпуск «Свинец и цинк» / Г.В.Ручкин, В.Д.Конкин, А.И.Донец и др. – М.: ЦНИГРИ, 2002.
2. *Прогнозно-поисковые* комплексы. Вып. VIII. Комплексование работ по прогнозу и поискам месторождений свинца и цинка в карбонатных формациях. Методические рекомендации / Отв. ред. Д.И.Горжевский. – М.: ЦНИГРИ, 1985.
3. Boland M.B., Kelly J.G., Schaffalitzky C. Shaimerden supergene zink deposit, Kazakhstan: a preliminary examination // *Econ. Geol.* 2003. Vol. 98. № 4. P. 787–795.
4. Boni M., Large D. Nonsulfide zink mineralisation in Europe: an overview // *Econ. Geol.* 2003. Vol. 98. № 4. P. 715–729.
5. Brugger J., Mc Phah D.C., Wallace M., Waters J. Formation of willemite in hidrothermal environments // *Econ. Geol.* 2003. Vol. 98. № 4. P. 819–835.
6. *Classification, genesis and exploration guides for non-sulfide zink deposits* / W.Murray, D.Hitzvan, N.A. Reynolds et al. // *Econ. Geol.* 2003. Vol. 98. № 4. P. 683–685.
7. *Geology of the Scorpion supergene zink deposit, southern Namibia* / G.Borc, K.Karner, M.Buxton et al. // *Econ. Geol.* 2003. Vol. 98. № 4. P. 749–771.
8. Groves I.V., Carman C.I., Dunlup W.J. Geology of the Beltana willemite deposit, Flinders Ranges, south Australia // *Econ. Geol.* 2003. Vol. 98. № 4. P. 797–818.
9. Large D. The geology of nonsulfide zink deposits – an overview // *Erzmetall.* 2001. Vol. 54. P. 264–276.
10. *The Padaeng supergene nonsulfide deposit, Mae Sod Thailand* / N.A.Reynolds, T.W.Chisnall, K.Krianacsak et al. // *Econ. Geol.* 2003. Vol. 98. № 4. P. 773–785.
11. *The Vazante and Morro Agudo Zn-Pb mines, Minas Geraus, Brazil* / C.Vivani, D.R.Almeida, G.Romagna et al. // *Proterozoic base metal deposits of Africa and South America. JGCP 450, Belo Horizonte and Paracatu, Brazil.* 2001. P. 115–131.
12. Zuffardi P. *Giacimentologia e prospezione mineraria.* – Bologna: Pitagora Editrice, 1982.

Донец Александр Иванович,
доктор геолого-минералогических наук
metallogeny@tsnigri.ru

GEOLOGY AND EXPLORATION OF NON-SULPHIDE LEAD AND ZINK ORE DEPOSITS

A.I.Donets

Geology of three groups of non-sulphide Pb-Zn ore deposits is considered. Group I comprises predominately calamine deposits – products of oxidation and replacement of primary Pb-Zn ores. Group II represents mainly willemite deposits hosted by Neoproterozoic – Early Cambrian carbonate and terrigenous-carbonate sequences. Group III consists of ore deposits composed of supergenic Pb-Zn hydrous silicates and hydrous carbonates – products of weathering of primary sulfide ores of these metals. Ore mineralogy and grade, metal endowment, the host rock features and age of these deposits are described. Geochemical halos of Zn, Pb, Cd, and As envelope these deposits; the non-sulfide ores and halos are Ag-poor and As-rich (up to 1% of the latter).

Key words: non-sulfide Pb-Zn ore, mineral endowment, ore mineralogy, ore grade, geochemical halo.