

Член-корреспондент АН СССР И. С. РОЖКОВ, Г. В. ПИСЕМСКИЙ,
Л. М. ГАНЖА, А. Г. ЛОПАТИН, И. В. ЕЛЕЕВА, Ю. Б. БАБКОВ,
Е. И. ЗАЙЦЕВ, Н. Л. МАЛАХОВ

О ЗОЛОТОНОСНОСТИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД КРИВОГО РОГА

В конце 1968 г. геологическим отрядом Криворожской комплексной партии треста «Кривбасгеология», совместно с геологической службой Ингулецкого рудника было установлено наличие золота в окисленных железных рудах в количествах, представляющих промышленный интерес.

Породы и руды железорудной формации Криворожья значительно изменены метаморфическими, гидротермальными и гипергенными процессами. Они имеют фоновые содержания, превышающие примерно на порядок и более кларк золота в земной коре (табл. 1).

В среднем для всех руд и пород железорудной формации фоновые содержания золота составили $n \cdot 10^{-2}$ г/т.

В отдельных пробах железных руд без следов наложенной минерализации фиксируются высокие содержания золота: до 0,7 г/т в маритовой руде; 0,4 и 0,8 г/т в магнетитовом концентрате. Такие высокие содержания могут свидетельствовать о наличии обогащенных золотом горизонтов руд в связи с седиментационными или метаморфическими процессами.

В отечественной геологической практике подобных примеров не встречалось, и за рубежом известно лишь одно месторождение (Гонко-Сокко в Бразилии), происхождение золота в котором связывается с осадконакоплением пород железорудной формации (1).

Изучение гипогенной минерализации в железистых кварцитах Кривого Рога, представленной гидротермальными и метаморфогенными зонами сульфидизации прожилково-вкрапленного типа, жилами кварц-карбонатного состава и вкрапленностью сульфидов, позволило выявить в некоторых из них повышенное содержание золота (см. табл. 1). Так, в пробе весом 10 кг, отобранной из кварц-карбонатно-сульфидных жил в отвалах карьера Южного горно-обогатительного комбината, при промывке был выделен 21 знак золота размером 0,2—0,6 мм, причем содержание золота, по данным пробирно-спектрального анализа, составило 1,55 г/т, проба 850—870. Из другой пробы весом 12 кг выделено 2 золотины размером 0,05 и 0,2 мм. В монофракциях сульфидов из этих проб золото химическими анализами не установлено (чувствительность метода 0,1 г/т), а содержания и состав элементов-примесей, по данным полуколичественных спектральных анализов, отличаются от вмещающих роговиков лишь присутствием As в количестве 0,1% (0,11% по данным химических анализов).

Две пробы, весом 4 и 7 кг, отобранные на Ингульцком и Анновском карьерах также содержали единичные знаки тонкого золота.

Таблица 1

Породы и руды	Содержание золота, г/т*			
Магнетит-маритовые руды	—(8)	$n \cdot 10^{-2}$ (8)	$n \cdot 10^{-2}$ (18)	$n \cdot 10^{-1}$ (7)
Железистые кварциты	—(5)	$n \cdot 10^{-2}$ (8)	$n \cdot 10^{-2}$ (13)	$n \cdot 10^{-1}$ (2)
Сланцы	$n \cdot 10^{-2}$ (1)	$n \cdot 10^{-1}$ (1)		
Минерализованные зоны в железистых кварцитах	—(3)	$n \cdot 10^{-2}$ (5)	$n \cdot 10^{-1}$ (3)	n (1)

* Здесь и в табл. 2 — по данным пробирно-спектрального анализа. В скобках — число проб. Минус — пусто.

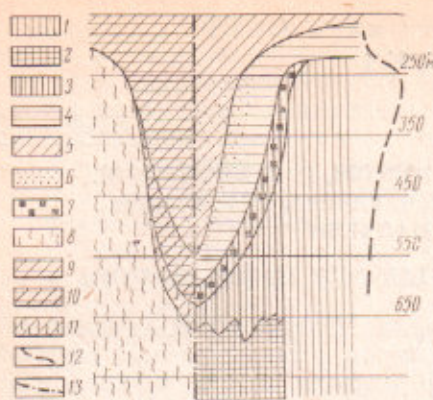


Рис. 1. Схематический профиль линейной коры выветривания на породах железорудной формации Криворожского бассейна и поведение золота в зоне вторичной сульфидизации. Породы железорудной формации средней свиты криворожской серии: 1 — джеспилиты, 2 — магнетитовые руды; зоны коры выветривания железистых пород: 3 — мартитизация (магнетит-мартитовые, мартитовые и мартит-гематитовые руды), 4 — обохриания (гематитовые, гематит-гетитовые руды), 5 — выщелачивания (гетит-гидрогетитовые руды), 6 — окремнения (кремнистые, кремнисто-железистые образования), 7 — вторичной сульфидизации; 8 — метаморфические сланцы верхней свиты криворожской серии; зоны коры выветривания сланцев: 9 — каолинитовая и охристая, 10 — гидрослюдистая, 11 — гидрохлоритовая; 12 — распределение золота в зоне сульфидизации; 13 — тектонические нарушения

серии нижнего протерозоя и прослеживаются на всем протяжении бассейна (2).

Повышенная золотоносность установлена в сульфидизированной зоне цементации линейной коры выветривания в железных рудах Ингулецкого рудника.

Кора выветривания здесь характеризуется отчетливо выдержанной вертикальной и горизонтальной зональностью в породах верхней свиты, рудной залежи в джеспилитах пятого железистого горизонта средней свиты (рис. 1).

Зональность богатых железных руд проявляется в последовательной смене (сверху вниз) следующих их минеральных разновидностей: бурые железняки (гетит-гидрогетит-лимонитовые), гематит-мартитовые, мартит-магнетитовые, магнетитовые руды (последние фиксируются в области выклинивания коры выветривания).

В сланцах верхней свиты зональность выражена сменой каолинитового горизонта на гидрослюдистый и гидрохлоритовый, ниже — на невыветрелые сланцы.

Генетически в железных рудах выделяется зона выщелачивания, представленная охристыми и глинисто-охристыми породами с переменным количеством маршаллита, зоны полного и частичного обохриания, переходящие в различной степени мартитизированные породы и руды железорудной формации. Эти зоны наиболее отчетливо проявляются в горизонталь-

Таким образом, во всех четырех пробах было обнаружено свободное золото.

В настоящее время месторождения, связанные с гипогенной кварцево-сульфидной и карбонатно-сульфидной минерализацией в железных рудах, известны в Бразилии (месторождение Рапосос, провинция Минас-Жерайс) и в восточной Африке (Гейта, район Мванза в Танзании). Рудные тела в последнем расположены в тонкопослойчатых магнетитовых кварцитах и приурочены к зоне дробления с кварцево-сульфидной минерализацией. Изучение образца, в котором определено 10 г/т золота, показало, что сульфидная минерализация жильково-вкрапленного типа представлена пиритом, пирротинном и халькопиритом. Минерализация подобного типа, как показали приведенные выше результаты предварительного опробования, в отношении золотоносности может быть перспективной и для Криворожского бассейна.

Для Криворожской структуры характерно развитие линейных кор выветривания, формировавшихся длительное время (с верхнего протерозоя (?) до третичного периода). Они приурочены к тектоническому контакту пород средней, железорудной, и верхней, терригенной, свит криворожской осадочно-метаморфической

Зоны линейной коры	Ингулецкий участок	Другие участки Криворожского бассейна
Выщелачивания Обохранения Инфильтрации Окремнения и ожелезнения Сульфидизации	—(4); $n 10^{-3}$ (5); $n 10^{-2}$ (1) ¹ —(3); $n 10^{-3}$ (7); $n 10^{-2}$ (14); $n 10^{-1}$ (1) $n 10^{-3}$ (1); $n 10^{-2}$ (4); Гор. 450—500 м: $n 10^{-2}$ (5); $n 10^{-1}$ (8); n (13) Гор. 550—600 м: —(2); $n 10^{-2}$ (9); $n 10^{-1}$ (4)	—(3); $n 10^{-3}$ (3); $n 10^{-2}$ (2) —(17); $n 10^{-3}$ (22); $n 10^{-2}$ (2) $n 10^{-1}$ (11) —(2); $n 10^{-3}$ (3); $n 10^{-2}$ (1); $n 10^{-1}$ (1) $n 10^{-3}$ (3); $n 10^{-2}$ (8); $n 10^{-1}$ (2)
Мартитизации и первичных руд	—(5); $n 10^{-2}$; (3); $n 10^{-3}$ (9); $n 10^{-1}$ (8)	—(8); $n 10^{-2}$ (15); $n 10^{-3}$ (22); $n 10^{-1}$ (1)

ном разрезе, развиваясь от контакта со сланцами верхней свиты, превращенными в охристо-глинистые породы.

Зональность линейной коры осложняется инфильтрационными процессами, которые выражены образованием зон вторичного окремнения и сульфидизации. Зоны окремнения размещаются в тектонических швах, а зоны сульфидизации локализируются в связи с геохимическим барьером, характеризующимся сменой окислительной обстановки на восстановительную. Они размещаются в дезинтегрированных мартитизированных рудах в области выклинивания зон обохранения и прослеживаются сверху вниз по контакту линейной коры выветривания с вмещающими породами. Вторичная сульфидная минерализация вкрапленного и прожилково-вкрапленного типа представлена пиритом двух генераций и единичными выделениями марказита. Гипергенная сульфидная минерализация отличается от гипогенной, развитой на глубоких горизонтах ниже коры выветривания, минеральным составом сульфидов (отсутствуют халькопирит и пирротин), повышенным содержанием Au, As, Cu и положительными значениями для пирита термо-э.д.с., в то время как для гипогенных характерны Mo и Mn, а также отрицательные и смешанные значения термо-э.д.с. для пирита. Основная же особенность зоны вторичной сульфидизации заключается в ее четком пространственном положении в зональности линейной коры выветривания.

Как показало опробование, в линейной коре выветривания происходит перераспределение золота из зон выщелачивания и обохранения в зону вторичной сульфидизации (табл. 2).

Выявленное золотопоявление на Ингулецком руднике ниже отработанных горизонтов (горизонт 350 м) прослежено по простиранию на 300 м; по падению его выклинивание установлено между горизонтами 550—600 м. Содержание золота в зоне сульфидизации Ингулецкого участка резко падает на глубине 550 м, хотя процессы сульфидизации затухают ниже. Предполагается, что на участке опробования наиболее обогащенный горизонт (220—260 м) уже отработан. Его продолжение можно ожидать на северном фланге рудника, в связи с погружением залежи, на этаже 450—650 м. Средняя мощность золотоносной зоны около 1 м (при максимальной 3,8 м), содержание золота в среднем 1 г/т (до 7,1 г/т). Золото в зонах сульфидизации присутствует в свободном состоянии (очень мелкое — обычно сотые доли миллиметра) и в связанном — в сульфидах и продуктах их окисления (данные рационального анализа). Свободное золото имеет низкую пробу, 700—715, характерную для золота, отложившегося в условиях его переноса сульфатными растворами в корях выветривания (3, 4).

Рациональный анализ на золото, проведенный в пробе сульфидизированной гематит-мартитовой руды весом 50 кг, измельченной до 0,3 мм, показал следующее (табл. 3).

Как видно из табл. 3, основными носителями золота в данной руде оказываются пирит и продукты его окисления. В первичных окислах железа содержание золота близко к фоновому.

Таблица 3

№ пп.	Состав минеральных фракций	Выход, %	Содерж. Au, г/т	Распредел. Au, %
1	Свободное золото	Сл.	0,005	Сл.
2	Магнетит существенно мартитизированный	19,65	0,03	2,0
3	Мартит	56,5	0,08	15,6
4	Средняя часть (промпродукт)	9,2	0,32	10,0
5	Нерудные минералы (преимущественно кварц)	3,4	0,28	3,2
6	Сульфиды (преимущественно пирит)	2,4	2,28	18,7
7	Ила-класс минус 20 м (гидрогематит с примесью каолинита)	8,85	1,66	50,5
Всего		100,0	0,29	100,0

Тесная связь золотоносных зон с зонами вторичной сульфидной минерализации позволяет предполагать, что золото выпадало одновременно с кристаллизацией сульфидов на геохимическом барьере, приуроченном к границе зон, характеризующихся окислительной и восстановительной обстановкам.

В золотоносных зонах намечается прямая корреляционная связь золота с медью и мышьяком.

Поисковыми признаками золотоносных проявлений подобного типа в породах железорудной формации могут являться: 1) повышенный фон золота во вмещающих породах; 2) широкое развитие линейных кор выветривания; 3) наличие зон и горизонтов богатых железных руд, как индикаторов процессов длительной гипергенной переработки вмещающих пород железорудной формации; 4) развитие полного профиля линейной коры выветривания с отчетливо проявленной вертикальной и горизонтальной зональностью, интенсивное ее развитие по мощности и на глубину; 5) присутствие мощной и интенсивно проявленной зоны вторичной сульфидизации, связанной с инфильтрационными процессами; 6) наличие признаков перераспределения золота в коре выветривания с обогащением зон вторичной сульфидизации.

Перспективы золотоносности площадных кор выветривания пока не ясны и требуют дальнейшего изучения, особенно в зонах цементации, на ее глубоких горизонтах.

Таким образом, железорудная формация является благоприятным объектом поисков различных типов золотого оруденения: в зонах гипогенной минерализации (особенно в связи с зонами сульфидизации), в зонах вторичной сульфидизации линейных кор выветривания. Возможно также выявление отдельных горизонтов железных руд, обогащенных золотом при процессах седиментации или метаморфизма.

До настоящего времени вопросам золотоносности железорудных формаций не уделялось достаточного внимания. Интенсивная разведка и отработка железных руд настоятельно требует оценки их золотоносности.

Центральный научно-исследовательский
горноразведочный институт цветных, редких
и благородных металлов
Трест «Кривбассгеология»
Рудоуправление «Ингулец»

Поступило
28 VIII 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Д. В. Дорр, Ф. В. Гильд, А. Л. М. Борбоза, Железорудные месторождения Бразилии. В кн. Железорудные месторождения мира, ИЛ, 1955. ² Геология криворожских железорудных месторождений, 1 и 2, Я. Н. Белевцев (отв. ред.), Киев, 1962. ³ В. М. Крейтер и др., Поведение золота в зоне окисления золото-сульфидных месторождений, 1958. ⁴ Л. В. Разин, И. С. Рожков, Геохимия золота в коре выветривания и биосфере золоторудных месторождений Куранахского типа, 1966.