

ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ

УДК 549.2/.8:553.3/.4:553.491.8.04

ЗОЛОТО – ПЛАТИНОНОСНОСТЬ ГЛАВНЕЙШИХ ТИПОВ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ФОРМАЦИЙ МИРА (ИНФОРМАЦИОННО – АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)

Чл. корр. РАН Н.М. Чернышов, С.П. Молотков, О.Г. Резникова

Воронежский государственный университет

Дан краткий информационно-аналитический обзор золото-платиноносности различных по формационной и промышленно-генетической принадлежности, ресурсам и запасам железорудных месторождений, включая магматические, контактово-метасоматические, кор выветривания и метаморфические. Наиболее полно рассмотрена проблема золото-платиноносности крупных и уникальных месторождений железистых кварцитов, обеспечивающих свыше 60% мировой добычи железа и содержащих собственные минеральные фазы Au, Pt, Pd, Os, Ru, Ir. В совокупности с техногенными продуктами их переработки они выступают в качестве нового уникального по ресурсам нетрадиционного источника благородных металлов XXI века.

Общеизвестно, что железорудные месторождения являются одним из важнейших потенциальных нетрадиционных источников благородных металлов [1,2,3]. По далеко неполным данным суммарная попутная добыча лишь золота из железорудных формаций в зарубежных странах составила в конце XX столетия свыше 930 тонн.

В предлагаемом информационно-аналитическом обзоре приводятся данные о золото-платиноносности разнообразных по формационной и промышленно-генетической принадлежности, ресурсам и запасам железорудных месторождений. При этом наиболее полно освещена проблема золото-платиноносности крупных и уникальных месторождений железистых кварцитов, обеспечивающих свыше 60% мировой добычи железа и которые в совокупности с техногенными продуктами их переработки (хвостоотвалами) выступают в качестве нового крупномасштабного нетрадиционного источника золото-платинодобычи XXI столетия.

1. Геолого-генетическая типизация железорудных формаций с попутным золото-платинометалльным оруденением, главные эпохи их формирования и поведение платиноидов и золота в железорудообразующих процессах

В соответствии с разработанной под редакцией В. И. Смирнова [4] классификацией среди железорудных месторождений выделяются 7 генетических групп (магматические, контактово-метасоматические, гидротермальные, осадочные

морские слабометаморфизованные, осадочные континентальные, кор выветривания, метаморфические) и 25 их формационных типов (табл. 1). Ведущими минеральными типами являются железооксидные и гидрооксидные, карбонатно-силикатнооксидные и карбонатные.

Наиболее продуктивными эпохами формирования железорудных месторождений являются архейско-нижнепротерозойская (AR₁₋₂ - PR₁), среднепалеозойская (S - D₁), верхнепалеозойская (D₂ - P₁), поздне меловая-палеогеновая (K₂-Pg), неоген-четвертичная (N - Q).

Архейско-нижнепротерозойская эпоха характеризуется мощным общепланетарным накоплением железисто-кремнистых формаций, представленных пластовыми телами железистых кварцитов в пределах докембрийских щитов и платформ (в России – месторождения КМА, Балтийского и Алданского щитов, на Украине - Криворожья, Приазовья; за рубежом – железорудные месторождения Бразилии, Индии, Западно-Австралийского и Канадского щитов).

В среднепалеозойскую эпоху произошло образование ряда магматических (Качканарское, Первоуральское, Ковдорское и др.), скарновых и метасоматических (Высокогорское, Горноблагодатское – Урал; Тейское, Ирбинское, Краснокаменское – Алтай-Саянская область) месторождений, связанных с магматизмом заключительной фазы каледонского тектоногенеза.

Позднепалеозойская эпоха ознаменовалась максимальным развитием скарново-магнетитовых месторождений, связанных с магматизмом герцинского тектоногенеза (Соколовское, Сарбайское –

Таблица 1

Классификация железорудных месторождений (по В.И. Смирнову с дополнениями)

Генетическая группа	Класс (формация)	Месторождения*
Магматические	Магнетитовые малотитанистые в интрузивах габбро-пироксенит-дунитовой формации	Качканарское, Гусевогорское, Первоуральское (Урал); Лысанское (Восточный Саян)
	Титаномагнетит-ильменитовые в габбровых интрузивах	Кусинское, Копанское (Южный Урал)
	Титаномагнетитовые высокотитанистые в габбровых и габбро-диабазовых интрузивах	Пудожгорское, Койкарское (Карелия); Харловское (Алтай); Таберг (Швеция)
	Перовскит-титаномагнетитовые и апатит-магнетитовые в щелочно-ультраосновных интрузивах с карбонатитами	Африканда, Ковдорское (Кольский п-ов); Сукулу (Уганда); Палабор, Люлекоп (ЮАР); Дорова (Южная Родезия)
Контактово-метасоматические	Магнетитовые известково-скарновые	Магнитогорское, Высокогорское, Гороблагодатское и др. (Урал); Адаевское (Тургайская железорудная провинция); Дашкесанское (Азербайджан); Атансорское (Казахстан); Белорецкое (Горный Алтай); Таштагольское, Краснокаменское и др. (Алтае-Саянская обл.); Чокадам-Булакское (Таджикистан); месторождения Калифорнии, Нью-Мехико (США); Китая и др.
	Магнетитовые магнезиально-скарновые, магнезиально-известково-скарновые	Тейское (Кузнецкий Алатау), Казское, Шерегешевское (Горная Шория), Тарданское (Тува); Железный Кряж (Восточное Забайкалье); Таёжное, Пионерское (Южная Якутия); Адифондак, Айрон Хэд, Кей-Каньён и др. (США), Малко-Тырново (Болгария); Окна-де фер (Румыния)
	Скаполит-альбитовые и скаполит-альбит-скарновые магнетитовые	Качарское, Сарбайское, Соколовское (Тургайская провинция); Гороблагодатское (Урал); Анзасское (Западный Саян)
	Магнетитовые и гематитовые, водно-силикатные	Западное Сарбайское (Тургайская провинция); Абаканское (Хакассия); отдельные участки месторождений предыдущих классов
Гидротермальные	Магномагнетитовые, связанные с траппами	Коршуновское, Рудногорское, Тагарское, Нерюндинское и др. (Восточная Сибирь)
	Магнетитовые и железнослюдковые, жильно-метасоматические	Паладаурское (Грузия); Кутимское (западный склон Северного Урала)
	Железкарбонатные жильно-метасоматические	Бакальское (Южный Урал); Абаильское (Южный Казахстан); Бильбао (Испания); Эрцберг (Австрия); Зигерлянд (Германия); Любия (Югославия); Гелар и Телюк (Румыния); Кремиковцы (Болгария); Уэнза (Алжир); Джерисса (Тунис) и ряд других
Осадочные морские (слабо и неморфозированные)	Сидеритовые (в зоне окисления бурожезнякавые) пластовые в морских терригенно-карбонатных отложениях	Комарово-Зигазинская, Катав-Ивановская и др. группы (Южный Урал); Нижне-Ангарское (Восточная Сибирь); Атасуйская группа (Центральный Казахстан); Холзунское (Горный Алтай); Канада (тип Альгома) м-ние Мачипиротен и др.
	Гематитовые в морских карбонатно-терригенных отложениях	
	Гематитовые и магнетит-гематитовые в эффузивно-осадочных толщах	
Осадочные континентальные	Сидерит-лептохлорит-гидрогётитовые бобово-оолитовые в морских карбонатно-терригенных отложениях	Керченское (Крым); Аятское (Тургайская провинция); Бакчарское (Западная Сибирь)
	Магнетитовые, часто титанистые морские россыпи	Современные "чёрные" пляжи побережий Чёрного, Каспийского, Японского морей; ископаемые морские россыпи в Азербайджане и др.
	Гидрогётитовые бобово-оолитовые озёрно-болотные	Большое число мелких месторождений на Русской платформе (Липецкие, Тульские и др.)
Осадочные континентальные	Сидерит-лептохлорит-гидрогётитовые бобово-оолитовые, природно легированные хромом и никелем, озёрно-болотные, связанные с корой выветривания ультрабазитов	Орско-Халиловская группа (Южный Урал); Серовская (Северный Урал); Малкинское (Северный Кавказ)
	Сидеритовые (в зоне окисления бурожезнякавые) гипергенно-метасоматические в прибрежно-озёрных грубообломочных, преобладающе карбонатных отложениях	Березовское (Восточное Забайкалье)

Генетическая группа	Класс (формация)	Месторождения*
	Сидерит-лептохлорит-гидрогётитовые в древних речных отложениях	Лисаковское (Тургайская провинция); Талды-Эспе и др. (Северное Приаралье)
	Преобладающе маргитовые элювиально-делювиальные (валунчатые)	Высокогорское (Средний Урал)
Коры выветривания (остаточные и осадочно-инфильтрационные)	Гётит-гидрогётитовые (бурожелезняковые), маргит-гидрогётитовые зоны окисления месторождений сидеритовых и скарново-магнетитовых руд	Бакальская и др. (Южный Урал); Березовское (Восточное Забайкалье); Высокогорское (Средний Урал)
	Гётит-гидрогётитовые охристые, природно-легированные хромом и никелем, в коре выветривания ультрабазитов	Елизаветинское (Средний Урал); месторождения Кубы, Филиппин, Гвианы и др.
	Гидрогётитовые в элювиально-делювиальных отложениях на закарстованных известняках	Алапаевское (восточный склон Урала)
	Маргитовые и гидрогематитовые в железистых кварцитах	Яковлевское, Михайловское, Лебединское, Стойленское и др. (КМА); Саксаганская группа (Кривой Рог); м-ние оз. Верхнего (США); Бразилии (Штат Минас-Жерайс и др.); Индии, Либерии, Западной Австралии
Метаморфические (метаморфизованные)	Железистые кварциты докембрия, железокремнистые марганценозные джеспилитовые	Криворожские, Кременчугские, Белозерские, Мариупольское (Украина); Михайловское, Лебединское, Стойленское, Коробковское (КМА, Россия); Оленегорское (Кольский п-ов); Костамукшское (Карелия); Карсакпайское (Центральный Казахстан); Пояс Лабрадора (Канада); Верхнее озеро (США); штат Минас-Жерайс (Бразилия); Индия, Западная Австралия; Аньшайская группа месторождений (Китай).
	Магнетитовые и магнетит-железнослюдковые контактово-метаморфизованные осадочные (с реликтами осадочных железных руд)	Холзунское (Горный Алтай)

** В этой графе названы почти все значительные месторождения, обладающие учёнными запасами свыше 100 млн. т. Более мелкие месторождения приведены в тех случаях, когда для соответствующей группы неизвестно значительных месторождений.*

Тургайская провинция, Магнитогорское – Урал и ряд месторождений Горной Шории и юга Красноярского края).

Поздне меловая-палеогеновая эпоха характеризуется преимущественным образованием осадочных железорудных месторождений морских и континентальных бассейнов (Аятское, Лисаковское, Приаральское и др.).

Неоген-четвертичная эпоха ознаменовалась формированием крупного Керченско-Таманского железорудного бассейна с морскими осадочными месторождениями бобово-оолитовых руд.

Главнейшими железорудными провинциями России являются: Белгородско-Курская и Карело-Кольская докембрийских метаморфических руд Восточно-Европейской платформы, Уральская и Южно-Уральская (палеозойские скарновые и меловые осадочные), Тургайская (верхне-палеозойские скарновые), Алтае-Саянская (средне-позднепалеозойские, преимущественно скарново-магнетитовые), Керчь-Таманская (позднетретичные осадочные руды).

Анализ отечественных и зарубежных исследований [1,5,6,7,8,9-11,12,2,3,13-18] по выявлению закономерностей геохимических связей золота, пла-

тиноидов и железа в рудообразующих процессах достаточно полно освещает природу исключительно широкого присутствия в железорудных месторождениях мира попутного золото- и золото-платинометалльного оруденения.

Золото обладает обширным спектром геохимических связей, обеспечивающих «всюдность» его присутствия от ультрамалых концентраций до весьма высоких содержаний. Оно обладает нейтральным (самородным), халькофильным, сидерофильным, биофильным, олеофильным свойствами, каждое из которых проявляется в конкретной геохимической обстановке рудогенеза.

Важным для геохимии золота является сидерофильное свойство, позволяющее ассоциировать с элементами семейства железа. Впервые на сидерофильные свойства золота указал В.М. Гольдшмидт. Анализируя химический состав метеоритов и разрабатывая на этой основе гипотезу о сходстве общего химического состава Земли со средним составом метеоритов, В.М. Гольдшмидт впервые установил присутствие золота и платины в железной фазе некоторых из них. В геохимической классификации В.М. Гольдшмидта золото отнесено к сидерофильным элементам.

Сидерофильные свойства золота рассмотрены в трудах многих отечественных и зарубежных исследователей, к числу которых относится фундаментальное исследование Р.В. Бойля [8]. По данным Р.В. Бойля, в железных метеоритах и хондритах самое высокое содержание золота и платиноидов фиксируется в металлической фазе, менее – сульфидной (троилитной) и самое низкое – в силикатной фазе. Присутствие золота в различных природных металлах и полуметаллах, таких как железо, медь, мышьяк в земных условиях, по Р.В. Бойлю, также свидетельствует о сильном сидерофильном характере золота. Анализируя положение золота в периодической системе элементов Д.И. Менделеева, Р.В. Бойль подчёркивает частую ассоциацию золота с сидерофильными элементами восьмой группы – никелем, палладием, платиной и соответствующими элементами группы IB: медью, серебром. Это сходство особенно заметно между золотом и платиной, атомы которых разнятся всего лишь на один электрон. Оба этих элемента почти всегда имеют примесь элементов группы IB и VIII или образуют с ними минеральные соединения. Имеются данные, показывающие идентичность диаграмм плавления пар элементов: золото-железо и золото-платина. Присутствие золота и платины в метеоритах, и, прежде всего, в их железо-никелевой фазе, а также сходство химического поведения золота и платины свидетельствуют о мантийном происхождении этих элементов; при этом платина играет роль своеобразного мостика между золотом и железом.

В железных рудах позднемагматической титаномагнетитовой формации наблюдается общеизвестная тесная ассоциация золота и платины, обусловленная единством их материнского источника. В скарнах их пути расходятся: золото частично проявляет свои халькофильные свойства. Однако, единый базальтоидный магматизм определяет встречаемость небольшого его количества, а в ряде случаев до промышленных значений совместно с платиной и палладием. В гидротермальных и осадочных железных рудах платина встречается спорадически, а золото в том или ином количестве присутствует почти повсеместно.

Некоторые исследователи ряд элементов (включая золото, серебро, медь, цинк и другие), частично связанных с базальтоидной магмой, объясняют близостью их физико-химических свойств с двухвалентным железом и магнием, которая обусловлена их атомными объёмами, величинами электроотрицательности и ионных потенциалов. В процессе магматической дифференциации золото, серебро и некоторые другие элементы (традиционно считающиеся халькофильными) обогащают относительно тяжёлые железо-магнезиальные расплавы.

Согласно представлениям А.А. Маракушева с соавторами [19], магмы, обогащённые закисным железом, сравнительно легко окисляются, давая начало разнообразным типам магнетитовых руд, в которых магнетит и сопутствующие ему темноцвет-

ные минералы и сульфиды концентрируют золото. Количество золота в магнетитах может составлять 0,07 г/т и более. Этот элемент, очевидно, заменяет железо в решётке магнетита. Не исключается также абсорбционная роль магнетита, особенно в момент образования как осадителя свободного золота на поверхности кристаллов, в межзерновых промежутках и микротрещинах. Этот эффект усиливается при наличии дефектов роста кристаллов и зёрен. Следует учитывать также особенность магнетита, подобно сульфидам, играть роль электрода-осадителя золота.

Причинную связь золота и железа в золото-магнетитовой формации контактово-метасоматического типа некоторые исследователи видят также в способности железа давать широкий спектр твёрдых растворов с хромом, никелем, кобальтом, молибденом, титаном, марганцем, ванадием, вольфрамом, ниобием. Способность железа образовывать твёрдые растворы с названными элементами влечёт за собой изменение параметров решётки минералов железа, что создаёт условия для замещения и внедрения в их решётку атомов золота. Такой процесс может способствовать образованию рассеянной сингенетической золотоносности в эндогенных железорудных месторождениях.

На формировании собственно-магматических железорудных месторождений эволюция железо-магнезиальных магм не завершается. На последующих этапах происходит их сульфидизация или ювенильными сероводородными растворами, или в результате внедрения магмы в стратифицированные толщи, содержащие серу в виде сульфидов или сульфатов. При этом происходит накопление элементов с высоким относительным сродством к сере, к которым, помимо меди, никеля, кобальта, свинца, цинка, ртути и других, относятся также золото, серебро, платина, палладий. В новых условиях названные элементы с разной степенью интенсивности проявляют свои халькофильные свойства, давая широкий спектр сульфидных минералов. Следует учитывать при этом, что между хорошо известными крайними положениями двух- и шестивалентной серы (S^{-2} , S^{+6}) существуют другие высокоактивные сернистые соединения, которые обеспечивают миграцию золота в виде комплексных соединений: тиосульфатных, сульфатных, сульфоксидных и других. Но и в новых условиях геохимическим барьером, способствующим восстановлению золота и выпадению его из растворов, является, в первую очередь, железо и другие металлы.

Р.В. Бойль подчёркивает, что наибольший интерес в этом отношении в природной среде представляют ионы двухвалентного железа (Fe^{2+}) и двухвалентного марганца (Mn^{2+}), а также различные органические соединения, например, битумоиды чёрных сланцев. Так образуется собственно сульфидная золоторудная и золото-платинометаллическая минерализация, которая в определённых условиях сопутствует оксидному железорудному оруденению

в виде комплексных сульфидных золото- и золотоплатиноносных рудных тел в пределах железорудных полей и месторождений. Важная роль при этом принадлежит разрывным нарушениям, зонам расщепления и иным неоднородностям пород, способствующим миграции гидротермальных растворов.

В пределах докембрийских щитов и платформ ведущая роль в формировании благороднометалльного и железного оруденения принадлежит мафитам и ультрамафитам раннего докембрия. При гранитизации и метаморфизме этих формаций золото и платиноиды высвобождались, мигрировали и накапливались в благоприятных для осаждения породах и локальных структурах. Так объясняется существование многочисленных эндогенных золото-рудных месторождений в пределах архейских зеленокаменных поясов. К этим же поясам приурочены и осадочно-метаморфогенные стратиформные железорудные формации, участками содержащие сингенетическую и наложенную эндогенную золотоносность в ассоциации с металлами платиновой группы (МПГ).

Возможный механизм образования обогащённых благородными металлами железорудных горизонтов мог состоять в привносе их в древние бассейны седиментации гидроксидами железа и гелеобразными соединениями кремния, образовавшимися за счёт материала зрелых площадных кор выветривания архейского протосубстрата, представляющего собой в раннем докембрии обширные поля вулканитов основного и ультраосновного состава. Известно, что гидроксид трёхвалентного железа является хорошим носителем золота, так как его коллоид несёт положительный заряд, что ведёт к соосаждению отрицательных комплексов золота и отрицательно заряженных его коллоидов. В среде с пониженной кислотностью и относительно высоким Eh, железо, присутствующее в двухвалентном состоянии, становится осадителем золота. Такую же роль осадителя золота играют соединения двухвалентного марганца. Известна также сорбционная ёмкость коллоидной двуокиси кремния – непременного компонента слоистых железорудных формаций, которая, как и железо, в определённых условиях способствует или миграции, или осаждению золота.

Существенная роль в качестве источника золота, МПГ и железа принадлежала подводным излияниям и газовым эманациям. Последующие процессы седиментации, диагенеза и метаморфизма (регионального и контактового) приводили к укрупнению и перераспределению благородных металлов с образованием промышленно значимых объектов.

2. Особенности распределения золота и платиноидов в разнотипных железорудных формациях с оценкой степени их потенциальной продуктивности

Анализ литературных данных свидетельствует о присутствии благородных металлов в железорудных месторождениях практически всех главнейших промышленно-генетических типов: магматических, контактово-метасоматических, осадочно-метаморфогенных и в их корах выветривания. Платиноносность железорудных формаций изучена крайне недостаточно.

рудных месторождениях практически всех главнейших промышленно-генетических типов: магматических, контактово-метасоматических, осадочно-метаморфогенных и в их корах выветривания. Платиноносность железорудных формаций изучена крайне недостаточно.

2.1 Магматические месторождения

Среди собственно магматических месторождений железных руд выделяются: а) магнетитовые малотитанистые; б) титаномагнетит-ильменитовые; в) титаномагнетитовые (с ванадием) высокотитанистые; г) перовскит-титаномагнетитовые и апатит-магнетитовые (см. табл.1). Детальная характеристика платиноносности ряда месторождений этого класса, выступающих в качестве источника титановых руд (Кусинское, Копанское на Ю. Урале, Пудожгорское, Койкарское в Карелии, Таберг в Швеции), приведена в известных монографических работах (Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. "Платинометалльные месторождения России".- С.Пб.: "Наука", 2000.-755с.; Додин Д.А., Чернышов Н.М., Чередникова О.И. "Металлогения платиноидов крупных регионов России"- М.: Геоинформмарк, 2001.- 302с.; Золов К.К., Волченко Ю.А., Коротеев В.А. и др."Платинометалльное оруденение геологических комплексов Урала".- Екатеринбург, 2001.- 199с. и др.).

В данном обзоре приводятся сведения о платиноносности малотитанистых существенно железорудных месторождений двух формационных типов: а) магнетитовые малотитанистые в габбропироксенит-дунитовых интрузивах и б) апатит-магнетитовые в щелочно-ультраосновных интрузивах с карбонатитами.

2.1.1 Платиносодержащая магнетитовая малотитанистая формация

Месторождения магнетитовой малотитанистой формации в бывшем СССР обеспечивали около 9% суммарной добычи железных руд. Рудные тела выделяются среди интрузивных массивов в виде зон повышенной вкрапленности магнетита и титаномагнетита со шлировыми и жило-линзообразными обособлениями. Платиноиды и золото в рудах данного типа установлены на Гусевогорском, Качканарском, Велиховском (Урал), Тебинбулакском (Узбекистан) и других месторождениях. Основной рудообразующий продуктивный минерал – титаномагнетит – содержит примесь ванадия. Сопутствующими минералами являются пирит, пирротин, халькопирит, пентландит, борнит, золото, платиноиды. Содержание золота и платиноидов, ассоциирующих с магнетитом и темноцветными минералами, а так же сульфидов [20] от десятых долей до первых единиц граммов на тонну.

2.1.2 Платиносодержащая апатит-магнетитовая формация в карбонатитах

Палаборское месторождение (ЮАР) пространственно и генетически связано с интрузивом

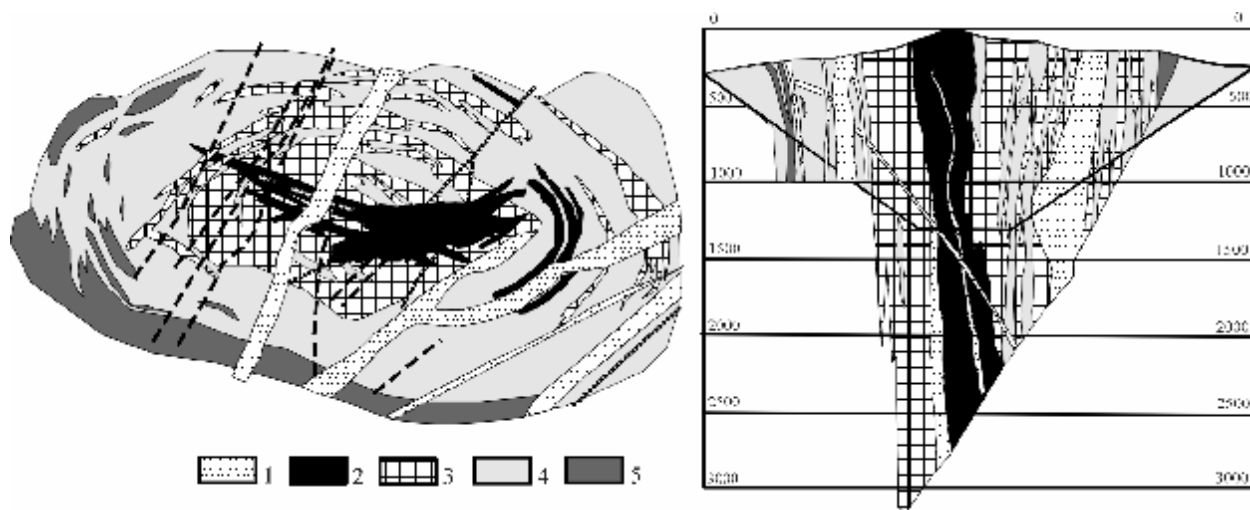


Рис.1. Геологическая карта (а) и геологический разрез (б) месторождения Палабора (по Дж.К Герберту, 1967): 1- долеритовые дайки; 2- рудоносные карбонаты; 3- полосчатые карбонаты; 4- фоскорит; 5- слюдястый пироксенит.

ультраосновных щелочных пород [1]. Месторождение комплексное (медь, фосфатное сырье и магнетит) и представлено рядом трубообразных тел, диаметром 0,5-0,7 м в древнем основании архейских гранитоидов (рис.1).

Центральная часть тела сложена карбонатами, периферия – магнетит-оливин-апатитовыми породами. Медная минерализация приурочена к карбонатам и сосредоточена в прожилках и зонах вкрапленности. Этапы образования медного оруденения соответствовали двум фазам формирования карбонатитов. В первом этапе главным медным минералом является борнит, а во втором - халькопирит; более редки халькозин, валлериит и кубанит. Среднее содержание меди в рудах 0,68%, постоянно присутствует магнетит (до 27%). Рудное тело прослежено до глубины 900 м. Его форма, состав вмещающих пород и руд, содержание полезных компонентов руды с глубиной практически не меняются [21].

Палаборское месторождение (ЮАР) успешно обрабатывается комбинатом компании «Палабор майнинг компани, ЛТД» совместно с иностранными компаниями США и Испании с попутным извлечением МПГ, Au, Ag при добыче меди из руд, связанных с ийолит-карбонатитовым массивом.

Ковдорское платиносодержащее апатит-магнетитовое месторождение (Балтийский щит, Россия) связано с одноименным ийолит-карбонатитовым массивом, в строении которого участвуют оливинит-мелилитовые породы, мельтейгиты, ийолит-фоскориты и карбонаты [1]. В пределах месторождения выделяются форстеритовые, апатит-форстерит-магнетитовые, кальцит-форстерит-магнетитовые руды с флогопитом, кальцит-магнетитовые, апатит-кальцит-магнетитовые, карбонатитовые, кальцит-форстерит-магнетитовые с тетраферрифлогопитом (редкометалльные), доломит-форстерит-магнетитовые, доломит-тремолит-магнетитовые руды [1]. Они содержат незначительное (0,5—2,0 %) количество сульфидов. Максимум

(5 %) их установлен в редкометалльных рудах. Сульфиды представлены кубанитом, борнитом, халькопиритом, пиррогином, пиритом, джерфишеритом, молибденитом, галенитом.

В.В. Иванников, Н.И. Краснова и др. [1] установили в сульфидсодержащих кальцит-тетраферрифлогопит-магнетитовых (редкометалльных доломит-магнетитовых фоскоритах (карбонатитоидах) до 1,775 г/т палладия, 0,44 платины, 0,045 золота и 16 г/т серебра (атомно-абсорбционный анализ; ЦНИГРИ).

При магнитной сепарации комплексных руд Ковдорского месторождения выделяют магнетитовый (при флотации - апатитовый) концентрат; последующая гравитационная сепарация приводит к получению черного – бадделеитового концентрата. При доводке последнего выделяется сульфидный продукт, содержащий 0,22 г/т платины, 0,22 палладия, 0,04 родия, <0,012 иридия и 0,005 г/т рутения (АО "Механобр-Аналит"). Эти результаты анализов, выполненные в АО "Механобр-Аналит", представляются нам заниженными. В халькопиритовом концентрате из карбонатитов и руд Ковдора Ю.А. Капустин [1] обнаружил до 100 г/т Au. Н.С. Рудашевским и др. [1] в концентрате, выделенном из сульфидного продукта, установлены изоферроплатина, платина самородная, куперит, брэггит, сперилит, мончеит, рустенбургит, мартиит-1, мартиит-2, атоцит, акантит [22], изомертиит, соболевскит, арсенопалладинит, звягинцевит, плумбопалладинит и минерал-(Pd_{1.86}Ag_{0.18})_{2.04}(Te_{0.56}Pb_{0.16}Sb_{0.13}Sn_{0.13})_{0.96}, а также самородное золото, электрум, гессит и аргентопентландит. Размеры зерен достигают 175 мкм. Авторы [1] делают вывод о первоначальной концентрации МПГ, Au и Ag в газовой фазе с последующим переходом в сульфидную фракцию в интенсивно флюидизированной остаточной магме, формирующей камафорит-карбонатитовые породы [1].

Содержание Au и МПГ в руде Ковдорского комбината 0,05-0,07 г/т. При доводке продукта

Таблица 2

Концентрат	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Au	Ag
Пирротиновый (6)	0,006	0,015	0,008	2,11	0,24	0,84	4,99	196
Пиритовый (1)	0,005	0,023	0,005	0,41	0,10	0,57	1,06	19
Халькопиритовый (8)	0,005	0,027	0,007	1,86	0,12	0,48	8,70	323
Среднее взвешенное	0,005	0,022	0,007	1,6	0,2	0,7	5,0	250

Таблица 3

Перспективы попутного производства благородных металлов из железных руд магматических и контактово-метасоматических (скарновых) месторождений.

Предприятия	Промышленный тип	Производительность		Количество Au в руде, кг/год
		по руде, млн. тонн	Содержание Au в руде, г/т	
Ковдорский ГОК	КАРБ	10	0,05-0,07	500-700*
Абаканское РУ	СК	1,5	0,07-0,12	105-180
Казское РУ	СК	1,5	0,5-0,7	750-1050
Высокогорский ГОК	СК	1,5	0,06-0,11	90-160

Примечание: Типы месторождений: КАРБ – карбонатитовые; СК – скарновые. Для Ковдорского ГОКа приведено суммарное содержание золота и платиноидов; *РУ – рудоуправление.

магнетит-апатит-бадделеитового концентрата в нем установлено (г/т): Pt – 0,22; Rh – 0,005; Ru – 0,04; Ir – 0,012. В сульфидсодержащих кальцит-тетрафлогопит-магнетитовых и доломит-магнетитовых фоскоритах (г/т): Pd до 1,775; Pt – 0,44; Au – 16,0; [1]. Содержание благородных металлов в сульфидных концентратах – продуктах переработки бадделеит-апатит-магнетитовых руд месторождения Ковдор (г/т) приведены в таблице 2 [22].

Перспективы попутного производства суммы золота и платиноидов из железных руд (табл.3) оцениваются [1] в 500-700 кг в год.

2.2. Контактново-метасоматические (скарновые) месторождения

Контактово-метасоматические (скарновые) магнетитовые и гематитовые месторождения широко распространены в мире и обеспечивают около 17% добычи железных руд России. Сопутствующая золото-платиноносность месторождений этого типа особенно важна, так как они пространственно тяготеют к золотодобывающим регионам, в которых сырьевая база благородных металлов истощена. Для руд характерно наличие элементов-примесей: кобальта, никеля, бора, молибдена, меди, серебра, германия и платиноидов. Рудная ассоциация месторождений включает обширный набор минералов: магнетит, гематит, мушкетовит, пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, арсенипирит, арсениды никеля и кобальта, бораты, самородное золото и серебро и их соединения с теллурием, селеном, висмутом, платиноиды.

Содержание благородных металлов в месторождениях колеблется в широких пределах: от незначительных содержаний до промышленных (по золоту). Высокую ценность могут представлять собой коры выветривания и зоны окисления месторождений с сульфидно-магнетитовыми рудами, а также собственно сульфидные руды, сопутствующие магнетитовым рудным телам. Наиболее продуктивны на благородные металлы скарны, генетически связанные с габбро-диоритовыми и диорит-

сиенитовыми сложно дифференцированными комплексами. Золотосодержащие и золото-платиноидные контактово-метасоматические месторождения железных руд известны на Урале, Кавказе, в Средней Азии и Казахстане, в Алтае-Саянской складчатой области, Забайкалье, на Алданском щите, а за рубежом – на Филиппинах, в Австралии, США и других странах.

В США золото-платиноносные магнетитовые тела месторождений горно-рудного района Биг Коттонвуд в округе Солт Лейк штата Юта и в округе Оурей штата Колорадо обеспечили суммарную добычу лишь золота в несколько десятков тонн. Руда сложена магнетитом, содержащим пирит, халькопирит, самородное золото, гранат, эпидот, кварц, и характеризуется равномерным, довольно высоким содержанием золота и отчасти МПГ. По данным зарубежных исследователей положительным признаком золото-платиноносности железных руд является наличие висмутовой, теллуристой и селеновой минерализации.

2.2.1. Золото-платиноидные железорудные скарновые месторождения России

Известно, что на собственно скарновой стадии рудообразующего процесса золото и платиноиды накапливаются в незначительных масштабах. Однако, скарны являются благоприятной средой для концентрации руд благородных металлов при последующем гидротермальном преобразовании пород и руд. Наблюдается прямая зависимость интенсивности накопления благородных металлов от степени сульфидизации скарнов. Ранние гидротермальные сульфидные ассоциации (пирит + пирротин) бедны золотом и платиноидами. Последующие пирит-арсенипиритовая, пирит-халькопиритовая и особенно полисульфидная ассоциации содержат повышенные, а часто и промышленно значимые концентрации благородных металлов. В зависимости от глубины гидротермальной проработки скарнов меняется геолого-промышленный тип месторождений.

Минералогические критерии благороднометалльного оруденения определяются наличием про-

дуктивных парагенетических минеральных ассоциаций, минералов-спутников и минералов-носителей золота и платины.

Золото и платиновые металлы в комплексных месторождениях выявляются в ранних скарновых (5-30 г/т Au; 1-7,2 г/т Pt), альбит-калишпатовых (1-5 г/т Au; 0,1-1,3 г/т Pt), в поздних грейзеновых, березит-лиственитовых, аргиллитизированных (1-3 г/т Au; 1-9,3 г/т Pt) метасоматитах и особенно в мышьяково-сульфидных, висмут-теллуридных ассоциациях [23].

Индикаторами комплексных руд являются [23]: а) для золоторудных тел с сопутствующей Bi-Te-Mo-Pt-Pd минерализацией – арсенопирит, теллуридовисмутит, молибденит, Pd минералы; элементы примеси Cu, Pb, Zn, As, Sb, Bi, Re, Se, Cd, Mo, W, Pt, Pd, Rh в скарнах, альбититах, березитах, листвениках, пропилитах, аргиллизитах; б) для золоторудных тел с сопутствующей W-Mo-Sn минерализацией – шеелит, вольфрамит, молибденит, станнин, касситерит, золото, серебро; элементы-примеси W, Sn, Mo, Pd, Pt, Sb в скарнах, листвениках, аргиллизитах, пропилитах; в) для скарново-магнетитовых с сопутствующей Au-Ag ± Pt, Pd, Mo минерализацией – золото, серебро, пирит, пирротин, халькопирит, молибденит, галенит (Казское рудное поле); элементы-примеси Ti, Ni, Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Au, Bi, As, Sb, Sn, W.

Наиболее продуктивное благороднометалльное оруденение в России отмечено на ряде месторождений Абаканской группы, в частности на Казском месторождении. В пределах Тувы и Горного Алтая к железорудным скарновым месторождениям с повышенной золотоносностью относятся - Шерегешевское (0,2-0,7 г/т), Тейское (0,05-0,15 г/т), Абаканское (0,07-0,2 до 3,2 г/т), Таштагольское (0,12-0,3 г/т), Сухаринское (Карьер Аргыштаг – 0,06-0,5 до 17,5 г/т), Тарданское (0,1-0,23 г/т). Месторождения с установленной промышленной концентрацией платиноидов [1] рассмотрены ниже. На Урале к этой группе принадлежат месторождения Высокогорское и Гороблагодатское.

Перспективы попутного производства благородных металлов из скарновых железорудных месторождений приведены в таблице 2. Для Абаканского, Казского и Высокогорского предприятий при их производительности по руде 1,5 млн. т на каждом руднике и содержании золота в руде (г/т) – 0,07-0,12; 0,5-0,7; 0,06-0,11 (соответственно) прогнозируется [7] ежегодная добыча золота (кг/год) – Абаканским РУ – 105-180; Казским РУ – 750-1050; Высокогорским ГОКом – 99-160. С учетом присутствующих в рудах этих месторождений платиноидов, суммарная ежегодная добыча благородных металлов может быть увеличена не менее чем на 25-30%.

Ниже рассмотрены типовые примеры и особенности благороднометалльного оруденения Казского [7] и Тарданского [24] месторождений из группы железорудных скарновых.

Казское месторождение. Здесь выделено более 30 золотоносных залежей с содержаниями

золота от 1,3 до 19,3 г/т и серебра от 5 до 45 г/т в среднем составляя 2,6 г/т и около 20 г/т, соответственно [1,7,23,24]. Сведения о распределении МПП ограничиваются лишь единичными анализами.

В Казском рудном поле рудные тела месторождений сосредоточены в двух почти параллельных относительно выдержанных скарново-рудных зонах, имеющих субширотное простирание. Северная скарново-рудная зона расположена в 1 км от южной и приурочена к северной ветви разлома, вдоль которого сконцентрированы основные массы интрузивных пород габбро-сиенитового комплекса. Протяженность рудной зоны по простиранию более 2 км при ширине 200 м. К этой зоне относятся рудные тела магнезиальных скарнов Леспромхозного месторождения и ряд рудопроявлений.

Южная зона (собственно Казское месторождение) структурно приурочена к прерывистой цепи ксенолитов кембрийских известняков и карбонатного флиша ордовика среди диоритов Казского интрузива, с которыми связываются образование скарнов и руд. Прослеженная протяженность зоны составляет более 4 км, средняя ширина её 200 м.

Магнетит является главным рудным и промышленным минералом всех природных типов руд. Представлен он несколькими генерациями и морфологическими разновидностями и тесно ассоциирует со всеми нерудными и другими рудными минералами. Ранние разновидности минерала представлены зернистыми агрегатами с мелкими реликтами нерудных минералов и включениями сульфидов. Этот магнетит не содержит повышенных концентраций примесей. Более поздние генерации магнетита ассоциируют с сульфидами железа – пиритом и пирротином, а наиболее поздние – с сульфидами цветных металлов – галенитом, халькопиритом и сфалеритом. Характерными признаками поздних генераций магнетита является увеличение размеров его кристаллов и появление в составе минерала марганца (до 6,5%) и магнаия (до 1,6%). В составе ассоциирующих с ним минералов постоянно фиксируется марганец (пирофанит, родохрозит, спессартин), появляются крупные выделения самородного золота (кюстелита).

Самые крупные выделения самородного золота встречаются в скарнах с наложенной гидротермальной полиметаллической и марганцевой минерализацией в ассоциации с галенитом, сфалеритом, пиритом, халькопиритом и пирофанитом. Характерно, что эти сложные сростки золота с сульфидами в свою очередь включены внутрь более крупнозернистых агрегатов магнетита. Однако нередко кюстелит образует разнообразные формы выделения (мелкие редкие включения, прожилки) непосредственно в магнетите и силикатах (гранате) без видимой взаимосвязи с указанными сульфидами.

Распределение платиноидов в железных скарновых рудах Казского месторождения детально не исследованы. Первые результаты пробирных определений дали противоречивые результаты. Так,

наиболее богатыми платиноидами оказались железные руды, обеднённые сульфидами (г/т): Pt - <0,02-0,1; Pd - <0,05-0,22. Платина и палладий нередко появляются в рудах наиболее обогащённых золотом. Для этих руд характерен большой разброс значений (г/т): Pt - <0,02-0,05; Pd - <0,05-0,82, при содержании золота и максимуме палладия – 8,9 г/т. В процессе исследования закономерностей распределения платиноидов в скарных рудах не обнаружено чётких корреляционных связей, присущих рудам прочих генетических типов.

Как отмечалось, при среднем содержании в руде 0,5-0,7 г/т Au ежегодная попутная добыча этого металла может составить 750-1050 кг. В перспективе количество попутных благородных металлов может значительно увеличиться при извлечении МПГ.

Тарданское золото-платиноидное месторождение (Тува) в железорудных скарнах [24]. В процессе магматического замещения рудовмещающих доломитов гранитоидами установлено 1,3-115 кратное возрастание содержания золота в минералах магнезиальных скарнов. Носителями золота явились фассаит и форстерит (710,7 мг/т), а концентраторами МПГ - шпинель (435 мг/т). Существенное накопление Au установлено в минералах послескарновых метасоматитов: в магнетитах до 344 мг/т; в эпидотах и калишпатах – 19,6 и 13,7 мг/т. Самые высокие содержания металла характерны для лиственитизированных скарнов, безрезитизированных плагногранитов: 300-5050 мг/т; $K_{\text{н}} \text{ Au} = 43-840$. При этом максимальное накопление золота выявлено в разновозрастных халькопиритах (9151 мг/т); в пиритах – 278 мг/т. Установлено накопление золота в контактовых метасоматитах и тенденция концентрации его к концу метасоматического процесса. Выделены три периода накопления благородных металлов [24]:

I – высокотемпературный (800-630°C); II – среднетемпературный (480-430°C) в магнетитовых залежах послескарновых метасоматитов и III – средне-низкотемпературный (320-120°C) кварц-карбонатно-сульфидный (в период лиственитизации скарнов). Лиственитизированные скарны с пиритом, халькопиритом, борнитом, галенитом и теллуридами отличаются промышленными содержаниями платины и палладия – от 0,15 до 33 г/т Pt и 0,1-0,25 Pd. Отношение Pt/Pd возрастает до 39-943. Шпинель-фассаитовый скарн, содержащий до 10% магнетита, несёт до 0,64 г/т Pt при фоновых содержаниях этого элемента (Pt – 0,005-0,010 г/т) в обычных магнезиальных скарнах.

В минералах преобразованных магнезиальных и известковых скарнов выявлено Pt – 0,004-2,4 г/т и Pd – 0,003-5 г/т. В шпинель-магнетитовом концентрате с примесью пирита и халькопирита установлено Pt – 0,083 г/т и Pd – 0,53 г/т. Магнетиты несут (г/т): Pt – 2,4-0,01 и Pd – 0,042-0,003 г/т; пирит, халькопирит, галенит этих же зон содержат соответственно: Pt – 0,046; 0,007; 0,004 г/т и Pd – 0,002; 5,0; 0,51 г/т. При этом максимальное содержание Pt (0,577 г/т) имеют преобразованные магне-

зиальные и известковые скарны. Повышенные концентрации Pd установлены лишь в сульфидизированных скарнах (0,1-0,25 г/т Pd) и особенно в халькопиритах (0,53-5 г/т Pd). Промышленно высокие концентрации золота, платины, палладия выявлены в лиственитизированных скарнах, обогащённых сульфидно-теллуридной минерализацией (Pt до 1-33 г/т и Pd – 0,25 г/т).

2.3. Гидротермальные месторождения

Этот тип железорудных месторождений играет подчинённую роль в добыче железных руд (не более 1-3%). Проявления золотоносности известны в магнезиоферритовых метасоматических, жильных кварцево-гематитовых и железно-карбонатных месторождениях в Ангаро-Катском, Ангаро-Илимском, Ангаро-Чуйском железорудных районах Иркутской области, в Закарпатье, на Урале; за рубежом – в Болгарии (месторождение Кремниковицы). В железных рудах фиксируются секущие кварцевые золотоносные (иногда с палладием) жилы и штокверки, зоны сульфидизации или рассеянная вкрапленность самородного золота в гематите и магнетите. Рудными минералами кварцевых жил и штокверков являются: магнетит, гематит, халькопирит, арсенопирит, висмутин, тетрадимит. Золото овальной, угловатой, пластинчатой формы размером 0,1-1,2 до 2-3 мм, ассоциирует с магнетитом, сульфидами, актинолитом, кварцем. Железо-карбонатные месторождения характеризуются комплексностью сидеритового и свинец-медь-цинкового оруденения с сопутствующим золотом и серебром. Исчерпывающие сведения об их платиноносности отсутствуют.

2.4. Метаморфические и метаморфогенные месторождения

Среди выделенных типов в перспективном развитии минерально-сырьевой базы благородных металлов представляют крупные и уникальные в различной мере метаморфизованные железорудные месторождения железистых кварцитов, связанные с докембрийской железисто-кремнистой (ЖКФ) и кремнисто-метабазитовой формациями древних платформ и щитов на всех континентах мира (рис. 2), обеспечивающих 57% зарубежной и 58% - отечественной добычи железа.

Выделяются две докембрийские железорудные формации: Альгома-тип и тип озера Верхнего, локализованные, соответственно, в архейских и нижнепротерозойских структурно-формационных комплексах. Проявления золото-платиноносности свойственны обеим формациям, однако, наибольшие перспективы связаны с Альгома-типом.

Внутренняя структура, состав, особенности размещения железных руд и их масштабность иллюстрируется сводными типовыми разрезами железорудных формаций мира (рис. 3).

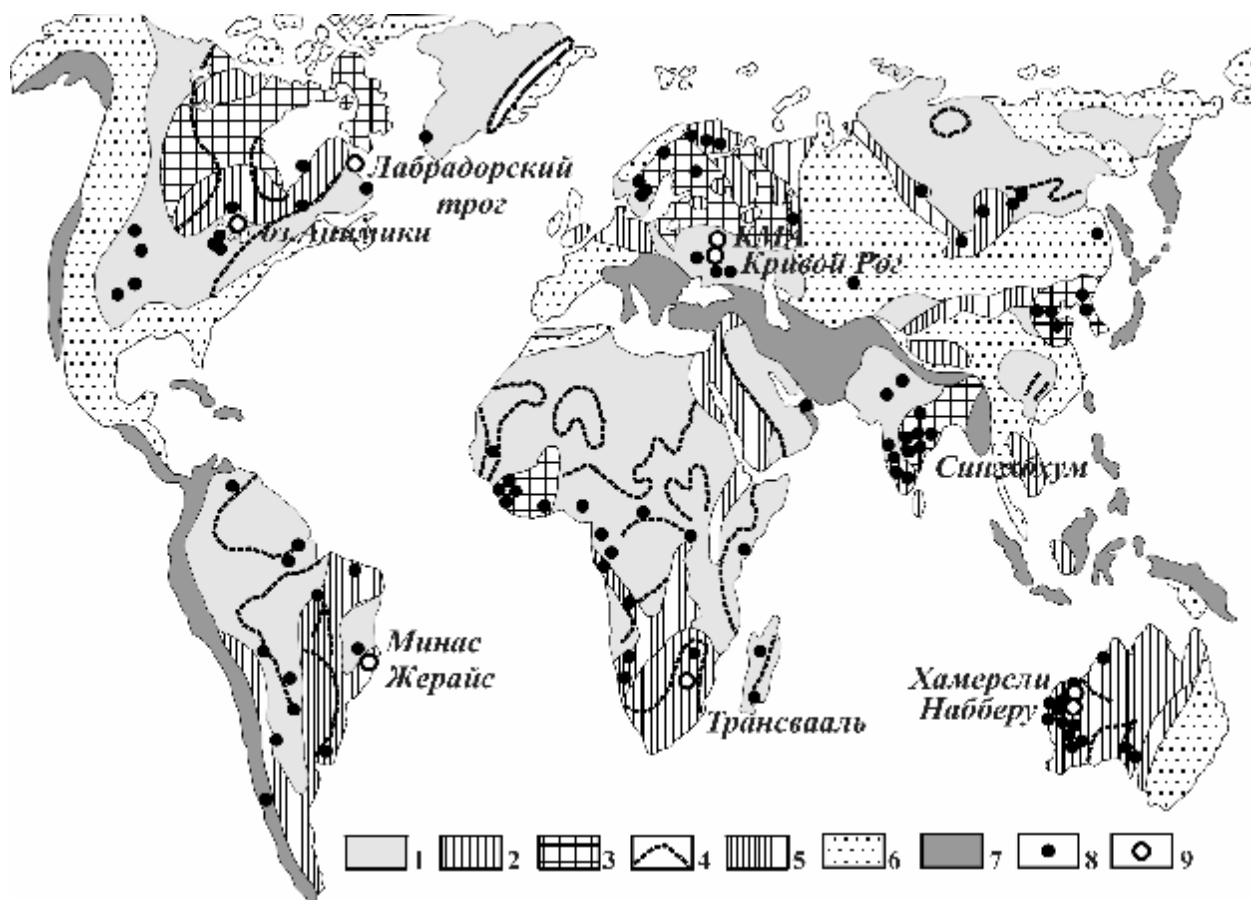


Рис.2. Распространение железорудных месторождений, связанных с ЖКФ докембрия континентов [20]: 1 - архей; 2 - ниже- и среднепротерозойские складчатые системы; 3 — нижепротерозойские складчатые системы; 4 — границы щитов и плит; 5 — верхнепротерозойские складчатые системы; 6 — эпикаледонские, эпигерцинские и эпимезозойские геосинклинальные складчатые пояса; 7— кайнозойские геосинклинальные складчатые пояса; 8 — железорудные месторождения; 9 — железорудные бассейны; Железорудные районы и месторождения: **Гренландия и Северная Америка** - Исуа, Хелен, Лабрадорский трог, бассейн оз.Анимики, Баттернат-Канонер, Блэк-Ривер-Фолз, Барабу, Албанел-Темисками. Кэмп-Смит, о-ва Белчер и Настопока, Саттон-Лейк, Бэртут, Грейвли, Руби и Табакко-Рут, Блэк-Хилс, Хартвилл, Ларами, Семино, Оул-Крик и Уинд-Ривер, Явапай, Рио-Ариба. **Южная Америка** - Квадрилатеро-Ферриферо, Серра-ду-Эспиньясу, Серра-дус-Каражас, Уавал, Амапа, месторождения Венесуэлы, Мутун и Урукум, Валентинес, Релун. **Африка** - Тазадит и Ф.Дерик. Фалеме, Марампа, Тонколили, Симанду и Нимба, Вологизи, Мано-Ривер-Майн, Боли-Хиллс-Майн, Бонг-Рейндж, Шиени, Итакпе-Хилл, Джабель-Абу-Тулу, Криби, Банги, Тина, Ами, Зани-Кодо, Бур-Галан и Даймир, Мекамбо, Чибанга, Чилессо и Касинга, Каоковелд и Калкфелд, Уолфиш-Бей, Кве-Кве, Бухва, Барбертон, Мароранготра-Амбатолоана, Фасинтеара и Бекисопа, Трансваальский бассейн. **Австралия** - бассейн Хамерсли, бассейн Набберу, Голдсуорси, Шей-Гэп, Маунт-Голд, Маунт-Хейл, Уэлд-Рейндж, Талперинг, Куланука, Маунт-Джибсон, Уиндарлинг, Бангалбин, Кульняоббинг, Уилджена Хилл, Миддлбэк-Рейндж, Ямпл-Саунд. **Азия** — Сингххум, Бонаи и Кеонджхар, Паламау, Гоа, Ратнагири и Бичолим, Беллари, Чанга-Драг, Бастер, Адйлабад, Салем, Карнул, Бабабудан, Нарнаул, Манди, Шанси, Хэбей, Шань-дун, Ляоян-Инкоу и другие Ляодунские, Мусан, Карсакпайские, Ангаро-Питские, Яматинское, Абчадские и Тыйские, Чаро-Токкинские, Чарские, Олекминские, Мало-Хинганское. **Европа** — Гренгесберг, Кируна, Сидваранге, Оленегорское, Кировогорское, Костомукшское, Околовское, Побужские, месторождения Среднеприднепровского блока, Белозерские, Приазовские, Тараташские, Криворожско-Кременчугский бассейн, Курский бассейн (КМА).

Типовые модели коренных месторождений золота и золото-платиноносных докембрийских железистых кварцитов в главнейших регионах мира (с примерами различных рудовмещающих и рудогенерирующих формаций) приведены в табл. 4.

Железистые кварциты, слагающие в пределах всех континентов Земли крупные и уникальные месторождения, включают около 5% общего числа промышленных золоторудных объектов [2,3]. За рубежом около 25% годовой добычи золота обеспечивают стратиформные месторождения полосчатых железистых кварцитов [25].

Разнообразные по геолого-структурному положению, составу и масштабам докембрийские железорудные формации особенно широко развиты в

докембрийском фундаменте Восточно-Европейской платформы, где выделяются 2 класса, 4 подкласса и 14 их типов (табл. 5).

Важнейшим, но мало исследованным компонентом золотоносных железистых кварцитов являются элементы платиновой группы, содержание которых в ряде случаев достигает промышленных концентраций как в самих рудах, так и в продуктах их обогащения [5,25,20,6,7]. В частности, в метасоматически изменённых породах кремнисто-железистой формации Среднего Приднепровья (УЩ) сумма благородных металлов (Pt, Pd, Au) составляет 8-16 г/т при содержаниях Au=0,2-0,8 г/т и отношении Pd/Pt=6-10 [26,7,27]. Высокие концентрации золота (до 12,5 г/т) установлены [26,7] в зна-

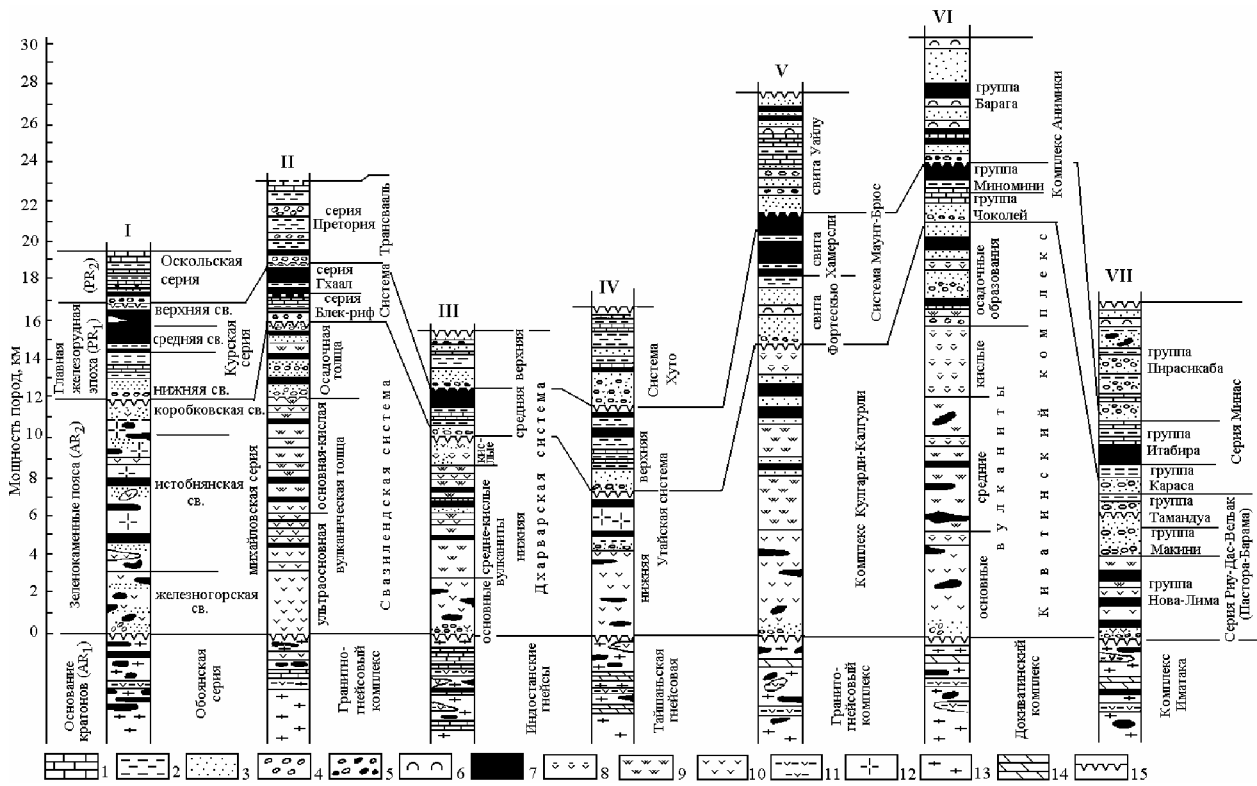


Рис. 3. Сводные типовые разрезы докембрийских толщ главнейших железорудных провинций земного шара (по [41]): I - Курская магнитная аномалия. II - Родезийский и Трансваальский щиты. III - Индийский щит. IV - Китайско-Корейский щит. V - западная часть Австралийской платформы. VI - Канадский щит. VII - Восточно-Бразильский и Гвианский щиты. 1 - кристаллические известняки, мраморизованные доломиты; 2 - сланцы; 3 - метапесчаники, метаалеволиты, сланцы; 4 - конгломераты, гравелиты; 5 - конгломераты, гравелиты и осадочная брекчия с угловатыми и округлыми обломками железистых пород; 6 - лавы, туфы, брекчи вулканические; 7 - железорудные образования; 8 - кислые вулканы (кварцевые порфиры, кератофиры и их туфы); 9 - основные и средние эффузивы и пирокласты с пластами терригенно-осадочных пород (метапесчаники, сланцы); 10 - основные и ультраосновные вулканы (амфиболиты, метабазиты, базальты); 11 - амфиболиты; 12 - сланцы и гнейсы; 13 - гнейсы, гранитогнейсы, мигматиты; 14 - мраморы, известковистые гранулиты, кальцифиры; 15 - несогласное региональное залегание.

чительной по мощности (около 6 м) и протяжённости (600-800 м) сульфидизированной зоне цементации вторичной рудной залежи коры выветривания железистых кварцитов Ингулецкого участка Кривбасса (УЩ). Повышенные содержания благородных металлов ($Au=0,3-1,0$ г/т, иногда до 4,5-7 г/т; $Pt=0,05$ г/т; $Pd=0,2$ г/т) выявлены в линзах сплошных сульфидных пирротин-халькопирит-пиритовых залежей, приуроченных к лежащему боку железных руд, и в сульфидизированных милонитах Костамукшского месторождения, в Оленегорской группе железорудных месторождений (Балтийский щит), в которых содержания Pt (0,05-0,08 г/т) и Pd (до 0,3 г/т) прямо коррелируются с концентрацией золота (Au от 0,02-0,3 г/т, иногда до 12 г/т), а так же в уникальных по ресурсам и запасам месторождениях КМА [1,26, 25,28,21,29,30,10,31-38,39 и др.].

Ниже приводится анализ ведущих закономерностей размещения золото-платиноносных железистых кварцитов ряда типовых железорудных месторождений России и УЩ, сосредоточенных в докембрийском фундаменте Восточно-Европейской платформы.

2.4.1. Месторождения золото-платиноносных железистых кварцитов Карело-Кольского региона

Костомукшское месторождение. В рудах Костомукшского железорудного месторождения

(Карелия) установлена повышенная золотоносность (Au 0,03-0,05 г/т, до 0,1-0,4 г/т) биотит-магнетитовых, куммингтонит-магнетитовых, щёлочно-амфибол-магнетитовых, амфибол-магнетитовых, гронерит-магнетитовых разновидностей железистых кварцитов (содержание Au не превышает 0,07 г/т, $Pt - 0,05$, $Pd - 0,02$ г/т). В линзах сплошных сульфидных (пирротин-халькопирит-пиритовых) руд, залегающих в лежащем боку рудного тела, а также в милонитах с наложенной сульфидной минерализацией содержание золота 0,3-1 г/т, а иногда достигает 4,5-7 г/т (по данным штучного опробования). Прочие разновидности кварцитов и горных пород содержат менее 0,01 г/т золота. Количество платины и палладия ниже пределов обнаружения элементов пробирным анализом. Только в единичной пробе милонитов концентрация этих элементов достигла значимых величин (г/т): $Pt - 0,05$; $Pd - 0,2$ и $Au - 4,5$.

Изучение распределения золота и платиноидов в пределах месторождения показывает, что оно крайне неравномерно и контролируется зонами метасоматических изменений с наложенной сульфидной минерализацией. Наиболее обогащён золотом Южный участок месторождения, где установлено несколько зон, простирающихся на 100 - 200 м, при мощности 2 - 9 м. Среди этих зон выделяются проявления пластового типа, согласные сланцеватости

Таблица 4

Типовые модели коренных месторождений золото и золото-платиноносных докембрийских железистых кварцитов главнейших регионов мира [по 24 с дополнениями авторов]

Характеристика типовых объектов	Субконформные рудные тела	Секущие и стратифицированные месторождения	Комбинированные месторождения
Рудовмещающая формация	Джеспилит - базальтовая	Джеспилит - базальтовая	Джеспилит - базальтовая
Рудогенерирующая формация	Джеспилит – базальтовая Коматиит-базальтовая	Джеспилит – базальтовая Железо-кремнисто-сланцевая	Джеспилит – базальтовая
Рудовмещающий фациальный комплекс	Сульфидный, карбонатный и смешанный сульфидно-карбонатный		
Возраст рудовмещающих образований	Архейский	Раннепротерозойский	Архейский, раннепротерозойский
Рудовмещающая структура	Пласты, линзы железистых (магнетитовых) кварцитов, метаультрабазитов, амфиболитов и ассоциированных углеродистых гнейсов	Пласты железистых (магнетитовых и гематит-магнетитовых) кварцитов, участки пересечения разрывных нарушений и пластов железистых кварцитов	
Метасоматиты	не установлены	Сульфидизация, окварцевание, серицитизация, хлоритизация, гематитизация	
Рудная формация	Золото и золото-платиносодержащая в железистых кварцитах		
Морфология рудных тел	Пластообразные, линзовидные тела	Жилы кварц-золото-сульфидные, золото-кварцевые, скопления сульфидно-кварцевых прожилков, минерализованные сегменты пластов железистых кварцитов	Сочетание пластообразных, линзовидных тел, жил, сульфидно-кварцевых прожилков, минерализованных сегментов пластов железистых кварцитов, реже рудные столбы
Рудные компоненты: главные второстепенные	Fe, Au, МПГ Ag, As	Fe, Au, МПГ Ag, Cu	Fe, Au, МПГ Ag, (Cu, Te, Se, Bi)
Рудные минералы:	Магнетит, гематит, Au, МПГ	Магнетит, гематит, халькопирит, сфен, Au, МПГ	Магнетит, гематит, халькопирит, сфалерит, теллуриды, Au, МПГ, селениды, Ag
Нерудные минералы:	Кварц, амфиболы, хлорит, эпидот, пироксены, карбонаты	Кварц, амфиболы, хлорит, эпидот, пироксены, карбонаты, рибекит, турмалин	Кварц, амфиболы, хлорит, слюды, эпидот, пироксены, карбонаты
Масштаб месторождений (по ресурсам Au и МПГ)	Мелкие – средние до крупных	Средние до крупных	Мелкие – средние
Предполагаемая модель	Вулканогенно-осадочная	Метаморфогенная секретивно-метасоматическая	Сочетание вулканогенно-осадочной и метаморфогенной секретивно- и контактово метасоматической
Примеры месторождений, рудопроявлений	Хилл-50 (или Маунт-Магнет), Ленкфильд, Айрон-Кинг, Йилгарн, Калгурли (Западная Австралия); Морру-Велью, Сао-Бенто (Бразилия); Камфло, Агнико-Игл, Лупин (Канада); Оленегорское, Костомукшское, Бесединское (Россия); Околовское (Белоруссия)	Рапозос, Пассажем, Гонго-Соко, Кауе, Консейгао, Сьерра-Пелада, Озера Сьюпериор, Брукуту, Байя и др. (Бразилия); Ривера (Уругвай); Морнин-Стар, Гладиатор, Ватер-Танк-Хилл (Австралия) Юинди (Заир); Сентрал-Патрикия, Пикл-Кроу, Мак-Лид-Кокшатт (Канада); Михайловское, Лебединское, Стойленское, Коробковское (КМА, Россия); Криворожская группа (Украина)	Гейта (Танзания); Куллатон (Канада); Вандерер, Шервуд Стар, Савива (Южная Родезия); Копрерхед, Уэстрелия, Невория (Австралия)

кварцитов, и наложенного типа, имеющие секущее положение и представленные кварц-сульфидными прожилками.

Результаты электронномикроскопического исследования золотин, извлечённых из руд и вме-

щающих пород, обогащённых сульфидами, выявили три различные разновидности золота [7]:

1. низкопробное медистое золото с пробностью 730-735 при содержании меди – около 13%. Соотношение атомных количеств металлов показы-

Таблица 5

Характеристика железорудных формаций Восточно-Европейской платформы

Класс		Железородная формация		Тип руд	Морфология рудных тел	Размеры рудных тел			Состав руд	Месторождения, рудопроявления						
		Генетический Подкласс	Тип			Региональный подтип	Протяжённость, км	Мощность, м			Протяжённость по падению, м					
Окисленный, железисто-кремнистый	Экзотенный	Гипергенная кора выветривания	Веретенинский	Веретенинский	Окисленные железистые кварциты	Плащеобразные, линзовидные, клинообразные, пластообразные	от сотен метров до десятков км	от 30 – 90, в отдельных участках до нескольких сотен	(ширина) 25 – 500, иногда до 1500	Скелетовое-Магнетитовое, Валявкинское, Ингулецкое, Новокриворожское, Михайловское, Лебединское, Стойленское						
											Белгородский (КМА)	Белгородский (КМА) Ингулецкий	Железослюдково-мартиновые, мартино-железослюдковые, гидрорематит-мартиновые, местами карбонатизированные	Яковлевское, Висло-ское, Гостишевское, Щебекинское, Михайловское, Чернышское, Погромещко, Гданцевское, РУ им. Ильича		
Железисто-кремнистый, метаморфотенный	Ультра-метаморфический	Скарново-рудный	Варенский	Варенский	Штокообразные, линзообразные, пластообразные	Штокообразные, линзообразные, пластообразные	до 0,5 × 0,6	–	1200	Варенское						
											Побужский	Побужский	Линзовидные, шпировидные	3 – 17, редко до 90	до 300 - 400	Молдовское, Грушковское, Слосаревское
Метасоматический	Саксаганский	Саксаганский	Столбообразные, штокообразные, гнездообразные	Криворожского и Белозёрского типа	Ботые железные руды по железистым кварцитам	0,1 – 1,0 до нескольких км	1 – 20 до 60 – 100	до 2900 и более	Им. В. И. Ленина, им. Р. Люксембург, им. XX Партсъезда, им. К. Либкнехта, им. Ф. Э. Дзержинского, Коминтерна, Галешинское, Северо- и Южно-Белозёрское, Переверзевское							

вает, что минерал соответствует серебросодержащему тетрааурикуприду – $\text{AuCu} - \text{Au}_{1,056}(\text{Cu}_{0,590}\text{Ag}_{0,354})_{0,944}$. Минерал встречен в пробе секущих кварц – сульфидных прожилков в ассоциациях с пирротинном, пиритом, халькопиритом и арсенопиритом; размеры выделений самородного золота 0,025-0,04 мм;

2. наиболее характерное для этих руд высокопробное золото с пробностью 865-890. Среди примесей в нём отмечается только серебро. Минерал встречается в рудах и сульфидизированных вмещающих породах в виде пластинчатых или вытянутых зёрен размером не более 0,08-0,2 мм.

3. практически чистое золото (пробность 995-997) представлено наиболее крупными зёрнами, достигающими 1-1,2 мм и отличающимися весьма характерным внутренним строением. Одни зёрна насыщены мельчайшими порами (0,002-0,004 мм), а другие представлены губчатым агрегатом, в порах которого идентифицированы сульфат свинца (церуссит) и хлорид серебра (хлораргирит).

Оленегорская группа месторождений. Эта группа месторождений (Кольский регион) характеризуется в целом повышенными концентрациями благородных металлов. Самородное золото содержится в железистых кварцитах Оленегорской группы месторождений в количестве 0,01-0,02 г/т (реже до 0,1-0,3 г/т, иногда до 12 г/т [22,7]. Наиболее богаты самородным золотом руды Оленегорского и Кировогорского месторождений, золотоносность которых на один-два порядка выше, чем на остальных месторождениях рудного района.

Содержание платины и палладия прямо коррелируется с концентрацией золота в рудах. В максимально обогащённых золотом штуфах обнаружены содержания платины до 0,05-0,08 г/т и палладия до 0,3 г/т. Отношение Pd/Pt в магнетит-гематитовых рудах месторождения близко к 0,3¹. Самородное золото встречается в кварцевых прожилках в ассоциации с сульфидами (включения и сростки с пиритом, халькопиритом, галенитом, борнитом, висмутинсодержащими минералами и свинцово-серебряными сульфосолями в тяжёлых фракциях) и силикатами (диопсидом, актинолитом, эпидотом и кварцем), реже с гематитом. Среди минералов в немагнитных фракциях гравитационных концентратов наиболее часто встречаются галенит и пирит; второстепенные минералы – халькопирит, самородная медь, борнит, ковеллин и халькозин. Значительно реже наблюдаются: самородный висмут, шеелит, вольфрамит, циркон, касситерит, уранинит (содержит значительное количество радиогенного свинца).

Химический состав самородного золота характеризуется постоянством – пробность колеблется в узких пределах 950-995. Зёрна самородного золота содержат включения, чаще всего галенита до 20-30

мкм или образуют сростки с этим минералом, реже встречаются единичные включения халькопирита и пирита. Минерал с включениями галенита обладает максимальной пробностью. Кроме самородного золота в рудах встречены ещё два минерала золота – аурикуприд и тетракупроаурид. Эти минералы находятся в тесных сростаниях между собой и ассоциируют только с халькопиритом.

В немагнитной фракции гравитационного концентрата установлено зерно размером 50 мкм существенно осмиевого состава – рутениридосмин (мас %): Os – 64,4; Ru – 10,5; Rh – 2,0; Pt – 2,0; Pd – < 0,5; Fe – 1,3; Ni – 0,8.

В пяти пробах гематитового концентрата отсадки из продуктов обогащения железистых кварцитов Оленегорского месторождения было зафиксировано содержание золота (г/т): 1,4-2,4-3,5-10->>10. По оценке Гавриленко Б.В. [22] запасы потенциально золотоносных пород на месторождениях Оленегорской группы составляют 100-150 млн. тонн или в пересчете на Au – не менее 10 тонн.

2.4.2. Месторождения золото-платиносодержащих железистых кварцитов КМА (Центральная Россия)

В геологическом разрезе мегаблока КМА выделено [40,24] четыре последовательно сменяющиеся во времени железорудные формации (раннеархейская железисто-кремнисто-гнейсовая в составе обоянского стратифицированного комплекса, позднеархейская железисто-кремнисто-метабазитовая в михайловской серии, протерозойские железисто-кремнисто-сланцевая и железисто-кремнисто-кластогенная). Одной из ведущих, обеспечивающих около 53% добываемой в России железной руды, является железисто-кремнисто-сланцевая формация нижнего карелия (в объёме курской серии). С этой формацией связано около 60 рудных объектов, в том числе ряд уникальных и крупных месторождений железистых кварцитов и сформировавшихся за счёт их богатых железистых руд доверхневизейской коры выветривания с сопутствующим золото-платинометалльным оруденением [5,6,27]. Общий потенциал железистых кварцитов и богатых железных руд (71,8 трлн. т) определяют ведущее положение в мире минерально-сырьевой базы Центральной России.

Отрабатываемые карьерами и шахтами железные руды пяти месторождений (Михайловское, Лебединское, Стойленское, Стойло-Лебединское, Коробковское) перерабатываются тремя ГОКами и комбинатом "КМА-руда" с формированием в процессе обогащения огромной массы хвостоотвалов, в которых концентрируются значительные ресурсы попутных благородных металлов [5, 29, 30, 10, 31, 32, 38, 39], при этом наиболее высокими содержаниями золота и платиноидов характеризуются же-

¹ Среднее содержание платиноидов в железных рудах рассчитано по результатам анализов гравитационных концентратов и хвостов.

лезные руды и их техногенные продукты Михайловского месторождения.

Месторождения Старооскольского рудного района. В Старооскольском железорудном районе КМА (Белгородская область) отрабатываются карьерами Лебединское, Стойленское, Стойло-Лебединское месторождения, шахтным способом ведётся добыча железных руд на Коробковском месторождении. Наибольший интерес в части попутного извлечения Au и МПГ из железистых кварцитов и богатых руд зон гипергенеза представляют Лебединское и Коробковское месторождения и Панковское рудопроявление в пределах рудного поля шахты им. Губкина (рис 4).

На Панковском участке буровыми скважинами вскрыт разлом северо-восточного простирания, прослеженный на 2,5 км, в котором кварциты брекчированы, катаклазированы и содержат прожилково-вкрапленную золото-платиносодержащую сульфидную минерализацию на интервале 100-250 м. Ниже по разрезу скважины прослежена зона дробления и гипергенного выщелачивания кварцитов. Содержание золота в зонах от 0,3 до 0,4-0,6 г/т на интервале от 11 до 50 м. В единичных пробах оно достигает 2-10 г/т. Золото присутствует в свободном виде размером 3-6 мкм и в связи с пиритом. В пирите оно установлено от 0,2 до 1,55 г/т. В зоне фиксируются ореолы рассеяния свинца, цинка, бария, мышьяка (в %): 0,08-1,0; 0,01-0,05; 0,1-1,0; 0,01-0,04 соответственно, а так же наличие МПГ.

На Коробковском участке также выделяется зона дробления с наложенной сульфидизацией мощностью 250-500 м и протяжённостью 1,5 км. Содержание золота в зоне 0,2-0,4 г/т, в отдельных интервалах протяжённостью 10-15 м – 1-2 г/т, а в некоторых, менее протяжённых интервалах, (0,5-1 м) – до 1-4 г/т. Содержание платиноидов варьирует от 0,019 до 0,3 г/т [1].

По высокой интенсивности гипергенных процессов оруденение Панковского участка отнесено [39] к формации золотоносных железистых “шляп”. По представлениям других исследователей [25,28,29,37] благороднометалльное оруденение в пределах Западного блока Старооскольского рудного узла (Панковское, Южно-Коробковское рудопроявления), а также Восточного блока (Западно-Лебединское, Юго-Восточно-Лебединское, Южно-Лебединское рудопроявления; Лебединское и Стойленское месторождения) имеет эндогенную природу, несёт признаки связи со структурно-тектоническими факторами и влиянием флюидно-магматических систем гранитоидов (гранодиоритов, плагигранитов, субщелочных гранитов, их дайковых фаций в составе стойло-николаевского, атаманского и малиновского комплексов). Оруденение неравномерное (Au – 0,01-1,0 г/т до 33,9 г/т; Лебединское проявление). В Западно-Лебединской субмеридиальной зоне разлома (мощностью до 450 м и протяжённостью не менее 7,5 км) минерализованная зона мощностью до 40 м представлена проявления-

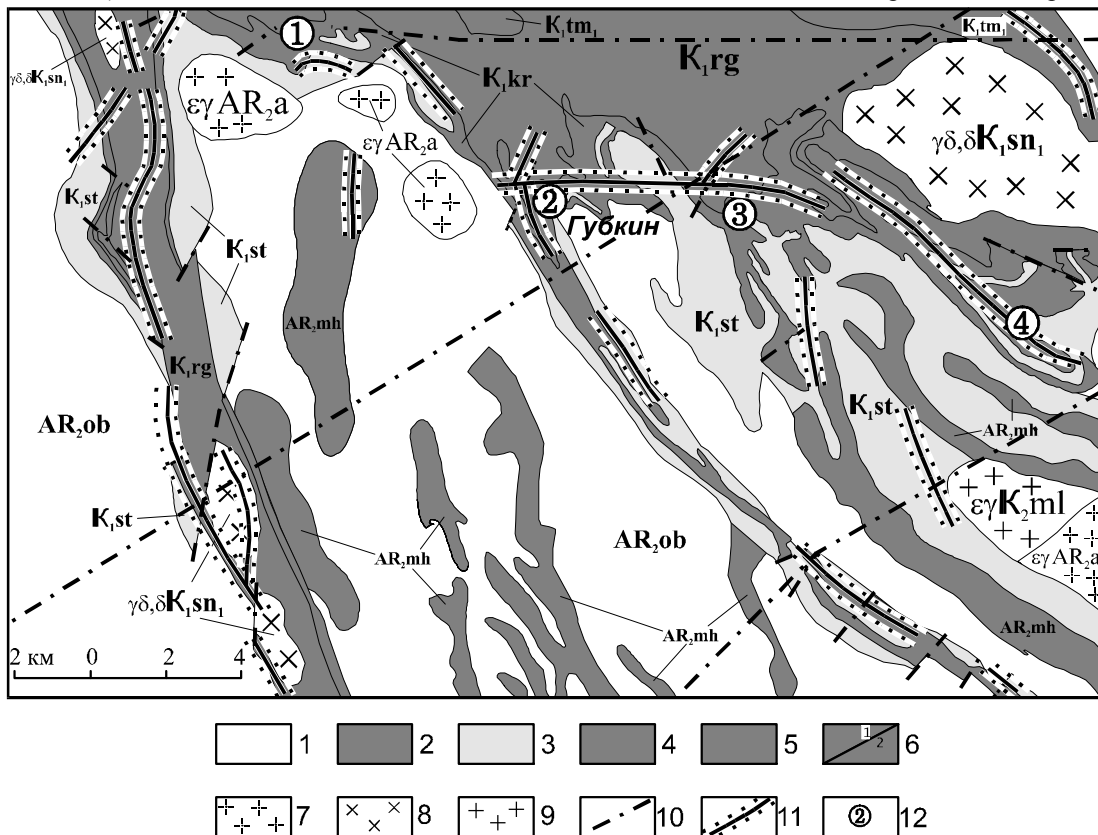


Рис. 4. Схема золото-платинометалльных рудопроявлений в Старооскольском железорудном районе КМА: 1 - Обоянский плутоно-метаморфический комплекс. (AR₂ob) Плагιοгнейсы-гнейсы интенсивно мигматизированные; 2 - Михайловская свита. (AR₂mh) Нерасчлененная. Эффузивы основного, среднего состава, сланцы, метапесчани-

ки, кварциты, метакоматииты (?), часто мигматизированы; 3 - Стойленская свита. (K_1st) Сланцы различного состава, метаалевролиты, метапесчаники, кварциты, метагравелиты, конгломераты кварцевые олигомиктовые; 4 - Коробковская свита. (K_1kr) Железистые кварциты, сланцы; 5 - Роговская свита. (K_1rg) Карбонатные, карбонатно-терригенные сланцы, в основании конгломераты с обломками железистых кварцитов; 6 - Тимская свита. (K_1tm_1) Нижняя подсвита. Ортосланцы по ультраосновным, основным и средним эффузивам - 1); терригенно-карбонатные сланцы - 2); 7 - Атаманский комплекс. (ϵ_7AR_2a) Граниты умеренно-щелочные плагиоклаз-микроклиновые, биотитовые, биотит-амфиболовые; 8 - Стойло-николаевский комплекс. ($\gamma_8, \delta K_1sn_1$) Гранодиориты, диориты; 9 - Малиновский комплекс. (ϵ_9K_2ml) Существенно калиевые, умеренно-щелочные, биотитовые, порфиroidные пегматоидные; 10 - Разрывные нарушения; 11 - Оси аномалий проводимости (низких сопротивлений по методу ВЭЗ) менее 200 Ом/м; 12 - Участки рудопроявлений золота и платиноидов: 1 - Панковский; 2 - Коробковский; 3 - Лебединский; 4 - Стойленский.

ми рудных кварцевых жил и штокверковых участков окварцевания с содержанием золота от 0,5 до 1,5-2,2 г/т. В зонах сульфидной минерализации в контакте железистых кварцитов и михайловской серии верхнего архея с дайками гранодиоритов и диорит-порфиров устанавливаются гнезда и линзы (до 0,7 м) сплошных сульфидов - пирита, пирротина и халькопирита с которыми ассоциирует галенит, содержащий серебро (615 г/т), золото 1,25 г/т. В этой ассоциации установлены электрум и теллуриды висмута.

Аналогичные зоны (мощностью до 40 м и протяжённостью до 1000 м) с прожилковым окварцеванием и сульфидизацией амфибол-магнетитовых кварцитов с обилием даек гранодиоритов, диоритов и отдельными маломощными (до 0,5 м) рудными телами (Au – до 5,5 г/т) характерны и для Стойло-Лебединского участка.

В рудах Лебединского месторождения самородное золото обнаружено в хлорит-серицит-кварцевых породах в зоне разлома мощностью около 130 м, проходящего по контакту железистых кварцитов средней свиты курской серии с кварцито-песчаниками нижней свиты. Кварцевые жилки, секущие кварциты и сланцы, содержат вкрапленность сульфидов. Золото ассоциирует с сульфидами пиритом и халькопиритом. В последнем оно присутствует в виде каплеобразных (0,005-0,008 мм) включений. Размеры золотин – 0,005-0,1 мм, очень редко до 0,4 мм. Содержание золота в пробах 0,01-0,2, редко до 3,5 г/т, в сульфидных концентратах 0-85 г/т (среднее 12 г/т).

Непосредственно в железистых кварцитах самородное золото приурочено к выделениям сульфидов в кварцевых прожилках, зонах дробления и др., где его содержания обычно менее 0,1 г/т, очень редко до 0,5-1,15 г/т, в мономинеральных фракциях сульфидов до 12 г/т. Самородное золото представлено мелкими чешуйками размером 0,02-0,07 мм в сростаниях с пиритом. Содержания МПП в рудах невысокие (г/т): платины <0,02 до 0,20; палладия – от 0,02-0,04 до 0,6; Ru и Ir – по 0,02; Rh < 0,004. Наибольшие концентрации золота наблюдаются в немагнитном продукте гравитационного концентрата (до 15 г/т). В целом, практически всё золото сконцентрировано в гравитационном концентрате класса крупности менее 0,315 мм. Содержание золота в хвостах обогащения железных руд колеблется от 0,01 до 0,12 г/т.

Исследование вещественного состава технологических продуктов Лебединского ГОКа показало

[28,7,31], что благородные металлы концентрируются в хвостах обогащения, в которых накапливается и основная масса сульфидов (пирит, халькопирит, пирротин, арсенопирит, галенит и другие). Самородное золото представлено мелкими чешуйками размером 0,02 x 0,03 и 0,05 x 0,07 мм, иногда в сростаниях с пиритом. Наибольшие концентрации золота наблюдаются в немагнитном продукте гравитационного концентрата из хвостов обогащения фабрики (15 г/т при извлечении 59%). Практически всё золото сконцентрировано в мелкой части гравитационного концентрата, в классе крупности менее 0,3 мм. Содержание золота в хвостах обогащения железных руд колеблется от 0,03 до 0,12 г/т.

Платина и палладий на 40-50% сконцентрированы в гравитационном концентрате. Содержания этих металлов в магнитных продуктах близки (0,05-0,09 г/т). Следует отметить некоторую обогащённость платиной магнитного продукта, а слабомагнитного – палладием. В немагнитной фракции содержания платиноидов увеличиваются до 0,6 г/т (Pt +Pd). По-видимому, основная часть платиноидов рассеяна в виде эмульсионной вкрапленности в силикатах и магнетите. Общее содержание платиноидов в пробе хвостов обогащения очень низкое: платины – 0,019, а палладия – 0,029 г/т [38].

Михайловское месторождение. Рассматриваемое месторождение расположено в Курской области и приурочено к западному борту Михайловской структуры, к участку ее флексуобразного изгиба, осложненному продольными и поперечными разломами, дополнительной складчатостью [40,29,39]. В составе продуктивной коробковской свиты курской серии КМА выделены [40,41] две железорудные и две сланцевые подсвиты. Нижняя железорудная подсвита на месторождении имеет значительно большее развитие по сравнению с верхней, полностью слагая Веретенинскую залежь. В основании нижней железорудной подсвиты залегают безрудные и малорудные карбонат-магнетит-гематитовые кварциты мощностью 3-48 м.

В пределах Михайловского месторождения в метасоматически измененных [1] гематит-магнетитовых и краснополосчатых (железослюдковых) кварцитах по материалам А.Н.Шелехова, В.А.Лючкина и др. [39], дополнительными новыми аналитическими данными [5], оконтурены два ориентированных в северо-западном направлении ореола золота и палладия [25]. Первый протяжённостью 57,5 м с содержанием золота более 0,01 г/т и средним содержанием палладия – 0,55 г/т размещается

среди железистых кварцитов. Второй ореол (500 x 300 м) с повышенными концентрациями Au (0,1 г/т) и пониженными Pd (0,2 г/т) приурочен к зонам пиритизации в интенсивно окисленных железистых кварцитах. В северной части ореола выделяются две неоконтуренные точечные аномалии золота с содержанием 4,17 и 0,9 г/т, приуроченные к малосульфидным жильно-прожилковым зонам кварца с адуляром и видимым золотом. Золотоносность и платиноносность разреза карьера Михайловского месторождения изучены недостаточно. Наиболее высокие содержания золота обнаружены в пробах краснополосчатых гематитовых кварцитов (до 5,5 г/т). Постоянное присутствие золота и МПГ отмечено в кварцевых жилах [5].

В пределах Михайловского железорудного района наиболее перспективной является Хальзевско-Михайловская палладисто-золоторудная зона, которая прослеживается непосредственно от карьера на север и северо-запад на протяжении 17 км при ширине 800-1000 м и отчетливо трассируется электроразведкой. Под острым углом она пересекает границу пород курской серии с плагиигранитами салтыковского комплекса, в которых размещаются жилы и прожилки кварц-сульфидного (пирит, халькопирит, галенит) оруденения с содержанием золота от 0,11 г/т до 10 г/т [21].

В карьере месторождения выявлены до 20 мелких линейных зон благороднометалльного оруденения двух типов [25]: а) сульфидное золото-палладиевое в краснополосчатых (железослюдковых) кварцитах и б) малосульфидное золото-кварцевое, которое контролируется согласными и субсогласными Хальзевско-Михайловской рудоносной структуре разрывными нарушениями.

Оруденение золото-палладиевого типа отличается низкими концентрациями золота – 0,1-0,2 г/т и повышенными содержаниями палладия (до 0,96 г/т). Золото-кварцевая минерализация характеризуется содержаниями золота от 1,0 до 7 г/т (отдельные пробы до 21 г/т). Подавляющая часть золота находится в свободном состоянии и имеет размеры менее 50 мкм, но встречаются зерна 0,1-1,0 мм. Прогнозные ресурсы золота в самостоятельных рудных телах в контуре карьера оцениваются величиной среднего месторождения [39].

Анализ лабораторно-технологической пробы Т-9 весом 200 кг, отобранной в западном борту Михайловского карьера и состоящий из 8 автономных проб, показал достаточно высокие концентрации МПГ и Au (Au=0,050-4,83 г/т; Pd=0,61-0,77 г/т; Pt=0,12-0,30 г/т; см. рис.5; [38]).

Золотоносность железистых кварцитов Михайловского месторождения несколько выше, чем в аналогичных месторождениях России. Сравнение средних содержаний благородных металлов [7,38], нормализованных к углестому хондриту (рис.6), в железистых кварцитах и их гравитационных концентратов Михайловского и Оленегорского месторождений показывает тождественность характеров

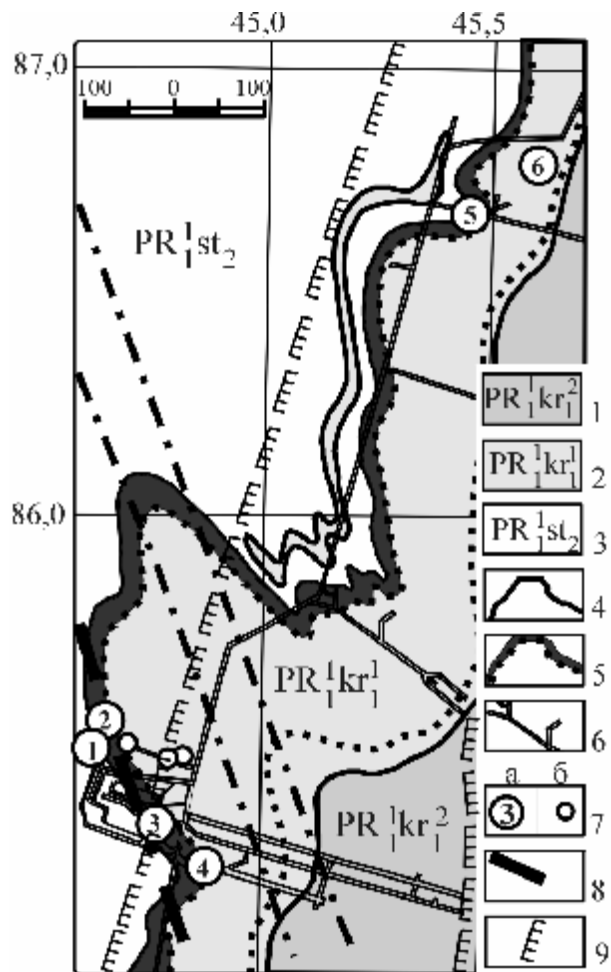


Рис. 5. Схематический план западного фланга Михайловского месторождения с результатами опробования горных выработок на благороднометалльное оруденение: 1- коробковская свита, нижняя железорудная подсвита, вторая пачка (магнетит-гематитовые кварциты); 2 - коробковская свита, нижняя железорудная подсвита, первая пачка (карбонатно-магнетитовые, гематит-магнетитовые и малорудные кварциты); 3-стойленская свита, верхняя подсвита (черные углеродистые кварц-хлорит-серцитовые сланцы); 4 - геологические границы; 5 - а) зоны минерализации золота с содержаниями от 0,1г/т до 1,0 г/т, б) геологические границы карбонатно-магнетитовых кварцитов; 6 - подземные горные выработки; 7 - благороднометалльные проявления: а) - (в г/т): 1 - (Au=0,84; Pd=0,77; Pt=0,13); 2 - (Au=0,50; Pd=0,63; Pt=0,12); 3 - (Au=2,87; Pd=0,58; Pt=0,30); 4 - (Au=4,83; Pd=0,60; Pt=0,21); 5 - (Au=2,99; Pd=0,65); 6 - (Au=0,86; Pd=0,61); б) - золота с содержанием не менее 0,5 г/т; 8 - разрывные нарушения; 9 - контур карьера на 01.01.01г

распределения. Однако, уровень концентрации элементов в рудах Михайловского месторождения в несколько раз выше.

В пробах краснополосчатых гематитовых кварцитов содержание золота достигает 1-2 г/т, а в кварцевых жилах – 0,2-0,6 г/т [30]. Анализ содержания благородных металлов в аглоруде показал следующие значения (мг/т): Ru <5; Rh <20; Pd – 25; Os <10; Ir <5; Pt – 30; Au – 60 и Ag <2 г/т. В пробе слабо минерализованных окисленных кварцитов содержание платиновых металлов на уровне предела

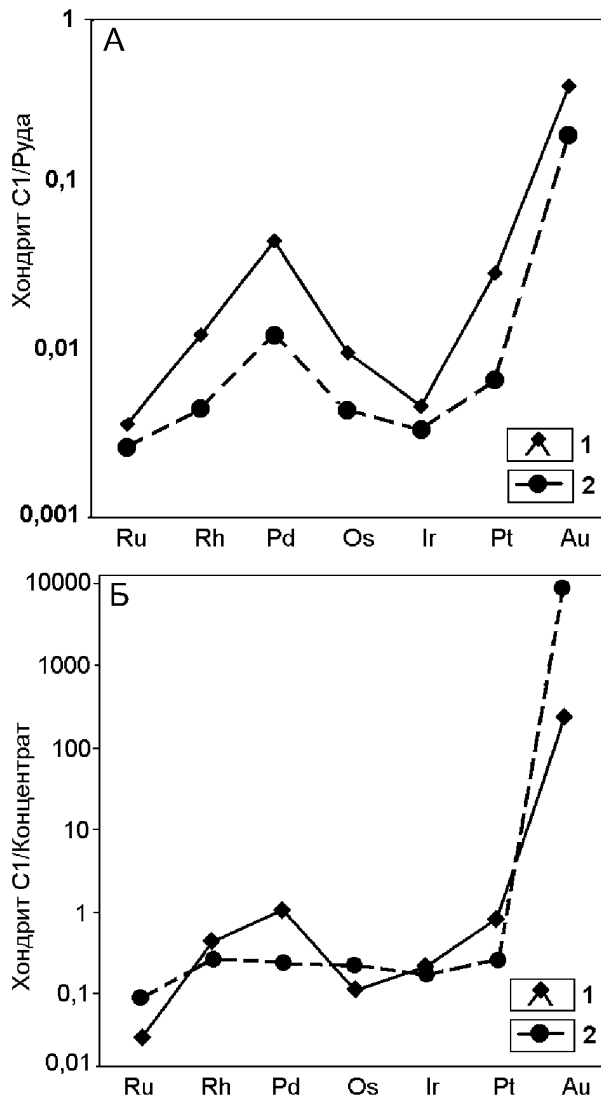


Рис. 6. Нормализованное относительно хондрита C1 содержание благородных металлов в рудах (а) и в гравитационных концентратах из руд (б) Михайловского – 1 и Оленегорского – 2 месторождений

обнаружения пробирным анализом, концентрация золота 50-120 мг/т. Гравитационное концентрирование не приводит к повышению содержания металлов в концентрате.

Самородное золото, вследствие своих технологических свойств, накапливается в немагнитных фракциях гравитационных концентратов. Практически во всех гравитационных концентратах из технологических продуктов Михайловского ГОКа обнаружено самородное золото. Минимальный размер золотин составил – 26 мкм, а максимальный – 175 мкм, среднеарифметическое – 59 мкм. Распределение частиц самородного золота по размерам довольно однородное. Основная масса зёрен сосредоточена в промежутке между 30 и 70 мкм. Частиц крупнее 100 мкм содержится всего около 5% от общего количества. По форме золотины разделяются на два типа: большая часть представлена тонкими деформированными пластинками толщиной до 5-10 мкм,

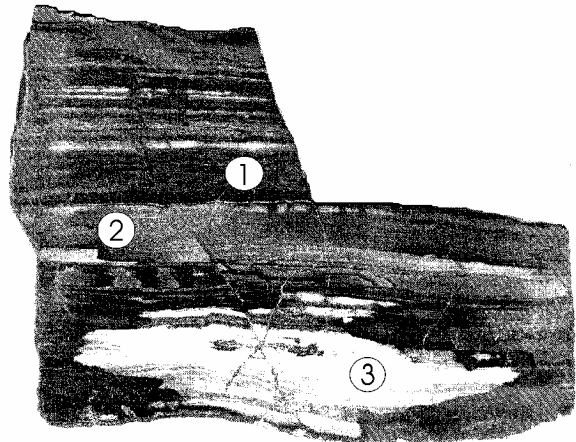


Рис. 7. Гипергенно-гипогенно измененные малорудные железистые кварциты нижней пачки коробковской свиты курской серии (западный борт Михайловского месторождения) из минералогической пробы Т-9 на благородные металлы: 1. черное – существенно гематитовые прослои с реликтами мартитизированного магнетита и гипергенными гидроокислами железа; 2. темно-серое – кварцевые, кварц-карбонатсодержащие прослои с примесью мартитизированного магнетита и лимонитизированного гематита; 3. светло-серое – линзовидные участки и прерывистые прослои кремнисто-карбонатных метасоматитов по малорудным железистым кварцитам с реликтами мартитизированного магнетита, гематитовых («теневых» прослоев), замещающихся гидроокислами железа. (1/2 натуральной величины)

другая – палочкообразные, крючковатые и, реже комковатые выделения. По химическому составу самородное золото высокопробное (890-925).

В разработке технологических схем комплексного освоения уникальных месторождений железистых кварцитов особое значение имеет, прежде всего, установление минеральных форм нахождения не только золота, но и платиноидов. Как отмечалось, среди благородных металлов количественно преобладающее золото находится преимущественно в самородном состоянии, а также в виде сплавов [39,35]. Сведения о наличии собственных минеральных фаз МПГ в железистых кварцитах крайне ограничены. Достоверно установлены [28, 21, 42] самородный палладий, палладистое золото (Pd от 1 до 50%), а так же арсенид-антимониды и селениды палладия (палладсеит – Pd₁₇Se₁₅, арсенопалладинит – Pd₅(As,Sb)₂, атенеит – (Pd,Hg)₃As, изометриит – PdAsSb, стибнопалладинит – Pd₅Sb₃) в золоторудном месторождении Итабира (Бразилия), связанном с железисто-кремнистой формацией, а так же соединения состава PdAg (Pd=49,28-49,70%; Ag=49,19-49,43%; Cu=0,09-0,13%) в гипергенных железных рудах. Как отмечалось, единичные зерна (до 50 мкм) существенно осмиевого состава – рутениридосмин выявлены в немагнитной фракции гравитационного концентрата Оленегорского месторождения.

Выполненные специальные исследования железистых кварцитов Михайловского месторождения

позволили существенно расширить сведения о минералогии МПГ и Au железных руд [37,38].

Объектом исследования форм нахождения благородных металлов (прежде всего МПГ) являлись окисленные малорудные железистые кварциты (рис.7) одного из участков западного фланга Михайловского месторождения, где по результатам ранее проведенного бороздового опробования забоя горной выработки шахтного дренажного комплекса месторождения были установлены повышенные содержания Au=0,20-4,83 г/т; Pd =0,250-0,600 г/т; Pt=0,041-0,214 г/т. По результатам аналитических исследований, выполненных в лаборатории ЗАО «Механобр-Инжиниринг» (С-Пб) содержание благородных металлов (Au=0,12 г/т; Pd <0,02 г/т; Pt<0,02 г/т) оказалось значительно ниже тех значений, которые были получены в ЦНИГРИ. Лишь в гравитационном концентрате окисленных малорудных карбонат-магнетитовых железистых кварцитов из последней секции бороздовой пробы (9/8) содержание благородных металлов составило Au=0,22 г/т; Pd =0,04 г/т; Pt=0,05 г/т.

По данным локальных микрозондовых рентгеноспектральных исследований пробы, в её "тяжёлом" концентрате установлены сперрилит, осмий самородный, рутениридосмин, платиносодержащий рутениридосмин, платосмиридий, золото самородное [37,38].

Сперрилит (PtAs₂) слагает мелкие оскольчатые зерна (5-20 мкм). Обнаружено 4 зерна минерала, химический состав которых одинаков и полностью

соответствует стехиометрическому. **Рутениридосмин** (Os_{0,44}Ru_{0,39}Ir_{0,1}Ni_{0,03}Cu_{0,02}Pt_{0,01}) установлен в виде мелких (10 мкм) зерен. Единичные зерна **осмия самородного** (Os_{0,92}Ru_{0,06}) незначительно обогащены Ru=3,3 мас.%, Rh=0,3 мас.%, Pd=0,3 мас.%, Ir=0,5 мас.%. **Платиносодержащий рутениридосмин** (Ru_{0,5}Ir_{0,21}Os_{0,19}Pt_{0,08} Rh_{0,01}) установлен в единичном зерне. Одно сравнительно крупное выделение и несколько мельчайших зерен (менее 1 мкм) представлены **платосмиридием** (Pt_{0,34}Ru_{0,32}Os_{0,17}Ir_{0,17}). Золото самородное, которое обнаружено в восьми зернах размером от нескольких микрон до 40-50 мкм, характеризуется высокой пробностью – 993-989 (примесь палладия – 0,4 мас.%). Следует отметить, что в сульфидизированных кварцитах и кварц-адюляровых жилах присутствует и видимое (>1,0 мм) самородное золото. Кроме того, в различных количествах золото отмечается в составе ртути-мышьякосодержащего пирита (Hg=117,9 г/т; As=9709 г/т; Au=5,11 г/т) из щелочных метасоматитов и слюдястых железистых кварцитов (Au=1,43 г/т), селеносодержащего (Se=1556,3 г/т) пирита (Au=0,05 г/т) кварцевых жил.

Повышенные концентрации благородных металлов в сульфидизированных железистых кварцитах и их окисленных разновидностях [5, 22, 1, 25, 28, 21,7,29,31,36,37,38], а также в гематитизированных рудах [38,39] выступают в качестве важнейшей предпосылки нахождения в них известных и новых

Таблица 6

Перспективы попутного производства благородных металлов из железистых кварцитов

Предприятия	Производительность по руде, млн. тонн	Содержание Au в руде, г/т	Количество Au в руде, кг/год
Михайловский ГОК	5-8	0,04-0,07	200-560
Лебединский ГОК	20-22	0,01-0,015	200-330
Стойленский ГОК	20-22	0,01-0,02	200-440
Костомукшский ГОК	18-20	0,012-0,016	215-320
Оленегорский ГОК	8-9	0,02-0,03	180-300

минеральных фаз золота и платиноидов. Широкое развитие и повышенные концентрации не только золота, но и платиноидов в богатых железных рудах кор выветривания, в самих железистых кварцитах, кварцевых, кварц-сульфидных и сульфидных (пирит-пирротитовых) зонах и метасоматитах, а так же в гигантских по масштабам техногенных продуктах (хвостоотвалах) трёх действующих ГОКов КМА и двух в пределах Карело-Кольского региона, определяют в совокупности наличие в Центрально-Европейской России нового, нетрадиционного уникального по ресурсам источника благородных металлов, образующих ряд собственных минеральных фаз (сперрилит, рутениридосмин, платиносодержащий рутениридосмин, осмий самородный, платосмиридий, высокопробное самородное золото).

Полученные новые данные о закономерностях распространения и формам нахождения МПГ и Au [35,38], позволяют использовать выбор реальных технологий комплексного освоения месторождений

золото-платиновых железистых кварцитов. Перспективы попутного производства лишь золота из оксидных руд ГОКов в Центрально-Европейской части России приведены в табл.6.

Полученные новые данные по распределению МПГ позволяют увеличить приводимые в табл. 6 цифры перспективного производства на 25-35% [1,31,34].

2.5. Месторождения кор выветривания

Данная группа охватывает проявления золота и платиноидов в различных формационных типах железорудных месторождений, включая: а) окисленные железистые кварциты; б) богатые железные руды кор выветривания железистых кварцитов; в) железные шляпы, зоны окисления и продукты выветривания месторождений слоистых комплексов типа Фритаун [1], изменённых гипергенезом метаморфизованных кремнисто-железистых руд итаби-

ритовой формации Бразилии с благороднометалльным оруденением [15-18].

В зоне гипергенеза золото способно как мигрировать под влиянием различных химических факторов, так и соосаждаться с определёнными вторичными продуктами, в особенности с гидроокислами железа, гелями кремнезёма, органическим детритом. Содержание золота до 0,1 г/т свойственно богатым железным рудам кор выветривания КМА и Кривбасса. Известны находки золота в красковых сланцах второго Саксаганского пласта в Кривбассе, где золото фиксировалось в виде мельчайших разобшённых чешуек. Имеются также данные о содержании золота до 0,7 г/т в маритовых рудах этого же бассейна. Содержание платины в богатых криворожских маритовых рудах колеблется от следов до 0,47 г/т, палладия от следов до 0,5 г/т, отношение Pd/Pt для маритовых руд близко к 0,5 [12]. Установлена золотоносность сульфидизированных линейных кор выветривания Ингулецкого месторождения на Украине, где золото свободное, мелкое и пылеватое, жилковидно-пластинчатое, комковидное и крючковатое. Пробы 760-860.

В Бразилии ранее обрабатывалось палладийсодержащее золото из коры выветривания гидротермально изменённых итабиритов, получившие местное название «руды Якутинга». Эти глинистые образования с гидроокислами железа и марганца, а также с гематитом и каолином характеризовались неравномерным распределением золота при средних содержаниях 13-23 г/т. За шесть лет старатели добыли здесь более 30 т золота [17]. Некоторые гнезда содержали ураганное количество золота (до 100-114,5 кг/т) и палладия (до 7,65 кг/т). В ряде случаев образуются платиноиды сложного состава, представляющие собой интерметаллические соединения [10]. Например, в модуле гидроокислов железа из латеритов коры выветривания месторождения Байя (Бразилия), обнаружено соединение состава PdAg [18]. Оно имеет явно гипергенное происхождение и ассоциирует с гётитом и гематитом в верхней части железной коры выветривания.

Характер платинометалльного оруденения контролируется формационным типом коренных месторождений. Так для титано-магнетитовых клинопироксенитов Качканара это – платино-палладиевые руды. Во всех аллювиальных и элювиальных месторождениях мира платиноиды образуют два основных ряда: 1) Pt с Fe (изоферроплатина, тетраферроплатина и т. д.); 2) Pt с Os и Ir (осмистая платина, осмирид, иридиевая платина и т. д.).

Отношение (Os+Ir)/Pt является критерием, указывающим на тип пород и солёность среды минералообразования. Высокая степень зрелости кор выветривания сопровождается повышенным содержанием Os и Ir, усложнённым химическим составом

и высокой степенью структурной неоднородности (периферийным обогащением мышьяком богатых

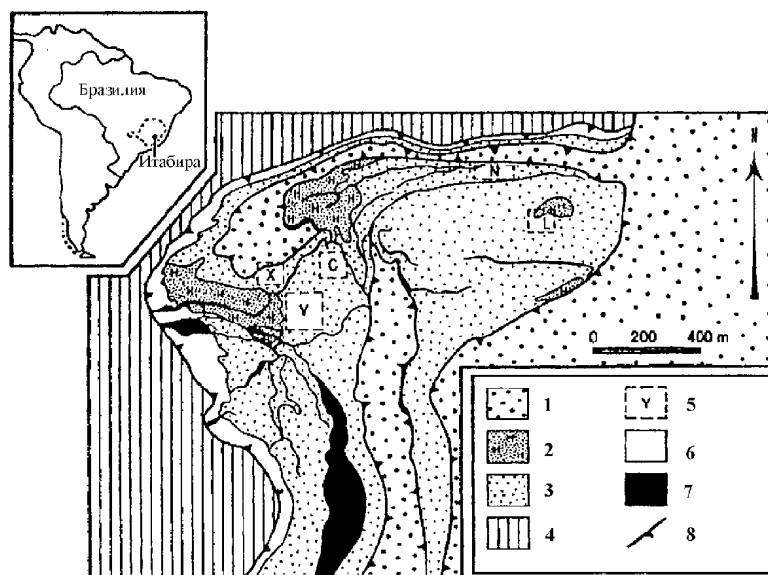


Рис.8. Схематическая геологическая карта месторождения Кауе (Итабира, штат Минас Жерайс, Бразилия) с размещением золоторудных тел (С-Центральное; L-Аба Лесте, N-Аба Норд, X-Корпо X, Y-Корпо Y); по [17]: 1-кварциты; 2-гематититы; 3-итабириты; 4-вулканогенно-осадочные отложения; 5-золоторудные тела; 6-тектонический меланж; 7-интрузивы; 8-опрокинутые складки

иридием фаз, появлением особых фаз внутри зёрен платиноидов, обогащённых иридием [17]).

Высокая золотоносность свойственна «железным шляпам» сульфидных и сульфидно-магнети-

Таблица 7
Состав палладийсодержащего золота (мас.%)
из залежи Кауе, месторождение
Итабира (Бразилия; по [17])

	Au	Pd	Cu	Ag	Сум- ма
1	97,36	1,92	0,06	0,27	99,61
2	90,33	4,54	2,75	0,51	98,13
3	90,39	4,61	2,98	0,59	98,6
4	84,37	5,24	8,28	0,14	98,03
5	92,43	1,83	4,07	0,52	98,85
6	94,37	1,02	3,1	1,12	99,61
7	96,11	1,97	0,37	0,69	98,14
8	99,12	1,16	0,04	0,09	100,41
9	97,93	1,2	0,31	0,1	99,54
10	97,39	1,45	0,11	0,24	99,19
11	97,76	1,47	0,35	0,38	99,96
12	97,35	1,4	0,3	0,31	99,36
13	97,06	1,23	0,58	0,47	99,34
14	93,35	1,14	3,81	0,79	99,09
15	97,52	1,26	0,17	0,37	99,32
16	98	1,25	0,1	0,19	99,54
Сред- нее	95,05	2,04	1,71	0,42	99,17
мин.	84,37	1,02	0,04	0,09	98,03
макс.	99,12	5,24	8,28	1,12	100,41
ст.	3,97	1,40	2,30	0,28	0,67
откл.					

товых руд скарновой формации. Так, например, лимонитовая сыпучка на месторождении Рудный Каскад в Алтае-Саянской провинции содержит золота до 100 г/т и более. С корами выветривания сульфидно-магнетитовых руд названного региона связаны россыпи золота.

Ниже приводится краткий обзор золото-платиноносности некоторых наиболее крупных и потенциально весьма перспективных железорудных месторождений кор выветривания.

Месторождение Кауе (Восточная Бразилия). Моноэлементные платиноиды, кроме платины, в этом месторождении (рис.8) встречаются сравнительно редко [17]. Палладийсодержащее золото установлено в гидротермально изменённом горизонте железистой залежи Кауе месторождения Озера Сьюпериор [15-18].

Кора выветривания железистой формации итабиритов имеет местное название "якутингит". Изменённые метаморфизованные кремнисто-железистые руды Бразилии, представленные чередующимися прослоями кварца, гематита и магнетита, содержат самородное золото и Au-Cu сплавы с включениями палладия (табл.7).

Подобный характер нахождения золота и состав установлены в Бразилии на месторождениях Сьерра-Пелада, в штате Пара, Гонго-Соко (залежь Маквин), обнажениях Такьюрил и Порлез, в залежи Кауе и Консейгао в штате Минас Жерайс.

Месторождение Кауе было открыто в 18 веке, но состав и строение палладийсодержащего золота не были детально изучены. Большинство таких залежей сейчас не обрабатываются, но Pt и Pd добывают в Кауе и из железных руд Консейгао, которые простираются на 7 км в пределах месторождения Итабира.

Для структуры месторождения Кауе характерен будинаж, изоклиная складчатость с перевёрнутыми складками и надвигами с хорошо развитой милонитовой пластинчатой зоной (см. рис.8). В Кауе отработаны 5 золоторудных пластов, ассоциирующих с кварц-гематитсодержащими слоями в милонитовой зоне. Палладийсодержащее золото приурочено к якутингиту, состоящему из тонких (до сантиметра) слоёв с различными содержаниями кварца (+фельдшпатоиды), гематита (+гётит), ферросиликатов с небольшим количеством турмалина, апатита, монацита, карбонатов. Палладийсодержащее (Pd от 1-5 до 20 мас.%) золото (обычно меньше 10 микрон) встречается в виде отдельных мелких зёрен и включений, совместно с турмалином в гематитовых слоях и кварцитовых слоях будинажа.

Наибольшее количество палладия (Pd>20%) содержится

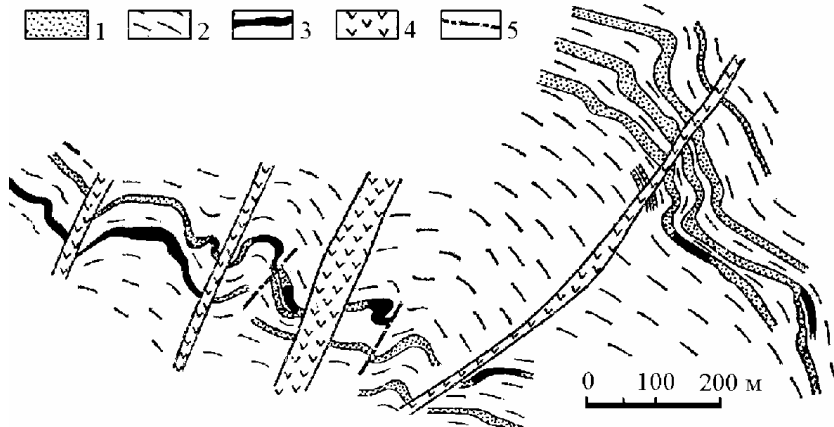


Рис. 9. Геологический план главного горизонта штольни месторождения Рапозос. (по Ж. Э. Толберту, 1967) [2]: 1 - горизонты пород железистой формации; 2 - сланцы нерасчлененные; 3 - Au-рудные тела; 4 - дайки диабазов; 5 - тектонические нарушения



Рис.10. Месторождение рудника Гонго Соко в общей структуре размещения железистой формации Итабира (показана черным; по [2])

жится в золоте с включениями оксидов Pd-Cu. Установлен скородит, указывающий на наличие в первичных рудах арсенопирита.

В Кауе и Гонго Соко при глубине отработки до 140 м якутингитов – рыхлых железных руд при среднем содержании 13-25 г/т золота добыты тысячи тонн благородного металла.

Месторождение Рапозос с палладийсодержащим золотом расположено в 70 км от группы ме-

сторождений Итабира [3]. Месторождение стратиформное (рис.9), подвергнутое последующему метаморфизму. Продуктивный слой железистых кварцитов прослежен на 15 км при мощности 5 м.

Рудоносная жила, располагающаяся в контакте железистых кварцитов (итабиритов) и слюдяных сланцев, содержит турмалин, арсенопирит, пирит и пирротин. Содержание золота до 150-200 г/т. Мощность продуктивного слоя от 3-5 до 30 м. Золото приурочено к замещённым прослоям сидерит-кварцевых пород с подчинённым количеством маг-

нетита и пирита в толще хлоритовых сланцев и филлитов в контакте с итабиритами. Золото тяготеет к мелкозернистому агрегату прослоев существенно сидеритовых и кварцевых пород. Выделяются две золотоносные ассоциации: пиритовая и арсенипирит-пирротиновая. Золото мелкое и слагает отдельные зерна и тонкие прожилки в сульфидах. Особенностью месторождения является обилие новообразований фуксита в рудных прослоях.

Рудник Гонго Соко относится к палеопротерозойской железистой формации Итабира штата Минас Восточной Бразилии (рис.10; [43]). Породы метаморфизованы от зеленосланцевой до альмандин-амфиболитовой фации. Золото-палладиевое оруденение сосредоточено в пределах рыхлых гематитов, известных как "якутингиты" [15]. Последние представляют собой гидротермально-измененные карбонат-содержащие породы окисленной фации железистой формации. Якутингит состоит из рыхлого гематита с каолином, тальком, оксидом марганца, гетитом и незначительным количеством турмалина, рутила и кварца, редко встречается касситерит.

Золото имеет форму зерен, чешуек и прожилков, типичны сплавы с палладием. Палладий не только типичный компонент "оуго рето" (черного золота), но также и характерный элемент якутингита. Палладий, выделенный из золота Гонго Соко, использован в отливке медали Волластона, Геологического общества Лондона. Гонго Соко был первым наиболее крупным рудником в Бразилии, где в 1826-1857 гг. добыто 12887 кг золота. Состав Pd-содержащего Au в рудах ранее, вплоть до конца XX века, не был достаточно изучен.

Pd представлен разнообразными формами. Фазы оксида палладия постоянно устанавливаются в виде ободков вокруг арсенипалладинита – $Pd_5(As,Sb)_3$. Pd образует сростания и соединения с содержанием (мас.%): Pd-72,5; Sb-25,0; As-3,0; Sn-0,1; Cu не превышает 0,1 мас.%, Fe может достигать 0,8 мас.%. Кроме того в рудах итаберитового типа установлены [15]: атенеит – $(Pd,Hg)_3As$, изомертиит – $Pd_3(As,Sb)$, палладсеит – $Pd_{17}S_{15}$, самородный палладий, а так же unnamed минерал состава $(Pd_{6,36}Cu_{1,11}Fe_{0,31}Mn_{0,10}Hg_{0,17})_{7,95}O_{5,05}$ и кубическая разновидность Pd_2O .

Мартиит II образует оторочки, реже включения, примыкающие к краям золота. Предполагается, что он образовался позднее Ag-содержащего золота. Аномальное содержание Au составляет 30,6 мас.%. Палладий сосредоточен вокруг мартиита II. Золото представлено меньшими количествами, чем Cu при пониженных содержаниях Fe и Mn. Зерна оксидов палладия в железных рудах в микрофракциях размещаются в параллельных срезах рудной жилы слоистого итабирита. Ртуть встречается в незначительных количествах, но может достигать 2,9 мас.%. Считается (Olivo, Gauthier, 1994), что палладисто-медистые оксиды не образуются при выветривании, а связаны со сдвигами и гидротермальными растворами. В результате последних исследований считается возможным определить существование соеди-

нений гидроксидов палладия или гидратов палладинита и Pd-Mn-Au-Cu-Cl-содержащих железистых оксид-гидроксидов. Хлор в основном присутствует в галите и предполагают участие Cl-содержащих комплексов в транспортировке металлов. По крайней мере, одна стадия образования Pd-Cu-Fe-Hg-Mn-оксидов – это результат гидротермального изменения мартиита II, которое вызвало выщелачивание Sb и As при малой подвижности Pd, и привнос Cu, Hg, и Mn. Данное обстоятельство усиливает сходство между якутингитовыми месторождениями Итабири и Гонго Соко, хотя в Итабире более высокие PT – условия метаморфизма, чем в Гонго Соко. Обе системы создавались в обстановках хрупких деформаций со сложным воздействием низкотемпературных гидротермальных флюидов. На месторождении Гонго Соко оксиды палладия описаны в разнообразии видов [15], встречающихся всегда в ассоциации с Cu, Fe, Mn, с включениями $Pd(OH)_2$ или $PdO \cdot H_2O$. Разновидности с избытком оксидов металлов интерпретируются как метастабильные.

Криворожский бассейн (Украина). Для Криворожской структуры характерно интенсивное развитие линейных кор выветривания в железистых кварцитах криворожской осадочно-метаморфической серии нижнего протерозоя. Они формировались с верхнего протерозоя (?) до третичного периода. Повышенная золотоносность в Криворожском бассейне установлена [11] в сульфидизированной зоне цементации линейной коры выветривания в железных рудах Ингулецкого рудника.

Зоны сульфидизации, несущие золото, размещаются в дезинтегрированных мартитизированных рудах в области выклинивания зон обохривания и прослеживаются сверху вниз по контакту линейной коры выветривания с вмещающими породами (рис.11). Вторичная сульфидная минерализация вкрапленного и прожилково-вкрапленного типа представлена пиритом двух генераций с единичными выделениями марказита. Гипергенная сульфидная минерализация отличается от гипогенной составом сульфидов (отсутствуют халькопирит и пирротин), повышенным содержанием Au, As, Cu, в то время как для гипогенных характерны Mn и Mo. В линейной коре выветривания золото мигрирует из зон выщелачивания и обохривания в зону вторичной сульфидизации.

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

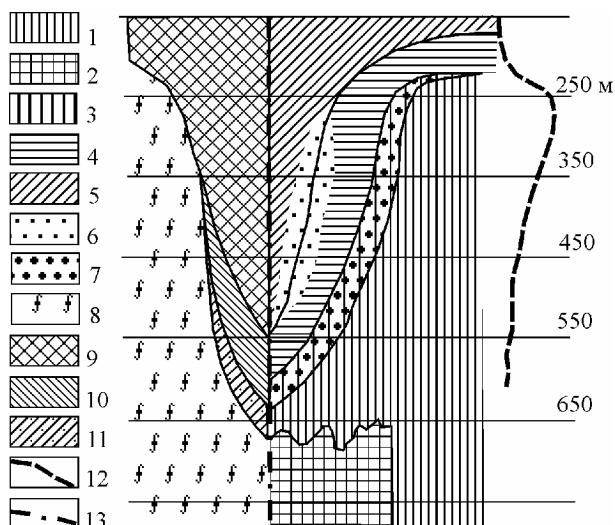


Рис. 11. Схематический профиль линейной коры выветривания на породах железорудной формации Криворожского бассейна и поведение золота в зоне вторичной сульфидизации [11]: породы железорудной формации средней свиты криворожской серии: 1 — джеспилиты, 2 — магнетитовые руды; зоны коры выветривания железистых пород: 3 — мартитизация (магнетит-мартитовые, мартитовые и мартит-гематитовые руды), 4 — обохривания (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 — каолинит и охр, 10 — гидрослюдистая, 11 — гидрохлоритовая; 12 — распределение золота в зоне сульфидизации; 13 — тектонические нарушения

затухают ниже. Предполагается, что на участке опробования наиболее обогащенный горизонт (220-260 м) уже отработан. 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. Свободное золото имеет низкую пробу (700-715), характерную для этого металла, отложившегося в условиях его переноса сульфатными растворами в корях выветривания [11]. Основными носителями золота в данной руде оказываются пирит и продукты его окисления. В золотоносных зонах намечается прямая корреляционная связь золота с медью и мышьяком; достоверные сведения о платиноносности отсутствуют.

Месторождения бассейна КМА. В пределах КМА выявлен ряд участков золото-платиноносных гипогенно-гипергенных и гипергенных железных руд. В частности, установлен ряд минералов платиновой группы в зоне окисленных малорудных железистых кварцитов западного фланга Михайловского месторождения на КМА [35,38]. Прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация в гипергенно выщелоченных железистых кварцитах (Au от 0,3-0,6 г/т до 2-10 г/т) выявлена на Панковском участке Старооскольского рудного узла сравнительно

мощной (до 150 м) зоны разлома протяженностью 2,5 км с брекчированными, катаклазированными кварцитами. Здесь присутствует свободное золото размером 3-6 мкм в ассоциации с пиритом. Оруденение сопровождается ореолом (в %): Pb-0,08-1,0; Zn-0,01-0,05; Ba-0,1-1,0; As-0,01-0,04.

В корях выветривания железистых кварцитов золото установлено в сидеритово-гематитовых, сидерито-гидрогетитово-мартитовых рудах, в мартитизированных кварцитах с пиритовой минерализацией с содержанием золота от 0,3 г/т до 5,4-10,9 г/т (Панковский участок, Олимпийский, Чернянский участки). По характеру размещения кор выветривания и особенностям вещественного состава эти участки несут ряд общих черт с месторождениями золота Рапозос, Мору-Велью и особого типа «якутинитов» Восточной Бразилии (Кауе, Гонго Соко).

В северной части Михайловского месторождения в залеже богатых мартитовых руд установлено присутствие в (г/т): Au-0,017; Pt-0,02; Pd-0,031; Rh-0,004; Ru-0,02; Ir-0,02; Ag-0,10. В подстилающих окисленных железистых кварцитах установлено в (г/т): Au-0,010; Pt-0,02; Pd-0,036; Rh-0,004; Ru-0,02; Ir-0,02; Ag-0,056. Следует отметить, что в базальном горизонте пород осадочного чехла в юрских песках с прослоями сульфидов (марказит+пирит), а так же сульфидизированных бурых углей того же возраста установлены аномальные содержания благородных металлов в (г/т): Au-0,007-0,0011; Pt-0,02; Pd-0,023-0,040; Rh-0,004; Ru-0,02; Ir-0,02; Ag-0,33-0,91. В южной части Михайловского месторождения в фосфоритовой "плите" мощностью 0,4-1,0 м из девонских отложений, перекрывающих богатые мартитовые руды, присутствуют (мг/т): Pd=230-1700; Pt=20-70; Au=17-60; Ag=530-540.

Таким образом, приведенные данные о ведущих закономерностях размещения и формирования золото-платиносодержащих железорудных месторождений свидетельствуют о больших потенциальных возможностях железорудных формаций как нового для России нетрадиционного, уникального по ресурсам и запасам источника благородных металлов. И создания на этой основе в XXI столетии крупных горнорудных предприятий попутной золото-платинодобычи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич В.А. Платино-металльные месторождения России. -С.Пб., 2000. - 755 с.
2. Шер С.Д. Металлогения золота (Северная Америка, Австралия и Океания). – М., 1972.- 295с.
3. Шер С.Д. Металлогения золота (Евразия, Африка, Южная Америка). – М., 1974.- 256с.
4. Рудные месторождения СССР / Под ред. В.И. Смирнова. - М.,- 1974.- Т.1.- 391с.
5. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Чередникова О.И. Металлогения платиноидов крупных регионов России.- М., 2001.- 302с.
6. Ильин К.Г., Лазаренков В.Г., Сенбек С.В., Смыслов А.А., Тихомиров Л.И. // Геологический атлас России

- 1995-1996, масштаб 1:10 000 000. Разд.3. Полезные ископаемые и закономерности размещения. Карта месторождений золота и платины России (N-36-I, M-37-I).- М.- С.Пб., 1996.- С.121-145.
7. Изюитко В.М., Петров С.В. Исследование минералого-технологических особенностей благороднометалльной минерализации железистых кварцитов Михайловского ГОКа // Матер. ЗАО "Механообр Инжиниринг".- С.Пб, 2002.- С.1-21
 8. Лазаренков В.Г., Таловина И.В. Геохимия элементов платиновой группы.- С.Пб., 2001.- 226с.
 9. Осовецкий Б.М. Типохимизм шлиховых минералов: Справочник.- Пермь, 2001.-244с.
 10. Петров С.В., Сентемова В.А. Благородные металлы в железистых кварцитах и возможность их извлечения // Обогащение руд.- 1998.- №6.- С.36-40.
 11. Рожков И.С., Писемский Г.В., Ганжа Л.М. и др. О золотоносности железных руд Кривого Рога // Докл. АН СССР.- 1971.-Т.196, №44.- С.923-927.
 12. Ширинбеков Н.К., Ширинбекова С.Н. Платиноносность докембрийских железорудных и медноколчеданных месторождений Украины // Тез.докл. VII Междуна.плат.симп.- М., 1994.- С.104.
 13. Юшко-Захарова О.Е. Платиноносность рудных месторождений. -М., 1975.-248с.
 14. Boyle P.W. The Geochemistry of gold and its Deposits. // Geol Suzv. Bul. 280 Canada. -Ottawa. -1979.- 584p.
 15. Cabral A. Rafael, Lehmann B., Kwitko R., Jones P.D., Pires F.R.M., Rocha Filho O.G., Innocentini M.D. Palladium-oxygenated compounds of the Gongo Soco mine, Quadrilatero Ferrifero, central Minas Gerais, Brazil. // Miner. Mag. -2001.-65.- №2.- P.169-179.
 16. Jedwab J., Cassedanne J., Cridde A.I at al. Rediscovery of palladinite PdO from Itabira (Minas Gerais, Brazil) and from Ruwe (Shaba, Zaire). Terra Abstracts, Suppe. // In Terra Nova. -1993.- №5.- P.22.
 17. Olivo G.R., Gauthier M., Bardoux M. Palladium gojd from Caue iron mine. Itabiro District, Minas Gerais, Brazil // Miner. Mag.- 1994.- Vol.58, №4.- P.579-587.
 18. Zang W., Fyfe W.S., Barnet R.L. A silver-palladium alloy from Bahia lateritic gold deposit, Carajas, Brazil // Miner. Mag.- 1992.- Vol.56, №1. – P.47-51.
 19. Маракушев А.А., Безмен Н.И. Химическое сродство металлов к кислороду и сере. // Геология рудных месторождений. -1969.- №4.-С.8-23.
 20. Железисто-кремнистые формации докембрия / Под ред. Я.Н. Белевцева. -Киев, 1992. -229 с.
 21. Ермакова Г. С. Реферат статьи Дж. К. Герберта "Palabora" Mining Magazine, January. -1967. Vol. 116, № 1. -P. 4-25. Htu BUMCa. С. 1-4
 22. Гавриленко В.В. Минерагения благородных металлов и алмазов Северо-Восточной части Балтийского щита // Автореф. дис. ... докт. г.-м. н.- М., 2003. - 58с.
 23. Коробейников А.Ф. Условия образования и размещения комплексных золото – платиноидно – редкометалльных месторождений // Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов: Матер. Всероссийского Симпозиума.- М., 2002.- С.39-42.
 24. Коробейников А.Ф., Ворошилов В.Г., Пшеничкин А.Я., Зыков Ю.Е., Колпакова Н.А. Золотоплатиноидные скарновые месторождения – новые перспективные объекты платиноносного сырья (Южная Сибирь) // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI в.- М., 1995.- С.295-300.
 25. Дунай Е.И., Белых В.И., Плужников И.Ф. Состояние, проблемы и задачи по развитию и укреплению минерально-сырьевой базы Центрального Черноземья России (на примере Белгородской области) // Вестн. Воронеж. унта. Сер. геол. -1998.- №6.-С.131-142.
 26. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич В.А., Глухоедов Н.В. Состояние и проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов России (Результаты и направление исследований по программе "Платина России") // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов.- М., 1995.- Т.2, кн.1.- С.7-48.
 27. Кашин С.В., Плющев Е.В., Попкова Н.В. Стадийность и зональность эпигенетических минералообразований в железистых кварцитах Михайловского месторождения (КМА) // Зап. ВМО. -2001.- №6.- С.95-98.
 28. Дьяченко А.П., Легедза В.Я., Шелехов А.Н. О золотоносности горных пород докембрийского фундамента Старооскольского района Курской магнитной аномалии // Докл. АН СССР. -1970.- Т.193, №2.- С.415-417.
 29. Лючкин В.А., Казанцев В.А., Предпосылки промышленных месторождений золота на территории Курской магнитной аномалии // Вестн. Воронеж. унта. Сер. геол. -1997.- №3.- С.95-99.
 30. Мызников И.К., Шелехов А.Н. Некоторые минералого-геохимические особенности распространения золота на Михайловском железорудном месторождении // Проблема комплексного использования руд. 2-й Межд.симп. Тез. докл. -С.Пб., 1999. - С.76.
 31. Ручкин Г.В., Дерюгин Ю.Н. Золотоносность раннедокембрийских железистых кварцитов.- М., 1988. – 54 с.
 32. Чернышов Н.М. Формационно-генетические типы платинометалльных проявлений Воронежского кристаллического массива // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. -М., 1994.- С.85-103.
 33. Чернышов Н.М., Додин Д.А. Формационно-генетическая типизация платинометалльных месторождений и проявлений для целей прогноза // Докл. РАН. -1994.- Т.331, №4.- С.265-284.
 34. Чернышов Н.М. Минерально-сырьевой потенциал цветных и благородных металлов Центрально-Черноземного региона: Состояние и перспективы освоения // Стратегия социально-экономического развития регионов: Сб. статей науч.-практ. конф.- Воронеж, 2002.- С.38-46.
 35. Чернышов Н.М., Молотков С.П. Минерагенические критерии золото-платинометалльного рудообразования эндогенного и техногенного типов в эксплуатируемых месторождениях железных руд КМА // Матер. 3-го Международного семинара "Новые идеи и концепции минералогии".- Сыктывкар, 2002.- С.124-125.
 36. Чернышов Н.М., Молотков С.П., Рыборак М.В. Первая прогнозно-минерагеническая карта благороднометалльного оруденения докембрия ВКМ (принципы построения, содержание, прогнозно-поисковое и фундаментальное значение) // Вестн. Воронеж. унта. Сер. геол. -2002.- №2.- С.73-81.
 37. Чернышов Н.М., Изюитко В.М., Петров С.В., Молотков С.П. Первые находки минеральных форм элементов платиновой группы в железистых кварцитах КМА // Докл. РАН. - 2003. -Т.391, №1. -С.104-107.

38. Чернышов Н.М., Петров С.В., Молотков С.П. Особенности распределения и формы нахождения благородных металлов в железистых кварцитах Михайловского месторождения КМА и их техногенных продуктах // Вестн. Воронеж. унта. Сер. геол. -2003.- №1.-С.93-104.
39. Шелехов А.Н., Лючкин В.А., Ляховкин Ю.С. Месторождения железистых кварцитов и продукты их переработки – новый перспективный источник золото-платиносодержащего сырья в XXI в. (на примере Центральной России) // Платина России. Т.III в 2-х кн. – М., 1999.- С.289-294.
40. Голивкин Н.И., Кононов Н.Д., Орлов В.П. и др. Железные руды КМА /Под ред. В.П. Орлова, И.А. Шелыгина, Н.А. Соколова).-М., 2001.- 616с.
41. Щеголев И.Н. Железорудные формации докембрия Курской магнитной аномалии и Украинского щита // Геол. журн.- 1981.- Т.41, №5.- С.41-49.
42. Лазаренков В.Г., Петров С.В., Таловина И.В. Месторождения платиновых металлов – С.Пб., 2002.-298 с.
43. Raphael Cabral A., Lehmann B., Kwitko R., Jones R.D., Pires F.R.M., Rocha Filho O.G., Innocentini M.D. Palladium-oxygenated compounds of the Gongo Soco mine, Quadrilatero Ferrifero, central Minas Gerais, Brazil // Mineralogical Magazine. -2001.-Vol.65, №2. -P.169-179.