



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 неморфизованные)	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-легируемые 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 золото-платиноносных 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 – неперемещаемого 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.: Геоинформ-марк, 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 габбро-пироксенит-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-линзовидными 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 сульфидами [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

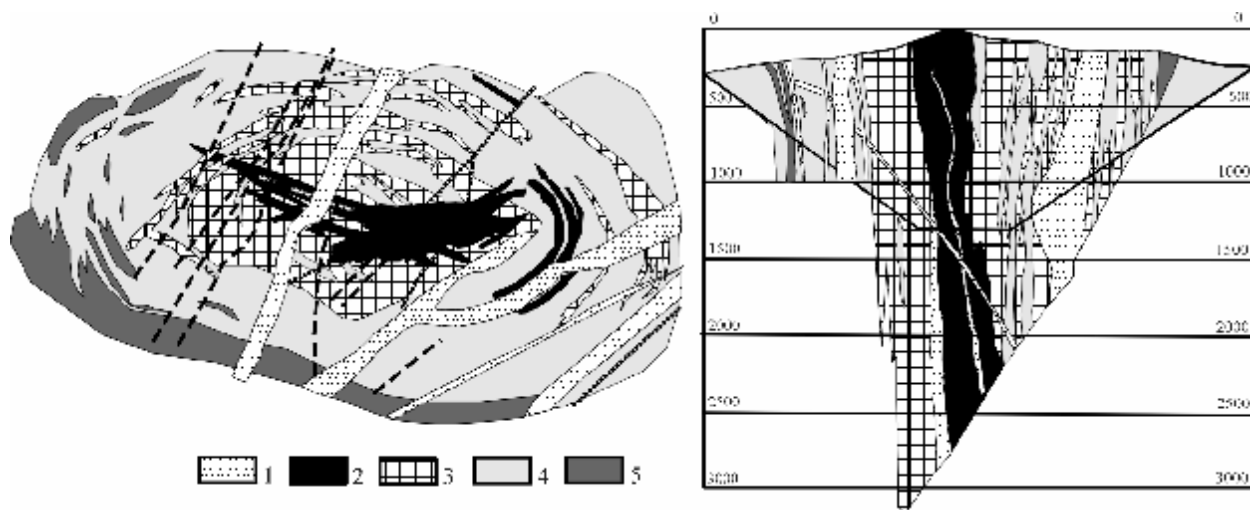


Рис.1. Геологическая карта (а) и геологический разрез (б) месторождения Палабора (по Дж.К Герберту, 1967): 1- долеритовые дайки; 2- рудоносные карбонаты; 3- полосчатые карбонаты; 4- фоскорит; 5- слюдястый пироксенит.

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, арсениопирит, 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-арсениопиритовая, 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, лиственитах, 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, лиственитах, 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 магния (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 скарновых 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).

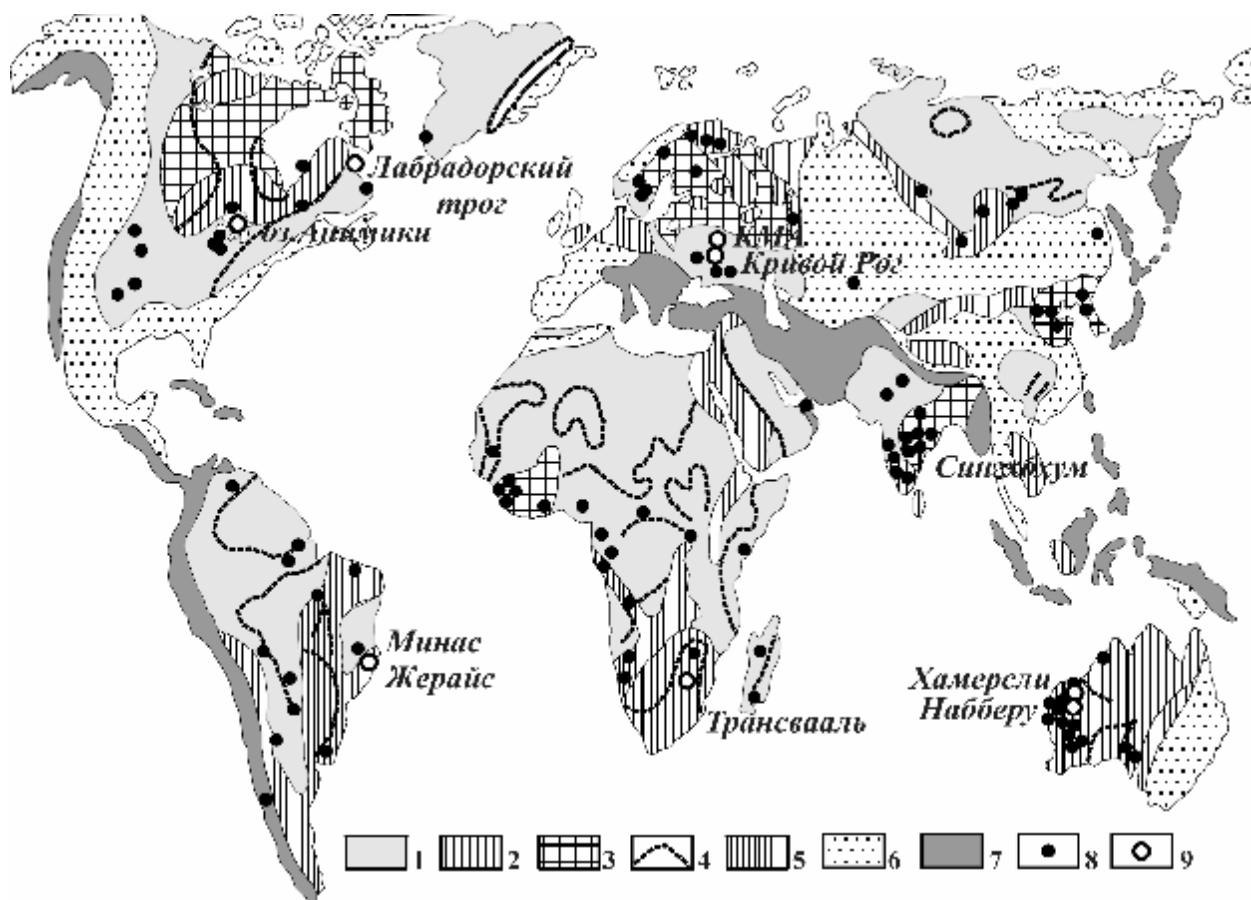


Рис.2. Распространение железорудных месторождений, связанных с ЖКФ докембрия континентов [20]: 1 - архей; 2 - ниже- и среднепротерозойские складчатые системы; 3 — нижепротерозойские складчатые системы; 4 — вышепротерозойские складчатые системы; 5 — эпикаледонские, эпигерцинские и эпимезозойские геосинклинальные складчатые пояса; 6 — кайнозойские геосинклинальные складчатые пояса; 7 — железорудные районы и месторождения; 8 — железорудные бассейны; 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** - Куадрилатеро-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, Оленеогорское, Кировоогорское, 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-

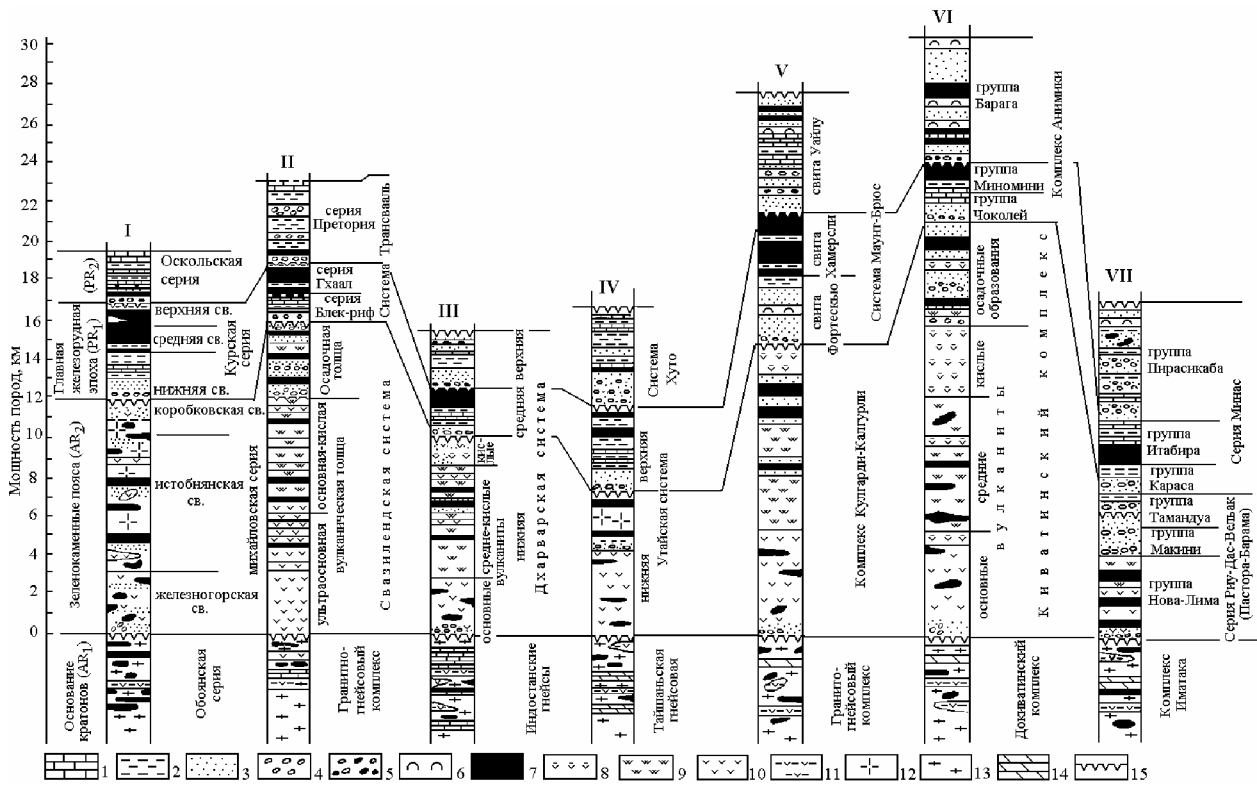


Рис. 3. Сводные типовые разрезы докембрийских толщ главнейших железорудных провинций земного шара (по [41]): I - Курская магнитная аномалия. II - Родезийский и Трансваальский щиты. III - Индийский щит. IV - Китайско-Корейский щит. V - западная часть Австралийской платформы. VI - Канадский щит. VII - 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	Вулканоогенно-осадочная	Метаморфогенная секреторно-метасоматическая	Сочетание вулканогенно-осадочной и метаморфогенной секреторно- 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 Сьюперииор, 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-

