5

ДОБЫЧА И ОБОГАЩЕНИЕ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ

Борис Борисович Ковалев
МГУ им. М. В. Ломоносова, старший научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук

Константин Эдуардович Дубровин
Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики»,
инженер

ВВЕДЕНИЕ

К драгоценным металлам относятся золото, серебро, платина и металлы платиновой группы (палладий, иридий, родий, рутений и осмий). В мировом масштабе доля добычи драгоценных металлов составляет порядка 0,00005% вследствие небольшого содержания в земной коре (10^{-5}–10^{-8} %).

Добыча драгоценных металлов — это извлечение драгоценных металлов из коренных (рудных), россыпных и техногенных месторождений с получением концентратов и других полупродуктов, содержащих драгоценные металлы.

Содержание золота в земной коре очень низкое — $4{,}3 \cdot 10^{-10}$ % по массе. Месторождения золота отличаются по физико-химическим условиям образования, а также по геологическим условиям их локализации в горных породах. Большая часть золоторудных месторождений мира образовалась в результате гидротермальных процессов. Главными спутниками самородного золота в этих месторождениях являются кварц (оксид кремния SiO_2) и сернистые соединения тяжелых металлов (сульфиды железа, свинца, цинка и меди). По минеральному составу гидротермальные месторождения золота разделяют на золото-кварцевые (рудных минералов меньше 1,5%) и золото-сульфидно-кварцевые (рудных минералов 1,5–20,0%).

Экономическое значение имеют месторождения золота малых глубин. Особенно широко месторождения этого типа распространены в молодых складчатых областях. Вмещающими породами служат мезозойские песчаники, аргиллиты и конгломераты, а размах оруденения по глубине колеблется от 50 до 400 м. Рудные жилы близ поверхностных месторождений отличаются большим минеральным разнообразием. Золото всегда распределено в рудах неравномерно. На фоне рассеянного оруденения с содержанием золота 2–3 г/т наблюдаются обогащенные участки (рудные столбы, бонанцы), в которых содержание золота достигает нескольких сот граммов на тонну. Протяженность рудных столбов колеблется в широких пределах — от 30 до 400 м по простиранию (по длине) и от 50 до 700 м по падению (по глубине).

Другим важным типом эндогенных месторождений золота являются эксгаляционно-осадочные медно-колчеданные и свинцово-цинковые руды. Этот тип руд проявляет связь с базальтоидным магматизмом и резко отличается по степени накопления сернистых соединений тяжелых металлов (Fe, Pb, Zn, Cu) и кремнезема. В рудах встречается самородное золото двух типов. Первый тип — тонкодисперсное невидимое золото в виде мельчайших включений в сульфидах железа (пирите FeS_2 и арсенопирите FeAsS), которое плохо поддается извлечению, и видимое золото в окисленных рудах в виде пластинок, проволочек, дендритов и даже самородков в железных, свинцовых и висмутовых охрах и карбонатах меди (малахите). Содержание золота в колчеданных рудах низкое (менее 3 г/т).

Попутная добыча золота вместе с другими цветными металлами осуществляется и из сульфидных медно-никелевых руд магматического генезиса.

При разрушении первичных эндогенных месторождений золото накапливается с образованием вторичных экзогенных месторождений. Существуют два типа экзогенных месторождений золота: зоны окисления золотосодержащих сульфидных месторождений и россыпи. Золотые россыпи различаются по способу их образования. Аллювиальные и делювиальные россыпи образуются на горных склонах вблизи коренного источника, аллювиальные россыпи связаны с переносом материала речными потоками, известны также морские, ледниковые и эоловые россыпи. Наиболее богатые россыпи находят на стыке долин, прорезающих вмещающие их горные породы.

Среди коренных месторождений золота особое место занимают метаморфизованные руды. Этот тип месторождений образуется в результате переработки древних (протерозойских) россыпей, которые в результате геологических процессов погружаются на значительную глубину и захораниваются под более молодыми (палеозойскими, мезозойскими) осадочными породами.

Среднее содержание серебра в земной коре, по А. П. Виноградову, $7 \cdot 10^{-6}$%. В природе серебро встречается в самородном (металлическом) состоянии или в соединениях с другими элементами в минералах, но преимущественно как примесь в золото-серебряных, медных и свинцово-цинковых рудах, из которых добывается 70–80% всего серебра. Главнейшие минералы серебра: самородное серебро Ag (обычно содержит механическую примесь Hg, Au, Cu, Bi, Sb); аргентит Ag_2S (81,1% Ag); прустит Ag_3AsS_3 (65,4% Ag); пираргирит Ag_3SbS_3 (65,3% Ag); стефанит Ag_5SbS_4 (68,5% Ag); полибазит (Ag, Cu) $16Sb_2S_{11}$ (62,1–84,9% Ag); кераргирит AgCl (75,3% Ag).

Все месторождения серебра являются гидротермальными. Среди них выделяются следующие типы (формации): серебросодержащие свинцово-цинковые и медные; золото-серебряные; собственно серебряные; оловянно-серебряные.

Серебросодержащие свинцово-цинковые и медные месторождения являются основным источником серебра. К ним относятся скарновые и гидротермальные месторождения свинцово-цинковых, медных, колчеданно-полиметаллических и медно-колчеданных руд. Содержание серебра в свинцово-цинковых месторождениях изменяется от 10 до 1000 г/т и более, колчеданно-полиметаллических — от 100 до 350 г/т, медно-порфировых — от 0,5 до 85 г/т, медистых песчаниках и сланцах — от 1 до 250 г/т. Повышенные содержания серебра связаны с блеклыми рудами (до 1800 г/т и более) и галенитами (от 500 до 7000 г/т).

Золото-серебряные и серебряные месторождения размещаются главным образом в пределах Тихоокеанского рудного пояса, а также в азиатской и карпатской ветвях Средиземноморского пояса.

Оловянно-серебряные месторождения получили развитие во внешней зоне Тихоокеанского пояса, реже они встречаются в активизированных участках (наложенных впадинах) его внутренней зоны. Они залегают среди вулканических пород субвулканических массивов.

Металлы платиновой группы (МПГ) относятся к числу редких. Содержания МПГ в земной коре лишь немного превышают кларк для золота и на два порядка ниже, чем кларки таких редких металлов, как Ta, Be, W, Mo. В хондритах содержание МПГ значительно выше, чем в земной коре, что может указывать на концентрацию этих металлов в глубинных оболочках Земли. Среди магматических пород наиболее богаты платиновыми металлами оруденелые породы ультраосновного и основного состава, с которыми связаны главные типы месторождений МПГ. Так, в хромитовых рудах, связанных с ультраосновными породами офиолитовых поясов, концентрируются преимущественно Ru, Ir и Os, в концентрически-зональных

ультрабазитовых массивах уральского типа — преимущественно Pt, в сульфидных медно-никелевых рудах — Pd и Pt. Для россыпных месторождений наибольшее значение имеют соединения Pt и Fe, среди которых чаще всего встречается изоферроплатина Pt_3Fe. Менее важны в промышленном отношении металлические фазы Os-Ir-Ru (рутениридосмины), самородные Os и Ir. В коренных хромитовых рудах часто присутствуют сульфиды Ru и Os: лаурит RuS_2 и эрлихманит OsS_2. В сульфидах Cu-Ni и малосульфидных платинометальных рудах минералы МПГ очень разнообразны. В них выявлены многочисленные соединения металлов платиновой группы с S, As, Se, Sn, Sb, Te, Hg, Pb и Bi. Важнейшими источниками металлов платиновой группы являются два типа месторождений: платинометальные малосульфидные и комплексные сульфидные Cu-Ni. Резко подчиненное значение имеют платиновые россыпи, а также колчеданно-полиметаллические, медно-порфировые и другие месторождения, из руд которых МПГ извлекаются попутно.

Платинометальные малосульфидные месторождения приурочены к крупным расслоенным массивам, в нижних частях которых преобладают ультраосновные породы, сменяющиеся вверх по разрезу расслоенными габброидами. Сумма МПГ в таких месторождениях составляет примерно 15–22 г/т.

Месторождения платиносодержащих Ni-Cu руд связаны с телами основного и ультраосновного состава, располагаясь в нижней их части. Платиновые металлы входят в состав руд как в виде самостоятельных соединений, так и в виде изоморфных примесей в главных сульфидах, преимущественно в пентландите $(Fe, Ni)_9S_8$. Самыми богатыми Pd, Pt, Au и Ag являются массивные кубанитовые, талнахитовые и моихукитовые типы руд с вариациями средних содержаний Pt — 3,4–24,2 г/т, Pd — 20,9–101,8 г/т, причем Pd всегда преобладает над Pt.

Платиновые россыпи являются традиционным источником МПГ. Коренными рудоносными породами платиновых минералов аллювиальных россыпей являются, концентрически-зональные массивы ультраосновных и основных пород. По набору главных минералов принято выделять рутениридосминовый, рутенплатосмиридовый, иридисто-платиновый, иридосминовый и платиновый типы россыпей. Определенным резервом для получения МПГ являются трудноизвлекаемые или недостаточно технологически исследованные руды колчеданно-полиметаллических и медно-порфировых месторождений.

Хромитовые месторождения, связанные с телами ультраосновных пород, в настоящее время не представляют промышленного интереса в отношении МПГ и могут считаться лишь перспективными объектами. В таких месторождениях содержания Ru, Os и Ir превышают Pt, Pd, Rh. Наиболее обычные минералы МПГ в них — сплавы Ru, Os и Ir, лаурит, ирарсит, илатарсит. Суммарное среднее содержание МПГ в хромитовых рудах достаточно высокое: 0,355 г/т, но низкая извлекаемость платиновых металлов при переработке хромитовых руд не позволяет относить их к сырьевым источникам этих элементов.

Платиноносность углеродистых (черносланцевых) толщ установлена в последние десятилетия во многих регионах мира. Типовым объектом черносланцевых месторождений являются комплексные платиноидно-полиметальные руды в альбит-карбонатно-слюдистых метасоматитах. Содержание Pd в рудах варьирует от 0,5–1,5 до 150–400 г/т, Pt — от 0,05–0,1 до 25–30 г/т, иногда присутствуют Ir (0,005–1 г/т), Rh (до 0.6 г/т) и Os (до 0,2 г/т).

Драгоценные металлы могут находиться в любом состоянии (виде), в том числе в самородном и аффинированном, а также в сырье, сплавах, полуфабрикатах, промышленных продуктах, химических соединениях, ювелирных и других изделиях, монетах, ломе, отходах производства и потребления.

ПРЕДПРИЯТИЯ РОССИИ ПО ДОБЫЧЕ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ

Предприятия по добыче золота

В структуре запасов России основную роль играют месторождения золото-кварцевых, золото-сульфидных и золото-мышьяково-сульфидных руд, локализованных в углеродсодержащих терригенных и терригенно-карбонатных отложениях, а также золото-серебряные месторождения вулкано-плутонических поясов, отличающиеся более богатыми, чем в зарубежных аналогах, рудами. На долю коренных золоторудных месторождений приходится более 65% российских запасов драгоценного металла.

В Российской Федерации запасами и прогнозными ресурсами обладают 39 субъектов, которые в основном сосредоточены в пяти федеральных округах страны: Дальневосточном, Сибирском, Уральском, Приволжском и Северо-Западном. Наибольшее значение имеют два региона: Дальневосточный и Сибирский округа, на долю которых приходится наибольшее число запасов золота. В 28 субъектах Российской Федерации разведано более 200 коренных месторождений золота и 140 комплексных, концентрирующих в себе соответственно 54 и 28% от общих запасов золота России; около 5000 россыпных месторождений содержат 18% запасов. На учет в Государственном балансе запасов полезных ископаемых Российской Федерации поставлены запасы золота категорий $A+B+C_1$ 22 коренных и 63 россыпных месторождений, составившие 130,1 т. В том числе 16 золоторудных и 6 комплексных объектов, суммарные запасы категории C_1 которых составили 122,1 т, категории C_2 — 377,4 т.

Около 25% коренных месторождений представлено мелкими объектами. Основные же запасы сосредоточены на медно-колчеданных и медно-никелевых месторождениях Урала и Норильского горно-промышленного района.

По запасам золоторудного сырья среди субъектов РФ лидируют: Красноярский край (20,6%), Магаданская область (12,44%), Республика Саха (9,71%), Хабаровский край (9,12%), Иркутская область (8,4%). Преобладающая часть запасов рудного золота (около 60%) сконцентрирована в крупных и весьма крупных месторождениях, таких как Сухой Лог, Нежданинское, Гайское, Наталкинское, Куранахское, Олимпиадинское и др. (рис. 5.1).

Наиболее крупным по добыче золота предприятием является ПАО «Полюс», которое добывает около 22,8% от всего объема золота, добываемого в России. ОАО «Полиметалл» находится на втором месте по добыче и занимает 9,4% рынка. Предприятия «KinrossGold» и ОАО «ГК «Южуралзолото» занимают 7,9 и 5,5% всего рынка (табл. 5.1).

Таблица 5.1. Золотодобывающие предприятия России

№ на карте	Регион	Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип
1	Оренбургская область	Гайское	Медно-колчеданный
		Васин	Золото-сульфидно-кварцевый
2	Челябинская область	Светлинское	Золото-сульфидный
		Кочкарское	Золото-сульфидно-кварцевый
3	Свердловская область	Березовское	Золото-сульфидно-кварцевый
		Воронцовское	Золото-сульфидный

№ на карте	Регион	Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип
4	Красноярский край	Олимпиадинское	Золото-мышьяково-сульфидный
		Ведугинское	
		Титимухта	Золото-сульфидно-кварцевый
		Попутнинское	Золото-сульфидный
		Благодатное	Золото-кварцевый
		Панимба	
		Эльдорадо	
5	Иркутская область	Вернинское	Золото-сульфидный
		Чертово Корыто	
		Сухой Лог	
7	Забайкальский край	Ключевское	Золото-сульфидно-кварцевый
		Итакинское	
		Дарасунское	
		Талатуйское	Кварцевый
		Тасеевское	Золото-серебряный
		Балейское	
		Серебряное	
8	Республика Саха (Якутия)	Нежданинское	Золото-мышьяково-сульфидный
		Кючус	
		Куранахская группа	Коры выветривания
		Река Большой Куранах	Древняя россыпь
		Гросс	Золото-кварцевый
11	Хабаровский край	Албазинское	Золото-серебряный
		Многовершинное	
		Хаканджинское	
9	Чукотский АО	Песчанка	Медно-порфировый
		Майское	Золото-мышьяково-сульфидный
		Купол	Золото-серебряный
		Двойное	
		Кекура	Золото-кварцевый
		Каральвеемское	
10	Амурская область	Бамское	Золото-серебряный
		Пионер	
		Маломырское	Золото-сульфидно-кварцевый
		Березитовое	
11	Хабаровский край	Албазинское	Золото-серебряный
		Многовершинное	
		Хаканджинское	
12	Магаданская область	Наталкинское	Золото-кварцевый
		Павлик	
		Перекатное	Золото-серебряный
13	Камчатский край	Аметистовое	Золото-серебряный
		Бараньевское	
		Агинское	
		Родниковое	

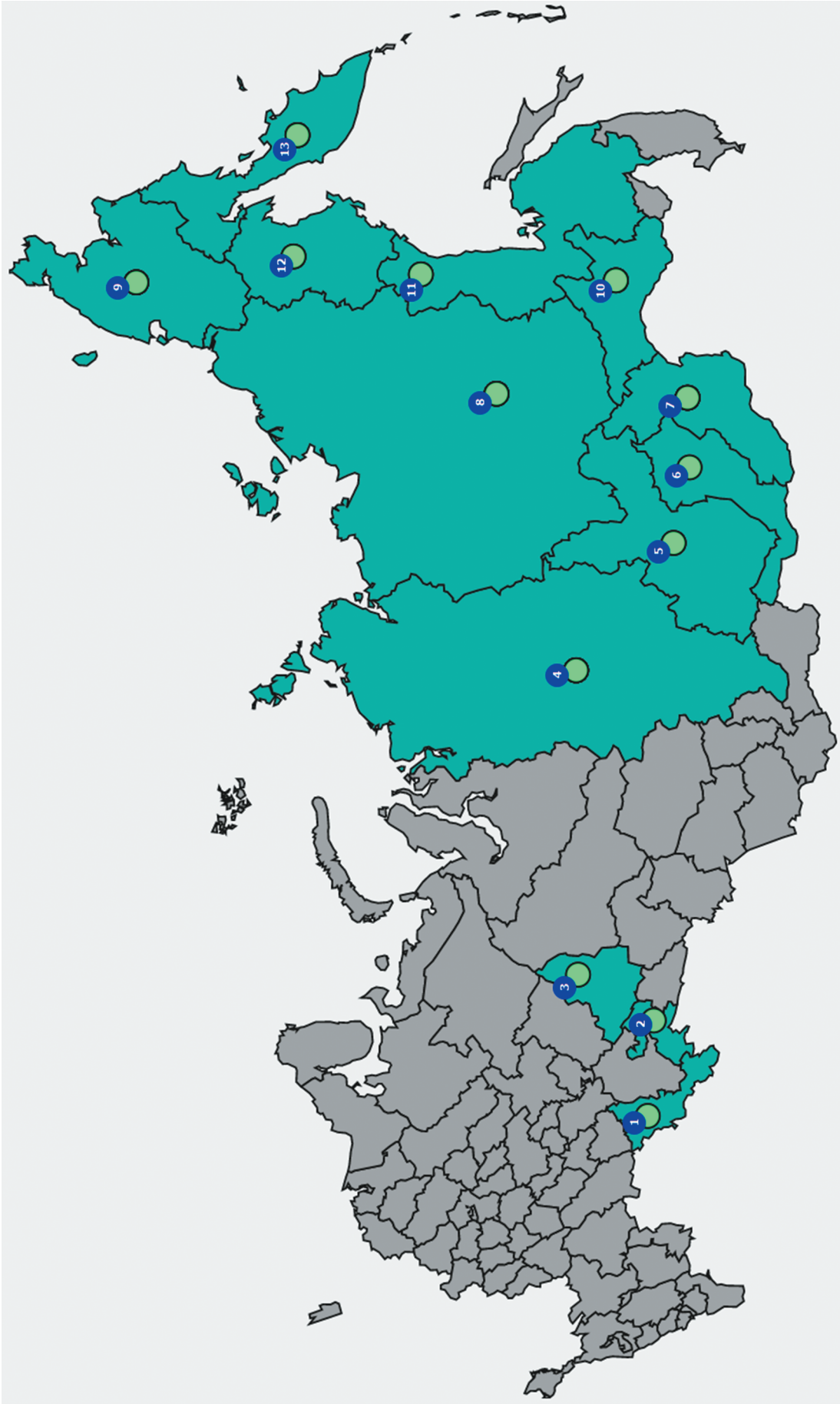


Рис. 5.1. Карта-схема расположения месторождений золота Российской Федерации:

1 — Оренбургская область; *2* — Челябинская область; *3* — Свердловская область; *4* — Красноярский край; *5* — Иркутская область; *6* — Республика Бурятия; *7* — Забайкальский край; *8* — Республика Саха (Якутия); *9* — Чукотский АО; *10* — Амурская область; *11* — Хабаровский край; *12* — Магаданская область; *13* — Камчатский край

Предприятия по добыче серебра

Российская Федерация обладает значительной сырьевой базой серебра, заключающей около 7% его мировых ресурсов и насчитывающей 123 тыс. т запасов категорий $A+B+C_1+C_2$, почти половина из которых разведана по категориям $A+B+C_1$. Запасы категорий $A+B+C_1$, заключенные в вовлеченных в освоение объектах (без учета Холоднинского месторождения), составляют 44,6 тыс. т, что обеспечивает стране четвертое место в мире по размеру сырьевой базы серебра после Перу, Мексики и Польши. Россия обладает высоким потенциалом наращивания запасов серебра — только наиболее достоверные ресурсы категории P_1 оценены в количестве 36 тыс. т. Качество руд российских месторождений с запасами серебра в целом соответствует мировым аналогам.

В рудах комплексных месторождений цветных и драгоценных металлов, где оно присутствует в качестве попутного компонента, содержание серебра изменяется от 0,2 до 770 г/т, а в колчеданно-полиметаллических — от 9 до 536 г/т.

Подавляющая часть российской сырьевой базы серебра находится в восточных регионах страны, в том числе почти 60% запасов сосредоточено в недрах Забайкальского и Красноярского края, Республики Саха (Якутия) и Магаданской области (рис. 5.2). В Забайкальском крае серебро заключено в комплексных месторождениях, основными компонентами которых являются медь, свинец, цинк, олово, золото и другие металлы.

Ведущим производителем серебра является крупный холдинг АО «Полиметалл», обеспечивающий около половины добычи серебра в России и входящий в десятку крупнейших мировых производителей. Остальные значимые производители серебра добывают его попутно. Крупнейшими среди них являются крупные российские компании-производители цветных металлов и золота. Так, около 17% добычи приходится на предприятия холдинга ОАО «Уральская горно-металлургическая компания».

Крупным производителем серебра также выступает ПАО «ГМК «Норильский никель», добывая попутно на сульфидных медно-никелевых объектах Красноярского края (и в небольшом количестве в Мурманской области) 5% металла (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Серебродобывающие предприятия России

№ на карте	Регион	Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип
1	Оренбургская область	Гайское	Медно-колчеданный
2	Республика Башкортостан	Подольское	Медно-колчеданный
		Ново-Учалинское	
3	Челябинская область	Узельгинское	Медно-колчеданный
4	Алтайский край	Корбалихинское	Колчеданно-полиметаллический
5	Красноярский край	Октябрьское	Сульфидный медно-никелевый
		Талнахское	
		Горевское	Колчеданно-полиметаллический
6	Республика Бурятия	Озерное	Колчеданно-полиметаллический
		Холоднинское	
7	Забайкальский край	Удоканское	Медистые песчаники
		Нойон-Тологой	Скарново-полиметаллический
8	Республика Саха (Якутия)	Прогн оз	Серебряный
		Верхне-Менкече	
		Вертикальное	
		Нежданинское	Золото-мышьяково-сульфидный
9	Чукотский АО	Купол (Чукотский АО)	Золото-серебряный
		Песчанка (Чукотский АО)	Медно-порфировый
10	Хабаровский край	Хаканджинское	Серебряно-золотой
11	Магаданская область	Дукатское	Золото-серебряный
		Лунное	Серебряно-золотой
		Гольцовое	Серебряный

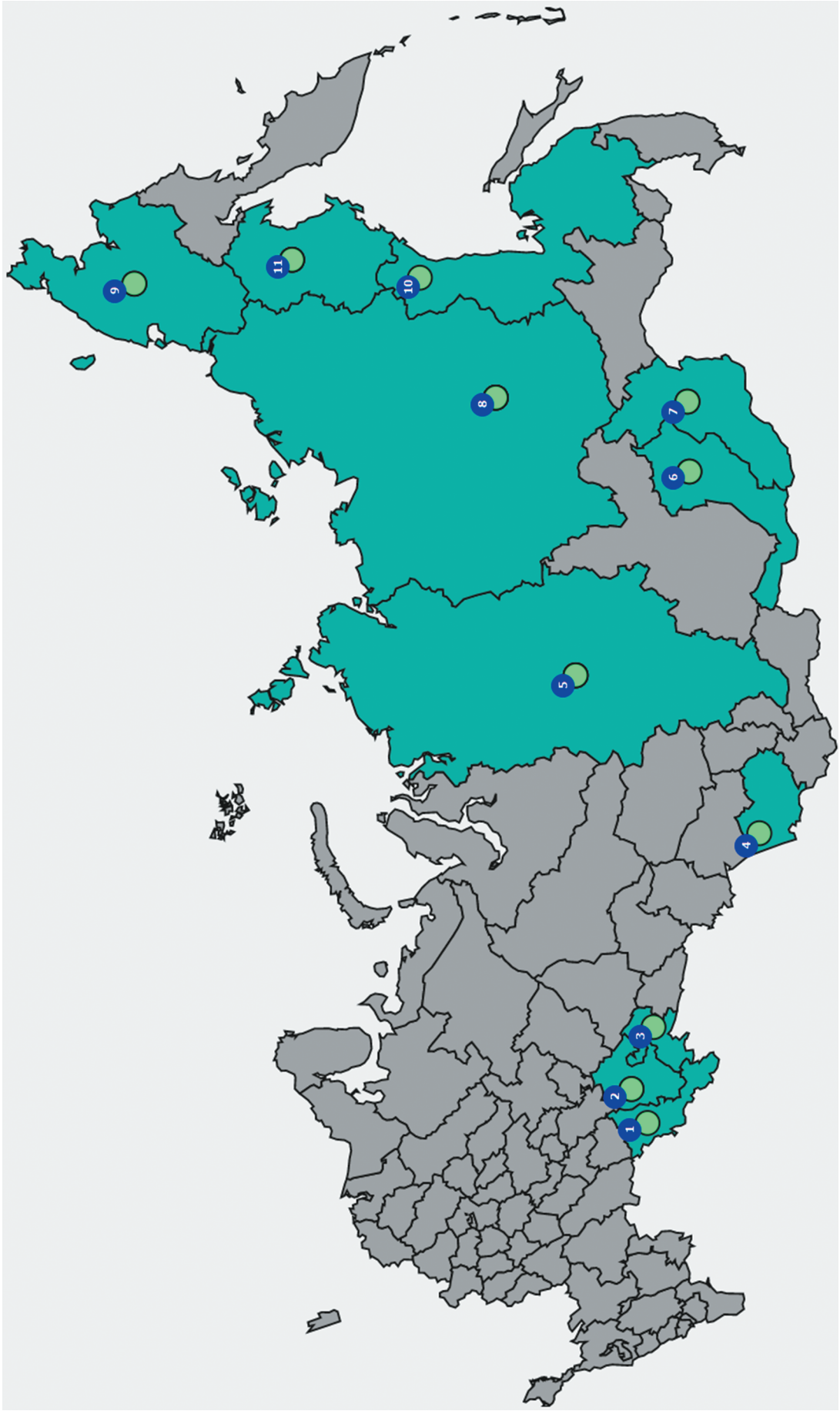


Рис. 5.2. Карта-схема расположения месторождений серебра Российской Федерации:

1 — Оренбургская область; *2* — Республика Башкортостан; *3* — Челябинская область; *4* — Алтайский край; *5* — Красноярский край; *6* — Республика Бурятия; *7* — Забайкальский край; *8* — Республика Саха (Якутия); *9* — Чукотский АО; *10* — Хабаровский край; *11* — Магаданская область

Предприятия по добыче платины

Минерально-сырьевая база металлов платиновой группы (МПГ) Российской Федерации составляет 15 тыс. т. Промышленные запасы эксплуатируемых и осваиваемых месторождений в России достигают 4 тыс. т, РФ прочно занимает вторую позицию в мире. Металлы платиновой группы заключены в рудах комплексных сульфидных медно-никелевых месторождений и извлекаются попутно при добыче никеля и меди.

В российских недрах заключена примерно пятая часть мировой сырьевой базы МПГ. Запасы только разрабатываемых и осваиваемых месторождений категорий $A+B+C_1$ достигают 8,4 тыс. т платиноидов, а запасы страны в целом составляют 15,4 тыс. т, что позволяет России уверенно занимать вторую позицию в мире по количеству заключенных в недрах платиноидов после ЮАР. Прогнозные ресурсы наиболее достоверной категории P_1 составляют 33,9 т.

Распределение месторождений МПГ на территории России крайне неравномерно — более 95% запасов платиноидов сосредоточено в Красноярском крае (рис. 5.3). Все выявленные здесь месторождения относятся к сульфидному медно-никелевому типу. Центром платиноидной промышленности страны является Норильский рудный район Норильско-Хараелахской металлогенической зоны, где эксплуатируются два крупнейших объекта, которые уникальны как по масштабу, так и по качеству руд: Октябрьское и Талнахское месторождения, не имеющие сопоставимых аналогов ни в России, ни в мире. В Норильском рудном районе разведаны еще три аналогичных месторождения меньшего масштаба: Норильск-1, Масловское и Черногорское. Основными недропользователями являются ПАО «ГМК «Норильский никель», АО «Артель старателей «Амур» и ООО «Черногорская ГРК» (табл. 5.3).

Таблица 5.3. Предприятия России по добыче платиноидов

№ на карте	Регион	Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип
1	Красноярский край	Октябрьское	Сульфидный медно-никелевый
		Талнахское	
		Масловское	
		Норильск-1	
		Черногорское	
2	Хабаровский край	Река Кондер	Россыпной
		Река Уоргалан, нижнее течение	

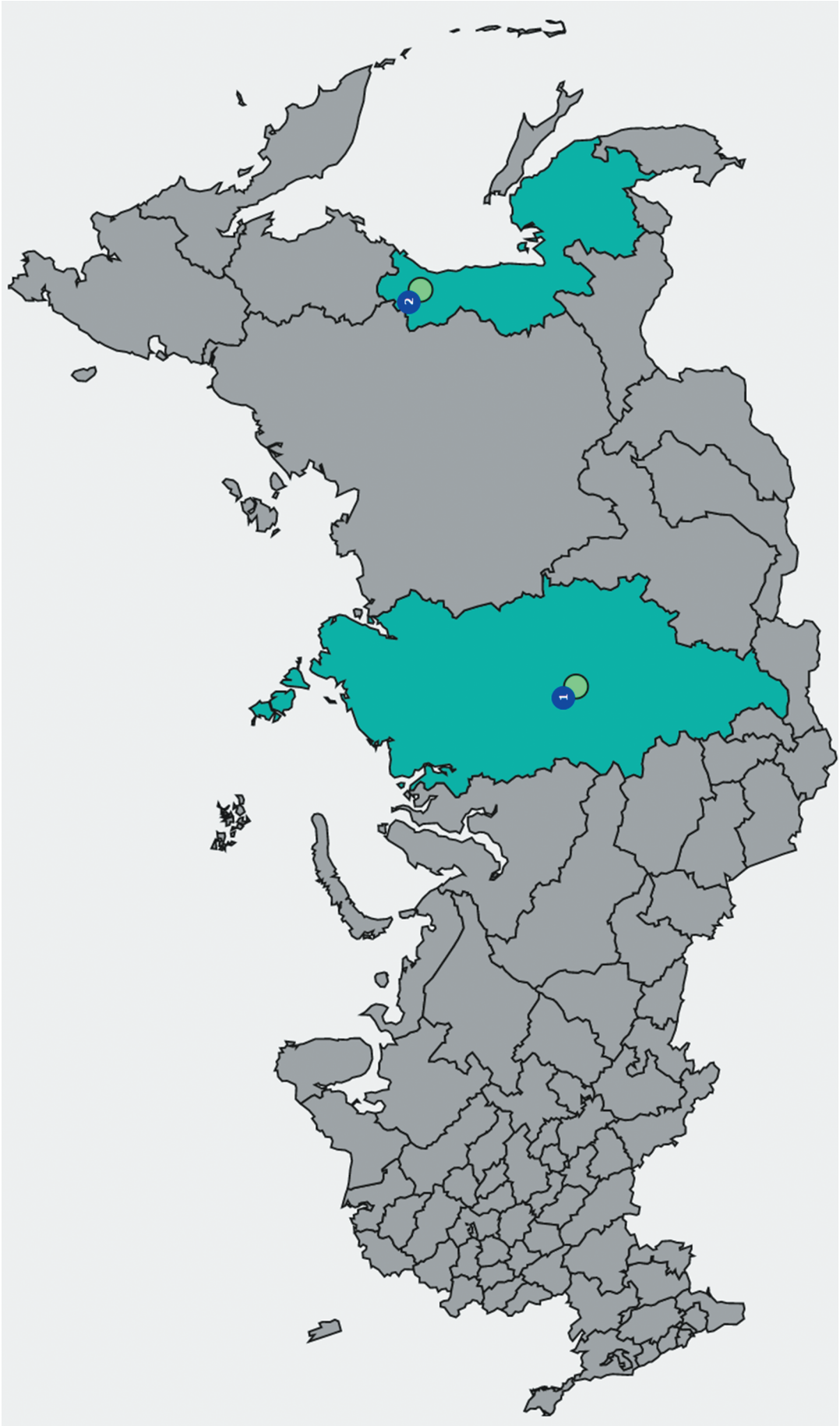


Рис. 5.3. Карта-схема расположения месторождений платины Российской Федерации:
1 — Красноярский край; *2* — Хабаровский край

ИСТОРИЯ ЗАРОЖДЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПО ДОБЫЧЕ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ

История зарождения золотодобывающей промышленности

Зарождение золотодобывающей промышленности в мире

Историю добычи золота исследователи ведут с медно-каменного века, основной объем добычи приходился на Древний Египет. Аравийско-Нубийская территория севера Африки была первой золотоносной провинцией Земли.

Первыми освоенными человеком золотоносными месторождениями были россыпные. Золотые самородки находили в массе аллювиальных песков и гравия, представлявших собой продукты разрушения горных золотоносных пород.

Древнейшим способом обработки золотоносной породы являлась промывка песка и гравия в проточной воде, уносившей легкие материалы, а тяжелые частицы оставались на промывочном лотке.

Рудное золото добывают из жил в породах, где ему сопутствуют минералы свинца, цинка и железа.

Способ подземной добычи жильного золота на египетских рудниках известен со II в. до н. э. Для дробления горной породы применялись огонь, вода и деревянные клинья. Около разрабатываемого участка породы разводили костер, породу нагревали, а затем быстро охлаждали водой. В образовавшиеся трещины вбивали деревянные клинья, которые, разбухая, раскалывали горную породу. Обломки рудной породы снова нагревали в пламени костра, охлаждали и дробили.

За счет жестокой эксплуатации рабов и бедного населения в Древнем Египте добывалось огромное количество золота, сравнимое с современной добычей. Есть исторические данные о том, что при фараоне Тутмосе III, правившем Египтом приблизительно в 1479–1425 гг. до н. э., добыча золота временами превышала 40 т в год. В Древнем Египте существовали рудники, разработка которых, судя по записям на папирусах и надписям на камнях, длилась тысячелетия. Более тысячи лет существовали рудники Вади-Абасса и Акита, на которых горные работы были начаты между 1317 и 1251 гг. до н. э. Хаммаматские рудники упоминались еще в период 3000–2000 гг. до н. э. До нашего времени на папирусе дошла первая карта золоторудного месторождения — «Гора золота» в Вади-Хаммамат. Датируется этот папирус 1250–1313 гг. до н. э. Карта показывает геологическую изученность крупного месторождения, на котором отдельные объекты отработаны, другие — находятся в эксплуатации, а третьи — разведаны и ждут своей очереди.

Железный век (1200–50 гг. до н. э.) завершил великую золотую эпопею Египта. В эти годы Египет постоянно подвергался нашествиям многочисленных завоевателей: ливийцы, эфиопы, Ассирия, Персия постоянно опустошали Египет. Последний недолгий расцвет золотой страны состоялся при династии Птолемеев, унаследовавших Египет от империи А. Македонского. За весь железный век в Верхнеегипетском районе было добыто около 400 т золота, в Нубийском — 500 т, в Эфиопии — 50 т. Торговля и набеги в страны Южной Африки принесли в казну фараонов еще 340 т золота.

Добыча золота в железном веке оценена в 4120 т, из них 600 т добыто в Иберии (современные территории Испании и Португалии), 500 т — в Галлии (современная Франция), 500 т — на Балканах, в Индии, Бактрии и Согдиане (Узбекистан и Таджикистан) — более 400 т.

К этому времени золотые запасы Аравийско-Нубийской провинции истощились — за последовавшие годы Римской империи (50 г. до н. э. — 500 г. н. э.) в Египте было добыто всего 30 т золота, в Нубии — 50 т, Эфиопии — 110 т. В современной истории в Египте с 1902 по 1958 г. было добыто еще около 230 т.

Всего египтяне ко времени захвата Римом добыли около 6000 т золота. С территории Африканского континента до этого времени извлечено 4185 т золота, из которых только Египет и Нубия (Судан, Эфиопия) дали 1710 и 1600 т соответственно.

Золотоносная провинция Пиренейского полуострова (Иберия) во времена Римской империи оказалась одной из крупнейших в мире. В провинциях Астурии, Галисии и Лузитании были организованы арругии — золотодобывающие горные предприятия, на которых работали десятки тысяч рабов. На испанских и португальских месторождениях содержание золота в горных породах было невысоким. Для получения большого количество металла необходимо было переработать огромные объемы горной массы. Новый способ заключался в том, что сначала в золотоносной породе проделывались тоннели, в которых ставились подпорки и перемычки. После того как подпорки убирались, горная порода под своей массой обрушивалась и дробилась. Раздробленную золотоносную породу тщательно промывали водой из искусственно созданных водоемов.

На исходе первого столетия нашей эры один сообразительный ученый пришел к выводу, что процедуру извлечения золота можно упростить. Его заключение было таково: золото очищается ртутью. Необходимо только смочить (смешать) ртутью тонко измельченную руду (шлих), слить образующуюся при этом жидкую амальгаму, а затем раскалить ее, вновь отделить ртуть от золота, дав ей испариться. Описание добычи золота с помощью его амальгамирования в долине реки Синд (Инд) составил Бируни (XI в.), среднеазиатский ученый-энциклопедист.

На римских арругиях было добыто в общей сложности 500 млн т золотоносной руды и получено 1500 т золота. Золото Древнего Рима было не только в предметах для украшения, из него делались и монеты. Рядом с основным храмом Рима находилась мастерская по производству золотых монет. Храм имел название — Юнона Монета, откуда и пошло название металлических денег. Римляне были вынуждены производить монеты из золота, ведь этому способствовали некоторые факторы:

– большое количество золота, которое было изъято в Галлии;
– нужно было содержать армию страны, которая была очень многочисленная, где оплатой служило золото Рима в виде изготовленных монет.

Вторая после Иберии область золотодобычи Рима — Балканы. Основные работы были сосредоточены в Македонии и Фракии (ныне Болгария). Во Фракии добывалось до 36 т золота в год. Еще в железном веке здесь было добыто 500 т драгоценного металла, в период Римской империи — 350 т. Провинция Дакия (Румыния) дала Риму 190 т золота. Галлия (Франция) дала римлянам всего 50 т (следует отметить, что в железном веке здесь добыто 500 т), также 50 т было добыто в Чешском (Богемском) массиве. Вне римского мира наиболее значительной была добыча в Индии и Средней Азии.

Покорив кельтские племена Центральной Европы, Юлий Цезарь заполнил золотом лоно алчущего Рима. Римская империя уподобилась огромной печи, в которой плавилось золото Древнего мира.

После падения Римской империи начался застой (500 лет) не только в области добычи золота, но и во всех областях горного дела с V по IX в.

В Европе с X в. главной золотой кладовой считалась Чехия. В XI в. одним из центров добычи стала Словакия в составе Венгерского королевства, где ежегодно добывалась 1 т золота, т. е. почти половина всей мировой добычи тех лет. В позднем Средневековье главным источником добычи золота стала Тропическая Африка. Португальцы и другие европейцы спускались в поисках драгоценного металла все далее на юг вдоль западного побережья Африки. Золотой Берег (ныне Гана) произвел 266 т золота, Судан (ранее Нубия) — 124 т. В Азии Китай добыл 229 т, Индия — 145 т золота. На юге Индии сохранились значительные по площади участки, где велись древние горные работы. Среди месторождений этой страны крупнейшим является Коларское, из которого за период отработки добыто (по разным источникам) от 520 до 715 т золота.

В общей сложности с 500 до 1494 г. в Европе добыто 570 т, в Азии — 903 т, в Африке — 838 т, в Америке — 169 т. Общая мировая добыча Средневековья оценивается учеными в 2480 т золота.

После открытия Колумбом в 1492 г. Нового Света добыча золота существенно активизировалась. Был открыт целый ряд месторождений в Южной Америке.

В 1700 г. золото начали добывать в Бразилии. В считанные годы страна превратилась в основного мирового поставщика драгоценного металла, добывая его до 15 тыс. т в год. Золотоискатели хлынули в Бразилию, и это повлияло на освоение нового континента.

Первую роль в мировой золотодобыче стали играть Колумбия, которая до 1900 г. добыла 1381 т золота, и Бразилия — 1085 т. Но в целом в 1800 г. среднегодовая добыча не превышала 20,2 т.

Серьезный подъем мировой золотодобычи начинается с 1848 г. с открытием золотых россыпей в Калифорнии (США). Это стало одним из факторов, способствовавших созданию Соединенных Штатов Америки. В 1850 г. открытие золотых месторождений в Австралии вызвало поток поселенцев на новые территории, в 1885-м — интенсивная разработка золотоносных конгломератов в ЮАР (Витватерсранд), с 1880 г. осваиваются месторождения Аляски. Самая знаменитая золотая лихорадка началась в 1896 г., когда два канадских геолога обнаружили запасы металла неподалеку от реки Юкон. Аналогичная история произошла десятилетием позже в Южной Африке, с одним лишь различием: там золото добывалось уже корпорациями и промышленным способом.

В XVI в. люди суммарно добывали около 763 т этого драгоценного металла, в XVII — около 914 т, в XVIII — 18 900 т, а в XIX — уже более 11 616 т.

С середины XIX в. весомый вклад в мировую золотодобычу вносит Российская империя.

В 30-х гг. XIX в. англичанином В. Петерику и венгром Г. Тучнаку изобретены поршневые отсадочные машины с неподвижным решетом, которые носили название «гарцевские». Гидравлические отсадочные машины получили распространение в России с конца 50-х гг. XIX в.

Новое время дало миру 16 030 т золота, а общая накопленная золотодобыча к 1900 г. составила 28 800 т, из которых в Европе добыто 5172 т, в Азии — 6102 т, в Африке — 6400 т, в Америке — 7806 т, в Австралии и Океании — 3320 т.

Зарождение золотодобывающей промышленности в России

Золото на территории современной России начали добывать еще за 2500 лет до н. э. На Кавказе, Урале, Алтае, в Западной Сибири были обнаружены следы древних работ: горные выработки рудников, отвалы, остатки промывочных устройств. Иван III выписывал из Италии рудознатцев, Иван Грозный начал завоевывать Сибирь, при Алексее Михайловиче казаки до Колымы добрались, но золота не находили. Огромные усилия прилагал Петр I, в 1700 г. он образовал специальное министерство: Приказ рудокопных дел (в дальнейшем — Берг-коллегия, с 1807 г. — Горный департамент). Приглашали знатных заморских специалистов, Петр I объявил «горную свободу», разрешив искать золото везде, невзирая на принадлежность земли.

Первое «домашнее» золото нового времени было получено в Забайкалье на Нерчинских рудниках в 1714 г., Иван Мокеев научился извлекать золото из серебряной руды. Считается, что одними из первых его стали добывать Демидовы — с 1726 г. Примерно в это же время велись работы на алтайских рудниках и чуть позже — в Карелии. С 1729 г. по мокеевскому способу желтый металл начали производить на алтайских серебряных рудниках. Количество добытого золота было ничтожным: с 1719 по 1799 г. таким способом получили с огромными трудностями химического разделения всего 830 кг золота. Со временем из полиметаллических руд в России стали извлекать до 400 кг золота в год, но этот способ слыл очень дорогим.

Первым в России районом, где удалось найти коренное рудное золото, стал Урал: знаменитое Березовское месторождение было открыто крестьянином Ерофеем Марковым в 1745 г. В 1747 г. начал работать первый отечественный золотой рудник, названный впоследствии Первоначальным. За весь XVIII в. в России было добыто лишь 22,6 т золота.

Первое промышленное россыпное золото в 1803 г. обнаружил по берегу реки Чусовой крестьянин деревни Кургановой Андрей Крылатков. Содержание драгоценного металла доходило до 1 кг на кубометр. Открытый на реке Чусовой прииск в честь первооткрывателя назван Крылатовским и разрабатывается по сей день.

Настоящий прорыв в развитии россыпной золотодобычи в России произошел в 1814 г. Лев Брусницин обнаружил свободное золото с содержанием более 400 г на кубометр по берегам речек Пышма и Бертзовка в песчано-глинистом слое и предложил простую технологию его извлечения. До Брусницина считалось, что золото можно извлечь только с предварительным измельчением пород. Промывка песков оказалась таким простым и доступным делом, что ее начали применять повсеместно. С 1814 по 1867 г. только на Урале было добыто около 607 т золота. В 20-х гг. XIX в. на Урале началась настоящая золотая лихорадка. Открытия месторождений россыпного золота в Сибири и на Дальнем Востоке последовали одно за другим: в Забайкалье (1830 г.), на Енисейском кряже (1839 г.), в Баргузинской тайге (1845 г.), Бодайбо (1864 г.), Приморье (1869 г.), в низовьях Амура (1890 г.). Открытие Енисейского месторождения вывело Россию на некоторое время на первое место в мире по добыче золота. В 1831–1840 гг. она дала более трети мировой добычи и сохраняла лидерство до конца 40-х гг. XIX в.

К концу этого века Россия добывала в год около 40 т золота, из них 93% — россыпного. Всего же в России до 1917 г. по официальным данным было добыто 2888 т золота, по неофициальным оценкам — 3500–3700 т: объемы нелегальной добычи и контрабандного вывоза золота за 1830–1920 гг. в Китай и Японию достигали 30–40% от отчетных данных.

Максимум золотодобычи в Российской империи пришелся на 1914 г. — 61,7 т. Войны и революция привели к резкому спаду добычи золота. Так, если в 1917 г. было добыто 28 т, то в 1921 г. — менее 1 т.

В 1933 г. 66,8% общесоюзной добычи золота обеспечили старатели. После открытия в Восточной Сибири больших запасов золота в бассейне реки Алдан в Якутии и на Колыме объемы золотодобычи пошли в гору.

Важной вехой развития золотодобычи стало освоение Колымы, которая с 1932 по 1956 г. дала стране 1187 т драгоценного металла.

После восстановления разрушенного войной хозяйства СССР планомерно наращивал производство драгоценного металла, максимум которого пришелся на 1989 г. — 304 т.

Всего в СССР за 1918–1991 гг. было добыто 12 048 т золота (14,8% от всей мировой добычи). США за это же время добыли всего 5772 т.

С крушением Советского Союза золотодобыча в новой России начала приходить в упадок: со 180 т в 1990 г. она снизилась до 113,5 т в 1998 г. Благодаря принятым мерам организационного порядка и в связи с постоянным ростом цен на золото (с 2001 по 2012 г. они увеличились более чем в 6 раз) золотодобыча начала расти быстрыми темпами и в 2012 г. достигла 217,8 т, а всего с 1992 г. в РФ добыто 3287,1 т золота. Всего же на территории нашей державы с 1719 по 2013 г. добыто более 18,2 тыс. т драгоценного металла. Среднегодовые объемы добычи золота в СССР и России приведены на рис. 5.4.

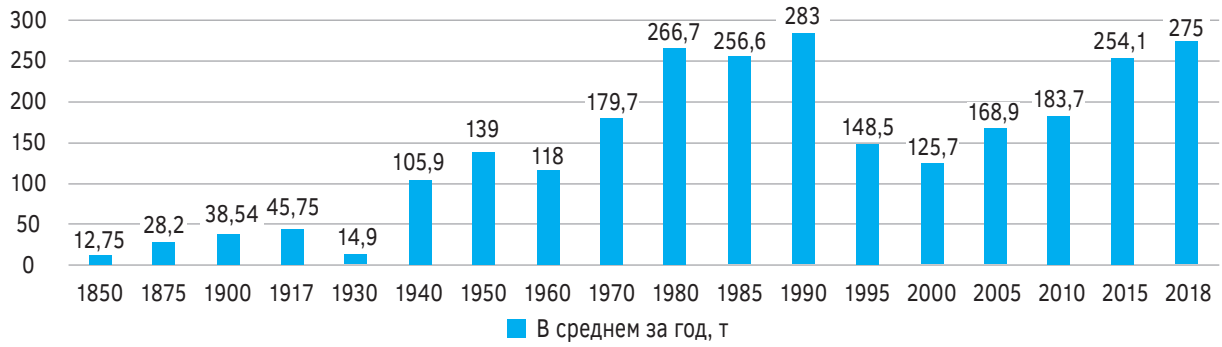


Рис. 5.4. Объемы добычи золота в СССР и России

История зарождения серебродобывающей промышленности

Зарождение серебродобывающей промышленности в мире

Серебро известно человечеству с древнейших времен, встречалось оно в самородном виде. Одним из древнейших центров добычи и обработки серебра была доисторическая Сардиния, где оно было известно с раннего неолита. До середины II тысячелетия до н. э. серебро ценилось дороже золота. Одним из самых первых месторождений серебра считают Сирию.

С 360 г. до н. э к западу от г. Эльязыга на реке Евфрат (Турция) были древние рудники на месторождении Кебанманден, где жилы галенита, содержащего серебро, приурочены к контакту жил порфира и метаморфических пород. Из добытого здесь серебра чеканились монеты.

Более или менее значительные данные о добыче серебра относятся к периоду после III тысячелетия до н. э. Известно, что племена халдеев, живущие на берегу Персидского залива, вдоль нижнего течения Тигра и Евфрата, извлекали металл из свинцово-серебряных руд.

В VI–V вв. до н. э. центр добычи серебра переместился в Лаврийские рудники в Греции. Известно, что эти шахты были весьма богаты: их добыча с 600 до 300 г. до н. э. составляла около 1 млн тр. унций в год. И в течение почти тысячи лет они оставались самым крупным источником серебра в мире. О масштабах работ свидетельствуют сохранившиеся в районе Лавриона остатки 2000 шахт и горизонтальные горные выработки общей протяженностью более 150 км.

С IV по середину I в. до н. э. в производстве серебра лидировали Испания и Карфаген. В III в. до н. э. между Карфагеном и Римом разгорелось жестокое соперничество за преобладание в Западном Присредиземноморье. После победы над Карфагеном римляне овладели в Испании лишь небольшой полосой в южной и восточной прибрежных ее частях, но там и находились серебряные рудники. Лишь в начале нашей эры римляне завладели всей Испанией. Захватив ее лучшие месторождения, они не только отработали уже известные с фантастической по тем временам глубиной (до 1500 м), но и открыли много новых. Шахты Испании в течение ряда столетий служили важным поставщиком серебра, после завоевания страны маврами в VIII в. их разработка была временно остановлена. Этот факт вынудил Европу искать новые источники металла в других странах, главным образом в центральной части континента. Между 750 и 1200 гг. были открыты крупные месторождения, заработали шахты в Центральной и Восточной Европе.

Но все-таки в I тысячелетии Испания доминировала по производству серебра, а в Греции и Малой Азии наблюдался спад. Ощутимый рост производства произошел с 1000 по 1500 г.: выросло число новых месторождений, постепенно улучшались методы добычи и производства металла. Во II–XIII вв. в Европе действовало много рудников. В XV–XVI вв. основным производителем становятся Рудные горы.

Открытие Америки в конце XV в. стало в истории серебра важнейшей вехой. Начало эксплуатации месторождений Нового Света в пользу Испании положила добыча металла в Боливии, затем в Мексике, Перу. В период с 1500 по 1800 г. в Мексике было произведено около 1,5 млрд тр. унций металла, причем основная масса приходится на период в 100 лет — с 1700 по 1800 г. В Перу добывалось в среднем 3 млн унций ежегодно. Город Потоси (Боливия) на обширном высокогорном плато в Андах вырос у подножия гигантской горы, которая практически вся оказалась сложена из серебра: в 1565 г. извлечено металла на 177 тыс. серебряных песо, в 1578 г. — 530 тыс. песо, в 1582 г. — 860 тыс. песо.

В целом именно серебро, а не золото Америки (основным центром добычи которого стала Колумбия и особенно район Буритика, эксплуатируемый индейцами с незапамятных времен) питало финансовую мощь испанской короны. Так, с 1503 по 1650 г. на Пиренеи из Нового Света доставлено 300 т золота и 45 тыс. т серебра. С 1650 по 1800 г. — еще 50 тыс. т серебра.

Крупнейшим из старых месторождений самородного серебра является открытое в 1623 г. месторождение Конгсберг в Норвегии.

С 1500 по 1800 г. Боливия, Перу и Мексика производили 85% мирового серебра. Остальные 15% поступали главным образом из Германии, Венгрии и России, и совсем немного — из Чили и Японии. Впервые мокрое толчение было применено в г. Яхимове (Чехия) Паулем Громменететтором в 1519 г., а в 1521 г. здесь была построена первая толченая фабрика; в 1519 г. им же изобретена отсадка на решетках.

Одновременно развивались промышленные технологии, в частности, метод ртутного амальгамирования. Новые источники и технологии позволили увеличить производство серебра почти на порядок. Так, в течение 20 лет с 1850 по 1870 г. производство серебра в мире составляло 40–80 млн унций ежегодно.

Во второй половине XIX в. на рынок серебра выходят другие страны. Значительная часть металла поступала с новых месторождений США в Неваде, Колорадо, Юте.

В последнюю четверть XIX в. производство серебра выросло в четыре раза по сравнению со средними показателями первых 75 лет столетия, составив 120 млн унций ежегодно. В 1876–1920 гг. достигнуты новые рубежи как в технологическом производстве, так и в количестве новых месторождений по всему миру. Практически одновременно были открыты новые запасы в Австралии, Центральной Америке, Европе, Японии. Мировая добыча растет. Первые 20 лет нового столетия дают рост производства металла еще на 50%, достигается рекордный уровень в 190 млн унций ежегодно. До конца XIX в. серебро наряду с золотом активно использовалось в системе денежного обращения разных стран. И лишь на рубеже веков серебро уступило место золоту, перекочевав в сферу производства. Помимо удешевления технологии добычи серебра и открытия новых месторождений этому способствовал переход наиболее мощных в экономическом отношении стран (США, Германия, Италия) на золотую валюту, т. е. введение золотого стандарта, что привело к вытеснению серебра из внутреннего денежного обращения и закреплению золота в качестве доминирующей формы мировых денег.

XX в. был отмечен дальнейшим прогрессом в области горных технологий, новых методов отделения серебра от простых металлов (цинка, свинца, меди и т. д.), что повысило возможности добычи, позволило перерабатывать большие объемы руд, содержащих серебро, в том числе с умеренным и малым содержанием металла.

Приведем несколько цифр, связанных с запасами и добычей серебра в мире на конец XX в. Свыше 50% мировых запасов этого металла в рудах сосредоточено в Северной Америке, 12% — в Африке, 6% — в Австралии, 3% — в Южной Америке. По данным Горного бюро США, на 436 основных месторождениях мира содержится свыше 250 тыс. т серебра. При этом значительная его часть (почти 90 тыс. т) содержится на месторождениях свинцово-цинковых руд, 43,6 тыс. т — в собственно серебряных рудах, 49,8 тыс. т — в медных, 3,8 тыс. т — в золотых рудах. Что касается добычи, то в 2000 г. первые пять мест по объемам занимали: Мексика (2840 т), Перу (2520 т), Австралия (2130 т), США (2040 т), Китай (1550 т).

Поддерживает спрос развитие солнечной энергетики, прежде всего, в Китае. Так, в 2017 г. мировой спрос на серебро со стороны гелиоэнергетики вырос на 20% до 92 млн унций, или 9,4% от объема совокупного спроса на металл. При этом 74% мирового объема производства солнечных панелей приходится на Китай. В 2017 г. рост производства солнечных панелей в Китае оценивается в 27% (до 71,4 МВт), а установка солнечных панелей — в 50%, что связано со стимулирующим государственным регулированием в данной сфере.

Спрос на серебро покоится на трех китах: промышленном и декоративном потреблении, кинофотопромышленности и ювелирной промышленности. На них приходится более 95% ежегодного спроса на металл. Причем последние две составляющие поглощают примерно 2/3 мирового потребления серебра (примерно по 200 млн унций).

Зарождение серебродобывающей промышленности в России

В XV в. энергичные поиски серебряных месторождений начинаются в России. В 1488 г. русский царь Иван III обратился к венгерскому королю Матиашу I и к другим правителям с просьбой прислать мастеров горнорудного дела. В 1491 г. из Москвы на Печору была отправлена первая экспедиция рудознатцев, которая нашла «руду серебреную и медяную на реке Цымле» (Цильме). В 1584 г. в Москве был создан государев Приказ каменных дел — первое в России государственное управление по разведке и разработке недр. В 1600 г. издано «Горное Узаконение», призывавшее «сыскивать золотых и серебреных, медных и иных руд». В 1676 г. получено первые известия о рудных месторождениях Нерчинского округа. А в 1681 г. найдены серебряные руды по рекам Шилке и Аргуни и подобрано место для строительства завода по переработке этих руд. В 1696 г. найдено месторождение серебряной руды на р. Каштак на Северо-Восточном Алтае. Образцы этой руды были отправлены для исследования за границу, где подтвердилось ее высокое качество.

Особая роль в создании и развитии серебряного дела России принадлежит Петру I. Именно он в августе 1700 г. учредил в Москве государственный орган, ведающий вопросами горного производства, — Приказ рудокопных дел. И в ноябре того же года он издает указ «О прииске золотых, серебреных, медных и иных руд по всему пространству России; об осмотре Воеводам приискных руд на месте, и о награждении учинивших таковой прииск частных лиц». 1701 г. и 1704 г. — важнейшие «серебряные» годы для России. В 1701 г. впервые в Москву присланы пять золотников (21,3 г) нерчинского серебра, полученного при опытной плавке. В 1704 г. пущен первый в России Нерчинский сереброплавильный завод, а в столице началась чеканка первых в истории страны монет из «домашнего» серебра.

Целый ряд серебряных месторождений был открыт в XVIII в. В 1717 г. найдены богатые запасы серебра на Алтае, в 1726 г. Акинфий Демидов получил разрешение правительства добывать здесь медные, серебряные и золотые руды, началась разработка алтайских серебросодержащих месторождений полиметаллических (медно-свинцово-цинковых) руд, которые значительно превосходили по всем показателям нерчинские. В 1728 г. найдено серебро в Печорском крае. В 1732 г. рудоискателями отцом и сыном Костылевыми открыто Змеиногорское полиметаллическое месторождение. В 1735 г. уральский штейгер Демидова Ф. Е. Лелеснов установил наличие в этих рудах серебра. В 1736 г. здесь построили Змеиногорский (ранее Змеевский) рудник, который с 1747 г. был передан в частную собственность императорской фамилии. Несколько позднее недалеко от Змеиногорского рудника открыто Николаевское месторождение серебряных руд. В 1746 г. на Петербургском монетном дворе начато систематическое разделение и очистка (аффинаж) металла Колывано-Воскресенских заводов Алтая, а также золотистого серебра Нерчинского завода. И.А. Шлаттер разработал комбинированную схему аффинажа золотистого серебра сухим и мокрым способами. В 1750 г. Колывано-Воскресенские заводы произвели 3 т серебра, а с 70-х гг. XVIII в. они стали ежегодно давать около 16 т этого металла. Государство стало обеспечивать себя «домашним» серебром. В этот период развиваются технологии и техника добычи металла. Так, в 1764 г. инженер К. Фролов на Корбалихинском сереброплавильном заводе (Алтай) осуществил механизацию транспортировки, дробления и промывки руды. В 1767 г. изобретатель-металлург Ф. Бакунин разработал и внедрил плавку серебряных руд с применением шлаков в качестве флюсов.

В XIX в. добыча российского серебра увеличивалась. Не ослабевало и благорасположение властей к поиску драгоценных металлов. В 1812 г. был издан указ «О предоставлении права всем российским подданным отыскивать и разрабатывать золотые и серебряные руды с платежом в казну подати». Это первый русский закон, специально посвященный добыче золота и серебра. В 1849 г. основан Акузенский полиметаллический рудник недалеко от г. Баян-Аула и в том же районе пущен Александровский свинцово-серебро-медный завод. В 1886 г. заработал Козьмо-Демьяновский серебро-свинцово-медный завод под г. Каркаралинском, а в 1889 г. промышленник А. И. Деров построил опытный серебро-свинцовый завод в 90 км от оз. Балхаш.

Двадцатый век в России, как и во всем мире, отмечен многочисленными достижениями прогресса в горнорудном деле. В 1965 г. на северо-востоке были открыты рудные золото-серебряные месторождения: Карамкенское, Дукатское и др. В целом отрасль развивается, растет, но при этом возникают многие проблемы, присущие только нашей стране. В России основной объем первичного серебра производится как попутный продукт месторождений из медно-никелевых (Талнахское, Октябрьское и Норильск-1, Таймырский АО), медно-цинковых руд (Учалинское и Молодежное, Республика Башкортостан) и золоторудных.

История зарождения промышленности по добыче металлов платиновой группы

Зарождение промышленности по добыче металлов платиновой группы в мире

Платина и металлы платиновой группы (МПГ) являются одними из самых редких элементов на Земле. Из немногих известных месторождений самые большие находятся в ЮАР и России. В мире насчитывается всего около десяти значимых компаний, которые занимаются добычей металлов платиновой группы. Из всех МПГ наибольшее значение имеют *платина* и *палладий,* которые добываются в значительных объемах. Остальные металлы платиновой группы — родий, рутений, иридий и осмий — добываются в значительно меньшем количестве, как побочный продукт.

МПГ подразделяют на две триады: рутений, родий и палладий — легкие платиновые металлы, а платина, иридий и осмий — тяжелые платиновые металлы.

Рутений открыт профессором Казанского университета Карлом Клаусом в 1844 г. Родий открыт в Англии в 1803 г. Уильямом Гайдом Волластоном в ходе работ с самородной платиной. Тогда же из платиновой руды, привезенной из Южной Америки, Волластон открыла и палладий. Осмий открыт в том же году английским химиком Смитсоном Теннантом в сотрудничестве с Уильямом Волластоном в осадке, остающемся после растворения платины в царской водке. Иридий был открыт в 1803 г. английским химиком С. Теннантом одновременно с осмием, которые в качестве примесей присутствовали в природной платине, доставленной из Южной Америки. Теннант был первым, кому удалось получить в достаточном количестве нерастворимый остаток после воздействия на платину царской водки и определить в нем ранее неизвестные металлы.

Впервые платину открыли испанцы в рудниках Южной Америки в XVI в. Считается, что первым в литературе упомянул о платине Скалигер в опубликованной в 1557 г. книге «Экзотерические упражнения в 15 книгах», где он рассказал о некоем веществе из Гондураса, которое нельзя расплавить. Вероятно, этим веществом и была платина. Но первое описание выполнил испанский офицер, физик и математик дон Антонио де Ульоа в 1748 г. К этому же периоду относится начало исследований доставленных из Южной Америки, с территории нынешней Колумбии, в Европу образцов платиновой руды.

В Европу комочки и крупинки серебристого металла были завезены лишь в XVIII в. испанским мореплавателем и ученым де Ульоа. На основании своих исследований он описывает платину как металл, не расплавляющийся в горне, не поддающийся ковке и не вступающий в реакцию с кислотами. Помимо этих характеристик было указано, что вес металла почти совпадает с весом чистого золота. Данное сходство сыграло не на пользу металлу-новичку. Фальшивомонетчики стали заменять им часть золота в испанских монетах. Когда обман был раскрыт, деньги Испании резко обесценились, а ее экономика была повергнута в глубокий кризис. С 1735 г. приказом короля страны вся платина была изъята и захоронена на глубоком дне, а на ее поставку был наложен запрет. Лишь в 1778 г. платину реабилитировали и снова разрешили к использованию.

Окончательные выводы о том, чем в действительности является платина, сделал в 1751 г. шведский химик Шеффер. Он определил, что это чистый металл, а не сплав, и относится он к группе драгоценных. С этого начался период поиска месторождений на Евразийском материке и по всему миру. До этого времени ее добыча производилась лишь в Колумбии.

Высокого мастерства в изготовлении платиновых изделий для научных целей достиг парижский ювелир Жаннети. Он сплавлял самородную платину с мышьяком в присутствии извести или щелочи, а затем при сильном прокаливании выжигал избыток мышьяка. Получался ковкий металл, пригодный для дальнейшей переработки.

В середине XVIII в. химики изучили свойства платины и признали ее новым элементом. Благодаря исключительной химической стойкости платину начали использовать для изготовления химического оборудования. В 1784 г. был изготовлен первый платиновый тигель, а в 1809 г. — платиновая реторта массой 13 кг; такие реторты использовали для концентрирования серной кислоты. Изделия из платины делали путем ковки или горячего прессования, поскольку электропечей, дающих достаточно высокую температуру, тогда не было. Со временем научились расплавлять платину в пламени гремучего газа.

В первое десятилетие XIX в. высококачественные изделия из платины делал английский химик и инженер Волластон — первооткрыватель родия и палладия. В 1808–1809 гг. во Франции и Англии (практически одновременно) были изготовлены платиновые сосуды почти в пуд весом. Они предназначались для получения концентрированной серной кислоты. Появление подобных изделий и открытие ценных свойств элемента № 78 повысили спрос на него, цена на платину выросла, а это в свою очередь стимулировало новые исследования и поиски. В 1820 г. в Европу было доставлено от 3 до 7 т платины. Необычайно плотная платина оказалась тяжелее золота, поэтому ее считали непригодным металлом. Позже во Франции из нее был изготовлен эталон метра, а затем эталон килограмма. К середине XIX в. во Франции и Англии были проведены обширные исследования по очистке платины от других металлов. Промышленный способ получения слитков чистой платины впервые осуществили в 1859 г. химики А. Сент-Клер Девиль и Дебре, которые разработали способ выплавки больших количеств платины в пламени гремучего газа (смесь кислорода с водородом). В изобретенной ими печи, выложенной пористым известняком, было углубление, в которое помещали губчатую платину или старые изделия из платины. Это открытие преобразило металлургию платины, резко удешевило производство платиновых изделий и повысило их качество.

Спрос и цена на платину на европейских рынках стали быстро повышаться. Однако в России открытие Сент-Клер Девиля и Дебре ничего не изменило — платиной интересовались только как продуктом экспорта. С этого времени почти вся добываемая на Урале платина скупалась английскими и французскими фирмами, в частности, «Джонсон, Маттей и К». Позже к закупкам платины у России подключились американские и немецкие компании.

Зарождение промышленности по добыче металлов платиновой группы в России

В России платина была впервые найдена на Урале, в Верх-Исетском округе, в 1819 г. При промывке золотоносных пород в золоте заметили белые блестящие зерна, которые не растворялись даже в самых сильных кислотах.

Берг-пробирер лаборатории Петербургского горного корпуса В. В. Любарский в 1823 г. исследовал эти зерна и установил, что загадочный «сибирский металл принадлежат к особому роду сырой платины, содержащей знатное количество иридия и осмия». В том же году последовало высочайшее повеление всем горным начальникам искать платину, отделять ее от золота и представлять в Петербург. В 1824 г. на склоне горы Благодать, а позже в Нижнетагильском округе были открыты чисто платиновые россыпи. В следующие годы платину на Урале нашли еще в нескольких местах. Уральские месторождения были исключительно богаты и сразу же вывели Россию на первое место в мире по добыче тяжелого белого металла. В 1828 г. Россия добывала неслыханное по тому времени количество платины — 1550 кг в год, примерно в полтора раза больше, чем было добыто в Южной Америке за все годы с 1741 по 1825 г. В 1826 г. выдающийся инженер своего времени П. Г. Соболевский вместе с В. В. Любарским разработал простой и надежный способ получения ковкой платины. Самородную платину растворяли в царской водке (4 части соляной кислоты и 1 часть азотной кислоты), а из этого раствора, добавляя NH_4Cl, осаждали хлороплатинат аммония

$(NH_4)_2[PtCl_6]$. Полученный спекшийся порошок (губку) прессовали в холодном состоянии, а затем прессованные брикеты прокаливали и ковали. Этот способ позволял делать из уральской платины изделия высокого качества. 21 марта 1827 г. в конференц-зале Петербургского горного кадетского корпуса на многолюдном торжественном собрании Ученого комитета по горной и соляной части были показаны изготовленные новым методом первые изделия из русской платины — проволока, чаши, тигли, медали, слиток весом в 6 фунтов. Открытие П. Г. Соболевского и В. В. Любарского получило мировую известность. Им заинтересовался даже царь Николай I, посетивший лабораторию и наблюдавший опыты по очистке платины.

Благодаря предприимчивости министра финансов Е. Ф. Канкрина с 1828 г. в России стали выпускать платиновую монету 3-, 6- и 12-рублевого достоинства. Стоимость платины в это время была в пять раз выше стоимости серебра, поэтому чеканка монеты стала стимулом для роста добычи платины на Урале. В 1843 г. добыли уже 3500 кг платины. Разумеется, это сказалось на цене, платина стала дешевле.

Именно из-за колебаний цен на платину, из-за боязни подделки и ввоза платиновых монет из-за границы новый министр финансов Вронченко, сменивший Канкрина, прекратил чеканку платиновой монеты. По специальному указу в 1845 г. вся платиновая монета в шестимесячный срок была изъята из обращения. Это спешная паническая мера сразу же вызвала понижение цен на платину и резкий спад ее добычи. Другого применения платине в отсталой России найти не смогли. В конце 1840-х гг. на Урале добывали всего несколько пудов сырой платины в год.

В 1867 г. царский указ упразднил государственную монополию на этот металл и разрешил беспошлинный вывоз его за границу. Воспользовавшись благоприятной конъюнктурой, Англия скупила все запасы русской платины — более 16 т. Продажа сразу такого громадного количества драгоценного металла резко понизила цены на платину на мировом рынке, что не могло не сказаться на русской платиновой промышленности. Добыча платины стала менее выгодной, и постепенно, один за другим, уральские платиновые прииски стали переходить в руки английских, французских, немецких дельцов.

Перед Первой мировой войной добыча платины в России составляла 90–95% мировой добычи, но 95% русской платины уходило за границу, и лишь несколько процентов перерабатывалось на двух маленьких заводах.

Сразу же после Октябрьской революции были приняты меры по созданию мощной платиновой промышленности. В мае 1918 г. был создан Институт по изучению платины, влившийся позже в Институт общей и неорганической химии АН СССР, носящий ныне имя академика Н. С. Курнакова. В этом институте под руководством выдающихся ученых — Л. А. Чугаева, Н. С. Курнакова, И. И. Черняева — были выполнены многочисленные исследования по химии и технологиям получения платины и других благородных металлов.

Предприятия, осуществляющие добычу драгоценных металлов в России, включенные в Индекс металлов и добычи Московской биржи, преимущественно продемонстрировали рост капитализации: ПАО «Селигдар», ПАО «Полюс», «Полиметалл», ГМК «Норильский никель».

Хуже общего рынка (MICEXBMI), как и в 2016 г., выглядели акции ПАО «Лензолото».

ГМК «Норильский никель» — диверсифицированная горно-металлургическая компания, крупнейший мировой производитель металлов платиновой группы, никеля, меди.

Производственные показатели по итогам девяти месяцев 2017 г. по основным производимым металлам продемонстрировали разнонаправленную динамику: палладий — рост на 2% до 2026 тыс. тр. унций (98,1% — российские активы), что связано преимущественно с увеличением содержания металла в руде; платина — на уровне девяти месяцев 2016 г. — 493 тыс. унций (98% — российские активы). По итогам 2017 г. выпуск составил: палладия — 2636–2732 тыс. тр. унций (рост на 0,7–4,4%); платины — 581–645 тыс. тр. унций (снижение на 9,8% или небольшой прирост 0,2%).

ЦИКЛЫ РАЗВИТИЯ ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Существуют более или менее точные сведения по истории добычи золота начиная с древних веков (4000–5000 гг. до н. э.). Известно, что золото в относительно больших количествах добывалось ассирийцами, вавилонянами, греками и позже римлянами. Добыча золота в эпоху рабовладельческого хозяйства осуществлялась с помощью промывки золотоносных песков, толчения и истирания коренных руд с последующей промывкой тонкоизмельченного материала. Технических приспособлений было немного, т. к. наличие дешевой рабочей силы не стимулировало их применения. С развитием товарного производства золото и отчасти серебро приобрели значение меновых эквивалентов и меры стоимости, выполняя функцию денег. Этому способствовали такие их свойства, как делимость, однородность, сохраняемость (химическая стойкость), высокая удельная стоимость.

Средние века характеризуются некоторыми усовершенствованиями в обработке руд и заметным увеличением добычи золота и серебра. Так, были созданы установки для добычи золота гидравлической промывкой россыпей. В XV–XVI вв. было введено мокрое измельчение руд в толчеях с последующей промывкой и амальгамацией. В XVI в. наиболее полное описание средневековых горно-обогатительных работ дал немецкий ученый. В 1556 г. Агрикола написал первый труд, в котором обобщил опыт горных работ, передававшийся устно от одного поколения горняков к другому. XIV–XVI вв. (позднее Средневековье) становятся переходными во многих областях техники работ: от ручного и конного ворота — к гидравлическому колесу, от тачек — к вагонеткам. Наиболее сильным толчком в развитии горных работ явилось применение черного пороха для рыхления пород. В широких масштабах рыхление и отбойку горных пород взрывным способом стали применять после того, как человек научился бурить шпуры и скважины для размещения пороховых зарядов (1687 г.).

Добыча золота значительно возросла в 1681–1760 гг., когда в эксплуатацию были вовлечены богатые россыпи Бразилии. Производство серебра в то время также возросло в связи с открытием в Мексике, Боливии и Перу крупных месторождений этого металла. Следующий период повышения добычи золота произошел в 20–50-е гг. XIX в. в связи с открытием и интенсивной разработкой ряда россыпных месторождений в России.

Значительный подъем капиталистического хозяйства, развитие путей сообщения, крупнейший промышленный переворот, вызванный появлением паровых двигателей в промышленности и на транспорте, оживили торговые отношения, появился большой спрос на драгоценные металлы и особенно на золото, что привело к поискам и открытию новых крупных его месторождений.

Однако уже через несколько лет в золотодобывающей промышленности наступает депрессия вследствие истощения богатых золотых россыпей. В этот период начинают вводить технические усовершенствования. Механизация добычи и промывки россыпей позволяет включить в эксплуатацию бедные россыпи, ранее считавшиеся непромышленными. Появление золотопромывательных машин и станков позволяет увеличить производительность.

Строят механизированные толчейные амальгамационные фабрики для обработки коренных золотых руд. Сульфидные руды и концентраты, не поддающиеся обработке амальгамацией, подвергают окислительному обжигу, и золото извлекают хлоринацией. Часть упорных сульфидных руд перерабатывают на металлургических заводах плавкой на штейн с последующим переделом на металл.

В 1888–1889 гг. запатентован способ выщелачивания золота цианистыми растворами и осаждения его металлическим цинком. В 1890 г. этот способ был впервые реализован в промышленном масштабе, новый процесс быстро совершенствовался и вскоре получил широкое распространение во многих золотодобывающих странах. Открытие больших запасов коренных руд и создание новой прогрессивной технологии их переработки ознаменовали начало современного этапа развития золотодобывающей промышленности.

В начале XX в. золото начали добывать дражным путем, были применены паровые драги. В дальнейшем в действие ввели новые электрические драги современной конструкции,

проведена широкая модернизация старых драг, направленная на повышение скорости черпания, улучшение обогатительной схемы, — все это позволило повысить производительность. В России электрические драги начали выпускать в 1926 г.

Резкий и длительный подъем золотодобычи начался в 90-е гг. прошлого столетия. Истощение россыпных месторождений и открытие мощных запасов коренного золота потребовало разработки новых, более совершенных методов извлечения рудного золота.

Как видим, добыча закономерно возрастала век за веком, подтверждая привычные представления о прогрессе. В наши дни золото отделяется от руды с помощью цианида натрия. Амальгамирование применяют реже ввиду высокой токсичности ртути. Благодаря появлению этого метода появилась возможность добычи золота из ранее заброшенных месторождений, что возвращает их рентабельность. Перечисленные выше три способа активно используются в золотодобывающей сфере в России. Основные циклы развития золотодобывающей промышленности показаны в табл. 5.4, 5.5.

Таблица 5.4. Характеристика технологических циклов развития золотодобывающей промышленности

Период, годы	Цикл	Признак развития	Инструменты производства
До 50-х гг. до н. э.	Первый (Древний Египет)	Систематические поиски и масштабные разработки россыпных и рудных месторождений. Добыча рудного золота из жил в породах с помощью орудий труда	Каменные молоты и ударники, медные и бронзовые зубила и клинья
50-е гг. до н. э. — 500 г. н. э.	Второй (Римская империя)	Огневые работы. Разветвленные сети подземных выработок для добычи руд. Организованы арругии (подобие золотодобывающих горных предприятий). Добыча золота из рек	Использование кожаных мешков для выдачи руды. Примитивные механизмы для обогащения обрушенных пород. Подвод воды к месту работ через специальные шлюзы
500–1687	Третий (цикл гидросиловых установок)	На смену малопроизводительным способам производства приходят более производительные. Совершенствуются процессы подъема и выдачи руды. Системы водоотлива и вентиляции подземных выработок — совершенно новых работ в горном деле. Способ вскрытия, место заложения вскрывающей выработки получают технико-экономические обоснования	Для выдачи руды вместо кожаных мешков применяются бадьи, откатка по штрекам производится в тачках. Горные машины с приводом от гидравлического колеса
1687–1900	Четвертый (цикл паровых двигателей)	Механизированное бурение скважин, аналитически рассчитанные системы подземной разработки. Взрывные работы	Экскаваторы, погрузчики, буровые станки, транспортные машины с паровым и электрическим двигателем, дробильные и измельчительные установки с приводом от паровых машин
С 1900-х гг.	Пятый (повышение качества и эффективности добычи золота)	Применение гидравлического способа добычи золота, а также метода с применением цианирования	Высокопроизводительное оборудование для добычи золота и обогатительное оборудование, высокопроизводительные экскаваторы, опрокидыватели, локомотивы, проходческое буровое и погрузочное оборудование, дробильно-сортировочные комплексы, драги

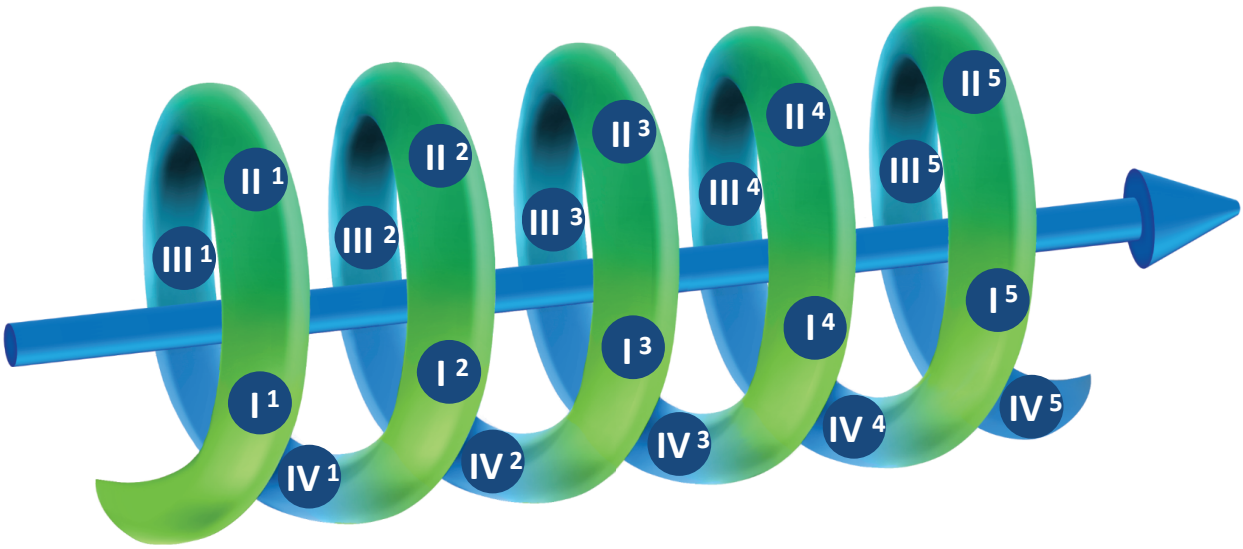
Таблица 5.5. Основные этапы циклов развития золотодобывающей промышленности

Цикл	Научно-технический этап	Технико-экономический этап	Экономически-социальный этап	Социально-регуляторный этап
Первый (Древний Египет)	Появление механических приспособлений для добычи золота	Увеличение объемов и производительности добычи золота за счет жестокой эксплуатации рабов	Экономическая ценность и культовое значение золота	Рост численности рабочих при сохранении тяжелых условий труда
Второй (Римская империя)	Появление нового метода добычи с массовым обрушением горных пород (метод «арругий»). Амальгомирование породы	Увеличение объемов и производительности добычи золота за счет большого количества завоеванных стран	Золото — фундамент финансовой системы государства	Рост численности рабочих и квалификации при сохранении тяжелых условий труда
Третий (цикл гидросиловых установок)	Применение гидравлического колеса и конного привода для подъема руды	Высокий спрос на золото	Экономическая ценность золота	Появление первого руководства по горно-обогатительным работам, рост квалификации работников, улучшение условий труда
Четвертый (цикл паровых двигателей)	Применение паровых машин	Увеличение объемов добычи золота	Активное развитие промышленности	Рост квалификации работников, улучшение условий труда
Пятый (повышение качества и эффективности добычи золота)	Применение современного эффективного оборудования и повышение качества золота	Увеличение объемов добычи золота, уменьшение себестоимости добычи золота	Рост спроса на золото	Рост квалификации работников, улучшение условий труда

Эволюция технологий добычи золота

Стоит отметить, что каждый цикл обусловлен определенным этапом, который дает новый толчок к развитию технологий. Последовательное прохождение всех этапов приводит к завершению цикла развития отрасли, после чего цикл повторяется (рис. 5.5).

Ресурсоэфффективность в рамках исторического развития отраслей промышленности рассматривается как важнейший фундаментальный концепт перехода технологического развития на новый уровень. При этом метод исследования сосредоточен на изучении реакции отрасли как целого на изменяющиеся условия, без подробного описания механизма работы и внутреннего устройства той или иной технологии, так как в рамках поставленной задачи это не является первостепенным объектом изучения.



I Научно-технический этап

II Технико-экономический этап

III Экономически-социальный этап

IV Социально-регуляторный этап

I 1 — появление механических приспособлений для добычи золота

II 1 — увеличение объемов и производительности добычи золота за счет жесткой эксплуатации рабов

III 1 — экономическая ценность и культовое значение золота

IV 1 — рост численности рабочих при сохранении тяжелых условий труда

I 2 — появление нового метода добычи с массовым обрушением горных пород

II 2 — увеличение объемов и производительности добычи золота за счет большого количества завоеванных стран

III 2 — золото как фундамент финансовой системы государства

IV 2 — рост численности рабочих при сохранении тяжелых условий труда

I 3 — применение гидравлического колеса и конного привода для подъема руды

II 3 — высокий спрос на золото

III 3 — экономическая ценность золота

IV 3 — появление первого руководства по горно-обогатительным работам, рост квалификации рабочих, улучшение условий труда

I 4 — применение паровых машин

II 4 — увеличение объемов добычи золота

III 4 — активное развитие промышленности

IV 4 — рост квалификации рабочих, улучшение условий труда

I 5 — применение современного эффективного оборудования и повышения качества золота

II 5 — увеличение объемов добычи золота, уменьшение себестоимости добычи золота

III 5 — рост спроса на золото

IV 5 — рост квалификации рабочих, улучшение условий труда

Рис. 5.5. Эволюция технологий добычи золота

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

Способы разработки месторождений и дальнейшей переработки добытого минерального сырья в зависимости от типа месторождения и вида драгоценного металла существенно отличаются.

При добыче драгоценных металлов из рудных (коренных) месторождений, применяются традиционные технологии разработки рудных месторождений полезных ископаемых. Добытое минеральное сырье перерабатывается по специальным технологиям, учитывающим специфику и физико-химические свойства извлекаемого драгоценного металла.

Добыча драгоценных металлов из россыпных месторождений

Горно-подготовительные работы

Горно-подготовительные работы включают в себя процессы, обеспечивающие подготовку месторождения к эксплуатации.

В комплекс горно-подготовительных работ входят: подготовка поверхности месторождения, осушение площади месторождения, проведение вскрывающих выработок.

Осушение россыпей, как правило, производится канавами. По назначению и расположению канавы могут быть: руслоотводными, нагорными, разрезными, капитальными, водозаводными.

При больших глубинах залегания пласта песков, когда осушение карьера невозможно осуществить капитальной канавой, устанавливается насосная станция.

Вскрывающие выработки обеспечивают доступ к пласту песков. Для россыпных месторождений вскрывающей выработкой обычно является пионерный котлован (или пионерный блок). Для дражного способа разработки вскрывающая выработка представляет собой котлован, в котором производится монтаж драги.

Вскрышные работы

Задача вскрышных работ — удаление и перемещение в отвалы пустых пород (торфов), перекрывающих пласт песков. Различают три основные операции вскрышных работ: непосредственно вскрыша («чистая» вскрыша), перемещение в отвал (отвалообразование) и перевалка.

Перевалка чаще всего применяется при ведении вскрышных работ экскаваторами-драглайнами.

По способу выемки торфов вскрышные работы разделены на две группы — системы с послойной выемкой и с выемкой на всю глубину.

На мерзлых россыпях при их разработке слоями по мере их естественного оттаивания основной вскрывающей машиной является бульдозер и очень редко — колесный скрепер. В целях экономии топлива помимо бульдозеров используют автосамосвалы или колесные погрузчики.

Выемка торфов на всю мощность применяется либо на талых россыпях, либо на мерзлых после буровзрывного рыхления. Выемка торфов на всю мощность применяется после буровзрывного рыхления с помощью шагающих драглайнов или гидравлических экскаваторов с погрузкой в автосамосвалы. Также возможно применение экскаватора с размещением торфов сразу в постоянный отвал.

Разработка и транспортировка песков

Пески можно разрабатывать одновременно с их промывкой или в разное время. В первом случае пески сразу же после их отделения от массива поступают на промывочную установку, во втором — накапливаются в специальных отвалах на поверхности и поступают на промывку только в теплое время года.

Разработка многолетнемерзлых и сезонномерзлых песков открытым способом производится только бульдозерами путем послойного снятия верхнего оттаявшего слоя. Талые пески разрабатываются бульдозерами или экскаваторами.

Особой технологии требует разработка высокольдистых песков, которые после оттаивания превращаются в плывуны, не поддающиеся транспортированию бульдозерами. Такие пески лучше разрабатывать в холодный период путем рыхления пласта бульдозером-рыхлителем и последующей вывозки в плоский спецотвал вблизи промывочной установки. С наступлением тепла с поверхности мерзлого отвала послойно снимаются пески и подаются на промывочную установку.

Транспортировка вынутых песков к промывочной установке при небольших расстояниях (до 100 м) производится бульдозерами, а при удаленности промывочной установки более чем на 100 м пески доставляют колесными погрузчиками или автосамосвалами.

Переработка песков на промывочных установках

Промывочные установки включают в себя два узла: узел дезинтеграции и грохочения песков и узел обогащения подгрохотной фракции (эфельная фракция).

Узел дезинтеграции и грохочения используется четырех типов:

– неподвижный перфорированный стол с отверстиями 50–100 мм с размывом подаваемых на стол песков струей гидромонитора (применяется для хорошо промывистых песков с крупным золотом);
– скруббер-бутара в виде цилиндра, имеющего глухой дезинтегрирующий став и перфорированный для высевания золотосодержащей фракции (применяется для хорошо- и среднепромывистых песков, включающих гравийно-галечную фракцию, способствующую при вращении скруббер-бутары дезинтеграции песков);
– пластинчатый грохот с подвижным наклонным полотном, которому придается бегущая поперечная волна, обеспечивающая переваливание песков и истирание комковатого материала (применяется для хорошо промывистых песков с включением крупных (до 1 м) глыб и валунов);
– двух- и трехситные виброгрохоты с площадью просеивающей поверхности 10–12 м^2 (применяются для средне- и труднопромывистых песков).

Состав узла обогащения подгрохотной фракции зависит от крупности золота и может включать в себя следующие аппараты для улавливания золота:

– шлюзы глубокого и среднего наполнения (для крупного золота — более 1 мм);
– шлюзы мелкого наполнения с подшлюзками (для золота средних размеров — 0,5 мм);
– отсадочные машины и концентрационные столы (для мелкого золота, содержащего фракции менее 0,1 мм);
– центробежные аппараты (для золота, содержащего значительные доли золота мельче 0,05 мм).

Подача песков на дезинтеграцию и грохочение осуществляется бульдозерами (на неподвижный перфорированный стол), экскаваторами (в бункер скруббер-бутары или виброгрохота), автосамосвалами и колесными погрузчиками (в бункер-питатель скрубберных и шлюзовых промывочных установок).

В результате промывки песков образуется три вида хвостов:
– галечная фракция (надгрохотный продукт узла дезинтеграции и грохочения);
– зернистая фракция (эфельный материал, накапливающийся вблизи промывочной установки);
– илисто-шламовая фракция (тонкодисперсный материал, переносимый водным потоком в углубленные участки илоотстойника).

Для обеспечения бесперебойной работы промывочных установок галечная и зернистая части хвостов периодически удаляются в отвал бульдозером или колесным погрузчиком.

Площадка переработки песков включает в себя кроме промывочной установки илоотстойник, огороженный защитными дамбами, и систему оборотного водоснабжения. Она состоит из переставной насосной станции, зумпфа, защищенного дамбой от попадания в него илисто-шламовой фракции хвостов, и напорного водовода.

Дражный способ разработки россыпных месторождений

Дражный способ применяется для разработки обводненных россыпей, представленных породами различной крепости. Исключение составляют весьма валунистые, крепко сцементированные породы и вязкие глины. Многолетнемерзлые россыпи могут разрабатываться драгами только после предварительной их оттайки.

Обязательными горно-подготовительными операциями являются удаление пустых пород, оттайка многолетней мерзлоты (при ее наличии) и предохранение талых переходящих на следующий промывочный сезон запасов от сезонного промерзания.

Вскрышные работы выполняются той же техникой, что и при раздельном способе разработки россыпей.

Оттаивание мерзлых пород производится следующими основными методами:
– теплом солнечной радиации (для небольшой мощности пласта);
– фильтрационно-дренажным (для песков с хорошей фильтрационной способностью);
– гидроигловым с использованием естественно нагретой воды (для глубины залегания песков 5 м и более);
– гидроигловым с использованием горячей воды или пара (применяется в небольших объемах в начале промывочного сезона).

Обогатительное оборудование на драге подбирается по такому же принципу, что и для промывочных установок, т. е. исходя из крупности золота. Как правило, на современных драгах в качестве основных улавливающих аппаратов устанавливаются отсадочные машины. В общем виде драга приведена на рис. 5.6.

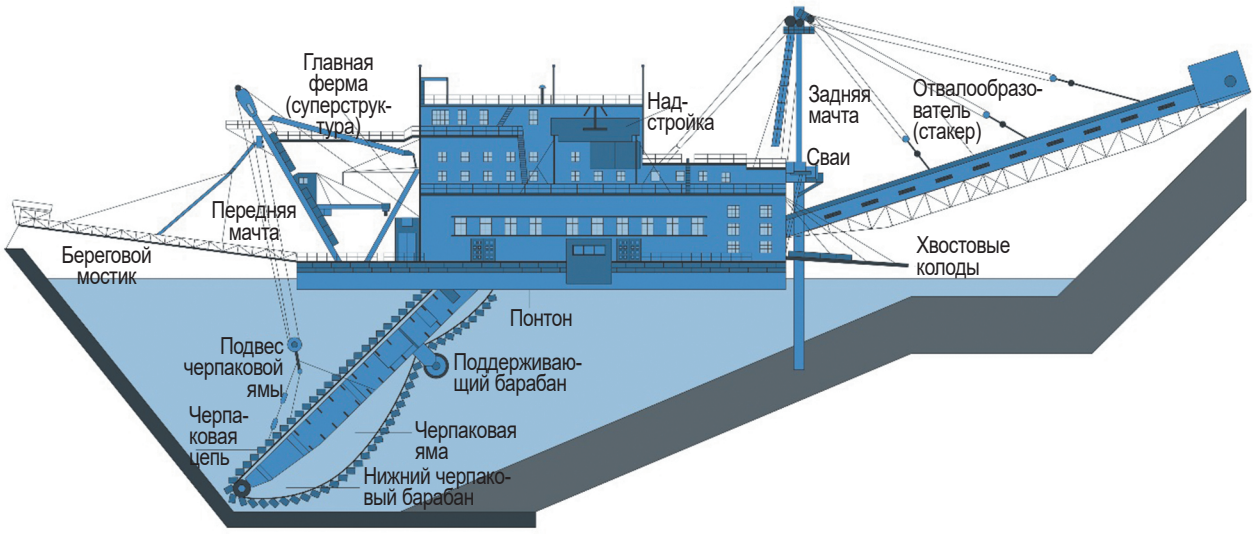


Рис. 5.6. Общий вид драги

Подземный способ разработки россыпных месторождений

Подземный способ разработки применяется для разработки многолетнемерзлых россыпей с глубиной залегания пласта более 20 м.

Выбор способа разработки — открытый или подземный — определяется по результатам технико-экономического сравнения вариантов.

Вскрытие пласта производится наклонным стволом с углом наклона 10–30°. Подготовительные и нарезные выработки проходят по пласту песков. Высота главного (транспортного) штрека равна 2 м (но не меньше мощности пласта), а вентиляционной выработки — 1,5 м.

Отбойку породы как при подготовительных работах, так и при очистных производят буровзрывным способом.

Уборка отбитой породы осуществляется скреперными лебедками или погрузо-доставочными машинами. Выдается порода на дневную поверхность ленточным конвейером по наклонному стволу.

Промывка добытых песков проходит в теплый период года при послойном оттаивании песков, уложенных в виде плоского отвала.

Переработка золотосодержащих концентратов, добытых на россыпных месторождениях

Полученный в процессе первичной переработки россыпей концентрат (шлих) доводится на шлихообогатительных установках (ШОУ) до получения шлихового золота, направляемого на аффинаж в качестве конечного продукта, либо на плавку с получением слитков золота лигатурного. В последнее время концентраты россыпного золота стали подвергаться интенсивному цианированию.

Добыча драгоценных металлов из коренных (рудных) месторождений

Способы разработки коренных (рудных) месторождений

Разработка месторождений драгоценных металлов, как правило, производится подземным, открытым или комбинированным способом.

Выбор способа разработки определяется горно-геологическими условиями залегания руд и обосновывается технико-экономическими расчетами. Если месторождение достигает поверхности Земли или находится недалеко от поверхности, то применяется открытый способ. Более глубоко расположенные месторождения разрабатываются обычно подземным способом. Как вариант разработка начинается открытым способом и по мере углубления карьера продолжается подземным способом (комбинированный способ).

Подземный способ разработки коренных (рудных) месторождений

В процессе подземной разработки месторождений руд драгоценных металлов можно выделить три основные стадии горных работ: вскрытие месторождения, подготовительные работы (разделение месторождения на этажи и очистные блоки) и добычные работы непосредственно внутри очистного блока (нарезные и очистные работы).

Вскрытие осуществляется проведением главных выработок с земной поверхности до месторождения. К ним относятся вертикальные и наклонные стволы, штольни и автотранспортные съезды (уклоны). Эти выработки служат для транспортирования полезного ископаемого на поверхность, а также для передвижения людей, оборудования, доставки материалов и других целей. Проходка вскрывающих выработок — наиболее дорогостоящий процесс, особенно при вскрытии месторождения вертикальными стволами, осуществляется, как правило, буровзрывным способом с отбойкой руды шпурами и производится по пустым породам, которые необходимо складировать на поверхности.

Подготовка шахтного поля к очистной выемке заключается в разделении его на этажи проведением выработок основного горизонта, а также в разделении этажа на выемочные участки (очистные блоки). Проходятся они по пустым породам (полевые выработки), буровзрывным способом с отбойкой руды шпурами, но большая часть их проходится одновременно с очистными работами.

Добыча полезных ископаемых (нарезные и очистные работы) производится системами разработки, которые зависят от горно-геологических и горнотехнических условий отработки этого очистного блока.

Системы разработки между собой отличаются:

– последовательностью выемки частей этажа;
– направлением подвигания очистной выемки относительно выработок основного горизонта;
– состоянием выработанного пространства во время разработки;
– способами отбойки руды при очистной выемке;
– способами перемещения руды в очистном пространстве.

Открытый способ разработки коренных (рудных) месторождений

Основные технологические процессы открытых разработок месторождений включают в себя: подготовку горных пород к выемке — отделению горных пород (или полезных ископаемых) от массива с одновременным ее механическим или взрывным рыхлением; погрузку горной массы в средства транспорта; транспортирование горной массы из забоев на промышленную площадку железнодорожным транспортом, автомобилями, конвейерами, гидротранспортом, подвесными канатными дорогами и др.; размещение пустых пород в отвалах; планирование отвалов; рекультивацию в соответствии с планом горных работ.

Кроме основных технологических процессов на карьерах выполняются вспомогательные работы. Все основные производственные процессы объединяются в единую технологическую схему открытых разработок месторождений.

Технологии первичной переработки минерального сырья

В настоящее время основная часть мировых запасов драгоценных металлов приходится на коренные руды, находящиеся в недрах в виде монолитной горной массы. Разработке подвергают достаточно крупные месторождения (с запасами по золоту не менее ~0,5 т) со строительством крупнотоннажных мощностей (0,05–50 млн т минерального сырья в год) по переработке, обеспечивающих рентабельность производства.

Первичную переработку минерального сырья осуществляют преимущественно на механизированной непрерывно действующей фабрике, что позволяет осуществить переработку за небольшой срок (0,1–10 сут) с извлечением металла 70–95%.

Степень концентрирования золота и серебра в процессе переработки исходного минерального сырья и получения лигатурного металла составляет величину порядка 10^5–10^6. При этом переделы первичной переработки минерального сырья (рудо- и пульподготовка, цианирование руды или хвостов обогащения) отличаются большой производительностью от десятков тысяч тонн до нескольких десятков миллионов тонн в год, в то время как переделы получения готовой продукции характеризуются периодическим малотоннажным производством с выпуском металла от десятков килограмм до нескольких тонн в год.

Рудоподготовка

Рудоподготовка является одной из основных операций переработки коренных руд. Основная ее задача состоит в получении продукта заданной крупности, обеспечивающей достаточно полное раскрытие ценных компонентов. Складирование и усреднение руд производится на рудном складе с дробильным комплексом.

Предобогащение руды позволяет выделить из руды пустую породу с отвальным содержанием золота и исключить ее из процесса переработки. Сортировка руды позволяет разделить ее на сорта по содержанию ценного компонента либо по технологическим свойствам с раздельной переработкой полученных сортов по различным оптимальным технологиям. Для предобогащения и сортировки используют сепараторы специальной конструкции.

Рудоподготовка подразумевает дробление горной массы до оптимальной крупности и проводится в несколько стадий. Для первичного дробления руд используют щековые и конусные дробилки, для мелкого — короткоконусные.

Пульпоподготовка подразумевает обезвоживание пульпы до массовой доли твердого, необходимой для проведения дальнейших операций. Дробление руды осуществляют в одну, две или три стадии. Первая стадия — измельчение до крупности 100–350 мм. Вторая стадия — измельчение до крупности 20–100 мм. Третья стадия — измельчение до крупности 5–30 мм. На первой и второй стадиях используют щековые или конусные дробилки, на третьей — конусные, валковые, шнеко-зубчатые и др. Целесообразным является межстадийное грохочение и классификация для вывода материала готовой крупности.

Измельчение золото- и серебросодержащих руд и продуктов их обогащения чаще всего осуществляют в водной среде в шаровых мельницах, мельницах само- и полусамоизмельчения барабанного типа различной конструкции. Наибольшее распространение получило двух- и трехстадийное измельчение с самоизмельчением либо полусамоизмельчением на первой стадии до крупности 2–50 мм и шаровым измельчением на второй и третьей стадиях до крупности 0,04–0,5 мм. Широко распространены при переработке золото- и серебросодержащего минерального сырья процессы классификации. При многостадийном дроблении и измельчении минерального сырья они позволяют выделять фракцию готовой крупности, что минимизирует холостую нагрузку на дробильно-измельчительное оборудование (повышает энергоэффективность производства) и позволяет избежать переизмельчения минерального сырья. Для классификации крупных продуктов (20–200 мм) обычно применяют вибрационные и барабанные грохота. Для продуктов средней крупности (2–20 мм) применяют вышеуказанные аппараты, а также спиральные, реечные и чашевые классификаторы. Для классификации тонких продуктов (крупностью 0,02–2,0 мм) наиболее широкое распространение получили гидроциклоны различной конструкции. Для отделения пульпы от гранулированных искусственных сорбентов крупностью 0,8–3,0 мм при сорбционном выщелачивании применяют грохочение пульпы на вибрационных, барабанных и статичных грохотах (дренажах), оборудованных сеткой с размером ячейки 0,6–0,8 мм.

После измельчения и классификации получаемая пульпа разжижена до отношения Ж : Т = 5 : 1 и выше. Перед гидрометаллургической переработкой целесообразным является сгущение пульпы до отношения Ж : Т = (1–2) : 1. Сгущению могут подвергать отвальные хвосты обогащения с целью возврата оборотной воды на фабрику. Для увеличения скорости осаждения используют коагулянты и флокулянты, приводящие к агрегации осаждаемых частиц. Для сгущения крупнотоннажных потоков пульпы обычно применяют непрерывно действующие аппараты различных типов: радиальные сгустители с центральным и периферийным приводами, скоростные, пастовые и пластинчатые сгустители. Для осветления небольших объемов богатых золотосодержащих растворов (или растворов, содержащих богатые шламы) могут быть использованы обычные баки периодического действия или отстойники другого типа.

Фильтрование пульпы заключается в разделении твердой и жидкой фаз с помощью пористой перегородки, через которую жидкая фаза проходит, а твердая — нет. Фильтрацию проводят с целью отделения растворенных драгоценных металлов или самой жидкой фазы, либо с целью удаления из пульпы вредных растворенных примесей. В результате образуется чистый фильтрат и влажный осадок (кек). Для фильтрации крупнотоннажных потоков используют пресс-фильтры. Для малотоннажных потоков могут использовать пресс-фильтры, а также непрерывно действующие дисковые и барабанные вакуум-фильтры и др.

Нутч-фильтры применяют в отделении готовой продукции для фильтрации малых объемов весьма богатых концентратов.

Противоточная декантация является одним из способов извлечения растворенных ценных (золото и серебро) или вредных (кислые продукты автоклавного окисления, токсичные цианидные соединения и др.) компонентов из пульп. Основные факторы, определяющие эффективность противоточной декантации, — это сгущаемость твердой фазы пульпы и сорбционная активность твердой фазы пульпы по отношению к извлекаемому компоненту. Периодическую декантацию используют для промывки небольшого количества богатых по золоту и серебру концентратов после выщелачивания.

Центрифугирование является одним из известных методов разделения твердой и жидкой фаз пульп. Существуют промышленные центрифуги с периодическим и непрерывным режимами работы. На предприятиях применяется в достаточно редких случаях.

Обогащение

Суть процесса обогащения состоит в отделении ценных компонентов от пустой породы, а также во взаимном отделении ценных компонентов на основе различия их физических и физико-химических характеристик. Обогащение используется для переработки как первичного минерального сырья драгоценных металлов (россыпные и коренные руды), так и вторичного (доводка и переработка концентратов текущей добычи, обогащение лежалых хвостов гравитации, флотации, амальгамации и др.).

Гравитационные методы обогащения основаны на высокой плотности драгоценных металлов и их минералов, которая существенно выше плотности пустой породы. Данные методы особенно эффективны при извлечении крупного золота (размер частиц более 0,1 мм).

Флотационные методы используют различия в поверхностных свойствах минералов (смачиваемость). Высокая эффективность данных методов определяется возможностью извлечения как сульфидных минералов, обогащенных драгоценными металлами, из бедного минерального сырья (руды, хвосты гравитации), так и свободного тонкого золота.

Также применяются методы, основанные на различии магнитных свойств и электропроводности минералов. Зачастую целесообразным является использование простых или сложных комбинаций одного или нескольких из указанных методов.

Гидрометаллургия руд и концентратов

Гидрометаллургические методы заключаются во взаимодействии минерального сырья в водной среде с определенными реагентами, приводящими к растворению полезных или вредных компонентов. При растворении полезных компонентов (золота и серебра) их затем (или одновременно) извлекают из жидкой фазы известными методами. При растворении вредных компонентов нерастворимый остаток затем перерабатывают с целью извлечения драгоценных металлов.

В промышленной практике применяются гидрохимические, бактериально-химические и механохимические способы вскрытия сульфидного минерального сырья, а также другие специальные методы предварительной обработки, предваряющие процесс непосредственного выщелачивания драгоценных металлов.

Автоклавное окисление сульфидов заключается в обработке пульпы техническим кислородом и обеспечивает максимальное извлечение золота по сравнению с другими способами предварительного вскрытия.

Бактериальное окисление заключается в окислении сульфидных минералов кислородом воздуха при помощи особых бактерий и обеспечивает высокое извлечение золота при последующем выщелачивании без использования кислорода.

Сверхтонкий помол (до крупности 5–40 мкм) обычно применяют для относительно богатых (10–100 г/т) упорных золото- и серебросодержащих концентратов (содержащих

тонковкрапленные ценные компоненты) как операцию предварительного вскрытия перед цианированием или жидкофазным окислением. Данный вид оказывает заметное повышение извлечения ценных компонентов при последующем цианировании либо заметное увеличение эффективности последующего жидкофазного окисления сульфидов.

Известково-кислородное окисление заключается в окислении сульфидов кислородом в мягких условиях при атмосферном давлении. К преимуществам данного метода относятся: снижение расхода реагентов по сравнению с автоклавным и бактериальным методами окисления и снижение расхода реагентов на цианирование окисленных концентратов.

Кислотно-кислородное окисление заключается в достаточно быстром окислении сульфидных золото- и серебросодержащих минералов азотной кислотой (и оксидами азота), непрерывно регенерируемой в ходе процесса при использовании кислорода. Основными преимуществами процесса кислотно-кислородного окисления являются высокие показатели окисления сульфидов и вскрытия ценных компонентов.

Сернокислотное выщелачивание служит для удаления примесей (цветных металлов и др.), вредных для последующего извлечения золота и серебра из минерального сырья (руды, концентраты обогащения, цементные осадки и др.).

Сульфидно-щелочное выщелачивание основано на способности сульфидно-щелочных растворов (Na_2S и NaOH) растворять сульфидные и окисленные минералы сурьмы.

Растворение (выщелачивание) драгоценных металлов

Подавляющее большинство золото- и серебросодержащих руд и концентратов содержит значительное количество полезных компонентов в виде мелких частиц (менее 0,1 мм), которые практически невозможно сконцентрировать обогатительными методами до приемлемой степени. Поэтому применяют гидрометаллургические методы, включающие в себя процесс растворения драгоценных металлов с последующим их извлечением из пульп и растворов.

Применение цианидных растворителей является наиболее распространенным промышленным способом извлечения драгоценных металлов. По различным оценкам 75–85% мировой добычи золота связано с использованием технологии цианирования. Сущность процесса заключается в выщелачивании драгоценных металлов цианидами (в основном NaCN) в присутствии кислорода. В случаях, когда невозможно применить цианиды для промышленного извлечения драгоценных металлов, используют нецианидные растворители, такие как тиокарбамид, тиосульфаты, галоген-галогенидные системы и др.

Агитационное выщелачивание заключается в перемешивании (агитации) пульпы и характеризуется наиболее благоприятными условиями диффузионного подвода реагентов и отвода продуктов реакции от поверхности выщелачиваемых драгоценных металлов. Крупность материала при агитационном выщелачивании составляет от минус 0,02 мм до минус 0,3 мм в зависимости от характера вкрапленности драгоценных металлов. Наиболее широко распространенной разновидностью агитационного выщелачивания руд и концентратов является сорбционное выщелачивание, которое проводится в присутствии искусственного сорбента (ионообменной смолы или активного угля) значительно большей крупности (0,8–3 мм), чем выщелачиваемое сырье (минус 0,07–0,2 мм). При этом процессы выщелачивания драгоценных металлов в раствор и их извлечение оттуда искусственным сорбентом происходят одновременно. Разница в крупности сорбента и твердой фазы пульпы позволяет отделить выщелоченные и извлеченные на сорбент ценные компоненты путем простого грохочения.

Интенсивное цианирование используется при переработке первичных гравитационных концентратов и промпродуктов доводки концентратов с содержанием золота, недостаточным для прямой плавки на слиток.

Обезметалливание растворов и пульп

При первичной переработке минерального сырья драгоценных металлов гидрометаллургическими методами применяют следующие методы обезметалливания продуктивных

растворов: цементация на цинк, алюминий и др.; сорбционные методы с использованием ионообменных смол или активных углей; электролитическое осаждение; химическое осаждение в виде нерастворимых соединений.

Сорбционные и цементационные методы являются более универсальными, так как позволяют эффективно обезметалливать как крупнотоннажные потоки бедных растворов с концентрацией золота и серебра 0,1–50 мг/л, так и небольшие количества богатых растворов с концентрацией драгоценных металлов десятки и сотни миллиграммов на литр.

Переработка комплексного и упорного золотосодержащего минерального сырья

Зачастую наряду с золотом и серебром в минеральном сырье в значительных количествах присутствуют другие полезные и/или вредные компоненты, существенно влияющие на технологию его переработки (цветные металлы, органический углерод и др.).

В золотомедных рудах содержание меди может достигать 0,5% и более. Медь извлекают в виде сульфидных и некоторых окисленных форм флотационным или гидрометаллургическими методами с последующей переработкой.

В золотосурьмяных рудах и концентратах при содержании сурьмы более 1% ее извлечение происходит флотационным методом с последующей переработкой по пирометаллургической или гидрометаллургической технологии.

Высокоуглеродистые руды и концентраты содержат золото и углерод, последний в ходе цианирования сорбирует драгоценные металлы. Доля потерь может достигать до 99%. Для кончентрации минералов золота и серебра и удаления углерода используют гравитационно-обогатительные методы.

Для извлечения золота из руд и концентратов с тонковкрапленным золотом обычно используют гравитационно-флотационное обогащение с последующей переработкой упорной фракции специальными методами, минимизирующими упорность.

Пирометаллургия концентратов

Пирометаллургические методы обычно применяют для переработки относительно богатых золото- и серебросодержащих концентратов. Передел получения готовой продукции содержит следующие последовательные операции: обжиг и плавку богатых золотосодержащих полупродуктов. Обжиг проводят в камерных (подовых) печах, он позволяет удалить или окислить ряд примесей, вредных для плавки. Бесколлекторную плавку на слиток ведут в индукционных тигельных или электродуговых руднотермических печах с применением флюсов (бура, сода, стекло, шлак и др.). После чего получают слитки.

Пирометаллургические методы могут быть применены для переработки относительно небогатых упорных сульфидных, высокоуглистых и других концентратов. В таком случае огарки являются достаточно бедными для прямой плавки на слиток и требуют дальнейшей переработки (методом цианирования и др.).

Извлечение золота и серебра из бедного и забалансового минерального сырья проводят с помощью геотехнологий. Геотехнологии характеризуются меньшей степенью извлечения золота и удельной стоимостью, подразумевают применение кучного или подземного выщелачивания.

Кучное выщелачивание заключается в орошении выщелачивающим раствором дробленой руды, уложенной в виде штабеля (кучи) на водонепроницаемом основании.

Подземное выщелачивание заключается в прокачивании выщелачивающего раствора через рудное тело, залегающее в недрах, для чего пробуривают закачные и откачные скважины (рис. 5.7). Одним из главных факторов, определяющих эффективность применения процесса подземного выщелачивания является проницаемость руды. Метод дает возможность рентабельно отрабатывать месторождения, разработка которых традиционными способами невыгодна.

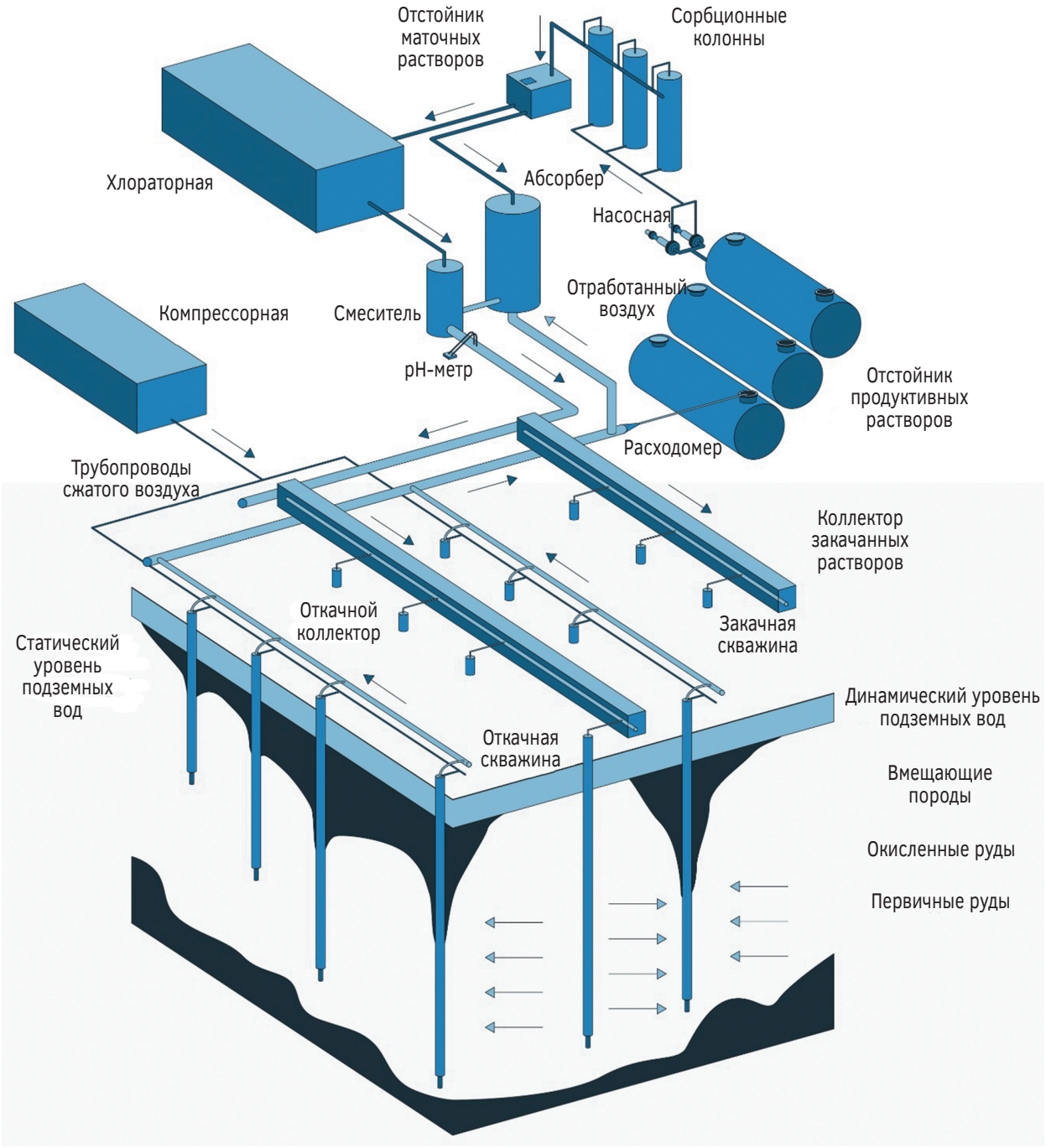


Рис. 5.7. Технология процесса подземного выщелачивания

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

В зависимости от условий залегания рудных месторождений и мощности залежей разработка осуществляется открытым или подземным способом.

Преимуществами открытого способа разработки месторождений являются:

– низкая себестоимость минерального сырья;
– возможность добычи минерального сырья начиная с первого года разработки параллельно проводимым горно-капитальным работам;
– отсутствие необходимости искусственной вентиляции района ведения работ;
– большая, по сравнению с подземным способом разработки, производительность добычных работ.

К недостаткам открытого способа разработки относятся:
– нарушение земель, снятие почвенно-растительного слоя со всеми вытекающими негативными последствиями для окружающего животного мира;
– необходимость сбора и очистки атмосферных осадков и подземных вод со всей площади нарушаемых земель, строительство необходимых для этого сооружений, иногда искусственное отведение рек;
– необходимость рекультивации нарушенных земель;
– зависимость от климатических условий района ведения работ.

Основными преимуществами подземного способа разработки месторождений являются:
– возможность разработки месторождений на большую глубину (до 4 км);
– при разработке тонких и маломощных рудных тел возможность их селективной выемки без разубоживания руд пустыми породами с максимальным содержанием металла в отбитой руде;
– возможность оставления отбитых пустых пород от проходческих работ в руднике в качестве закладки отработанных пустот, в результате чего исключаются перемещение большого количества пустых пород и необходимость их складирования на поверхности.

К недостаткам подземного способа разработки относятся:
– высокая себестоимость добычи минерального сырья в результате больших материальных, трудовых и энергетических затрат;
– как правило, необходимость крепления горных выработок и поддержание этой крепи на необходимый срок, иногда до конца разработки месторождения;
– высокие затраты на транспортировку добытой руды как внутри рудника, так и по поверхности к месту обогащения;
– трудности в обеспечении безопасности горных работ.

Следует отметить, что добыча руды подземным способом требует существенно меньшего отчуждения земель и не вызывает столь значительных нарушений и изменений инфраструктуры и ландшафтов, как открытые горные работы. Открытый способ добычи характеризуется более высоким расходом топлива и взрывчатых веществ (рис. 5.8).

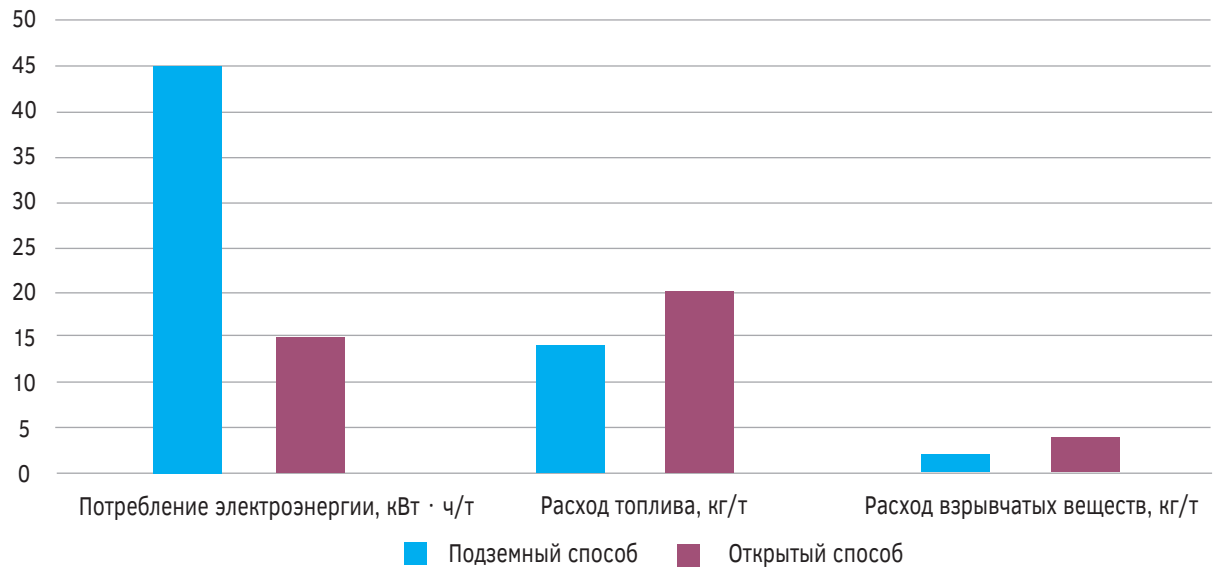


Рис. 5.8. Сравнение технологий

РОЛЬ ДОБЫЧИ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Золото и драгоценные металлы играют очень важную роль в жизни людей. Интерес к драгоценным металлам не ослабевает благодаря не только их естественным уникальным свойствам, но и той роли, которую они играли и продолжают играть в экономике различных стран мира. В древние времена золото выполняло роль денег, сейчас хоть оно и утратило эту функцию, но все равно остается одним из самых ликвидных и надежных активов для вложения средств. Практически все государства в мире держат часть своих резервов в золоте и драгоценных металлах, что позволяет странам обезопасить себя от колебаний мирового рынка, также от кризисов. Это связано с тем, что золото и драгоценные металлы независимы и не являются ни чьим-либо долговым обязательством.

В современной экономике золото и драгоценные металлы выполняют следующие функции:

1) обеспечивают финансовую безопасность (на случай кризиса), так как являются наиболее ликвидным международным средством платежа;
2) помогают диверсифицировать официальные резервные активы;
3) обеспечивают экономическую безопасность как уникальные активы, которые не являются чьим-либо долговым обязательством;
4) обеспечивают политическую безопасность, они не зависят от валютного контроля или замораживания активов, при необходимости они всегда могут быть использованы.

Российская Федерация занимает достаточно сильные позиции на мировом рынке драгоценных металлов:

– 1-е место по добыче палладия,
– 2-е место по добыче платины (после ЮАР),
– 3-е место по добыче золота (после Китая и Австралии) (рис. 5.9),
– 5-е место по добыче серебра (после Мексики, Перу, Китая, Чили),
– 6-е место по объему золотых резервов государства.

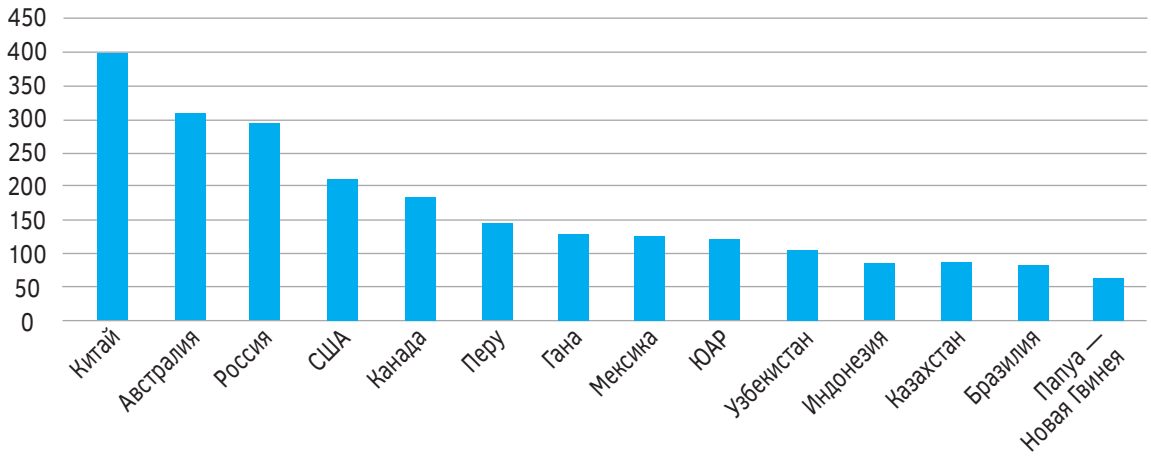


Рис. 5.9. Добыча золота по странам (2018 г.)

Наряду с ЮАР Россия является мировым лидером по размеру сырьевой базы золота, в ее недрах заключено почти 12% его мировых запасов. Государственным балансом запасов полезных ископаемых Российской Федерации учитывается в недрах более 13,1 тыс. т драгоценного металла; на долю разведанных приходится более 8 тыс. т. По объему добычи металла из недр Россия в 2017 г. заняла третье место в мире после Китая и Австралии.

Запасы серебра в недрах РФ подсчитаны в количестве 121,7 тыс. т. Это одна из крупнейших сырьевых баз серебра, заключающая около 8% его мировых ресурсов. Россия занимает пятую позицию в мире по объему сырьевой базы серебра, уступая Мексике, Перу, Китаю

и Чили. Качество руд российских месторождений в целом соответствует мировым аналогам. Серебряные месторождения заключают около 21% российских запасов серебра.

Минерально-сырьевая база металлов платиновой группы (МПГ) Российской Федерации значительна и составляет 15 тыс. т. Промышленные запасы эксплуатируемых и осваиваемых месторождений в России достигают 4 тыс. т, т. е. составляют примерно пятую часть мировых, поэтому РФ прочно занимает вторую позицию в мире после ЮАР.

По разведанным запасам золота Россия занимает четвертое место в мире (после ЮАР, США и Канады) и первое место среди стран СНГ. Россыпи составляют 20% запасов, коренные месторождения — 52%, комплексные — 28%.

Стратегическое значение рынка драгоценных металлов для России определяется стабильным поступлением налогов из данной сферы экономики в доходную часть бюджета, а также пополнением золотовалютных резервов Российской Федерации — Золотого запаса, Государственного фонда драгоценных металлов и драгоценных камней, Алмазного фонда.

Процесс либерализации сферы добычи, производства, использования и обращения драгоценных металлов, формирование и переход к рыночным механизмам регулирования российского рынка драгоценных металлов в середине 90-х гг. XX в. вызвал резкий спад объемов добычи и производства драгоценных металлов, уменьшение спроса на отечественную продукцию из драгоценных материалов, ухудшение социально-экономических условий золотодобывающих и перерабатывающих регионов.

Рынок драгоценных металлов представляет собой механизм, являющийся важнейшей составной частью производства, распределения и потребления финансовых активов, обеспечивающий и регулирующий потребности путем реализации продуктов добычи и перераспределения высвобожденных запасов.

В современной экономике роль драгоценных металлов существенно изменилась — золото больше не является «мировыми деньгами», но благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам драгоценные металлы все шире входят в сферу промышленного производства, особенно в отраслях, использующих новейшие технологии. Высокая удельная ценность (редкость, компактность, возможность неоднократного потребления и длительного использования), ликвидность (развитая сеть сбыта и постоянный спрос) определяют использование драгоценных металлов в качестве финансовых активов.

Инвестиции в людей

По всему миру в золотодобывающей промышленности напрямую занято более 1 млн человек (на 2013 г.), еще более 3 млн человек — в снабжении. Золотодобыча не обеспечивает большого количества рабочих мест по сравнению с другими отраслями, однако ценятся они выше.

Работа в золотодобывающей промышленности оплачивается существенно выше, чем в других отраслях. Особенно это характерно для развивающихся стран, где на каждого работника приходится большое число членов семьи, которых он обеспечивает. Так, в Кот-д'Ивуаре или Монголии самый низкооплачиваемый работник горнодобывающего предприятия зарабатывает в 3,5 раза больше средней местной зарплаты.

На предприятиях в большинстве регионов мира 90% работников — местные жители. В этом смысле отрасль работает очень хорошо, например, по сравнению с нефте- и газодобывающей промышленностью, в которых основная рабочая сила — иностранные специалисты или люди, не проживающие на постоянной основе в районе добычи.

Также в деятельности золотодобывающих компаний в различных странах мира важное место занимает развитие и обучение своего персонала. Так, в среднем на работника предприятия в год приходится около 30 часов технической подготовки.

Поддержка местных сообществ

Важнейшее значение в деятельности современной золотодобывающей компании играет получение и поддержка социальной лицензии на добычу. Социальная лицензия налагает на предприятие обязательства по существенному инвестированию в улучшение

социально-экономической жизни местного сообщества. На рис. 5.10 представлена диаграмма, в которой указаны основные сферы инвестиций золотодобывающих компаний в местные сообщества. В целом, в приоритете золотодобывающих предприятий находятся вопросы здравоохранения.

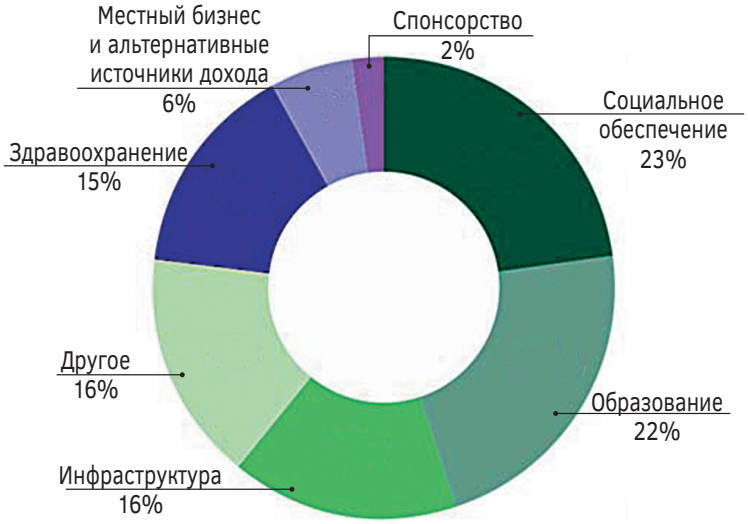


Рис. 5.10. Инвестиционные затраты золотодобывающих компаний в различные социально-экономические сферы жизни местного сообщества

Основные области применения драгоценных металлов

В условиях произошедшей демонетизации драгоценные металлы выполняют двойную функцию:

– с одной стороны, слитки и монеты из драгоценных металлов являются объектом банковского и биржевого оборота, входят в состав государственных и международных золотовалютных резервов и тезаврационных фондов, выступают важнейшим ресурсом, способным обеспечить экономический и финансовый потенциал государства-продуцента, гарантировать стабильность банка, а также благосостояние отдельного человека. Основой мировой финансовой системы на данный момент является американский доллар, обеспеченный всеми активами США, в том числе и самыми большими в мире золотыми резервами, что объясняет стремление как государств, так и частных владельцев поддерживать золотые активы в высоколиквидном состоянии. Многие страны постоянно котируют стоимость национальных золотых запасов в соответствии с мировыми ценами;
– с другой стороны, драгоценные металлы остаются важнейшим видом военно-стратегического и промышленного сырья, без которого невозможно функционирование предприятий ВПК, электроники, а также гражданского самолетостроения, ювелирной, автомобильной, химической промышленности и многих других отраслей народного хозяйства. Распределение драгоценных металлов по отраслям промышленности приведено на рис. 5.11. Несмотря на тот факт, что индустриальные державы активно финансируют программы поиска технологий, направленных на минимизацию использования драгоценных металлов, уменьшение их промышленного потребления не наблюдается.

С конца XX в. золото, серебро, платина и палладий становятся цифровыми деньгами для проведения платежей и расчетов с помощью электронных систем. Такое решение приняли разработчики глобальных компьютерных финансовых систем, опираясь на довод: компьютерная валюта должна быть независима от тенденций национальных экономик. В настоящее время функционируют четыре системы цифрового золота: e-gold, DigiGold, GoldMoney и E-dinar, обороты которых составляют миллиарды долларов США.

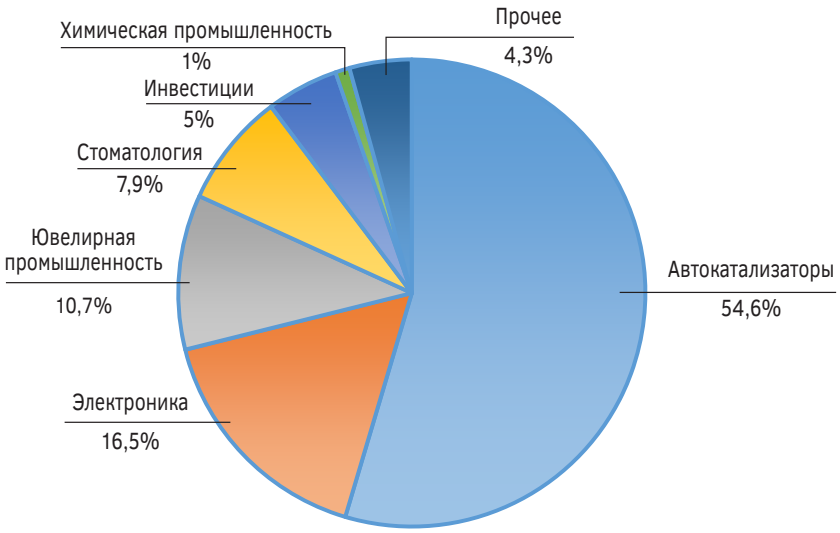


Рис. 5.11. Применение драгоценных металлов в промышленности

Однако пользователями данных систем являются пока только частные лица, в будущем предполагается привлечь и центральные банки, которые обладают значительными объемами запасов золота.

В периоды кризисов, политических и экономических неурядиц драгоценные металлы способны выполнять функцию чрезвычайных мировых денег. Это подтверждает тот факт, что значительная часть золота (около 22% от общего объема, добытого за всю историю человечества, что составляет почти 33 тыс. т) продолжает храниться в государственных резервах многих стран.

Возможность сохранения денежных функций драгоценными металлами обусловлена, прежде всего, их естественными природными свойствами, ограниченностью и редкостью нахождения в природе, а также трудностью их добычи.

В настоящее время драгоценные металлы являются объектом купли-продажи на международных и внутренних товарных и финансовых рынках, а также первичного и вторичного, биржевого и внебиржевого рынков. Торги по золоту, серебру, платине и палладию проводятся ежедневно, а в средствах массовой информации также ежедневно публикуются текущие котировки на металлы. Мировые цены на драгоценные металлы по сложившимся десятилетиями традициям устанавливаются в долларах США в расчете за тройскую унцию (31,1 г), а внутренние цены — в национальной валюте. Динамика цен на драгоценные металлы приведена на рис. 5.12.

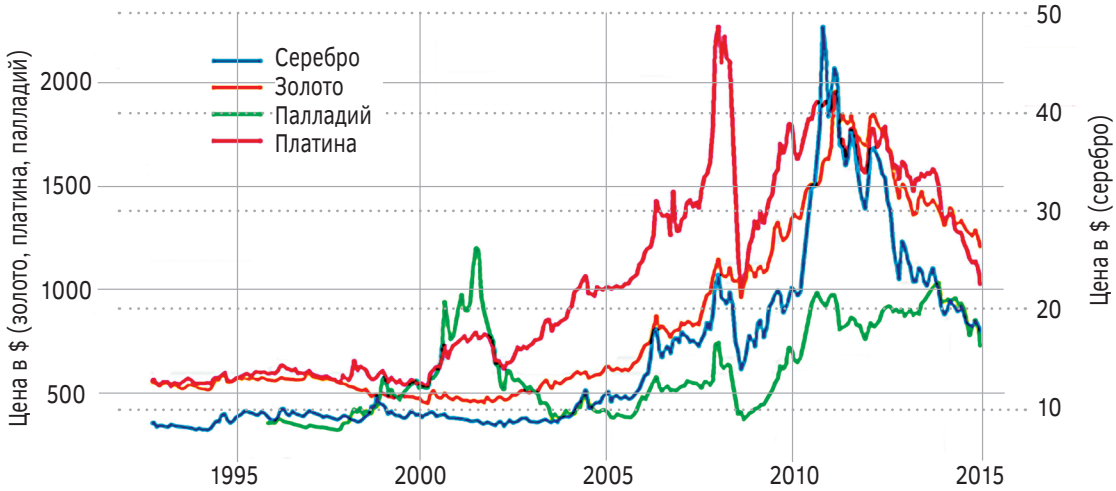


Рис. 5.12. Динамика цен на драгоценные металлы

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Применяемые для добычи драгоценных металлов технологии должны обеспечивать рентабельное производство при рациональном использовании природных ресурсов и допустимом техногенном воздействии на окружающую среду. В настоящее время все чаще наблюдается вовлечение в переработку руд низкого качества, содержащих металл в труднодоступном («упорном») виде, требующем применения особых методов переработки. Эти факторы не способствуют снижению себестоимости добычи. Появление новых месторождений, масштабных, с высоким содержанием легкодобываемых металлов маловероятно. Для сохранения конкурентоспособности российской отрасли добычи драгоценных металлов необходимо применение высокоэффективных, но в то же время малозатратных технологий. Технологии, реализация которых позволит улучшить технико-экономические показатели процесса добычи драгоценных металлов, повысить эффективность охраны окружающей среды, рассмотрены ниже.

Обжиг мышьяковистых концентратов с последующим цианированием

Обжиг мышьяковистых концентратов с последующим цианированием огарка. Технология включает в себя измельчение до крупности минус 0,1–1 мм и гравитационно-флотационное обогащение золотосульфидных руд с получением золото-мышьяковистых концентратов с содержанием золота не менее 30 г/т, окислительный обжиг концентратов при температуре 350–800° С с очисткой пылегазовых выбросов, цианирование огарка, обезвреживание цианистых отходов.

Цианирование медистых руд

Цианирование медистых руд (*либо продуктов обогащения*) с кондиционированием хвостовых растворов. Технология включает в себя измельчение руды до крупности минус 0,1 мм (*обогащение*), цианирование измельченного продукта в агитационном сорбционном режиме при концентрации NaCN 0,2–3 г/л, фильтрацию хвостов цианирования до остаточной влажности кека 10–30%, складирование кека в полусухое хвостохранилище, кондиционирование цианистых фильтратов с регенерацией NaCN и возврат кондиционированных растворов и регенерированного NaCN в технологический цикл предприятия.

Тиокарбамидное выщелачивание концентратов

Тиокарбамидное выщелачивание богатых золото- и серебросодержащих концентратов. Технология включает в себя фильтрационное выщелачивание богатых (содержание серебра не менее 5 кг/т) золото-серебряных концентратов растворами с концентрацией тиокарбамида 10–20 г/т и серной кислоты 5–10 г/л, электролитическое осаждение драгоценных металлов из фильтратов, оборотное использование обезметалленных растворов в цикле выщелачивания.

Цианирование золотосодержащих хвостов обогащения полиметаллических руд

Технология включает в себя цианирование хвостов обогащения крупностью минус 0,1 мм в агитационном режиме при малой концентрации NaCN 0,01–0,05 г/л, минимизирующей нецелевой расход NaCN на растворение примесей, со складированием пульпы в наливное хвостохранилище (без обезвреживания).

Обезвреживание от токсичных соединений озоном

Обезвреживание цианидсодержащих сточных вод и хвостовых пульп озоном от токсичных соединений, включая цианиды, тиоцианаты, металлы, органические соединения.

Ионообменная очистка шахтных и карьерных вод

Ионообменная очистка шахтных и карьерных вод от токсичных примесей, включая тяжелые металлы, для подготовки их к сбросу в природные водоемы.

Кондиционирование технологических растворов и оборотных вод с использованием озона

Кондиционирование технологических растворов и оборотных вод с использованием процесса озонирования с целью регенерации свободного цианида и удаления примесей, мешающих извлечению драгоценных металлов.

Значительный прорыв в использовании метода биовыщелачивания руд драгметаллов должна обеспечить возможность применения этой технологии в холодном климате под открытым небом, в режиме кучного или кюветного выщелачивания. Аналогичные процессы разработаны для никелевых и медных сульфидных руд, и их применение на золото-сульфидных рудах, видимо, не будет иметь радикальных отличий, хотя и потребует специального подбора экономичных и эффективных реагентов — растворителей золота.

Еще одним потенциально весьма перспективным методом может стать сочетание автоклавного и бактериального выщелачивания — с использованием бактерий, которые могут жить под высоким давлением и аналоги которых обитают в подводных вулканах Мирового океана на большой глубине.

Основными тенденциями в производстве горного оборудования на ближайшие несколько лет останутся разработка и внедрение новых технологий с ориентиром на автоматизацию и роботизацию; на защиту окружающей среды, в частности, сокращение выбросов CO_2 за счет перехода на использование техники на электроприводе, а также гибридные решения; безопасность — самого оборудования и работников. Конечной же целью развития по всем перечисленным направлениям является повышение эффективности, производительности и, следовательно, экономичности горных работ и рентабельности предприятия в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Алексеев, Г. В.* Арктическое пространство России в XXI веке: факторы развития, организация управления / Г. В. Алексеев, С. К. Антипов, А. И. Афоничкин, Е. А. Афоничкина и др. ; под ред. В. В. Ивантера. — СПб. : Наука, 2016. — С. 538–553.
2. *Аман, И. П.* Открытая разработка месторождений / И. П. Аман. — Пермь : ПГТУ, 2005. — 84 с.
3. *Андреев, Б. Н.* Открыто-подземная разработка рудных месторождений / Б. Н. Андреев, И. Н. Ошмянский, А. Д. Черных. — Киев : Техника, 2010. — 520 с.
4. *Арсентьев, А. И.* Разработка месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом / А. И. Арсентьев. — СПб. : Санкт-Петербургский горный институт, 2009. — 136 с.
5. *Баликов, С. В.* Золото: Геологические аспекты / С. В. Баликов, В. Е. Дементьев. — Иркутск : ОАО «Иргиредмет», 2015. — 414 с.
6. *Баликов, С. В.* Золото: Свойства. Геохимические аспекты / С. В. Баликов, В. Е. Дементьев. — Иркутск : ОАО «Иргиредмет», 2015. — 327 с.
7. Геолого-промышленные типы месторождений золота // Вестник золотопромышленника : отраслевой портал агенства «Прайм». — https://archivegold.1prime.ru/gold/info/info04.asp (дата обращения: 23.10.2019). — Загл. с экрана.
8. *Голик, В. И.* Специальные способы разработки месторождений / В. И. Голик. — М. : Инфра-М, 2014. — 131 с.
9. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2011 году» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. — М., 2012. — 333 с.
10. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2015 году» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. — М., 2016. — 341 с.
11. *Дмитрак, Ю. В.* АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» — путь длиной в 65 лет / Ю. В. Дмитрак, Е. Н. Камнев // Горный журнал. — 2016. — № 3. — С. 6–12.
12. *Дружинин, А. В.* Основные типы промышленных месторождений серебра / А. В. Дружинин, Е. В. Карелина // Вестник РУДН. Сер. Инженерные исследования. — 2008. — № 1. — С. 35–41.

13. *Дудинский, Ф. В.* Определение основных параметров открытой разработки месторождений с горизонтальным и пологим залеганием пласта / Ф. В. Дудинский, К. Б. Нечаев // Вестник ИрГТУ. — 2014. — № 11 (94). — С. 122–127.
14. *Евдокимов, С. И.* Повышение извлечения золота на основе совместной переработки руды и отходов / С. И. Евдокимов, В. С. Евдокимов // ФТПРРМПИ. — 2017 — № 2. — С.154–160.
15. ИТС 23–2017. Добыча и обогащение руд цветных металлов / Росстандарт. — М. : Бюро НДТ, 2017. — 336 с.
16. ИТС 49–2017. Добыча драгоценных металлов / Росстандарт. — М. : Бюро НДТ, 2017. — 143 с.
17. *Каплунов, Д. Р.* Комбинированная разработка рудных месторождений / Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова. — М. : Горная книга, 2012. — 344 с.
18. *Каплунов, Д. Р.* Научно-методические основы проектирования экологически сбалансированного цикла комплексного освоения и сохранения недр Земли / Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова, Д. Н. Радченко // ГИАБ. Вып. 3 : Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России. — 2015. — № 4 (спец. вып. 15). — С. 5–11.
19. *Комогорцев, Б. В.* Проблемы переработки бедных и упорных золотосодержащих руд / Б. В. Комогорцев, А. А. Вареничев // ГИАБ. — 2016. — № 2. — С. 204–218.
20. *Костромин, М. В.* Проблемы дражной разработки континентальных россыпей / М. В. Костромин, Г. А. Юргенсон, С. Г. Ползутко. — Новосибирск : Наука, 2007. — 180 с.
21. *Костромин, М. В.* Эксплуатационные потери песков в межшаговых и межходовых целиках при дражной разработке россыпей / М. В. Костромин, Д. М. Грешилов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 8. — С. 80–87.
22. *Костромитинов, К. Н.* Оценка эффективности отработки месторождений драгоценных металлов / К. Н. Костромитинов, В. М. Лысков. — Иркутск : Изд-во БГУЭП, 2015. — 530 с.
23. *Котляр, Ю. А.* Металлургия благородных металлов / Ю. А. Котляр, М. А. Меретуков. — М. : АСМИ, 2002. — 466 с.
24. *Кривенко, А. П.* Типы месторождений, запасы, добыча и рынок платиновых металлов / А. П. Кривенко, А. И. Глотов // Вестник МГТУ. — 2000. — № 2 (3).
25. *Луняшин, П.* Золотая история планеты земля / П. Луняшин // Золото и технологии. — 2013. — № 2 (20). — URL: http://zolteh.ru/reviews/zolotaya-istoriya-planety-zemlya/ (дата обращения: 28.10.2019).
26. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [официальный сайт]. — URL: http://www.mnr.gov.ru/ (дата обращения: 28.10.2019).
27. Министерство финансов Российской Федерации [официальный сайт]. — URL: http://minfin.ru (дата обращения: 28.10.2019).
28. *Михайлов, Ю. В.* Подземная разработка месторождений полезных ископаемых / Ю. В. Михайлов. — М. : Academia, 2008. — 320 с.
29. Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов : в 2 т. / под ред. М. И. Фазлуллина. — М. : ИД «Руда и Металлы», 2005.
30. *Ракишев, Б. Р.* Комплексное использование руды на предприятиях цветной металлургии Казахстана // Горный журнал. — 2013. — № 7.
31. *Секисов, А. Г.* Перспективы использования шахтного выщелачивания при разработке золоторудных месторождений / А. Г. Секисов, Ю. С. Шевченко, А. Ю. Лавров // ФТПРРМПИ. — 2016. — № 1. — С. 110–116.
32. Справочник по разработке россыпей / под общ. ред. В. П. Березина, В. Г. Лешкова, Л. П. Мацуева, С. В. Потемкина. — М. : Недра, 1973. — 502 с.
33. Стратегия развития арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г. — М., 2010.
34. *Фоменко, А. А.* Использование техногенных скоплений и забалансовых руд цветных металлов в контексте экономики природопользования / А. А. Фоменко // Горный журнал. — 2013. — № 2.
35. *Чернявский, А. Г.* О геолого-экономической и стоимостной оценке объектов твердых полезных ископаемых / А. Г. Чернявский // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2013. — № 2. — С. 19–26.
36. *Talgamer, B. L.* The nature protection technology of dragging / B. L. Talgamer, D. E. Machno // 8th International IAEG Congress, Rotterdam, 2000. — Rotterdam : Balkema, 2000. — P. 4363–4365.
37. U. S. Geological Survey [Official Web-site]. — URL: http://www.usgs.gov (accessed: 28.10.2019).
38. *Yurgenson, G. A.* Geotechnogeneisis problems / G. A. Yurgenson // Journal of Geosciences. — 2004. — Vol. 7 (1). — P. 92–96.