

Ивановский М.Д., Зефилов А.П.

Металлургия золота

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 66.0
ББК 35
И17

И17 **Ивановский М.Д., Зефилов А.П.**
Металлургия золота / Ивановский М.Д., Зефилов А.П. – М.: Книга по Требо-
ванию, 2013. – 457 с.

ISBN 978-5-458-48625-5

ISBN 978-5-458-48625-5

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2013

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2013

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава XII. Извлечение золота из цикла измельчения	
Аккумуляция золота в циркуляционной нагрузке	175
Методы извлечения свободного золота из цикла измельчения—классификация	176
1. Методы амальгамации	176
А. Внутренняя амальгамация	176
Б. Внешняя амальгамация	177
2. Гравитационные методы извлечения золота из цикла измельчения	179
А. Концентрационные столы	180
Б. Ворсистые шлюзы	182
В. Гидравлические ловушки	182
Г. Отсадочные машины	184
Д. Флотационные машины с гидравлическими ловушками	185
Часть четвертая	
Цианирование	
Исторические сведения	189
Глава XIII. Растворение золота и серебра в цианистых растворах	
Процесс растворения	190
Роль кислорода при растворении золота	192
Восстановители	193
Применение окислителей	194
Концентрация цианистых растворов	194
Влияние температуры	197
Значение формы, размера и состава частиц золота	199
Растворимость кислорода в цианистых растворах	201
Глава XIV. Расход цианида	
Причины потерь цианида	204
Механические потери цианида	204
Химические потери цианида	205
1. Разложение цианистых растворов	205
2. Взаимодействие цианистых растворов с неблагородными металлами и их соединениями	207
А. Соединения железа	208
Б. Соединения меди	211
В. Соединения мышьяка и сурьмы	213
Г. Соединения цинка	214
Д. Соединения свинца	215
Е. Соединения ртути	215
Ж. Соединения селена и теллура	216
Утомление цианистых растворов	217
Применение различных цианидов для извлечения золота и серебра	217
Глава XV. Перколяционный процесс	
Методы цианирования	221
Сущность процесса перколяции	223
Скорость перколяции	224
Равномерность фильтрации растворов	225
Влияние ила на процесс перколяции	226
Влага, удерживаемая песком	227
Нагрузка песка	227
1. Способы сухой нагрузки	228
А. Нагрузка из вагонеток	228
Б. Механическая нагрузка системой ленточных транспортеров с передвижной разгрузочной тележкой	228
В. Механическая нагрузка системой ленточных транспортеров с распределителем (аэратором) Блейделли	229
Г. Сухая нагрузка влажного песка	230
2. Гидравлическая нагрузка песка	230

ОГЛАВЛЕНИЕ

А. Ручная нагрузка из рукава	230
Б. Нагрузка при помощи желобов	231
В. Нагрузка при помощи распределителя Буттерса и Мейна	231
3. Нагрузка с одновременной классификацией материала на песок и ил	233
4. Сравнительная характеристика различных способов нагрузки	234
Выгрузка песка	234
1. Сухая выгрузка вручную	234
2. Сухая выгрузка механическим путем при помощи экскаватора Блейделля	234
3. Гидравлическая выгрузка	235
Обработка песка растворами	236
1. Направленно движения растворов	236
2. Количество и концентрация щелочистых растворов	237
3. Порядок заливки растворов	237
1. Обработка песков растворами при периодической перколяции	237
А. Заливка крепкого раствора NaCN	238
Б. Промывание или аэрация песка	239
В. Заливка средних растворов NaCN	239
Г. Промывка слабыми растворами NaCN	240
Д. Промывка водой	240
Е. Предварительная промывка песка водой, щелочью или кислотой	240
Ж. Введение защитной щелочи	241
Применение вакуума	241
Искусственная аэрация песка сжатым воздухом	242
Продолжительность обработки	242
Расход реагентов	242
Извлечение золота	242
Оборудование перколяционных заводов (секторов)	244
1. Перколяционные чаны	244
2. Расчет перколяционных чанов	249
3. Растворные чаны	254
4. Общее расположение приборов на эффельном заводе (секторе)	255
Глава XVI. Иловый или агитационный процесс	
Свойства ила	256
Сущность илового процесса	257
Сгущение	257
1. Теория процесса сгущения	257
2. Аппараты для сгущения ила	260
А. Сгуститель Дорра	260
Б. Определение размеров сгустителя Дорра	265
В. Сгуститель Дорра с несколькими отделениями (много-ярусные)	271
Г. Сгустители Гентера	272
Агитация	275
1. Общие условия растворения золота при иловом процессе	275
2. Агитаторы	276
А. Механический агитатор-мutilка	276
Б. Агитатор Денвера	277
В. Пневматический агитатор Пачука (Броуна)	278
Г. Пневматический агитатор Парратя (механическо-пневматический)	280
Д. Комбинированный агитатор Дорра	281
Е. Сверхагитатор Денвер-Уоллеса	283
3. Системы агитации	285
4. Определение размеров чанов-агитаторов	287
5. Определение прочих размеров чанов-агитаторов	288
Глава XVII. Отделение золотосодержащих растворов от обессоло-ченного ила	
Периодическая декантация	288

ОГЛАВЛЕНИЕ

Непрерывная протитовочная декантация в системе сгустителей Дорра	291
Фильтрация	293
1. Вакуум-фильтры периодического действия типа Беттеса	293
2. Вакуум-фильтры непрерывного действия	299
А. Барабанный вакуум-фильтр Олтивера	299
Б. Барабанный вакуум-фильтр Дорра	303
В. Дисковый вакуум-фильтр «Америкен»	304
3. Извлечение золота при фильтрации	306
4. Определение размеров вакуум-фильтров непрерывного действия	307
5. Схемы отделения золотосодержащих растворов с применением вакуум-фильтров	308
6. Фильтр-прессы	310
А. Рамный фильтр-пресс	310
Б. Камерный фильтр-пресс	311
В. Фильтр-пресс Меррилла	311
Глава XVIII. Осаждение золота	
Осаждение цинком	312
1. Теория осаждения	312
2. Осветление золотосодержащих растворов	316
3. Осаждение цинковой стружкой	317
4. Осаждение цинковой пылью	322
Осаждение алюминием	330
Осаждение древесным углем	331
Глава XIX. Обработка осадков	
Непосредственная плавка осадков	333
Сжиг и плавка осадков	334
Обработка кислотами, сушка и плавка осадков	334
Процесс Тавенера	337
Брикетирование, плавка в шахтной печи и купелирование веркблей	337
Глава XX. Схемы процессов обработки золотосодержащих руд	
Типичные схемы процессов обработки золотосодержащих руд	338
Извлечение руды в цианистом растворе	344
Примеры на практике	345
1. Концентрация руды с амальгамацией концентрата. Фабрика рудника Гранада (Канада)	345
2. Амальгамация, концентрация и цианирование по раздельному процессу	347
3. Полный иловый процесс	350
4. Совместная обработка песков и илов агитацией	352
Часть пятая	
Специальные процессы. Вспомогательные процессы и аппаратура.	
Выбор и составление схем технологического процесса	
Глава XXI. Специальные процессы	
Флотация золотосодержащих руд	355
1. Назначение процесса	355
2. Флотация свободного золота	358
3. Флотация золотых руд	360
4. Машины для флотации золотых руд	361
5. Введение однодейковых флотационных машин в замкнутый цикл мельницы — классификатор	361
6. Схемы флотации золотых руд	363
7. Флотация и ипанирование концентрата. Беркуловская золотозелезнательная фабрика (Западная Сибирь)	365
Обработка концентратов	370
Обработка медистых золотосодержащих руд	372

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Предварительно ^е выщелачивание растворимых соединений меди	372
2. Регенерация цианистых растворов	374
3. Цианирование растворами низкой концентрации	378
4. Ферритизирующий обжиг	378
Обработка мышьяковистых и сурьмянистых руд	379
Обработка руд, содержащих углеродистые вещества	380
Обработка теллуристых руд	380
1. Обжиг и цианирование	381
2. Обработка руды ^а бромоцианированием без предварительного обжига (процесс Дили)	381
3. Флотация и цианирование	382
Цианирование, осаждение золота древесным углем и флотация осадка	382
Глава XXII. Контроль технологического процесса	
Определение тоннажа обработанной руды	384
» » обработанного песка и ила	385
Опробование руды, поступающей на фабрику	386
Опробование руды на содержание влаги	388
Опробование пульпы	390
Опробование эфельных хвостов	391
Опробование кеков с фильтров	392
Опробование цианистых растворов	392
Определение степени измельчения	392
Определение отношения жидкого к твердому в пульпе	395
Определение количества воды в растворах	397
Определение циркулирующей нагрузки при измельчении в замкнутом цикле	397
Определение концентрации растворов по NaCN и щелочи	399
Определение свободного NaCN в растворах, содержащих комплексные соединения цинка	400
Определение свободного цианида в растворах цианпlava	401
Определение общего цианида	401
Определение свободной щелочности цианистого раствора	402
Определение свободной щелочи по методу Грина	402
Определение содержания кислорода в цианистых растворах	402
Вычисление извлечения металлов	407
Глава XXIII. Машины и устройства для внутрифабричного транспорта	
Ленточные транспортеры	409
Элеваторы	415
Винтовые транспортеры или шнеки	417
Центробежные песковые насосы Вильфлея	419
Диафрагмовые всасывающие насосы Доррко	421
Диафрагмовые нагнетательные насосы Доррко	422
Воздушные подъемники (азролифты)	423
Питатели	425
1. Пластинчатые питатели	425
2. Ленточные питатели	476
3. Цепные питатели Росса	427
4. Секторный (малтиковый) питатель	428
Распределители пульпы	429
Глава XXIV. Выбор и составление схем технологического процесса	
Выбор процесса обработки руды	430
Схемы операций	431
Качественная схема операций обработки руды	432
Количественная схема операций обработки руды	434
Схема движения металла или металлургический баланс фабрики	440
Выбор и расчет основной и вспомогательной аппаратуры	444
Схема цепи аппаратов	444
Приложение	445
Л и т е р а т у р а	448

Предисловие

Бурный рост советской золотопромышленности, оснащение ее современным новейшим оборудованием, широкое развертывание на рудниках и приисках стахановского движения с особой остротой поставили вопрос о техническом обучении рабочих кадров и повышении квалификации технического персонала. Эта задача осуществляется при помощи сети курсов техникумов и курсов мастеров социалистического труда, организованных на предприятиях золотой промышленности. Работа курсов затрудняется недостатком соответствующей технической литературы. Частично заполнить этот пробел является задачей авторов.

Данное пособие написано применительно к программе курсов мастеров социалистического труда. Прохождение предмета требует от учащегося знания математики, физики и химии в объеме программ для курсов мастеров. Книга также может служить пособием для студентов техникумов по специальности металлургия благородных металлов.

Обработка золотосодержащих руд представляет собой сложный технологический процесс. Чтобы овладеть техникой этого производства, необходимо изучить теорию и практику технологических процессов, условия работы оборудования и принципы организации работ на отдельных участках. Эти знания являются основными предпосылками для улучшения процесса, повышения производительности оборудования и снижения стоимости продукции.

Главным процессом извлечения золота из руд является цианирование, с которым в большинстве случаев связаны процессы гравитационного обогащения и амальгамации. Описание этих процессов составляет основное содержание книги. Вспомогательные операции дробления, измельчения, грохочения и классификации освещены кратко ввиду ограниченного объема книги и наличия значительного количества пособий по обогащению руд. По тем же причинам флотационный процесс обогащения освещен только с точки зрения применения его к обработке золотосодержащих руд. Значительное место в книге отведено контролю процессов обработки руд ввиду важности

ПРЕДИСЛОВИЕ

этого вопроса для производства. В конце книги кратко описаны основные транспортные устройства и дается понятие о схемах золотопырьевых фабрик.

Главы I—IV и VII—XII написаны А. П. Зефириным, главы V, VI, XIII—XXIV — М. Д. Ивановским.

Авторы

Часть первая

СВОЙСТВА ЗОЛОТА, ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИЕ РУДЫ И ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ ИХ ОБРАБОТКИ

ГЛАВА I

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ МИРОВОЙ ДОБЫЧИ ЗОЛОТА

Золото, находящееся в природе в самородном состоянии в виде зерен (иногда крупного размера), своим цветом и блеском обратило на себя внимание еще первобытного человека. Сравнительная легкость добычи и обработки его (вследствие высокого удельного веса, мягкости, ковкости и низкой температуры плавления) обеспечила значительное развитие золотодобычи уже в древние века. Золото широко добывалось ассирийцами, вавилонянами, египтянами, греками и римлянами.

Красивый желтый цвет и блеск и сравнительно малое количество золота в природе способствовали первому применению его в качестве предметов украшения. Затем золото начало обращаться при обмене товаров в виде слитков, и только в VII в. до нашего летоисчисления появились первые чеканные монеты. По дошедшим до нас сведениям, добыча золота в древние времена осуществлялась в Африке (Верхний Египет, Нубия), нынешних Испании, Венгрии, Богемии, Галиции, на Кавказе и в других местах. Более или менее точных сведений о количестве добытого металла не сохранилось, однако косвенные данные указывают, что добыча золота достигала значительных размеров, что подтверждается величиной даней, взимаемой с побежденных народов (6 т золота и больше). Добыча золота в этот период представляла собой отрасль рабовладельческого хозяйства и основывалась на применении главным образом ручного труда. Обработка руды осуществлялась посредством дробления в ступах, истирания на жерновах и промывкой водой. Для грохочения и контроля измельчения руды применялись сита.

В период после падения Римской империи (V—VI в.) в связи с общим упадком хозяйства добыча золота и серебра замерла на несколько столетий. В эпоху Возрождения (XIV, XV вв.) возрастающий товарооборот вызвал развитие золотодобычи, и в Европе начинает неуклонно расти добыча драгоценных металлов на территориях современных Венгрии, Богемии, в Зальцбурге, на Гарце. Новый период в развитии золотой промышленности начался с момента открытия Америки в 1492 г., из которой в Европу потекло большое количество драгоценных металлов. Приток золота в Европу содействовал разру-

шенню натуральных форм хозяйства и замене его товарным хозяйством. С 1493 по 1680 г. добыча золота возросла с 5,8 *т* до 9,26 *т*.

Значительный рост золотодобычи относится ко времени с 1681 по 1760 г., приуроченному к открытию богатейших россыпей в Бразилии (Южная Америка). Этот период характеризуется некоторым усовершенствованием техники золотодобычи: появляются мощные гидравлические установки для разработки и промывки россыпей, вводятся толчеиные установки для мокрого дробления и измельчения с одновременным извлечением золота амальгамацией. Дальнейший расцвет добычи золота относится к периоду с 1821 по 1848 г. что связано с разработкой новых месторождений Урала и Сибири. За это время добыча золота возросла до 54,76 *т* в год, и первенство по добыче его заняла Россия. С 1848 по 1870 г. начинается блестящий период развития золотопромышленности, обусловленный открытием и эксплуатацией богатейших россыпных месторождений в Калифорнии и Австралии. Мировая золотодобыча в эти годы достигла 195 *т* в год. Этому способствовал рост капиталистического хозяйства: широкое развитие техники, внедрение паровых двигателей, рост сети железнодорожного транспорта. Разведка, способы эксплуатации месторождений и извлечение металла ставятся на новые, технически более усовершенствованные пути.

С 1871 по 1890 г. наблюдается некоторое снижение добычи золота (до 169,8 *т*), вызванное истощением Калифорнийских и Австралийских россыпных месторождений. Но потребность в драгоценных металлах и стремление сохранить золотодобычу на прежнем уровне заставляют переключиться на эксплуатацию более бедных, ранее считавшихся непромышленными, месторождений. Это вызывает необходимость применения более совершенных технических приемов, в соответствии с чем развивается механизация добычи и промывки россыпей. Успевается также эксплуатация месторождений рудного золота. Для обработки золотых руд строятся амальгамационные толчеиные фабрики, включаются в обработку более упорные (трудно обрабатываемые) сульфидные руды с применением для этого обжиги, процесса хлоринации и плавки на штейн.

Наибольший расцвет золотой промышленности наступил с 1890 г. после открытия исключительных по запасам, но небогатых по содержанию золота, коренных месторождений на юге Африки, в Трансваале, которые начали давать около 50% мировой добычи. За 40 лет там было добыто золота столько, сколько за все предшествующие 400 лет во всем мире.

В этот же период были открыты новые месторождения в Индии (1888 г.), на Аляске и Канадском Клондайке.

С начала XX в. золотодобыча быстро увеличивается. В 1900 г. было добыто 380 *т* золота, в 1915 г. 708 *т*, т. е. почти вдвое больше.

Столь быстрый рост добычи золота в начале XX в. был вызван не столько открытиями новых богатых месторождений золота, сколько повышением спроса на золото вследствие введения в обращение

государств золотого обращения и успехами, достигнутыми в технике обработки золотосодержащих руд.

В 1887—1888 г. был разработан промышленный способ извлечения золота из руд цианированием, который быстро получил широкое распространение во всех странах, добывающих золото.

Развитие техники обработки золотосодержащих руд сделало возможным эксплуатацию ряда месторождений, разработка которых считалась невыгодной вследствие низкого содержания золота в рудах или упорного характера последних, а также мощных отвалов хвостов старых и новых амальгамационных и обогатительных фабрик. На разработке этих громадных запасов убогих руд и отвалов в значительной степени базируется быстрый рост золотодобычи за последние 30 лет.

За годы империалистической войны наблюдается некоторое падение золотодобычи, вызванное экономической депрессией. Но, начиная с 1922 г., добыча золота вновь увеличивается. Особенно заметного развития в капиталистических странах золотая промышленность достигла в годы последнего экономического кризиса, когда усилился приток капиталов из других отраслей промышленности, потрясенных кризисом. В результате этого мировая (без СССР) золотодобыча в 1936 г. достигла 873,5 т.

В табл. 1 приводятся данные по добыче золота по странам (без СССР) в 1933 и 1936 гг.

Таблица 1

Название стран	Количество добытого золота, кг	
	1933 г.	1936 г.
Трансвааль	342526,471	352642,9
США (включая Филиппинские острова)	79499,850	134134,0
Канада	91723,510	116625,0
Австралия и Океания	35841,848	50319,6
Южная Америка	28286,065	46650,0
Япония	19979,449	29798,8
Родезия	20080,866	24973,3
Мексика	19833,310	24320,2
Конго, Мадагаскар и др.	12449,392	26683,8
Европа (без СССР)	12624,454	26435,0
Западная Африка	10515,221	16265,3
Китай	9340,543	11911,3
Британская Индия	10452,897	10263,0
Центральная Америка	2708,033	528,7
Ост-Индия	2451,675	2021,5
Всего	699222,000	873567,9

Главнейшими производителями золота являются Южная Африка, СССР, США и Канада, расположенные в той последовательности, в которой они стоят друг к другу по своей добыче. Эти четыре страны дают вместе большую часть мировой добычи золота.

В первоначальной стадии развития золотого промысла добыча металла была сосредоточена главным образом на россыпных месторождениях, разработка которых требует меньше средств и более простого оборудования. Но россыпи, будучи сравнительно маломощными, с течением времени довольно быстро истощаются, особенно при механизированных разработках крупного масштаба. Поэтому золотая промышленность начинает идти по линии развития разработки коренных рудных месторождений, которые в силу мощности запасов и длительных сроков эксплуатации допускают большие капиталовложения и применение более сложных, но и более эффективных металлургических процессов. До середины XIX в. почти все золото добывалось из россыпей. Еще в 1875 г. 90% мировой добычи приходилось на долю россыпного золота. В настоящее же время около 90% мировой добычи составляет уже рудное золото, которое является основной базой современной золотопромышленности в передовых золотодобывающих странах. Будущее золотопромышленности СССР заключается также в перенесении центра тяжести на разработку многочисленных коренных месторождений, причем предметом эксплуатации должны служить руды и с убогим содержанием золота.

ЗОЛОТОПРОМЫШЛЕННОСТЬ СОВЕТСКОГО СОЮЗА

В России начали добывать золото с 1744 г. на Березовских рудниках, на Урале. С 1813 г. там начали разрабатывать россыпное золото, и с этого времени Урал стал одним из крупнейших районов золотодобычи в России. Несколько позже были открыты богатые золотые россыпи на Алтае, в Енисейской и других областях. Весьма крупную роль в развитии золотодобычи сыграло открытие в 1843 г. богатейших россыпей Ленского района. Наибольшее количество золота в дореволюционной России было добыто в 1910 г. — 63 500 кг.

Несмотря на то, что добыча золота в дореволюционной России по своему количественному выражению занимала сравнительно видное место в мировой добыче, тем не менее золотой промышленности как таковой не существовало. По существу это был полукустарный золотой промысел с примитивными методами разработки месторождений и извлечения из них золота, основанными преимущественно на применении ручного труда. Главным образом разрабатывались россыпные месторождения, эксплуатация же коренных месторождений развивалась слабо.

В 1913 г. добыча россыпного золота ручным способом составляла 71%, добыча россыпного золота механическим способом 7% и рудного золота—22%. Рудное золото получалось также главным образом на примитивно оборудованных фабриках небольшого масштаба. Наиболее крупными золотоизвлекательными установками в то время были Кочкарский пловый завод и завод на Центральном руднике Мариинской тайги. К менее усовершенствованным можно отнести амальгамационные фабрики и летние эфельные заводы Березовского, Богомдарованного (ныне Коммунар) и Беркульского