ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ИНФОРМАЦИОННО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ
СПРАВОЧНИК
ПО НАИЛУЧШИМ
ДОСТУПНЫМ
ТЕХНОЛОГИЯМ

ИТС
49 –
2017

ДОБЫЧА ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ

Москва
Бюро НДТ
2017

gost.e-ecolog.ru

Содержание

Введение V
Предисловие VII
Область применения 1
Раздел 1. Общая информация о рассматриваемой отрасли промышленности 2
1.1 Общая информация 2
1.2 Информация о добыче золота в России и в мире 3
1.3 Информация о добыче серебра в России и в мире 21
1.4 Информация о добыче металлов платиновой группы в России и в мире 33
1.5 Применение драгоценных металлов 42
1.6 Анализ приоритетных проблем добычи драгоценных металлов 44
1.6.1 Основные проблемы, связанные с воздействием на окружающую среду в процессе добычи драгоценных металлов 44
1.6.2 Проблемы нормативно-правового регулирования рационального использования недр при добыче драгоценных металлов 45
Раздел 2. Описание технологических процессов, используемых в настоящее время при добыче драгоценных металлов 49
2.1 Добыча драгоценных металлов из россыпных месторождений 49
2.1.1 Горноподготовительные работы 49
2.1.2 Вскрышные работы 50
2.1.3 Разработка и транспортировка песков 51
2.1.4 Переработка песков на промывочных установках 52
2.1.5 Дражный способ разработки россыпных месторождений 53
2.1.6 Подземный способ разработки россыпных месторождений 53
2.1.7 Переработка золотосодержащих концентратов, добытых на россыпных месторождениях 54
2.2 Добыча драгоценных металлов из коренных (рудных) месторождений 54
2.2.1 Способы разработки коренных (рудных) месторождений 54
2.2.2 Технологии первичной переработки минерального сырья 58
2.2.3 Геотехнологии 85
Раздел 3. Воздействие на окружающую среду и текущие уровни эмиссии 88
3.1 Воздействие на окружающую среду при добыче драгоценных металлов из россыпных месторождений 88
3.2 Воздействие на окружающую среду при добыче драгоценных металлов из коренных (рудных) месторождений 92

3.2.1 Воздействие на окружающую среду при разработке коренных (рудных) месторождений открытым способом 92

3.2.2 Воздействие на окружающую среду при разработке коренных (рудных) месторождений подземным способом 97

3.2.3 Воздействие на окружающую среду при первичной переработке минерального сырья 100

3.2.4 Воздействие на окружающую среду при использовании геотехнологий 103

3.3 Данные по обобщенным эмиссиям в окружающую среду предприятий, осуществляющих добычу драгоценных металлов 104

Раздел 4. Определение наилучших доступных технологий 105

Раздел 5. Наилучшие доступные технологии 107

5.1 Перечень НДТ при добыче драгоценных металлов из россыпных месторождений 107

5.2 Перечень НДТ при добыче драгоценных металлов из коренных (рудных) месторождений 107

5.2.1 Перечень НДТ при разработке коренных (рудных) месторождений драгоценных металлов открытым способом 107

5.2.2 Перечень НДТ при разработке коренных (рудных) месторождений драгоценных металлов подземным способом 108

5.2.3 Перечень НДТ по снижению выбросов взвешенных веществ в атмосферный воздух при разработке россыпных и коренных (рудных) месторождений драгоценных металлов 108

5.2.4 Перечень НДТ при первичной переработке минерального сырья процессами обогащения 110

5.2.5 Перечень НДТ при первичной переработке минерального сырья процессами гидрометаллургии 111

5.2.6 Перечень НДТ по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при первичной переработке минерального сырья 113

5.3 Перечень НДТ при первичной переработке минерального сырья применением геотехнологий 114

5.4 Перечень НДТ по обращению с вскрышными и вмещающими породами 114

5.5 Перечень НДТ по оборотному водоснабжению, очистке сточных вод, обезвреживанию и складированию хвостов 115

Раздел 6. Экономические аспекты применения наилучших доступных технологий при добыче драгоценных металлов 117

Раздел 7. Перспективные технологии 124

Заключительные положения и рекомендации 125

Приложение А (справочное) Коды ОКВЭД и ОКПД, соответствующие области применения настоящего справочника НДТ 129

Приложение Б (обязательное) Перечень маркерных веществ 130
Приложение В (обязательное) Перечень технологических показателей 131
Приложение Г (обязательное) Перечень НДТ 133
Приложение Д (обязательное) Энергосбережение и повышение энергоэффективности 135
Приложение Е (справочное) Перечень основного технологического оборудования, применяемого при добыче драгоценных металлов 138
Библиография 142

Введение

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Добыча драгоценных металлов» (далее – справочник НДТ) разработан на основании анализа распространенных в Российской Федерации и перспективных технологий, оборудования, минерального сырья (руд, концентратов, хвостов и т.д.), других ресурсов с учетом климатических, экономических и социальных особенностей Российской Федерации.

В соответствии с положениями Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [1], объекты, оказывающие воздействие на окружающую среду, подразделяются на четыре категории.

Предприятия по добыче драгоценных металлов отнесены к объектам первой категории, относящимся к областям применения наилучших доступных технологий (НДТ). Предприятия первой категории обязаны получать комплексные экологические разрешения на осуществление своей деятельности.

Общая цель комплексного подхода к экологическому нормированию хозяйственной деятельности заключается в совершенствовании регулирования и контроля производственных процессов с целью обеспечения высокого уровня защиты окружающей среды.

Хозяйствующие субъекты должны осуществлять все необходимые меры, направленные на предотвращение загрязнения окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов, в частности, посредством внедрения НДТ, обеспечивающих выполнение экологических требований.

Структура настоящего справочника НДТ соответствует ГОСТ Р 56828.14-2016 [2], формат описания технологий - ГОСТ Р 56828.13-2016 [3], термины приведены в соответствии с ГОСТ Р 56828.15-2016 [4].

Краткое содержание справочника

Справочник НДТ содержит следующие разделы.

Введение. Представлено краткое содержание настоящего справочника НДТ.

Предисловие. Указана цель разработки справочника НДТ, его статус, законодательный контекст, краткое описание процедуры создания в соответствии с установленным порядком, а также взаимосвязь с аналогичными международными документами.

Область применения. Описаны основные виды деятельности, на которые распространяется настоящий справочник НДТ.

В разделе 1 представлена информация о состоянии и уровне развития добычи драгоценных металлов в Российской Федерации, приведен краткий обзор экологических аспектов.

В разделе 2 представлено описание типовых процессов добычи драгоценных металлов.

В разделе 3 приведена информация о регламентируемых и фактических уровнях эмиссий в окружающую среду для существующих технологических процессов. Раздел подготовлен на основе данных, представленных предприятиями Российской Федерации в рамках разработки настоящего справочника НДТ, а также различных литературных источников.

В разделе 4 описаны подходы к определению НДТ, примененные при разработке настоящего справочника НДТ.

В разделе 5 приведено краткое описание НДТ для процессов добычи драгоценных металлов, в том числе технические и технологические решения и методы минимизации негативного воздействия на окружающую среду при процессах добычи открытым способом, подземным способом, процессах первичной переработки минерального сырья. Описаны технологии обращения с отходами и побочными продуктами производства, обеспечивающие рост ресурсосбережения и энергоэффективности, снижение уровня эмиссий загрязняющих веществ в окружающую среду.

В разделе 6 рассматриваются ключевые факторы, оказывающие влияние на экономическую эффективность внедрения НДТ на предприятиях, осуществляющих добычу драгоценных металлов.

В разделе 7 приведен перечень перспективных технологий и технологий, находящихся на стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ или опытно-промышленного внедрения, позволяющих повысить эффективность производства и сократить эмиссии в окружающую среду.

Заключительные положения и рекомендации. Приведены сведения о членах технической рабочей группы (ТРГ), принимавших участие в разработке настоящего справочника НДТ. Даны рекомендации предприятиям по дальнейшим исследованиям различных аспектов их деятельности.

Приложения. В приложениях к справочнику НДТ приводится дополнительная информация.

Библиография. Приведен перечень источников информации, использованных при разработке настоящего справочника НДТ.

Предисловие

Федеральный закон № 219-ФЗ [5] совершенствует систему нормирования в области охраны окружающей среды и вводит в российское правовое поле меры экономического стимулирования хозяйствующих субъектов для внедрения наилучших доступных технологий.

Федеральный закон № 162-ФЗ [6] содержит положения, закрепляющие статус информационно-технических справочников как документов национальной системы стандартизации.

Цели, основные принципы и порядок разработки настоящего справочника НДТ установлены постановлением Правительства РФ от 23.12.2014 г. № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям» [7].

1 Статус документа

Настоящий справочник НДТ является документом по стандартизации, разработанный в результате анализа технологических, технических и управленческих решений, характерных для добычи драгоценных металлов и содержащим описание применяемых в настоящее время и перспективных технологических процессов, технических способов, методов предотвращения и сокращения негативного воздействия на окружающую среду, включая соответствующие параметры экологической результативности, ресурсо- и энергоэффективности, а также экономические показатели.

2 Информация о разработчиках

Настоящий справочник НДТ разработан технической рабочей группой «Добыча драгоценных металлов» (ТРГ 49), состав которой утвержден приказом Росстандарта от 27 октября 2016 г. № 1637 «О создании технической рабочей группы «Добыча драгоценных металлов».

Перечень организаций и их представителей, принимавших участие в разработке настоящего справочника НДТ, приведен в разделе «Заключительные положения и рекомендации».

Настоящий справочник НДТ представлен на утверждение Бюро наилучших доступных технологий (далее - Бюро НДТ) (gost.e-ecolog.ru

3 Краткая характеристика

Настоящий справочник НДТ содержит описание применяемых при добыче драгоценных металлов технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, в том числе позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду, потребление воды и ресурсов, повысить экологическую безопасность.

Из описанных технологических процессов, оборудования, технических способов, методов определены те, которые на сегодняшний день являются НДТ. Для НДТ в

настоящем информационно-техническом справочнике НДТ установлены соответствующие технологические показатели, где это необходимо и возможно.

4 Взаимосвязь с международными и региональными аналогами

Настоящий справочник НДТ разработан в соответствии с Федеральным законом ([1]) (статья 28.1, пункт 7) на основе результатов анализа деятельности предприятий по добыче драгоценных металлов в Российской Федерации и с учетом материалов справочника Европейского союза по наилучшим доступным технологиям по обращению с отходами и пустыми породами горнодобывающей промышленности [8].

5 Сбор данных

Информация о технологических процессах, оборудовании, технических способах, методах, применяемых при добыче драгоценных металлов в Российской Федерации, собрана в соответствии с Порядком сбора данных, необходимых для разработки информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям и анализа приоритетных проблем отрасли, утвержденным приказом Росстандарта от 23 июля 2015 г. № 863 [9].

6 Взаимосвязь с другими справочниками НДТ

Взаимосвязь настоящего справочника НДТ с другими справочниками НДТ, разрабатываемыми в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 31 октября 2014 г. № 2178-р [10], отражена в разделе «Область применения».

7 Информация об утверждении, опубликовании и введении в действие

Справочник НДТ утвержден приказом Росстандарта от 15 декабря 2017 г. № 2840 и введен в действие с 1 июня 2018 г., официально опубликован в информационной системе общего пользования - на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.e-ecolog.ru

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ДОБЫЧА ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ

Extraction of precious metals

Дата введения — 2018-06-01

Область применения

Настоящий справочник НДТ распространяется на следующие основные виды деятельности по извлечению драгоценных металлов из коренных (рудных), россыпных и техногенных месторождений с получением концентратов и других полупродуктов, содержащих драгоценные металлы, а именно:

- добычу (извлечение) руд драгоценных металлов на коренных месторождениях;
- добычу (извлечение) песков драгоценных металлов на россыпных месторождениях;
- добычу драгоценных металлов из отходов добычи полезных ископаемых и связанных с ней процессов извлечения драгоценного металла;
- технологические процессы по первичной переработке [1)] руд и песков драгоценных металлов.
- Справочник НДТ также распространяется на процессы, связанные с основными видами деятельности, которые могут оказать масштабное негативное воздействие на окружающую среду во всех аспектах (выбросы, сбросы, отходы):
- методы предотвращения и сокращения эмиссий и образования отходов;
- хранение и транспортировку продукции и отходов добычи драгоценных металлов.

Вопросы, связанные с производством драгоценных металлов из концентратов и шламов, описаны в информационно-техническом справочнике НДТ 14 «Производство драгоценных металлов».

Дополнительные виды деятельности при добыче драгоценных металлов и соответствующие им справочники НДТ (названия справочников НДТ даны в редакции распоряжения Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р) приведены в таблице ниже.

Дополнительные виды деятельности при добыче драгоценных металлов и соответствующие им справочники НДТ (названия справочников НДТ даны в редакции распоряжения Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 года № 2178-р) приведены в таблице ниже.

[1)] Первичная переработка включает в себя процессы по добыче (извлечению) драгоценных металлов из руд с получением концентратов и других полупродуктов, включая обращение с отходами в соответствии с проектной документацией, утвержденной в установленном порядке.

Вид деятельности	Соответствующий справочник НДТ
Методы очистки сточных вод, направленные на сокращение сбросов металлов в водные объекты	ИТС 8—2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях»
Промышленные системы охлаждения (например, градирни, пластинчатые теплообменники)	ИТС 20—2016 «Промышленные системы охлаждения»
Хранение и обработка материалов	ИТС 46—2017 «Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)»
Обращение с отходами	ИТС 15—2016 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов)»
Выработка пара и электроэнергии на тепловых станциях	ИТС 38—2017 «Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии»
Методы производства драгоценных металлов	ИТС 14—2016 «Производство драгоценных металлов»
Повышение энергетической эффективности	ИТС 48—2017«Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности»
Общие процессы и методы горнодобывающей деятельности	ИТС 16—2016 «Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы»
Методы добычи и обогащения руд цветных металлов	ИТС 23—2017 «Добыча и обогащение руд цветных металлов»

Раздел 1. Общая информация о рассматриваемой отрасли промышленности

1.1 Общая информация

Добыча драгоценных металлов — извлечение драгоценных металлов из коренных (рудных), россыпных и техногенных месторождений с получением концентратов и других полупродуктов, содержащих драгоценные металлы [11].

К драгоценным металлам относятся золото, серебро, платина и металлы платиновой группы (палладий, иридий, родий, рутений и осмий).

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 [11].

В Российской Федерации добыча драгоценных металлов, может осуществляться исключительно организациями, получившими в порядке, установленном действующим законодательством, специальные разрешения (лицензии).

1.2 Информация о добыче золота в России и в мире

Российская Федерация в 2016 г. уверенно занимала третье место в мире по объему золотодобычи [12, 13], уступая Китаю и Австралии. Согласно данным Союза золотопромышленников, объем добычи и производства золота в Российской Федерации в 2016 г. достиг 297,4 т, на 1,2% больше, чем в 2015 г. Доля РФ в мировой добыче золота составила 8,1%.

По разведанным запасам золота Россия занимает 2-е место в мире. За последние 5 лет объемы финансирования геологоразведки составили около 1,5 трлн руб., из которых на долю государственного финансирования пришлось порядка 11%. Несмотря на сегодняшнее ухудшение экономической ситуации уровень инвестиций в 1,5 раза превысил показатели пятилетней давности. Прирост запасов по золоту за 2012–2015 гг. составил 1,3 тыс. т.

В таблице 1.1 отображено состояние сырьевой базы золота в Российской Федерации на 1 января 2016 г. Сведения представлены по данным Государственного доклада Министерства природных ресурсов и экологии РФ [13].

Данные по использованию сырьевой базы золота Российской Федерации в 2015 г представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.1 — Состояние сырьевой базы золота Российской Федерации на 1.01.2016 г., тонн

Прогнозные ресурсы	P1	P2	P3
коренных (золоторудных) объектов	5497,6	10499,8	25247,9
Запасы	A + B + C1		C2
количество	8159,6		5657,8
изменение по отношению к запасам на 1 января 2015 г.	153,4		530,1
доля распределенного фонда, %	68		78

Таблица 1.2 — Использование сырьевой базы золота Российской Федерации в 2015 г.

Добыча из недр, т	287
Производство золота из руд и концентратов, т	257
Производство золота из вторичного сырья, т	38
Экспорт *, т	43
Потребление ювелирной промышленностью, т	34
Закупки в государственные резервы, т	208
Средняя цена золота в 2016 г. на Лондонском рынке драгоценных металлов, долларов/г	40
Ставка налога на добычу	6 %
* Оценка не включает золото в концентратах.	

На начало 2016 года запасы золота Российской Федерации превышали 13,1 тыс. т, из них около двух третей (8 тыс. т) представляли собой запасы категорий A+B+C1. 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, собственно золоторудных месторождений приходится более 65% российских запасов драгоценного металла.

В отличие от других стран – держателей запасов, в сырьевой базе России велико значение золотоносных россыпей, заключающих около 13% запасов золота и дающих до четверти его добычи. Запасы категорий А+В+С1 России по объему сопоставимы с ресурсами ЮАР; обе эти страны располагают почти четвертью мировой сырьевой базы золота. Кроме них, крупной сырьевой базой обладают Канада, Перу, США, Чили и Австралия. В ЮАР основу сырьевой базы составляют месторождения древних золотоносных конгломератов рудного района Витватерсранд; их разработка ведется подземным способом на больших глубинах (до 4300 м). Мощность пластов золотоносных конгломератов колеблется от нескольких дециметров до нескольких метров. Золото в рудах высокопробное, его содержание варьируется от 7 до 16 г/т.

Ведущее положение в Канаде занимают золото-сульфидно-кварцевые месторождения зеленокаменных поясов (Поркьюпайн, Детур-Лейк и др.). Они характеризуются крупными и средними масштабами и высоким содержанием золота в рудах (10-26 г/т). Все большую роль начинают играть медно-порфировые месторождения, локализованные в складчатых структурах Канадских Кордильер (Галор-Крик, Маунт-Миллиган и др.). Ресурсная база каждого из них превышает 100 т, но концентрация золота в рудах невысока – в среднем 0,2 г/т.

В Перу основную роль играют золото-серебряные (Янакоча, Пьерина, Лагунас-Норте и др.) и золото-медно-порфировые (Конга, Лос-Чанкас и др.) месторождения. Все они локализованы в пределах Андийского вулкано-плутонического пояса. Золото-серебряные объекты в основном крупные и средние по масштабу, с невысоким содержанием золота в рудах (0,7–1,2 г/т). Среди золото-медно-порфировых объектов самым крупным является Конга, чьи ресурсы достигают 400 т при среднем содержании золота в руде 0,4 г/т.

В сырьевой базе США ведущее место занимают пластообразные месторождения золото-полисульфидных руд (так называемого карлинского типа) рудного пояса штата Невада, локализованные в терригенно-карбонатных породах. Самым крупным из них является месторождение Карлин (его ресурсы превышают 600 т золота при содержании в руде 1,2 г/т). Кроме того, в штате Аляска разведаны уникальные по масштабу месторождения медно-порфировых руд Пеббл и золото-полисульфидных руд в терригенных отложениях Донлин-Крик.

В Чили золотодобывающая промышленность базируется в основном на золото-серебряных объектах в вулкано-тектонических структурах пояса Марикунга и золото-медно-порфировых месторождениях Чилийского медного пояса. Золото-серебряные объекты — преимущественно средние и мелкие по масштабу и содержат в основном малосульфидные руды с концентрацией золота от 0,78 до 5,5 г/т. Исключением является уникальное месторождение Паскуа-Лама, ресурсы которого превышают 500 т при среднем содержании золота в руде 1,3 г/т. Среди золото-медно-порфировых объектов выделяется месторождение Каспиче на севере страны (его ресурсы

достигают 800 т при содержании драгоценного металла в руде 0,5 г/т). Сведения по запасам и ресурсам ведущих стран мира представлены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 — Запасы золота и его производство в ведущих странах, т

Страна	Категории	Запасы	Производство в 2015 г.	Доля в мировом производстве, %
Китай	Ensured Reserves	1988	458	15
Австралия	Proved + Probable Reserves	3552	276	9
Россия	Запасы категорий А + В + С1	5550,4	256	8
США	Proved + Probable Reserves	4562	216	7
Перу	Proved + Probable Reserves	3185	176	6
Канада	Proved + Probable Reserves	5750	159	5
ЮАР	Proved + Probable Reserves	6000	151	4,8

Основу сырьевой базы золота Австралии составляют месторождения золотосульфидных руд в древних зеленокаменных поясах. Основные объекты этого типа (Калгурли, Паддингтон и др.) находятся на западе страны. Месторождения являются уникальными и крупными по запасам, но заключают бедные труднообогатимые руды, содержащие в среднем 1,6 г/т золота. Все большее значение приобретают комплексные месторождения с попутным золотом — золото-медно-порфировые (Кейдия-Хилл, Кейдия-Ист, Проминент-Хилл и др.) и уран-золото-медные (Олимпик-Дам).

Перспективы наращивания российской сырьевой базы золота за последнее десятилетие значительно расширились. Увеличился объем прогнозных ресурсов всех категорий, при этом наиболее достоверная их часть — ресурсы категории Р1 — выросла почти на 63 % и достигла 5,2 тыс. т. Большая часть сырьевой базы страны сконцентрирована на Дальнем Востоке и юге Сибири, эти же регионы наиболее перспективны для ее наращивания.

Крупнейшими запасами и прогнозными ресурсами драгоценного металла обладает Иркутская область. На ее территории располагается северная часть Байкало-Витимской металлогенической провинции, в пределах которой разведано уникальное золото-сульфидное месторождение Сухой Лог, локализованное в терригенных толщах, с запасами, достигающими 2000 т металла; в нем заключено 14 % балансовых запасов страны, но среднее содержание золота в его рудах сравнительно невелико — 2,1 г/т. Ряд схожих крупных месторождений — Чертово Корыто, Вернинское, Голец Высочайший — характеризуется рудами с более высокими (2,3–3,1 г/т) концентрациями металла. Золото в рудах самородное, связано с кварц-пиритовым агрегатом; существенная его часть ассоциирована с пиритом. Руды легкообогатимы, для извлечения металла могут применяться традиционные методы обогащения. Прогнозные ресурсы Иркутской области категории Р1 оцениваются почти в 1600 т металла, три четверти их локализовано на флангах месторождения Сухой Лог и в одноименном рудном поле. В Магаданской области сконцентрировано более 2100 т золота, или 15 % российских запасов.

Существенная часть прогнозных ресурсов (475 т категории Р1) выявлена в пределах Верхояно-Колымской металлогенической провинции, охватывающей юго-западную часть области. Здесь в Аян-Юряхской металлогенической зоне разрабатывается уникальное по масштабу Наталкинское малосульфидное золото-кварцевое месторождение, содержащее 10,9 % запасов золота страны. Оно заключает небогатые (1,6 г/т), но легкообогатимые руды. Разведаны аналогичные более мелкие месторождения — Павлик, Дегдеканское и др. В вулкано-плутонических формациях Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и одноименной металлогенической провинции находятся месторождения золото-серебряных руд Джульетта и Дукат, Сопка Кварцевая, Кубака и др.

Они характеризуются различными масштабами оруденения и в основном богатыми и легкообогатимыми рудами, содержание золота в которых достигает 19,6 г/т. Характерным попутным компонентом является серебро, присутствующее в рудах в различных количественных соотношениях с золотом, иногда преобладая над ним.

Крупные запасы (1700 т) и ресурсы категории Р1 (790 т) золота локализованы на территории Республики Саха (Якутия), существенную часть которой охватывает Верхояно-Колымская металлогеническая провинция. Здесь выявлены крупные месторождения золото-мышьяковисто-сульфидных руд Нежданинское и Кючус (суммарно в них заключено 5,7 % российских запасов золота). Золото тонкодисперсное, связанное с сульфидами, преимущественно с арсенопиритом, среднее содержание его в рудах 4,9 и 6,1 г/т соответственно. В рудах повышено содержание мышьяка, поэтому для извлечения золота необходимы сложные технологии, такие как биовыщелачивание или автоклавное окисление. В Адыча-Тарынской металлогенической зоне Верхояно-Колымской провинции разведываются малосульфидные золото-кварцевые месторождения Тан, Дражное и Мало-Тарынское.

На юге республики в Центрально-Алданском рудном районе (Алдано-Становая металлогеническая провинция) выявлены золоторудные месторождения, характеризующиеся различным составом руд. Крупнейшая Куранахская группа месторождений золотоносных кор выветривания заключает около 1 % запасов страны. Ресурсы категории Р1, локализованные в Центрально-Алданском районе, достигают 300 т золота.

На территории Красноярского края заключено более 12 % российских запасов драгоценного металла (более 1600 т). Прогнозные ресурсы категории Р1 края превышают 400 т золота. Основная часть запасов и ресурсов сосредоточена в металлогенических зонах Енисейского кряжа на севере Алтае-Саянской металлогенической провинции. Здесь разрабатываются крупные месторождения золото-мышьяковисто-сульфидных руд в терригенных отложениях — Олимпиадинское и Ведугинское (в их рудах содержится соответственно 4,2 и 5 г/т золота). Разведывается крупное месторождение золото-сульфидных руд Попутнинское с концентрацией золота в руде 3,2 г/т.

Остальная часть Алтае-Саянской провинции охватывает территории Республик Алтай, Хакасия, Тыва, частично Бурятии, Алтайского края и Кемеровской области. Все они располагают небольшими запасами и достоверными ресурсами и перспективны на выявление небольших месторождений золото-сульфидно-кварцевых и комплексных

золотосодержащих руд (в сумме их потенциал составляет почти 400 т ресурсов категории Р1).

Существенными запасами золота (более 1200 т) располагает Забайкальский край; большая их часть разведана в золото-сульфидно-кварцевых месторождениях, связанных с интрузивными комплексами габбро-диорит-гранодиоритового состава. Концентрация золота в их рудах варьируется от 2 до 14 г/т. На юго-востоке края, в пределах Монголо-Охотского складчатого пояса, разведаны месторождения золото-серебряных и полиметаллических руд с попутным золотом. Прогнозные ресурсы края категории Р1 составляют более 230 т, в том числе почти 100 т локализовано в рудном районе, где находится крупное Дарасунское золото-сульфидно-кварцевое месторождение, характеризующееся высоким — 15 г/т — содержанием золота.

Более 5 % российских запасов золота сконцентрировано на территории Чукотского АО. Здесь в структурах Охотско-Чукотского вулканического пояса разведаны золото-серебряные месторождения с богатыми рудами. Крупными разрабатываемыми объектами являются месторождения Купол, концентрация золота в рудах которого достигает 24,5 г/т, и Двойное (11,9 г/т).

В северо-западной части округа (Новосибирско-Чукотская металлогеническая провинция) разрабатывается золото-мышьяковисто-сульфидное месторождение Майское. Руды его упорные, труднообогатимые, но среднее содержание золота в них, в отличие от других объектов этого геолого-промышленного типа, высокое, оно достигает 15,3 г/т. На юго-западе Чукотского АО, в пределах Колымо-Омолонской металлогенической провинции, разведывается недавно открытое крупное медно-порфировое с попутным золотом месторождение Песчанка, заключающее 1,6 % российских запасов золота. Содержание металла в его рудах — 0,57 г/т.

В Чукотском АО имеются перспективы выявления новых объектов, преимущественно золото-серебряного типа (локализованные прогнозные ресурсы категории Р1 составляют более 130 т драгоценного металла).

На территориях Приморского, Хабаровского и Камчатского края, а также Сахалинской области, входящих в Тихоокеанский вулканический пояс, в совокупности сосредоточено чуть более 6 % российских запасов золота. Разведанные здесь месторождения в подавляющем большинстве относятся к золото-серебряному эпитермальному геолого-промышленному типу, связанному с вулкано-плутоническими формациями, и часто содержат богатые руды.

В Хабаровском крае в Сихотэ-Алиньской металлогенической провинции выявлены крупные месторождения этого типа — Многовершинное и Албазинское со средним содержанием золота в рудах 27,6 и 7 г/т соответственно. Ряд среднемасштабных золото-серебряных объектов с высоким (9–41 г/т) содержанием драгоценного металла: Родниковое, Озерновское, Аметистовое и др. — выявлен в пределах Корякско-Камчатско-Курильской металлогенической провинции.

Вероятность открытия новых золото-серебряных объектов наиболее велика в металлогенических зонах, выделяемых на территории Камчатского края, где локализовано почти 450 т прогнозных ресурсов категории Р1. Почти 14 % российских запасов заключено в месторождениях Уральской металлогенической провинции; по большей части это попутное золото в рудах медно-колчеданных месторождений.

Среди собственно золоторудных объектов выделяются месторождения золото-сульфидно-кварцевых руд, связанные с интрузивными телами, в том числе крупное Березовское в Свердловской области. Содержание золота в его рудах — 1,9 г/т. Разрабатываются также средние по масштабам месторождения золото-сульфидного типа в терригенных толщах: Воронцовское (Свердловская область), Светлинское и Куросан Южный (Челябинская область) (содержание золота в их рудах варьирует от 2,9 до 17 г/т). Перспективы наращивания запасов золота Уральской провинции велики и связаны с выявлением новых золото-сульфидно-кварцевых и золото-медно-порфировых месторождений (прогнозные ресурсы категории Р1 провинции оцениваются более чем в 400 т). Сырьевая база золота южных и северо-западных регионов европейской части России существенно беднее.

На территории Карачаево-Черкесской и Кабардино-Балкарской Республик и Республики Северная Осетия — Алания прогнозируется выявление новых золото-серебряных и золото-полиметаллических месторождений. Возможности наращивания запасов северо-западных регионов существенно ниже (здесь локализованы в основном ресурсы низких категорий).

Важным источником золота служат месторождения комплексных руд, прежде всего медно-колчеданные месторождения Уральского региона; важнейшими среди них являются Октябрьское и Юбилейное в Республике Башкортостан и Гайское в Оренбургской области.

В существенных количествах золото извлекается из сульфидных медно-никелевых руд Норильского рудного района и Мурманской области. Золото как попутный компонент присутствует также в полиметаллических месторождениях, в медистых песчаниках и месторождениях других типов.

Россия является одной из немногих стран мира, где важную роль в сырьевой базе и добыче золота продолжают играть россыпные месторождения. Число разведанных россыпей в стране — более пяти тысяч. Доля их в сырьевой базе страны постепенно сокращается и в запасах категорий А + В + С1 в настоящее время составляет 13 %.

Основная часть россыпей сосредоточена на востоке страны: в Якутском, Центрально-Колымском, Чукотском, Ленском, Приамурском, Хабаровском и Забайкальском россыпных районах. Запасы золота страны заключены в 5894 месторождениях — 554 коренных, в числе которых 171 комплексное, где золото является попутным компонентом, и 5340 россыпных.

В распределенном фонде недр в 2015 г. находилось 269 собственно золоторудных месторождения, 116 комплексных и 2239 золотоносных россыпей. Лицензирована подавляющая часть промышленно значимых коренных месторождений золота, за исключением средних по запасам Балейского и Итакинского в Забайкальском крае, Родникового в Камчатском крае, крупного Кючус в Республике Саха (Якутия) и уникального по масштабу месторождения Сухой Лог в Иркутской области.

Остальные коренные месторождения нераспределенного фонда недр — мелкие, с менее качественными, чем в лицензированных объектах, рудами. В нераспределенном фонде недр находится также 58 % россыпных объектов,

значительная их часть характеризуется низким, до 0,7 г/м^3, содержанием металла. Перечень основных месторождений золота представлен в таблице 1.4.

В стадии освоения в 2015 г. находилось более сорока золоторудных месторождений. В 2015 г. введено в эксплуатацию крупное золото-кварцево-малосульфидное месторождение Павлик в Магаданской области (из его недр в течение года добыто 3,1 т золота). Его разработку осуществляет АО «ЗК „Павлик“», структурное подразделение инвестиционной компании «АРЛАН». После выхода рудника на проектную мощность на нем будет извлекаться 7,4 т золота в год. Крупнейшим среди подготавливаемых к эксплуатации является Наталкинское месторождение в Магаданской области, лицензией на его эксплуатацию владеет ОАО «Рудник им. Матросова», дочернее предприятие ПАО «Полюс». В 2015 г. утвержден обновленный проект разработки месторождения. Выход обогатительной фабрики на проектную мощность по переработке руды в объеме 10 млн т руды в год намечен на 2018 г.

В 2015 г. компании Polymetal International plc. и ПАО «Полюс», создали совместное предприятие (СП), в рамках которого Polymetal International plc. получила право (18%) участвовать в освоении Нежданинского месторождения в Республике Саха (Якутия). Компания может увеличить свою долю в СП до 50% путем инвестирования средств в течение последующих четырех лет. На месторождении ведутся геологоразведочные работы и подготавливается технико-экономическое обоснование проекта разработки.

Компания ООО «Нерюнгри-Металлик» в 2015-2016 гг. вела опытно-промышленную эксплуатацию месторождения Гросс в Республике Саха (Якутия). Выход предприятия на полную производственную мощность в объеме 12 млн т руды в год запланирован на 2018 г. На месторождении Попутнинское в Красноярском крае компания ООО «Красноярское ГРП» начала опытно-заверочные работы в контуре карьера. В результате опытно-промышленной добычи извлечено из недр 0,4 т золота. На месторождении Кекура в Чукотском АО компания ЗАО «Базовые металлы» утвердила постоянные разведочные кондиции для разработки комбинированным способом. Проектная мощность обогатительной фабрики составит около 1 млн. т руды в год.

Таблица 1.4 — Основные месторождения золота

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание золота в рудах (г/т) и песках (г/м^3)	Добыча из недр в 2015 г., т
		А+В+С1	С2			
АО «Рудник им. Матросова»						
Наталкинское (Магаданская область)	Золото-кварцевый	1259,9	250,4	10,9	1,6	0,1
АО «Южно-Верхоянская горнодобывающая компания»						
Нежданинское (Республика Саха (Якутия))	Золото-мышьяково-сульфидный	278,7	353,3	4,4	4,9	0
ПАО «Гайский ГОК»						
Гайское (Оренбургская область)	Медно-колчеданный	367,9	41,1	2,9	1,1	5,7
АО «Полюс Вернинское»»						
Вернинское (Иркутская область)	Золото-сульфидный	97,9	153	1,8	3,1	8,7
АО «Полюс Красноярск»						
Благодатное (Красноярский край)	Золото-кварцевый	195,6	33	1,4	2,5	14,6
Олимпиадинское (Красноярский край)	Золото-мышьяково-сульфидный	112,2	115,6	1,4	4,2	7,3
Титимухта (Красноярский край)	Золото-сульфидно-кварцевый	29,1	16,3	0,1	4,7	5
ООО «ГДК "Баимская"»						
Песчанка (Чукотский АО)	Медно-порфировый	178,6	55,2	1,6	0,57	0
ОАО «Золоторудная компания "Павлик"»						
Павлик (Магаданская область)	Золото-кварцевый	50,6	101,6	1,1	2,8	3,1
ООО «Ресурсы Албазино»						
Албазинское (Хабаровский	Золото-серебряный	58,5	78,6	1	6,6	8,2

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание золота в рудах (г/т) и песках (г/м^3)	Добыча из недр в 2015 г., т
		А+В+С1	С2			
край)						
ООО «Нерюнгри-Металлик»						
Гросс (Республика Саха-Якутия)	Золото-кварцевый	73,3	60	1	0,8	1,5
ООО «Золоторудная компания «Майское»»						
Майское (Чукотский АО)	Золото-мышьяково-сульфидный	32,9	91,6	0,9	15,3	4
ООО «Амурское геологоразведочное предприятие»						
Бамское (Амурская область)	Золото-серебряный	17,4	90,1	0,8	4,1	0
ООО «Тасеевское»						
Тасеевское (Забайкальский край)	Золото-серебряный	21,8	83,8	0,8	4,6	0
ООО «Северо-Восточная геологоразведочная компания»						
Перекатное (Магаданская область	Золото-серебряный	4,3	103,9	0,8	0,7	0
АО «Чукотская ГГК»						
Купол (Чукотский АО)	Золотосеребряный	28,4	37,1	0,5	24,5	12,6
ООО «Березовское рудоуправление»						
Березовское (Свердловская область)	Золото-сульфидно-кварцевый	59,7	30,2	0,6	1,9	0,7
ООО «Красноярское ГРП»						
Попутнинское (Красноярский край)	Золото-сульфидный	23,3	68,9	0,7	3,2	0,4
Панимба (Красноярский край)	Золото-кварцевый	19,6	44,1	0,5	2,5	0
АО «Тонода»						
Чертово Корыто (Иркутская область)	Золото-сульфидный	76,2	10,7	0,6	2,3	0

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание золота в рудах (г/т) и песках (г/м^3)	Добыча из недр в 2015 г., т
		А+В+С1	С2			
АО «Алданзолото ГРК»						
Куранахская группа (Республика Саха (Якутия))	Коры выветривания	73,4	6,5	0,6	2	4,9
ЗАО «Рудник "Западная-Ключи"»						
Ключевское (Забайкальский край)	Золото-сульфидно-кварцевый	48,6	27,2	0,6	2	0
ООО ГРК «Амикан»						
Ведугинское (Красноярский край)	Золото-мышьяково-сульфидный	32,6	38,6	0,5	5	1,8
ООО «Северное золото»						
Двойное (Чукотский АО)	Золотосеребряный	4,9	32,4	0,3	11,9	12,2
ООО «Дарасунский рудник»						
Дарасунское (Забайкальский край)	Золото- сульфидно-кварцевый	31,1	25,3	0,4	14,9	0,2
Талатуйское (Забайкальский край)		23,5	7,3	0,2	9,1	0,4
АО «Аметистовое»						
Аметистовое (Камчатский край)	Золото-серебряный	21,5	29,3	0,4	12,2	0,5
ЗАО «Базовые металлы»						
Кекура (Чукотский АО)	Золото-кварцевый	47,3	14,9	0,4	9,4	0
АО «Многовершинное»						
Многовершинное (Хабаровский край)	Золото-серебряный	24	18,5	0,3	24,7	3,2
ООО «Оренбургская горная компания»						
Васин (Оренбургская область)	Золото-сульфидно-кварцевый	1,4	43	0,3	4,8	0

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание золота в рудах (г/т) и песках (г/м^3)	Добыча из недр в 2015 г., т
		А+В+С1	С2			
ЗАО «САХА Голд Майнинг»						
Река Большой Куранах, (Республика Саха (Якутия))	Древняя россыпь	42,2	0	0,3	287 мг/ м^3	0
ООО «Соврудник»						
Эльдорадо (Красноярский край)	Золото-кварцевый	4,9	27,8	0,2	2,8	2,7
ООО «Маломырский рудник»						
Маломырское (Амурская область)	Золото-сульфидно-кварцевый	18,3	15,3	0,2	2,3	1,7
АО «Камчатское золото»						
Бараньевское (Камчатский край)	Золото-серебряный	11,4	18,6	0,2	8,1	0
ОАО «Покровский рудник»						
Пионер (Амурская область)	Золото-серебряный	7,2	11,1	0,1	1,8	5,6
ООО «Хаканджинская»						
Хаканджинское (Хабаровский край)	Золото-серебряный	25	0,6	0,2	11,1	0,4
ОАО «Рудник Каральвеем»						
Каральвеемское (Чукотский АО)	Золото-кварцевый	2	7,1	0,07	14,1	1,8
АО «Южуралзолото Группа Компаний»						
Светлинское (Челябинская область)	Золото- сульфидный	13,6	2,1	0,1	2,6	5,5
АО «Южуралзолото Группа Компаний» , ОАО «Восточная»						
Кочкарское (Челябинская область)	Золото-сульфидно-кварцевый	10,4	9,9	0,1	11,1	1,3
ЗАО «Золото Северного Урала»						
Воронцовское	Золото- сульфидный	2,9	9,3	0,09	16,9	3,8

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание золота в рудах (г/т) и песках (г/м^3)	Добыча из недр в 2015 г., т
		A+B+C1	C2			
(Свердловская область)						
ООО «Березитовый рудник»						
Березитовое (Амурская область)	Золото-сульфидно-кварцевый	12,1	3,3	0,1	6,9	2,9
АО «Камголд»						
Агинское (Камчатский край)	Золото-серебряный	9,9	2,8	0,1	54,5	1
ОАО «Бурятзолото»						
Зун-Холбинское (Республика Бурятия)	Золото- сульфидно-кварцевый	6,2	2,1	0,06	11,6	1,5
Ирокиндинское (Республика Бурятия)		3,5	4,5	0,06	18,7	2,1
Нераспределенный фонд						
Сухой Лог (Иркутская область)	Золото- сульфидный	1378,9	574	14,1	2,1	
Кючус (Республика Саха (Якутия))	Золото-мышьяково сульфидный	70,9	104,3	1,3	6,1	
Итакинское (Забайкальский край)	Золото-сульфидно-кварцевый	19,1	43,4	0,4	8,9	
Балейское (Забайкальский край)	Золото-серебряный	28,8	11,5	0,3	2,1	
Серебряное (Забайкальский край)	Золото-серебряный	16,5	24,4	0,3	1,6	
Родниковое (Камчатский край)	Золото-серебряный	8,6	22,2	0,2	5,8	

В результате геолого-разведочных работ в 2015 г. на учет в Государственном балансе запасов полезных ископаемых Российской Федерации поставлены запасы золота категорий А + В + С1 22 коренных и 63 россыпных месторождений, составившие 130,1 т. В том числе 16 собственно золоторудных и 6 комплексных объектов, суммарные запасы категории С1 которых составили 122,1 т, категории С2 — 377,4 т. Самым крупным среди вновь учитываемых коренных объектов является Малмыжское золото-медно-порфировое месторождение в Хабаровском крае с запасами золота категории С1 в количестве 69,4 т, категории С2 — 208,7 т, разведываемое компанией ООО «Амур Минералс». В том же регионе компанией ООО «НКГ "Ресурс"» открыто золото-кварцевое месторождение «Полянка» с запасами золота категории С1 в объеме 1,7 т, категории С2 — 10,7 т. В Красноярском крае учтены запасы трех золото-кварцевых месторождений с суммарными запасами категории С1 в количестве 19,6 т, категории С2 — 50,8 т золота. Самым крупным из них является месторождение Панимба, разведочные работы на нем осуществляет ООО «Красноярское ГРП». В Амурской области золото-медно-порфировое месторождение Иканское с запасами золота категории С1 в количестве 15,2 т, категории С2 — 41,8 т открыла компания ООО «Амурмедь». Учтены, кроме того, три небольших золото-сульфидно-кварцевых объекта с суммарными запасами золота категории С1 в объеме 3,4 т, категории С2 — 2,2 т. Золото-сульфидные месторождения Смежный участок (7,8 т категории С1, 38,3 т категории С2) и Гурбейское (9,9 т категории С2) впервые учтены в Иркутской области; они разведываются компаниями АО «Первенец» и ООО «Техсервис» соответственно. В Республике Саха (Якутия) ООО «Нерюнгри-Металлик» открыто месторождение окисленных руд Темное с запасами золота категории С1 в количестве 3,5 т, категории С2 — 0,8 т. Запасы золота 63 новых россыпных месторождений категории С1 составили 8 т, категории С2 — 4 т.

Прирост запасов золота категорий А+В+С1 при доразведке известных месторождений в 2015 г. составил 342,4 т. Наиболее значимый прирост запасов категории С1 получен на разрабатываемом месторождении Вернинское в Иркутской области; его запасы категории С1 в ходе доразведки увеличились на 106,9 т. На осваиваемом месторождении Первенец, где геолого-разведочные работы осуществляет АО «Полюс Вернинское», запасы категории С1 увеличились на 5,7 т.

В Красноярском крае прирост запасов категории С1 в результате геолого-разведочных работ составил 29,4 т золота. Почти половина этого количества 12,9 т, получена на месторождении Золотое, освоение которого ведет ООО «Соврудник». Компания АО «Полюс Красноярск» прирастила запасы категории С1 Олимпиадинского месторождения на 7,2 т.

В Хабаровском крае ООО «Ресурсы Албазино» в результате разведки увеличило запасы категории С1 Албазинского месторождения на 46 т золота. На месторождении Перевальное прирост запасов золота категории С1 составил 17,5 т; его разрабатывает ООО «Амур Золото». Компания АО «Многовершинное» на одноименном месторождении увеличила запасы золота в результате геологоразведочных работ на 2,4 т, переоценки — на 0,4 т.

В Магаданской области наиболее значимый прирост запасов категории С1 в количестве 23,4 т получен на месторождении Дегдеканское; его осваивает ООО «Магаданское ГРП». В целом в 2015 г. за счет разведки запасы категории С1

собственно золоторудных месторождений увеличились на 325,5 т, прирост их на россыпных объектах составил 53,2 т, запасы попутного золота увеличились на 93,8 т.

В результате переоценки существенно снизились в 2015 г. запасы золота месторождения Тырныауз в Кабардино-Балкарской Республике. Здесь сняты с государственного учета запасы категории С1 в объеме 32,8 т, в результате чего на балансе месторождения остались только запасы категории С2 в количестве 5,4 т и забалансовые запасы – 29,4 т.

В Чукотском АО в ходе переоценки выросли на 36,8 т запасы золота категории С1 месторождения Кекура; работы на нем ведет ЗАО «Базовые Металлы». В то же время на месторождении Каральвеем за счет переоценки они уменьшились на 15,1 т, прирост в ходе геолого-разведочных работ составил только 1,4 т. Разработку его ведет ОАО «Рудник Каральвеем».

Таким образом, с учетом геолого-разведочных работ, убыли при добыче, потерь при добыче, переоценки, списания и иных причин российские запасы золота категории С1 в 2015 г. выросли по сравнению с 2014 г. на 153,4 т (на 1,9 %), запасы категории С2 увеличились на 530,1 т (на 10,3 %).

Согласно данным Союза золотопромышленников объем добычи и производства золота в Российской Федерации в 2016 г. достиг 297,4 т, что на 1,2 % больше, чем в 2015 г. Основные показатели производства золота в России за 2009–2016 гг. представлены в таблице 1.5.

В 2016 г. наибольший прирост производства золота продемонстрировал сегмент золотосодержащих концентратов — на 38,9% (до 8,8 т золота). Также на 2,8% увеличилось производство золота в слитках из собственно золотых месторождений (до 238,8 т). При этом производство попутного и вторичного золота снизилось на 11,1% (до 14,8 т) и на 9,0% (до 35 т) соответственно.

В 2016 г. производство золота в России увеличилось как в результате реализации новых проектов (на месторождениях Светлое и Ольча компании Polymetal Int. Plc и др.), так и за счет расширения и модернизации действующих мощностей на таких золоторудных месторождениях, как Павлик (ИК «Арлан»); Олимпиадинское, Благодатное, Вернинское, месторождения Куранахской группы (PJSC Polyus); месторождение Аметистовое (АО «Золото Камчатки», входит в ГК «Ренова»); месторождение Александровское (ЗАО «ГРК «Западная»); месторождения Кочкарское и Березняковское (АО «Южуралзолото ГК»); месторождение Таборное (Nord Gold SE); месторождения Лунное и Мурзинское (ПАО «Селигдар»); месторождение Савкинское (Mangazeya Mining Ltd.) и др.

В 2016 г. произошло увеличение объема производства золотосодержащих флотоконцентратов, вывозимых за рубеж. Это свидетельствует об увеличении количества золота, добываемого в стране из упорных руд, рентабельная переработка которых пока невозможна на территории России. Первая тонна золота в концентратах, реализуемых на внешнем рынке, была произведена в 2010 г. и составила 0,5 % от совокупного производства. С того момента производство золотосодержащих флотоконцентратов постепенно увеличивалось, достигнув к 2016 г. 8,8 т (3 % от совокупного производства).

Таблица 1.5 — Основные показатели развития российского рынка золота в 2009–2016 г.

Показатель	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Производство золота в слитках, т	205,4	201,5	208,3	221,4	249,4	282,7	287,4	288,6
Добычное, т	178,4	176,3	185,9	197,4	215,7	230,7	232,3	238,8
Попутное, т	14,5	12,7	14,5	15,5	16,0	16,2	16,6	14,8
Вторичное, т	12,4	12,6	7,9	8,5	17,8	35,8	38,5	35,0
Производство золота в концентратах, реализованных на внешнем рынке, т	—	1,0	2,2	3,3	5,4	5,7	6,4	8,8
Производство золота в слитках и концент-ратах, итого, т	205,4	202,5	210,5	224,7	254,8	288,5	293,8	297,4

Более 99% общероссийской добычи обеспечивается за счет 12 регионов, где годовые объемы достигали 5 т и более за последние три года. В целом добыча золота в России ведется в 25 регионах. Сведения об основных золотодобывающих регионах РФ представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 — Динамика добычи золота в пяти основных золотодобывающих регионах РФ

Регион	2010 г., т	2011 г., т	2012 г., т	2013 г., т	2014 г., т	2015 г., т	2016 г., т
Красноярский край	36,1	39,5	44,0	47,3	47,2	50,0	55,1
Чукотский автономный округ	24,9	20,1	18,0	21,4	30,3	30,5	28,8
Магаданская область	15,6	15,4	19,6	21,1	23,8	23,6	27,3
Республика Саха (Якутия)	18,6	19,4	20,8	22,0	23,1	25,3	23,5
Амурская область	19,8	29,1	28,7	30,7	29,3	25,9	22,9
Прочие регионы	62,3	64,6	69,6	78,6	82,7	83,4	90,1
Итого	177,3	188,1	200,7	221,1	236,4	238,7	247,7

Лидерами в рейтинге субъектов РФ по добыче золота являются Красноярский край, Чукотский автономный округ и Магаданская область. В 2016 г., потеснив Амурскую область и Республику Саха (Якутия), Магаданская область поднялась с пятого места на третье, что обусловлено преимущественно увеличением объемов добычи компаниями АО «Павлик» и ОАО «ГДК „Берелех“». В свою очередь, Амурская область и Республика Саха (Якутия) снизили объемы добычи. Сокращение в Амурской

области связано с падением уровня добычи на месторождениях компании Petropavlovsk Plc, а в Республике Саха (Якутия) — с остановкой работы некоторых малых и средних предприятий, в том числе ООО «Альчанец», ООО «Янтарь», ООО «Оймяконье», ООО «Ылен», ООО «Национальная артель старателей народов Севера "СУЛУС"».

В последнее десятилетие объем добычи золота из россыпных месторождений практически не менялся. Минимальное значение было зафиксировано в 2009 г., после чего наблюдался небольшой, но устойчивый рост объемов россыпной золотодобычи, за которым последовала стабилизация на уровне 70–71 т/г. Добычу золота из россыпных месторождений ведет ряд крупных российских золотодобывающих компаний — ПАО «Полюс», АО «Южуралзолото ГК», GV Gold и др. На россыпное золото пришлось 29 % от общей добычи в 2016 г. — такой показатель является одним из наиболее высоких в мире. Он свидетельствует о значительном потенциале разведки новых коренных месторождений, поскольку россыпные месторождения относятся к индикаторам наличия коренного золота и исторически отрабатывались в первую очередь.

Добыча золота из коренных (рудных) месторождений в последние 20 лет устойчиво растет. Немаловажным фактором этого роста является расширение применения технологии кучного выщелачивания, а также развитие практики работы компаний отрасли с упорными рудами. По сравнению с 2015 г. в 2016 г. добыча золота из коренных месторождений увеличилась на 4,6 % (до 176,3 т).

За 2016 г. количество золотодобывающих компаний в стране увеличилось с 475 до 518, в основном за счет небольших предприятий с годовой добычей менее 1 т. Данная тенденция наблюдается второй год подряд и свидетельствует о сохранении инвестиционной привлекательности отрасли. Тем не менее 62 % всей добычи приходится на 10 крупнейших игроков, которые являются движущей силой развития отрасли (см. таблицу 1.7).

Таблица 1.7 — Динамика объемов добычи золота 20 крупнейших золотодобывающих компаний в РФ

Компания	2014, т	2015, т	2016, т	Доля рынка 2016, %	Темп роста 2016/2015, %	Прогноз 2017, т
ПАО «Полюс»	52,7	54,8	59,8	22,8 %	9,2 %	64,5–66,1
Polymetal Int. Plc	26,3	24,7	24,8	9,4 %	0,5 %	24,7–25,0
ЗАО «Чукотская ГГК» (входит в Kinross Gold Corp.)	21,3	21,7	20,7	7,9 %	−4,6 %	20,4–20,6
АО «Южуралзолото ГК» *	7,3	13,0	14,5	5,5 %	11,6 %	15,0
Petropavlovsk Plc	19,4	15,7	13,0	4,9 %	−17,4 %	13,0–14,3
Nord Gold SE	10,6	10,6	8,3	3,2 %	−21,6 %	8,0
Highland Gold Mining Ltd	6,7	6,6	6,9	2,6 %	5,2 %	6,7–7,0
АО «Золото Камчатки»	1,8	2,3	5,5	2,1 %	134,6 %	5,5–5,8
GV Gold	5,5	5,6	5,1	1,9 %	−9,6 %	6,7

Компания	2014, т	2015, т	2016, т	Доля рынка 2016, %	Темп роста 2016/2015, %	Прогноз 2017, т
ОАО «Сусуманзолото»	4,0	4,2	4,5	1,7 %	7,1 %	4,0
ПАО «Селигдар»	3,6	3,5	4,3	1,7 %	24,4 %	5,0–5,5
АО «Павлик»	0,0	1,1	3,7	1,4 %	242,1 %	4,0–4,5
ЗАО «ГРК «Западная»	2,6	2,9	3,3	1,2 %	12,8 %	3,2
ЗАО «Концерн „Арбат“»	2,0	2,7	2,7	1,0 %	1,9 %	2,6
ЗАО «Витим», артель старателей	2,4	2,5	2,6	1,0 %	2,0 %	2,5
АО «Соловьевский прииск»	2,2	2,5	2,5	0,9 %	−2,4 %	3,0–3,5
АО «Поиск Золото»	2,4	2,6	2,4	0,9 %	−8,0 %	2,4
ОАО «ГДК „Берелех“»	2,1	1,8	2,2	0,8 %	23,9 %	1,7
ООО «Курилгео»	0,0	1,7	1,5	0,6 %	−8,9 %	1,5
ОАО «Рудник Каральвеем» (Leviev Group)	1,6	1,5	1,4	0,5 %	−5,4 %	1,5
% от общероссийской добычи	69,1 %	71,3 %	72,3 %			72,6 % — 74,6 %
Прочие компании	78,1	73,4	72,7	27,7 %	−0,9 %	68,6–74,1
Итого **	252,7	255,3	262,4		2,8 %	~270

* В 2015 г. АО «Южуралзолото ГК» приобрело ООО «Соврудник».

** Включая производство золотосодержащих концентратов, вывезенных из РФ, и попутное золото.

Несмотря на то что в 2016 г. крупнейшие золотодобывающие компании демонстрировали разнонаправленную динамику добычи, большинство из них увеличили объемы. В 2017 г. ожидается рост добычи и производства золота в РФ в пределах 2 % — 2,5 % по отношению к 2016 г. Это произойдет преимущественно за счет увеличения производства золота из минерального сырья. Вторичное производство золота сохранится на уровне 2016 г.

В 2016 г. объем инвестиций ряда крупнейших компаний в золотодобывающую отрасль превысил уровни 2015 и 2014 гг. Среди крупнейших инвесторов 2016 г. были PJSC Polyus, Nord Gold SE и Polymetal Int. Plc, суммарно вложившие около 1,1 млрд долларов. Основными направлениями инвестиций компаний отрасли в 2016 г. стали геологоразведка, освоение новых месторождений, а также строительство рудников и перерабатывающих производственных мощностей. При этом в 2017 г. компании планируют увеличивать инвестиции. По объему прогнозируемых капитальных затрат с большим отрывом лидирует PJSC Polyus. Существенного роста капитальных затрат также ожидает Polymetal Int. Plc в связи с реализацией новых проектов, таких как Нежданинское, Прогноз и Викша.

В ближайшие годы ожидается рост инвестиционной активности как за счет сделок слияний и поглощений, так и в результате выхода компаний на рынки капитала.

Большинство иностранных инвесторов продолжают считать значительными риски инвестирования в Россию. Несмотря на это стоит отдельно выделить китайских инвесторов, которые проявляют растущий интерес как к приобретению существующих на рынке игроков, так и к строительству новых производственных мощностей. В 2015 г. Zijin Mining Group (одна из крупнейших китайских золотодобывающих компаний и крупнейшая в Китае золотодобывающая компания с частным капиталом) запустила в России первое, полностью профинансированное за свой счет производство на Кызыл-Таштыгском золото-полиметаллическом месторождении в Тыве. Объем инвестиций составил свыше 100 млн долларов. Zijin Mining Group получила награду Форума МАЙНЕКС «Событие Года». В апреле 2015 г. китайская корпорация «Тянь Хэ» приобрела у ООО «Мангазея Майнинг» долю в ООО «Геоцветмет» за 8 млн долларов. С сентября 2016 г. China National Gold Group Corporation ведет переговоры о приобретении у SUN Gold Ltd. 70%-ной доли в Ключевском месторождении. В мае 2017 г. PJSC Polyus подписала соглашение с китайской инвестиционной компанией Fosun о продаже 10% акций на сумму около 887 млн долларов. Fosun также получит опцион на 5%-ную долю PJSC Polyus (около 488 млн долларов).

Большинство российских золотодобывающих компаний увеличили свою выручку в 2016 г. по сравнению с предыдущим периодом. Однако лишь у половины из них выручка превысила уровень 2014 г., что обусловлено, в том числе динамикой цены на золото. Медианное значение реализации унции золота в 2016 г. составило 1246 долларов, что на 7,3% больше, чем в 2015 г., и на 1,3% ниже уровня 2014 г..

Внешние ограничения, введенные западными странами, как и тенденция укрепления курса рубля, не оказали негативного влияния на рентабельность по EBITDA российских золотодобывающих компаний по итогам 2016 г. Наиболее высокий результат в 2016 г. показали проекты Kinross Gold Corp. в России и компания PJSC Polyus.

В 2015 г. потребление золота в российской ювелирной промышленности снизилось по сравнению с 2014 г. на 40%, до 34 т. В технических отраслях промышленности было использовано 5,1 т, что ниже показателя 2014 г. на 16,4%.

Для пополнения государственных резервов в 2015 г. закуплено 208 т золота. Золотовалютные резервы по состоянию на декабрь 2015 г. составляли 1415,2 т, что на 17% больше, чем годом ранее. По этому показателю Россия находится на шестом месте в мире. Крупными покупателями золота (более 20 т) являются «Внешторгбанк», «Сбербанк», «Газпромбанк» и ФК «Открытие» (ранее «Номос-банк»), меньшие по объему закупки осуществляют и другие кредитные организации.

Освоение сырьевой базы золота в России ведется интенсивно. Доля нераспределенного фонда недр в структуре российских запасов в настоящее время низка и составляет 28%, а после лицензирования крупнейшего отечественного золоторудного объекта Сухой Лог снизилась до 14%. Реализация всех локализованных в стране прогнозных ресурсов сможет обеспечить прирост промышленных запасов в объеме не более 2–2,5 тыс. т, что позволит продлить работу золотодобывающей промышленности страны при уровне добычи 2015 г. всего на 7–9 лет. Для устойчивого развития отрасли необходимо проведение геолого-разведочных работ по воспроизводству МСБ золота страны как за счет средств федерального бюджета, так и внебюджетных источников финансирования. Одним из ведущих направлений ГРР на

золото в России следует считать выявление новых золото-сульфидно-кварцевых месторождений в терригенных толщах в пределах Верхояно-Колымской золотоносной провинции, охватывающей части Магаданской области и Республики Саха (Якутия). Приоритетными являются также запад и юг Восточной Сибири (Енисейский кряж и Забайкалье). Вулкано-плутонические пояса востока России остаются весьма перспективными для обнаружения месторождений золото-серебряного эпитермального геолого-промышленного типа. Помимо традиционных направлений, необходимо также усилить прогнозные и поисковые работы, ориентированные на выявление нетипичных для России крупнообъемных месторождений золото-медно-порфирового и «карлинского» типов.

1.3 Информация о добыче серебра в России и в мире

Российская Федерация обладает значительной сырьевой базой серебра, заключающей около 7% его мировых ресурсов. Данные о состоянии сырьевой базы серебра Российской Федерации на 1 января 2016 г. приведены в таблице 1.8.

Российские запасы серебра категорий А+В+С1+С2 составляют 118,8 тыс.т. Однако, запасы, заключенные в разрабатываемых и осваиваемых объектах (за исключением Холоднинского месторождения, расположенного вблизи оз. Байкал, освоение которого проблематично по экологическим причинам) с учетом качества руд и возможности извлечения из них серебра оцениваются всего в 46,3 тыс. т драгоценного металла.

Таблица 1.8 — Состояние сырьевой базы серебра Российской Федерации на 1 января 2016 г., тыс. т

Прогнозные ресурсы	Р1	Р2	Р3
количество	24,8	75,4	104,2
Запасы	А + В + С1	С2	
количество	65	53,8	
изменение по отношению к запасам на 1 января 2015 г.	−3,8	0,9	
доля распределенного фонда, %	92,3	79,1	
Использование сырьевой базы серебра Российской Федерации в 2015 г.			
Добыча из недр, т		2296,8	
Производство аффинированного металла, т		1039	
Потребление аффинированного металла, т		270	
Средняя цена на ЛБМ в 2015 г., долларов за тройскую унцию		15,7	
Ставка налога на добычу		6,5 %	

Это тем не менее позволяет России занимать четвертую позицию в мире по объему сырьевой базы серебра, уступая Мексике, Перу и Польше. Качество руд российских месторождений с запасами серебра в целом соответствует мировым аналогам. Собственно серебряные месторождения, стоимость драгоценного металла в

рудах которых превышает половину стоимости всех полезных компонентов, составляют около 21% российских запасов драгоценного металла.

В мире в собственно серебряных объектах содержится примерно пятая часть сырьевой базы серебра. Концентрация металла в их рудах колеблется от нескольких десятков граммов до первых килограммов на тонну при стабильно высоком показателе извлечения металла. В запасах 22 российских собственно серебряных месторождений среднее содержание серебра варьируется от 110 до 1222 г/т, степень извлечения составляет 85 % — 90 %. Подавляющая часть серебра в мире, как и в России, заключена в рудах комплексных месторождений цветных и драгоценных металлов различных геолого-промышленных типов, где оно присутствует в качестве попутного компонента. Содержание серебра в рудах варьируется в широких пределах. Так, в российских золоторудных объектах оно меняется от 0,2 до 770 г/т, в колчеданно-полиметаллических — от 9 до 536 г/т. Столь же изменчив и уровень извлечения серебра из комплексных руд.

На колчеданно-полиметаллических и жильных свинцово-цинковых объектах в концентраты извлекается до 80% серебра, на медно-колчеданных – от 10 % до 70%, обычно 30 % — 45 % для сульфидных медно-никелевых руд коэффициент извлечения не превышает 50%. Богатейшими запасами серебра обладают Мексика и Перу, через территорию которых протягивается «Великий серебряный пояс» Северной и Южной Америк. На территории этих стран находятся крупные и гигантские по запасам серебра месторождения, среди которых серебряно-полиметаллические Пенаскито, Фреснильо и Питаррилья в Мексике, скарново-полиметаллическое Антамина, молибден-медно-порфировое Торомочо и собственно серебряное Корани в Перу.

Запасы серебра Польши заключены только в комплексных месторождениях. Основу ресурсной базы составляет крупнейший в Европе Легницко-Глогувский меднорудный пояс, в пределах которого разрабатываются многочисленные месторождения меди: Любин, Рудна, Полковице Серошовице, Глогув-Глубокий и др. Среднее содержание серебра в их рудах составляет 57 г/т. В Китае серебро в основном играет роль попутного компонента в рудах свинцово-цинковых, медных и золотосеребряных месторождений, таких как Дэсин, Юнпин, Добаошань, Сетунмынь, Эл-Ти-Пи, Фувань, Чжэн-Гуан и др. Сведений о качестве руд и параметрах большинства китайских месторождений нет.

В Австралии большая часть серебра заключена в шестнадцати полиметаллических месторождениях, крупнейшими из которых являются Каннингтон, Маунт-Айза, Джордж-Фишер; в каждом из них ресурсы серебра превышают 13 тыс.т. В Чили — стране, территория которой захватывается «Великим серебряным поясом», основной промышленный интерес представляют молибден-медно-порфировые месторождения с попутным золотом и серебром, среди которых наиболее значительные — Эскондида и Эсперанса, и золото-серебряные объекты, крупнейшим представителем которых является месторождение Паскуа-Лама. Качество их руд характеризуется сильной изменчивостью. В США значительная часть сырьевой базы серебра заключена в медно-порфировых и свинцово-цинковых (стратиформных и колчеданно- полиметаллических) месторождениях, сосредоточенных преимущественно на западе страны, в штатах Невада, Аризона, Нью-Мексико, Монтана, Калифорния и Аляска.

Перспективы наращивания сырьевой базы серебра в России значительны — ресурсы только категории Р1 оцениваются почти в 24,8 тыс.т. Они локализованы в Республике Саха (Якутия), Магаданской области и Приморском крае. Прирост запасов возможен и путем наращивания запасов известных месторождений, и в результате выявления новых собственно серебряных или, с меньшей вероятностью, – серебро-полиметаллических (возможно с оловом) объектов. Предполагаемое содержание серебра в прогнозных ресурсах преимущественно высокое, от 100 г/т до первых килограммов на тонну.

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 (Якутии) и Магаданской области. В Забайкальском крае серебро заключено в комплексных месторождениях, основными компонентами которых являются медь, свинец, цинк, олово, золото и другие металлы.

В рудах Удоканского месторождения медистых песчаников заключено около 10% российских запасов серебра при низких (в среднем 10 г/т) его концентрациях в рудах. Крупные запасы драгоценного металла содержатся в связанных со скарнами свинцово-цинковых и полиметаллических объектах. Наиболее значимыми среди них являются месторождения Нойон-Тологой и Ново-Широкинское (среднее содержание серебра в их рудах — 66,2 г/т и 48,4 г/т соответственно).

Значительная часть таких месторождений разведана в пределах Монголо-Охотской металлогенической провинции, изученность которой пока невелика; здесь локализованы только ресурсы серебра низких категорий. Комплексные серебросодержащие месторождения характерны и для Красноярского края, где более половины его запасов заключено в свинцово-цинковых рудах Горевского колчеданно-полиметаллического месторождения, содержащих в среднем 51,2 г/т серебра. Остальные запасы серебра края заключены в сульфидных медно-никелевых рудах месторождений Норильской группы, содержащих 0,7–5,1 г/т попутного серебра.

Собственно серебряные месторождения распространены в Верхояно-Колымской металлогенической провинции, захватывающей территорию Республики Саха (Якутия), Магаданской области и Хабаровского края, в Охотско-Чукотском поясе, простирающемся вдоль побережья Тихого океана. В Республике Саха (Якутия) разведано четыре крупных собственно серебряных месторождения: Прогноз, Вертикальное, Верхне-Менкече и Кимпиче, связанных с рудоносными зонами в терригенных и терригенно-карбонатных толщах. Самое крупное из них месторождение Прогноз заключает около 9,2 тыс.т серебра в богатых рудах, содержащих в среднем 906,4 г/т серебра. Запасы остальных объектов составляют от 1,1 до 1,5 тыс.т серебра при среднем его содержании в рудах 332-718 г/т. Некоторое количество попутного серебра разведано в Нежданинском золоторудном месторождении, его содержание в рудах – 27 г/т.

Верхояно-Колымская металлогеническая провинция обладает высокими перспективами наращивания запасов драгоценного металла. В ее якутской части локализовано около 9,4 тыс.т ресурсов категории Р1 в проявлениях серебряно-полиметаллического оруденения, в том числе на флангах месторождений Прогноз и Вертикальное. Перспективы остальной площади провинции существенно меньше. В

Охотско-Чукотской провинции Тихоокеанского вулканического пояса распространены золоторудные, золото-серебряные и золото-серебро-сульфидные месторождения.

Одиннадцать наиболее значимых собственно серебряных месторождений (в том числе пять золото-серебряных) разведаны в Магаданской области; суммарно они заключают 11,7 тыс.т, или почти 10% российских запасов серебра. Среднее содержание серебра в рудах собственно серебряных объектов колеблется в широких пределах, от 185 до 1222 г/т. Самым важным является Дукатское золото-серебряное месторождение с богатыми рудами (638,1 г/т Ag), заключающее около 6% российских запасов серебра. В Дукатском рудном районе разведаны и другие значимые месторождения с высоким содержанием драгоценного металла: серебряно-золотое Лунное (432,4 г/т) и серебряное Гольцовое (1233,6 г/т), суммарно заключающие 2,5% запасов страны. Дукатский рудный район очень перспективен с точки зрения прироста запасов серебра, здесь локализовано 5,4 тыс.т ресурсов категории Р1. Большая их часть приурочена к флангам и глубоким горизонтам Дукатского и Лунного месторождений; известны также проявления собственно серебряного, золото-серебряного и серебряно-полиметаллического типов, в том числе с оловом; для последних характерно самое богатое оруденение – до 2,6 кг/т серебра.

В других регионах Магаданской области, входящих в Охотско-Чукотскую металлогеническую провинцию, в проявлениях тех же геолого-промышленных типов локализованы прогнозные ресурсы категории Р1 в 2,4 тыс.т. На севере Охотско-Чукотской провинции, в Чукотском АО эксплуатируется среднее по масштабу (1% российских запасов серебра) серебряно-золотое месторождение Купол, характеризующееся высоким качеством руд. Среднее содержание главного компонента — золота в них достигает 24,5 г/т, серебра — 331,1 г/т. Близкое по геолого-промышленному типу и сопоставимое по запасам серебра Хаканджинское золото-серебряное месторождение расположено на юге Охотско-Чукотской провинции на территории Хабаровского края. Его руды несколько богаче серебром (493,2 г/т) и беднее золотом (11,1 г/т).

Южнее, в Сихотэ-Алиньской металлогенической провинции, на территории Хабаровского и Приморского края и на востоке Амурской области разведаны мелкие собственно серебряные и комплексные месторождения, связанные преимущественно со скарнами. Возможности наращивания сырьевой базы серебра провинции оцениваются как высокие, суммарные прогнозные ресурсы категории Р1 достигают 5,9 тыс. т. Прогнозируются в первую очередь золото-серебряные объекты с содержанием серебра в рудах до 600 г/т и более, а также серебряно-полиметаллические месторождения.

В Чукотском АО в пределах Колымо-Омолонской металлогенической провинции разведывается медно-порфировое месторождение Песчанка, заключающее около 1,6% российских запасов серебра в бедных (4,6 г/т) комплексных рудах.

Значительные запасы драгоценного металла (около 7% российских) сосредоточены в недрах крупных Озерного и Холоднинского колчеданно-полиметаллических месторождений в Республике Бурятия, руды которых содержат 35 и 10 г/т серебра соответственно. Более значительными концентрациями металла (в среднем 54,3 г/т) отличаются руды Корбалихинского колчеданно-полиметаллического

месторождения в Алтайском крае, запасы серебра которого составляют 1,1% российских.

В колчеданных объектах Урала заключено еще около 15% запасов серебра, которое играет роль попутного компонента руд. Наиболее значимые серебросодержащие объекты — это медноколчеданные Подольское и Ново-Учалинское месторождения в Республике Башкортостан, Гайское в Оренбургской и Узельгинское в Челябинской областях. Среднее содержание серебра в их рудах типично для месторождений этого типа и составляет 10–31 г/т. Перспективы прироста запасов серебра в регионе незначительны, ресурсы категории Р1, связанные с медно-колчеданными рудами, оцениваются всего в 0,6 тыс.т. На остальной территории страны в мелких комплексных месторождениях заключено около 3% российских запасов серебра.

Государственным балансом запасов полезных ископаемых Российской Федерации учитываются запасы серебра в 418 месторождениях, в числе которых 18 россыпных; в 26 объектах запасы только забалансовые. Кроме того, в отвалах и хвостохранилищах рудников подсчитаны техногенные запасы серебра категорий А+В+С1+С2 в количестве 76,2 т. В распределенном фонде недр числится 303 объекта, в том числе все крупнейшие месторождения серебряных и серебросодержащих руд и все россыпи. Нелицензированными остаются преимущественно месторождения мелкого масштаба.

В таблице 1.9 представлена информация об основных серебряных и серебросодержащих месторождениях.

Таблица 1.9 — Основные серебряные и серебросодержащие месторождения

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание серебра в рудах, г/т	Добыча в 2015 г., т
		А + В + С1	С2			
1	2	3	4	5	6	7
ООО «Прогноз-Серебро»						
Прогноз (Республика Саха (Якутия))	Серебряный	4224,5	4966	7,7	906,4	0
АО «Серебро Магадана»						
Дукатское (Магаданская область)	Золото-серебряный	5738,5	1254	5,9	638,1	733,9
Лунное (Магаданская область)	Серебряно-золотой	390,9	1222,1	1,4	432,4	134
Гольцовое (Магаданская область)	Серебряный	679,7	643,4	1,1	1233,6	97,5
ООО «ГеоПроМайнинг Верхне-Менкече»						
Верхне-Менкече (Республика Саха (Якутия))	Серебряный	181,3	1278,1	1,2	332,1	0
ЗАО «Прогноз»						
Вертикальное (Республика Саха (Якутия))	Серебряный	440,9	706,8	1	718,1	0
ООО «Охотская ГГК»						
Хаканджинское (Хабаровский край)	Серебряно-золотой	1110,2	49,4	1	493,2	22,2
АО «Чукотская ГГК»						
Купол (Чукотский АО)	Золото-серебряный	383,8	527	0,9	331,1	175,1
АО «Южно-Верхоянская горнодобывающая компания»						
Нежданинское (Республика Саха (Якутия))	Золото-мышьяково-сульфидный	1559,6	673,6	1,9	27,4	0
ООО «Байкальская горная компания»						
Удоканское (Забайкальский край)	Медистые песчаники	7345,5	4555,1	9,8	10	0
ПАО «ГМК „Норильский никель“»						

1	2	3	4	5	6	7
Октябрьское (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	4446,59	1326,8	4,9	5,1	73,4
Талнахское (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	2535,2	1024,2	3	3,6	21,9
ОАО «Горевский ГОК»						
Горевское (Красноярский край)	Колчеданно-полиметаллический	2279,4	1974,2	3,6	51,2	74,6
ООО «Техпроминвест»						
Озерное (Республика Бурятия)	Колчеданно-полиметаллический	4383,8	287,3	3,9	35	0
ООО «ИнвестевроКомпани»						
Холоднинское (Республика Бурятия)	Колчеданно-полиметаллический	2776,9	759,9	3	9,9	0
ОАО «Сибирь-Полиметаллы»						
Корбалихинское (Алтайский край)	Колчеданно-полиметаллический	1234,8	101,5	1,1	54	18,9
ООО «Байкалруда»						
Нойон-Тологой (Забайкальский край)	Скарново-полиметаллический	1510,8	1706	2,7	66,2	23
ПАО «Гайский ГОК»						
Гайское (Оренбургская область)	Медно-колчеданный	3293,2	405,1	3,1	9,8	80,1
ООО «Башкирская медь»						
Подольское (Республика Башкортостан)	Медно-колчеданный	2226,9	38,2	1,9	27,6	0
АО «Учалинский ГОК»						
Узельгинское (Челябинская область)	Медно-колчеданный	1461,6	43,3	1,3	30,6	94,4
Ново-Учалинское (Республика Башкортостан)	Медно-колчеданный	1863,5	956,4	2,4	26,7	0

1	2	3	4	5	6	7
ООО «ГДК „Баимская“»						
Песчанка (Чукотский АО)	Медно-порфировый	1450,8	551,4	1,7	4,6	0

В 2015 г. в России началась разработка двух комплексных месторождений, содержащих серебро в качестве попутного компонента.

Компания ЗАО «Ормет» приступила к промышленной отработке карьером Весенне-Аралчинского медно-колчеданного месторождения в Оренбургской области, добыв 787,4 тыс. т руды, содержащей 11,9 г/т попутного серебра. Компания ОАО «Золото Селигдара» начала открытую разработку Трассового золоторудного месторождения в Республике Саха (Якутия). Из его недр добыто 130 тыс. т руды, содержащей 2,6 г/т серебра.

Подготовка к эксплуатации велась на 65 месторождениях, заключающих около 40 % российских запасов серебра, в том числе на крупных и средних по масштабу серебросодержащих объектах. Среди них — собственно серебряные Прогноз и Верхне-Менкече в Республике Саха (Якутия), а также комплексные месторождения: Удоканское месторождение медистых песчаников в Забайкальском крае, Озерное колчеданно-полиметаллическое в Республике Бурятия и Подольское медно-колчеданное в Республике Башкортостан. Компания ООО «Прогноз-Серебро» готовит к подземной разработке крупнейшее в России собственно серебряное месторождение Прогноз в Республике Саха (Якутия), в рудах которого свинец является попутным компонентом. Годовая производительность рудника может составить более 500 тыс. т руды в год. Согласно лицензионному соглашению ввод в эксплуатацию горнодобывающего предприятия должен был осуществиться не позднее конца 2016 г. Для его выхода на полную производственную мощность потребуется до 2 лет. Продукцией нового предприятия могут стать серебряные слитки с содержанием серебра не менее 85% и обессеребряный концентрат. В начале 2016 г. к развитию проекта присоединилась компания Polymetal International plc., став владельцем 5% акций ООО «Прогноз-Серебро» с возможностью приобрести до 50% косвенного владения месторождением.

Также в Якутии компания ООО «ГеоПром-Майнинг Верхне Менкече» ведет горно-подготовительные работы на собственно серебряном месторождении Верхне-Менкече. Начало работы подземного рудника, на котором будет добываться около 65 т серебра в год, запланировано на 2017 г. До ввода обогатительной фабрики в промышленную эксплуатацию в 2020 г. руда будет складироваться на промплощадке. Перевозки серебра в концентрате (преимущественно свинцовом) будут вестись по автозимнику. Срок действия предприятия составляет 15 лет. Разработка месторождения входит в программу развития Томпонского района, где оно расположено.

В 2015 г. государственным балансом запасов полезных ископаемых впервые учтены запасы попутного серебра 20 мелких месторождений, в том числе 11 золоторудных, двух сульфидных медно-никелевых, одного медно-порфирового и шести россыпных месторождений золота. По состоянию на 1 января 2016 г. их суммарные запасы категорий A+B+C1 составляют 10,1 т серебра, категории C2 — 519,2 т (в том числе в россыпных — 5 т категории C2). Наиболее крупное — разведываемое Иканское медно-порфировое месторождение в Амурской области с запасами попутного серебра 259,5 т категории C2, среднее содержание металла в комплексных рудах — 1,5 г/т. На Октябрьском сульфидном медно-никелевом месторождении в Красноярском крае в результате эксплуатационной разведки прирост запасов серебра категорий A+B+C1 составил 73,4 т. По той же причине был получен прирост запасов категорий A+B+C1

для открытой разработки в количестве 34,6 т серебра на Кызыл-Таштыгском полиметаллическом месторождении в Республике Тыва.

На серебряно-золотом месторождении Лунное в Магаданской области прирост запасов серебра категорий А+В+С1 в результате разведки составил 71,3 т; одновременно на месторождении в ходе переоценки прирост запасов тех же категорий составил 32,9 т. В Магаданской области в результате геолого-разведочных работ и эксплуатационной разведки на собственно серебряном Гольцовом месторождении запасы серебра категорий А+В+С1 увеличились на 35,7 т, на золото-серебряных Дукатском и Ороч запасы выросли на 51,3 т и 18,1 т соответственно.

На других месторождениях приросты были менее значительными. Всего изменение запасов в результате ГРР отмечено на 81 объекте. Суммарный прирост запасов серебра категорий А+В+С1 в ходе геолого-разведочных и эксплуатационно-разведочных работ составил 457,9 т, что позволило компенсировать только пятую часть запасов, погашенных при добыче. В ходе переоценки запасы тех же категорий сократились на 1998,2 т; кроме того, было списано 60 тыс. т неподтвердившихся запасов; в результате изменения технических границ и по другим причинам приращено 220,3 тыс. т. В целом российские запасы серебра категорий А+В+С1 в 2015 г. уменьшились на 3,8 тыс. т, категории С2 — увеличились почти на 1 тыс. т.

Разведывалось 67 месторождений. Среди них наиболее крупные собственно серебряные Вертикальное в Республике Саха (Якутия), Перевальное и Приморское (участок Теплый) в Магаданской области, а также комплексные месторождения с попутным серебром: свинцово-цинковое Павловское в Архангельской области, медно-колчеданное Ново-Учалинское в Республике Башкортостан, молибден-урановое Дружное в Республике Саха (Якутия), золото-серебряное Перекатное в Магаданской области и медно-порфировое Песчанка в Чукотском АО.

Добыча серебра из недр в России, достигнув рекордного уровня годом ранее, в 2015 г. уменьшилась на 2,5% (или 59,9 т) и составила 2296,8 т. На 171 разрабатываемом месторождении было добыто 2235,9 т серебра, в процессе подготовительных работ на еще не введенных в эксплуатацию объектах извлечено из недр 60,9 т серебра; кроме того, на техногенных объектах добыто еще 9,3 т металла. Спад был вызван сокращением добычи попутного серебра, содержащегося в комплексных рудах на 207,5 т, который не был компенсирован ростом добычи серебра, заключенного в собственно серебряных рудах эксплуатируемых объектов, составившим 147,6 т. Собственно серебряные месторождения — Дукатское, Гольцовое, Арылахское, Дар и подготавливаемое к освоению Ороч — обеспечили около 40% добычи серебра (против 30% годом ранее). При этом на одном из крупнейших в мире серебряных рудников, эксплуатирующем Дукатское месторождение, была добыта треть российского металла.

Ведущим производителем серебра является крупный холдинг АО «Полиметалл», обеспечивающий около половины добычи серебра в России и входящий в десятку крупнейших мировых производителей. В 2015 г. его предприятиями добыто 1142 т серебра, на 8 т больше, чем годом ранее. Среди активов лидера один из крупнейших серебряных рудников в мире — подземный рудник Дукат, разрабатывающий одноименное золото-серебряное месторождение в Магаданской области. На нем в 2015 г. компания-оператор АО «Серебро Магадана» увеличила добычу серебра на 27,7%, добыв 733,9 т металла, что составило почти две трети

серебра, полученного всеми предприятиями холдинга. Дальнейшее повышение производительности на подземном руднике Дукат будет ограничено в силу увеличения объемов добычи из узких жил. Дукатский хаб также включает еще три подземных рудника, разрабатывающих золото-серебряное Лунное и собственно серебряные Гольцовое и Арылахское месторождения в Магаданской области, руды которых перерабатываются совместно на Омсукчанской золотоизвлекательной фабрике (ЗИФ) и фабрике Лунное. В 2015 г. из их недр было добыто 134, 97,5 и 33,3 т серебра соответственно. Обеспеченность предприятий хаба запасами серебра составляет 12–16 лет. Компания ведет работы по расширению ресурсной базы предприятий, концентрируя ГРР на прилегающих участках и ближайших месторождениях.

Другие дочерние компании холдинга АО «Полиметалл» разрабатывают комплексные серебросодержащие месторождения золота, в том числе золото-серебряные: ООО «Омолонская золоторудная компания» в Магаданской области, ООО «Ресурсы Албазино» и ООО «Охотская ГГК» в Хабаровском крае, ЗАО «Золото Северного Урала» в Свердловской области. Холдинг также имеет производственные активы в Казахстане.

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», крупнейшего производителя меди, разрабатывающего медно-колчеданные месторождения Среднего и Южного Урала, в том числе на подконтрольную ему компанию АО «Учалинский ГОК». АО «Чукотская ГГК», разрабатывающая крупное золото-серебряное месторождение Купол в Чукотском АО, главным компонентом в рудах которого является золото, в 2015 г. обеспечила около 8% российской добычи серебра.

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. Серебросодержащие концентраты, цементаты и слитки золото-серебряного сплава, как правило, производятся на фабриках горнодобывающих предприятий. При обогащении комплексных руд цветных металлов извлечение серебра в концентрат может варьировать от 5% до 90%, однако редко превышает 40%. На фабриках, перерабатывающих собственно серебряные руды, этот показатель составляет 85 % — 90 %. Полученная продукция поставляется на переработку на металлургические или аффинажные предприятия, в том числе зарубежные.

Данные о ведущих странах производителях первичного серебра приведены в таблице 1.10.

Таблица 1.10 — Ведущие страны — производители первичного серебра

Страна	Производство в 2015 г., т	Доля в мировом производстве, %
Мексика	5895	21
Перу	4227	15
Китай	3392	12
Россия	1750	6

Страна	Производство в 2015 г., т	Доля в мировом производстве, %
Австралия	1566	6
Чили	1505	5

Производство аффинированного серебра, полученного из руд в 2015 г., в России увеличилось на треть и составило около 1039 т, из них 308 т получено попутно; кроме того, 208 т металла было извлечено из вторичного минерального сырья. Значительная часть добываемого в России серебра ежегодно экспортируется в составе концентратов цветных и драгоценных металлов и в виде аффинированного металла. Экспорт серебра в составе руд и концентратов за 2015 г. оценивается в 710 т. Основными потребителями минерального сырья являются Казахстан, Китай, Республика Корея.

Почти две трети аффинированного серебра в России производится на крупнейшем в стране предприятии по производству драгоценных металлов — Красноярском аффинажном заводе компании ОАО «Красцветмет», 100% акций которой принадлежат администрации Красноярского края. В 2015 г. объем аффинажа серебра увеличился втрое — заводом выпущено около 772 т металла. Компания планирует расширение производства — к 2025 г. мощности по выпуску серебра могут достигнуть 1,1 тыс. т/г. Серебряные слитки, производимые ОАО «Красцветмет», соответствуют высоким мировым стандартам и включены в списки продукции Good Delivery Лондонской биржи драгоценных металлов и Дубайской золото-товарной биржи.

.Аффинаж серебра в России ведут также предприятия компаний АО «Уралэлектромедь» в Свердловской области, АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов», АО «Приокский завод цветных металлов» в Рязанской области, ОАО «Комбинат «Североникель»» в Мурманской области, ЗАО «Кыштымский медеэлектролитный завод» в Челябинской области, АО «Новосибирский аффинажный завод», ООО «Сибпроект-ДрагМет» (г. Красноярск), ФГУП «Московский завод по обработке специальных сплавов» (г. Москва). Производство аффинированного серебра из вторичного сырья (скрапа) осуществляют АО «НПК «Суперметалл»» (г. Москва), АО «Щелковский завод вторичных драгоценных металлов» (Московская область), АО «Уральские инновационные технологии» (г. Екатеринбург), ООО «ПЗЦМ-Втормет» (г. Москва). Российские продажи аффинированного металла в 2015 г. выросли на 14 %, составив 919 т. Основным покупателем серебра оставалась Индия, закупившая почти 90 % экспортируемого металла; существенно меньшее количество металла было направлено в Китай, Великобританию, Швейцарию и другие страны.

Продажи серебра за рубеж осуществляются компаниями-производителями и российскими банками. Лицензиями на этот вид деятельности владеют около 150 российских кредитных организаций. Наибольшее количество драгоценного металла экспортируют «Сбербанк», «ВТБ», «Открытие» (ранее «Номос-Банк») и «Газпромбанк». Среди добывающих компаний, имеющих разрешение на экспорт металла, лидером традиционно является АО «Полиметалл».

Россия потребляет около 1 % — 2 % серебра, производимого в мире. В 2015 г. видимое потребление металла составило 358 т. Металл используется в различных отраслях промышленности: ювелирном деле, при изготовлении сплавов и припоев, рентгеновских и фотопленок и т.д. Применение его как инвестиционного металла

незначительно. Россия стабильно входит в первую десятку стран-производителей серебра.

Планируемое освоение месторождений серебра в Республике Саха (Якутия), а также крупных и средних серебросодержащих комплексных месторождений в Сибири и на Урале позволяет ожидать, что в ближайшей перспективе положение страны на мировом рынке серебра еще более укрепится. В то же время освоение некоторых объектов затруднено их расположением в экономически слабо освоенных районах. Геологические предпосылки для поддержания и развития МСБ серебра в далекой перспективе возможны как за счет уже оцененной собственной ресурсной базы металла, так и за счет прогнозного потенциала комплексных серебросодержащих месторождений свинца, цинка, меди, золота, и, в меньшей степени, никеля и платиноидов.

1.4 Информация о добыче металлов платиновой группы в России и в мире.

Положение России в мировой платиноидной промышленности на протяжении длительного времени остается стабильным. Учитываемые Государственным балансом запасов полезных ископаемых запасы платиноидов РФ превышают 15 тыс.т. Металлы платиновой группы (МПГ) заключены, в основном, в рудах комплексных сульфидных медно-никелевых месторождений, уникальных по масштабу и качеству заключенного в недрах минерального сырья, и извлекаются попутно при добыче никеля и меди. Сведения о состоянии сырьевой базы металлов платиновой группы представлены в таблице 1.11.

Таблица 1.11 — Состояние сырьевой базы металлов платиновой группы Российской Федерации на 1 января 2016 г., т

Прогнозные ресурсы	P1	P2	P3
количество	33,9	237,3	400
Запасы	A + B + C1	C2	
количество	9782,4	5288,1	
изменение по отношению к запасам на 1 января 2015 г.	−82,5	−7	
доля распределенного фонда, %	99,7	97,3	
Использование сырьевой базы серебра Российской Федерации в 2015 г.			
Добыча из недр, т		143,2	
Экспорт, т		105,2	
Среднегодовые цены на Лондонском рынке платины и палладия в 2015 г., долларов/г		платина — 31,7	
		палладий — 19,7	
Ставка налога на добычу		6,5 %	

Особенностью разрабатываемых сульфидных коренных руд российских месторождений является повышенная концентрация палладия. Промышленные запасы платиноидов российских эксплуатируемых и осваиваемых месторождений в

совокупности достигают 4 тыс.т и составляют примерно пятую часть мировых, что позволяет стране прочно занимать вторую позицию, уступая лишь ЮАР.

Практически все ресурсы и промышленные запасы МПГ мира сосредоточены на территории пяти стран. Более трех их четвертей локализовано на территории ЮАР и относится к Бушвельдскому дифференцированному интрузивному комплексу. Выходы его пород на поверхность занимают площадь более 66 тыс. км^2.

Массив условно разделен на три сектора. В Западном и Восточном секторах оруденение локализовано в пластах (рифах) Меренского и UG-2, несущих малосульфидное собственно платиноидное оруденение. Пласты находятся в верхней части интрузива и характеризуются небольшой мощностью (до 5 м) при — более 250 км — протяженности. Для руд характерны высокие концентрации МПГ (5–6 г/т) при отношении платины к палладию от 2:1 до 3:1. При переработке руд попутно извлекаются никель, медь, золото. В Северном секторе оруденение относится к сульфидному медно-никелевому типу и локализовано в менее выдержанном и не имеющем четких геологических границ пласте Платриф.

Мощность его достигает 20–25 м. Средние концентрации МПГ здесь ниже (до 3 г/т), платиноиды извлекаются из руд попутно при добыче никеля и меди. Потенциал Бушвельдского интрузивного комплекса пока выявлен не полностью. В Зимбабве малосульфидное платиноидное оруденение приурочено к приподошвенному продуктивному горизонту Главная Сульфидная Зона расслоенного интрузивного массива Великая Дайка. Масштаб оруденения до конца не оценен, однако интрузив меньше Бушвельдского, а руды — беднее (до 3,5 г/т МПГ). Сведения по запасам металлов платиновой группы приведены в таблице 1.12.

Таблица 1.12 — Запасы металлов платиновой группы и объемы производства ведущих стран

Страна	Запасы категории Proved + Probable, тыс. т	Производство в 2015 г., т	Доля в мировом производстве, %
ЮАР	11,5	244,7	55
Россия	3,9	100,4	25
Канада	0,5	35	8
Зимбабве	0,7	23,5	5
США	1,2	16,2	4

Среди платиноидов незначительно преобладает платина. В США почти весь ресурсный потенциал связан с интрузивными комплексами Стиллуотер и Дулут, где преобладает малосульфидное платиноидное оруденение; доля сульфидных медно-никелевых руд в сырьевой базе МПГ страны невелика. Малосульфидные руды комплекса Стиллуотер уникальны по содержаниям платины и палладия (до 4 и 14,3 г/т соответственно). Потенциал осваиваемого интрузива Дулут сравним с комплексом Стиллуотер, хотя его руды беднее (0,2–0,3 г/т МПГ). В сырьевой базе Канады преобладают руды комплексных сульфидных медно-никелевых месторождений рудного района Садбери, в основном, мелкого и среднего масштаба, с низкими концентрациями попутных платиноидов (до 1,7 г/т). Кроме того почти пятую ее часть составляют ресурсы бедных (до 2,5 г/т) малосульфидных руд месторождения Лак-дез-

Иль, характерной особенностью которых является преобладание палладия над платиной более чем в десять раз.

Потенциал наращивания российской сырьевой базы платиноидов незначителен, а суммарные ресурсы высокой степени достоверности составляют менее 34 т. Прогнозные ресурсы платиноидов учитываются только в собственно платиноидных рудах коренных месторождений. Распределение месторождений МПГ на территории России крайне неравномерно — более 95% запасов платиноидов сосредоточено в Красноярском крае. 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. Запасы категорий А+В+С1 +С2 Октябрьского месторождения превышают 5,6 тыс.т. Диапазон концентраций МПГ в рудах в зависимости от типа руды составляет 2,8–15,5 г/т, самыми богатыми являются «медистые» руды. Запасы платиноидов Талнахского месторождения несколько меньше — почти 4,5 тыс.т, а разброс содержаний шире – от 2,9 до 28,9 г/т, хотя по средним концентрациям МПГ руды их близки (4,5–4,6 г/т). Характерной их особенностью является преобладание палладия, который составляет до 75% суммы платиноидов. На платину приходится около 20%, в небольших количествах в рудах присутствуют осмий, иридий, родий и рутений. Подобное распределение МПГ в рудах этого геолого-промышленного типа нигде больше не встречается. В Норильском рудном районе разведаны еще три аналогичных месторождения меньшего масштаба: Норильск-1, Масловское и Черногорское — с суммарными запасами платиноидов 4,2 тыс.т. Руды их представлены вкрапленными разностями с меньшими концентрациями МПГ, чем в крупнейших объектах; самые богатые (в среднем 6,6 г/т) слагают Масловское месторождение.

На юге Красноярского края, в Канской металлогенической зоне, осваиваются схожие Кингашское и Верхнекингашское месторождения бедных (около 0,5 г/т) вкрапленных сульфидных медно-никелевых руд. По масштабу они относятся к крупным, суммарно включая 234,5 т платиноидов. В крае разведаны также шесть платиноносных россыпей, однако масштаб их невелик, запасы в совокупности лишь несколько превышают 3 т.

На территории Мурманской области и Республики Карелия разведано всего около 4% российских запасов платиноидов (562,2 т). Большая их часть — 521,7 т — заключена в малосульфидных собственно платиноидных месторождениях Имандра-Варзугской и Северо-Карельской металлогенических зон, где находятся все шесть российских объектов этого типа. Самый крупный из них, Федорова Тундра, заключает почти 350 т МПГ в рядовых по качеству рудах (1,37 г/т). В пределах Имандра-Варзугской зоны локализованы все прогнозные ресурсы МПГ России категории Р1 – 33,9 т. Кроме того, в Печенгском рудном районе Имандра-Варзугской металлогенической зоны выявлено десять месторождений сульфидного медно-никелевого типа. Они мельче и беднее норильских — их суммарные запасы составляют менее 40 т платиноидов. Сложены они преимущественно вкрапленными рудами, содержание в рудах крупнейшего Ждановского месторождения не превышает

0,07 г/т. Самые богатые руды, с содержанием МПГ 1,1 г/т, заключены в мелком месторождении Восток.

Запасы, разведанные на остальной территории страны, незначительны и суммарно не превышают 100 т. В сульфидном медно-никелевом месторождении Кун-Манье в Амурской области сосредоточено 15,9 т платиноидов в бедных вкрапленных рудах, содержащих 0,34 г/т МПГ. Отношение платины к палладию в них составляет 1:1. Еще одно подобное месторождение мелкого масштаба Шануч с запасами в 0,6 т и низким (0,7 г/т) содержанием платиноидов в рудах разведано в Камчатском крае. В Свердловской области в рудах Волковского ванадиево-железо-медного месторождения заключено 36,6 т попутных МПГ при среднем их содержании 0,13 г/т. В регионе известно также большое количество мелких платиноносных россыпей с суммарными запасами почти в 20 т МПГ. Сведения об основных месторождениях платиноидов приведены в таблице 1.13.

В единичных случаях запасы россыпных объектов достигают 1–2 т шлиховой платины; средние содержания не превышают 0,5 г/м^3. Россыпные объекты с попутной платиной выявлены также в Республике Саха (Якутия) и Камчатском крае. Два самых крупных россыпных месторождения страны находятся в Хабаровском крае. Запасы осваиваемой россыпи р. Уоргалан оцениваются в 15,1 т платиноидов, представленных в основном платиной, при среднем содержании МПГ в песках 0,97 г/м^3; эксплуатируемая россыпь р. Кондер заключает 7 т платиноидов при содержании 1,04 г/м^3. Государственным балансом запасов полезных ископаемых учтены 138 месторождений с запасами МПГ, в том числе 30 коренных и 108 россыпных. Запасы 16 объектов (12 россыпных и четырех коренных) – только забалансовые. В 2014 г. на государственный учет поставлено техногенное месторождение Хвостохранилище № 1 НОФ с попутными платиноидами.

По состоянию на начало 2016 г. не переданы в освоение восемь коренных и 63 россыпных объекта. Среди коренных месторождений нераспределенного фонда недр преобладают малосульфидные платиноидные объекты, как правило,меньшего масштаба, чем лицензированные, с сопоставимым содержаниям МПГ в рудах. Не переданные в освоение сульфидные медно-никелевые месторождения включают только забалансовые запасы. Россыпные месторождения нераспределенного фонда недр – мелкие, лишь в единичных случаях их запасы превышают тонну. Расположены они, в основном, на территории Свердловской области. Драгоценный металл может быть как основным, так и попутным компонентом, содержание его преимущественно невысоко (менее 0,5 г/м^3).

В 2015 г. в Свердловской области компанией АО «Уралэлектромедь» начата разработка участка собственно платиновой россыпи р. Простокишенка Большая; добыча шлиховой платины составила 13,6 кг. Кроме того, по месторождению утверждены запасы платины на нескольких участках — суммарный прирост составил 71,4 кг категории С1. Количество разрабатываемых компанией месторождений достигло четырех. В Камчатском крае компания АО «Корякгеолдобыча» в ходе эксплуатационных и разведочных работ на платиновых россыпях руч. Ледяной и р. Левтыринывая получила суммарный прирост запасов платиноидов с учетом переоценки в количестве 572 кг категории С1.

Таблица 1.13 — Основные месторождения платиноидов

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание МПГ	Добыча в 2015 г., т
		А + В + С1	С2			
1	2	3	4	5	6	7
ПАО «ГМК „Норильский никель“»						
Октябрьское (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	3947,7	1637,8	37,1	4,5 г/т	86,5
Талнахское (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	3217	1189,7	29,2	4,6 г/т	36,8
Масловское (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	881,4	587	9,7	6,6 г/т	0
ПАО «ГМК „Норильский никель“»; АО «Артель старателей „Амур“»						
Норильск-1 (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	1024,5	1139,1	14,4	6,68 г/т	14,5
ООО «Черногорская ГРК»						
Черногорское (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	320,3	210,1	3,5	3,51 г/т	0
АО «Артель старателей „Амур“»						
Р. Кондер (Хабаровский край)	Россыпной	3,5	0	0,02	1,05 г/ $м^3$	4,1
Р. Уоргалан, нижнее течение (Хабаровский край)	Россыпной	14,4	0,7	0,1	0,97 г/$м^3$	0

Впервые учтено в Государственном балансе месторождение Северный Каменник малосульфидного собственно платинового промышленного типа в Мурманской области, разведываемое компанией ЗАО «Федорово Рисорсес». Запасы категории С1 составили 6,1 т МПГ, категории С2 – 9,1 т МПГ, при содержании в рудах 4,5 г/т. Разработка планируется подземным способом, технологические показатели обогащения близки к рудам аналогичного типа подготавливаемых к освоению объектов в области. Предполагается их совместная переработка до флотационного концентрата на мощностях проектируемой обогатительной фабрики месторождения Федорова Тундра общей производительностью 12 млн т руды в год, в том числе по руде месторождения Северный Каменник — 310 тыс. т. Однако, основные геолого-разведочные работы ведутся на месторождениях, где платиноиды выступают попутными компонентами.

Большая часть работ проводится в рамках эксплуатационной разведки на сульфидных медно-никелевых месторождениях Норильского рудного района Красноярского края компанией ПАО «ГМК „Норильский никель“». На флангах и глубоких горизонтах месторождений Октябрьское, Талнахское и Норильск-1 общий прирост запасов в результате доразведки составил 55,2 т. Кроме того, компания проводит разведочные работы на расположенном поблизости месторождении Масловское с целью выявления залежей богатых медно-никелевых руд в пределах рудоконтролирующей структуры. ПАО «ГМК „Норильский никель“» также ведет эксплуатационно-разведочные работы на техногенном месторождении Хвостохранилище № 1 НОФ с целью последующей добычи гидромеханизированным способом цветных и драгоценных металлов из продуктов горно-обогатительного и металлургического передела сульфидных руд. В 2015 г. компанией был получен прирост запасов платиноидов в количестве 5,6 т категории С1 и 44,5 т категории С2.

В Норильском районе продолжается подготовка к открытой разработке сульфидного месторождения Черногорское компанией ООО «Черногорская ГРК», входящей в группу компаний «Русская платина». Начало работ ожидается не позднее 2022 г.; проектная производительность комплекса составит 6 млн т руды в год. Планируется совместная переработка руд южной части месторождения Норильск-1, разведываемой компанией АО «Артель старателей „Амур“», также находящейся в структуре холдинга. Завершение ГРР, направленных на выявление богатых участков сульфидного медно-никелевого оруденения с попутной платиноидной минерализацией, ожидается не позднее конца 2017 г., ввод в эксплуатацию горнодобывающего предприятия с проектной годовой мощностью в 6 млн т руды — не позднее 2023 г. Кроме того, в Красноярском крае осваиваются еще два крупных месторождения сульфидных руд — Кингашское и Верхнекингашское. Начало промышленной добычи на Кингашском месторождении намечено на 2021 г., проектная мощность предприятия должна составить не менее 1 млн т в год; на втором месторождении ведутся геолого-разведочные работы. В крае в большом количестве ведутся и поисковые работы начальных стадий.

На Кулибинской площади ГП «КНИИГиМС» проведены ГРР на выявление сульфидных медно-никелевых рудопроявлений. В результате работ локализованы прогнозные ресурсы палладия категории Р2 в количестве 40,3 т. Ведутся также поиски и оценка рудопроявлений в пределах Халильского интрузива, где ООО «Норильскгеология» выделила несколько перспективных участков.

В Мурманской области дочерней структурой Норникеля АО «Кольская ГМК» было продолжено строительство подземного рудника для отработки запасов группы Печенгских сульфидных месторождений Спутник, Быстринское, Тундровое, Верхнее и глубоких горизонтов Ждановского месторождения общей производительностью 7,5 млн т руды в год.

В Камчатском крае на месторождении сульфидных медно-никелевых руд с попутными платиноидами Шануч по результатам разведочных работ, проведенных ЗАО «НПК "Геотехнология"», прирост запасов платиноидов составил 0,3 т категории С1.

Компания ЗАО «Кун-Манье» в 2015 г. получила эксплуатационную лицензию на месторождение сульфидных медно-никелевых руд Кун-Манье в Амурской области, где были проведены ГРР с целью повышения достоверности выявленных ранее запасов до категорий С1 и В. Срок сдачи технического проекта разработки месторождения назначен на 2022 г.

В Воронежской области впервые утверждены запасы комплексных сульфидных медно-никелевых руд на месторождениях Елкинское и Еланское, работы на которых осуществляет ООО «Медногорский медно-серный комбинат» в составе ООО «УГМК-Холдинг». Ведущим компонентом руд является никель, к попутным, помимо платиноидов, относятся медь, кобальт, золото, серебро, сера. Суммарные запасы месторождений составляют 6,2 т МПГ категории С2, содержание платиноидов по сравнению с месторождениями аналогичного промтипа низкое и не превышает 0,2 г/т. По утвержденным временным кондициям месторождения предполагаются к отработке подземным способом с общей производственной мощностью 1,5 млн т руды в год. Переработка руд будет осуществляться на единой обогатительной фабрике.

Кроме того, в Республике Саха (Якутия) впервые поставлены на учет в Государственный баланс две россыпи алмазоносных песков с попутной платиной, разведываемые АО «Алмазы Анабара»; суммарные запасы категории С2 составили почти 7 кг платины.

Прирост российских запасов платиноидов категорий А+В+С1 в результате проведенных в 2015 г. ГРР составил 62,2 т платиноидов, при этом более 80% получено при эксплуатационно-разведочных работах на месторождениях Норильской группы. Полученный прирост запасов не позволил компенсировать убыль при добыче. Сокращение балансовых запасов МПГ с учетом добычи, потерь при добыче, разведки, переоценки, списания, изменения технических границ и иных причин составило 82,5 т категорий А+В+С1 и 7 т категории С2.

Добыча платиноидов в 2015 г. велась в пяти округах и составила 143,2 т, снизившись по сравнению с прошлым годом на 2,7%. При этом основным извлекаемым металлом является палладий — его добыча составила 105,3 т. Платины было извлечено почти в три раза меньше — 31,3 т. На родий, иридий, рутений и осмий суммарно пришлось почти 6,6 т.

Лидером по количеству извлеченных из недр металлов остается Красноярский край, где эксплуатируются уникальные месторождения Норильского рудного района. На его долю в 2015 г. пришлось более 96% добычи, или 137,8 т платиноидов. Вторым основным добывающим регионом остается Хабаровский край — там было получено почти 3%, или 4,1 т МПГ. В Мурманской, Свердловской областях и Камчатском крае

ежегодная добыча незначительна и в сумме не превышает 1%; в 2015 г. она составила всего 1,3 т.

Основным производителем МПГ в России является холдинг ПАО «ГМК "Норильский никель"», в структуру которого входят Заполярный Филиал, эксплуатирующий комплексные месторождения сульфидного медно-никелевого типа в Норильском промышленном районе Красноярского края, и дочерняя компания АО «Кольская ГМК», разрабатывающая объекты аналогичного типа Печенгской группы в Мурманской области. На долю холдинга приходится почти 91% запасов и почти 97% добычи платиноидов в стране, при этом подавляющее большинство драгметаллов локализовано и извлекается из руд Норильских месторождений, соотношение палладия к платине в которых составляет 3:1. В 2015 г. суммарная добыча холдинга сократилась по сравнению с прошлым годом на 3% и составила 138,4 т общего количества МПГ. Из недр Октябрьского месторождения было извлечено 86,5 т МПГ, в том числе 68,2 т палладия и 14,9 т платины, Талнахского — 36,9 т МПГ (27 т палладия и 7,7 т платины), из недр месторождения Норильск-1 — 14,5 т МПГ (9,8 т палладия и 3,9 т платины).

Ежегодное количество извлекаемых драгметаллов на месторождениях Печенгской группы на несколько порядков ниже и в 2015 г. составило 0,6 т, при этом количество палладия достигает трети. На предприятиях «Норильского никеля» реализована практически вся производственная цепочка последующей переработки руды с выпуском концентрата драгоценных металлов, за исключением аффинажа.

К значимым производителям МПГ относится также компания АО АО «Артель старателей „Амур“», входящая в структуру ГК «Русская платина» и разрабатывающая крупнейшую в стране платиновую россыпь р. Кондер в Хабаровском крае. Разработка месторождения ведется открытым раздельным способом, добытые пески подвергаются промывке и последующему обогащению до шлихоконцентрата непосредственно на площади объекта. Для последующего аффинажа концентрат отправляют на сторонний завод. Производительность предприятия в 2015 г. составила более 4,7 млн м^3, суммарно добыча металлов платиновой группы составила более 4 т, при этом платины было добыто 3,9 т. На территории страны действуют еще 16 недропользователей, осуществляющих добычу и переработку руд, содержащих МПГ.

Двенадцать компаний эксплуатируют месторождения в Свердловской области, при этом одиннадцать из них работают на россыпных объектах, где ежегодная добыча шлиховой платины в единичных случаях превышает 50 кг. Суммарная добыча на россыпях области в 2015 г. составила 343 кг. В Красноярском крае платиновая россыпь р. Щучья разрабатывается ЗАО «Рутений», где добыча шлиховой платины за 2015 г. составила 21 кг. В Камчатском крае АО «Корякгеолдобыча» ведет разработку нескольких участков россыпей аналогичного промтипа; за 2015 г. было получено 279 кг платины. Кроме того, на коренном сульфидном месторождении Шануч возобновилась промышленная добыча на подземном руднике, составившая за 2015 г. 36 кг суммы МПГ в руде (соотношение платины и палладия близко к единице). В Республике Саха (Якутия) компанией АО «Алмазы Анабара» эксплуатируются пять россыпей алмазоносного типа с попутной платиной, однако в 2015 г. добыча не велась.

Переработка концентратов драгоценных металлов, подготовленных на горно-металлургических комбинатах и шлихо-обогатительных фабриках, осуществляется на специализированных аффинажных заводах в пределах страны.

В России действует более десяти предприятий, однако основной объем аффинажа осуществляется на мощностях ОАО «Красноярский завод цветных металлов имени В. Н. Гулидова», куда, в том числе по толлинговому соглашению, поставляется весь концентрат драгметаллов «Норильского никеля». «Красцветмет» присутствует в списке предприятий, чья продукция соответствует принятому международному стандарту London Good Delivery, позволяющему осуществлять ее реализацию на международной торговой площадке.

Помимо Красноярского завода, в список также входят АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов» (АО «ЕЗ ОЦМ») и АО «Приокский завод цветных металлов» (АО «ПЗЦМ»). Производство основных платиноидов в рафинированной форме «Норильским никелем» в 2015 г. сократилось на 1,7% по сравнению с прошлым годом и составило 100,4 т, в том числе 81,1 т палладия и 19,3 т платины. Кроме того, в 2015 г. компанией АО «Артель старателей „Амур“» было получено 2,9 т химически чистых платиноидов, в том числе платины 2,8 т.

На мировом рынке Россия является ведущим поставщиком палладия и вторым поставщиком платины, уступая по этому показателю ЮАР. Суммарный объем российского экспорта всех металлов платиновой группы обеспечивает около трети мирового. До 2012 г. в структуре экспорта необработанного палладия около 30% представляли поставки металла из государственного резерва, которые к 2014 г. прекратились, и за рубеж поставлялся только металл, полученный на производстве. В 2015 г. экспорт МПГ составил 105,2 т, что на 1% меньше, чем годом ранее, при этом было вывезено 81 т палладия, 21,7 т платины и 2,5 т родия.

Основные направления экспорта определяются сетью представительств основного производителя страны — ПАО «ГМК „Норильский никель“», расположенных в Великобритании, Швейцарии, Китае и США. Импорт первичных платиноидов в страну незначителен и составляет не более 200 кг ежегодно. Металлы платиновой группы востребованы во многих областях промышленности, в первую очередь — в автомобилестроении, где сплавы металлов используются в каталитических конвертерах для нейтрализации вредных веществ выхлопных газов автомобилей, и в ювелирном деле. Кроме того, каталитические и антикоррозионные свойства платиноидов широко используются в химической, нефтеперерабатывающей, стекольной и электронной отраслях промышленности.

В России потребление металлов платиновой группы находится на уровне до 10 т ежегодно; металлы в основном расходуются на производство катализаторных сеток различного назначения; кроме того, востребованы в ювелирной отрасли, нефтеперерабатывающей промышленности и автомобилестроении. Помимо этого, в мировой практике платиноиды широко применяются в качестве инвестиционных активов, востребованных как крупными компаниями, так и частными инвесторами. Двойное назначение во многом определяет формирование цен на металлы.

Восстановление мировой промышленности после кризиса 2009 г. привело к росту потребления платиноидов и, как следствие, повышению цен на оба основных металла к 2011 г., сменившемуся снижением на следующий год. Однако в отличие от стоимости платины, продолжившей понижение, котировки палладия в 2013 г. переломили негативную тенденцию на положительную. Несмотря на сохранение роста спроса со стороны промышленности, основным фактором влияния на динамику цен оставалась инвестиционная активность и биржевые спекуляции. В 2015 г. цены

практически всех сырьевых товаров на мировом рынке подверглись резкому сокращению — среднегодовая цена на платину сократилась почти на четверть и упала ниже уровня 2009 г., снижение стоимости палладия оказалось не столь значительным и составило 14%. Тенденция сохранилась и в 2016 г., однако темпы замедлились. Среднегодовая цена на палладий составила 19,7 доллара/г, что оказалось ниже прошлого года всего на 11%; стоимость платины упала на 6% до 31,7 доллара/г. Благодаря высоким показателям качественных и количественных параметров эксплуатируемого фонда недр и выпускаемой продукции Россия и в дальнейшем будет прочно занимать лидирующие позиции на мировом рынке даже в условиях негативной конъюнктуры.

Ведущие производители обеспечены собственным сырьем для сохранения достигнутых производственных мощностей на более чем четверть века. Однако в дальнейшем существует проблема воспроизводства сырьевой базы платиноидов. Практически все выявленные крупные месторождения переданы в освоение недропользователям, в нераспределенном фонде недр остаются только объекты и участки крупных месторождений, значительно уступающие лицензированным по качеству и количеству заключенного в недрах минерального сырья. Кроме того, количество прогнозных ресурсов высокой степени достоверности незначительно. Все они локализованы в пределах Мурманской области, и выявленные концентрации платиноидов в рудах малосульфидного собственно платиноидного типа значительно ниже, чем в разведанных объектах аналогичного типа.

1.5 Применение драгоценных металлов

Драгоценные металлы, главным образом золото, выполняют функцию валютных металлов. Серебро ранее активно использовалось в качестве денег, но затем, после чрезмерного насыщения рынка, оно фактически утратило эту функцию. В настоящее время серебро хранится в составе валютных резервов некоторых Центральных банков, но в достаточно малых объемах.

Драгоценные металлы в основном в виде сплавов в больших количествах применяются в ювелирном деле и декоративно-прикладном искусстве.

Спектр применения драгоценных металлов в технике очень широк. В электротехнической промышленности — для изготовления контактов с большой степенью надежности (стойкость против коррозии, устойчивость к действию образующейся на контактах кратковременной электрической дуги).

В технике слабых токов при малых напряжениях в цепях используются контакты из сплавов золота с серебром, золота с платиной, золота с серебром и платиной. Для слаботочной и средненагруженной аппаратуры связи широко применяют сплавы палладия с серебром (от 60% до 5 % палладия).

Представляют интерес металлокерамические контакты, изготовляемые на основе серебра как токопроводящего компонента. Магнитные сплавы драгоценных металлов с высокой коэрцитивной силой употребляют при изготовлении малогабаритных электроприборов. Сопротивления (потенциометры) для автоматических приборов и тензометров делают из сплавов драгоценных металлов (главным образом палладия с серебром, реже с другими металлами). У них малый температурный коэффициент электрического сопротивления, малая

термоэлектродвижущая сила в паре с медью, высокое сопротивление износу, высокая температура плавления, они не окисляются.

Стойкие металлы идут на изготовление деталей, работающих в агрессивных средах — технологические аппараты, реакторы, электрические нагреватели, высокотемпературные печи, аппаратура для производства оптического стекла и стекловолокна, термопары, эталоны сопротивления.

Драгоценные металлы используются в чистом виде, как биметалл и в сплавах. Химические реакторы и их части делают целиком из драгоценных металлов или только покрывают фольгой из драгоценных металлов. Покрытые платиной аппараты применяют при изготовлении чистых химических препаратов и в пищевой промышленности. Когда химической стойкости и тугоплавкости платины или палладия недостаточно, их заменяют сплавами платины с металлами, повышающими эти свойства: иридием (5 % — 25 %), родием (3 % — 10 %) и рутением (2 % — 10 %). Примером использования драгоценных металлов в этих областях техники является изготовление котлов и чаш для плавки щелочей или работы с соляной, уксусной и бензойной кислотами; автоклавов, дистилляторов, колб, мешалок.

В медицине драгоценные металлы применяют для изготовления инструментов, деталей приборов, протезов, а также различных препаратов (главным образом на основе серебра). Сплавы платины с иридием, палладием и золотом почти незаменимы при изготовлении игл для шприцев. Из медицинских препаратов, содержащих драгоценные металлы, наиболее распространены ляпис, протаргол и др. Драгоценные металлы применяют при лучевой терапии (иглы из радиоактивного золота для разрушения злокачественных опухолей), а также в препаратах, повышающих защитные свойства организма.

В электронной технике из золота, легированного германием, индием, галлием, кремнием, оловом, селеном, делают контакты в полупроводниковых диодах и транзисторах. Золотом и серебром напыляют поверхность волноводов (скин-эффект).

В качестве защитных покрытий драгоценные металлы предохраняют основные конструкции от коррозии или придают поверхности этих металлов свойства, присущие драгоценным металлам (например, отражательная способность, цвет, блеск и т. д.). Золото эффективно отражает тепло и свет от поверхности ракет и космических кораблей. Для отражения инфракрасной радиации в космосе достаточно тончайшего слоя золота в 1/60 мкм. Для защиты от внешних воздействий, а также для улучшения наблюдения за спутниками на их внешнюю оболочку наносят золотое покрытие. Золотом покрывают некоторые внутренние детали спутников, а также помещения для аппаратуры с целью предохранения от перегрева и коррозии.

Драгоценные металлы используют также в производстве зеркал (серебрение стекла растворами или покрытие серебром распылением в вакууме). Тончайшую пленку драгоценных металлов наносят изнутри и снаружи на кожухи авиационных двигателей самолетов высотной авиации. Драгоценными металлами покрывают отражатели в аппаратах для сушки инфракрасными лучами, электроконтакты и детали проводников, а также радиоаппаратуру и оборудование для рентгено- и радиотерапии. В качестве антикоррозийного покрытия драгоценные металлы используют при производстве труб, вентилей и емкостей специального назначения. Разработан широкий ассортимент золотосодержащих пигментов для покрытия металлов, керамики, дерева.

Припои с серебром значительно превосходят по прочности медно-цинковые, свинцовые и оловянные, их применяют для пайки радиаторов, карбюраторов, фильтров и т. д.

Высокие каталитические свойства некоторых драгоценных металлов позволяют применять их в качестве катализаторов: платину — при производстве серной и азотной кислот; серебро — при изготовлении формалина. Радиоактивное золото заменяет более дорогую платину в качестве катализатора в химической и нефтеперерабатывающей промышленности.

1.6 Анализ приоритетных проблем добычи драгоценных металлов

1.6.1 Основные проблемы, связанные с воздействием на окружающую среду в процессе добычи драгоценных металлов

Строительство и эксплуатация предприятий по добыче драгоценных металлов оказывают негативное воздействие практически на все компоненты окружающей природной среды.

В процессе извлечения минерального сырья из недр и первичной переработке его на фабриках в атмосферный воздух выделяются загрязняющие вещества. В основном это взвешенные вещества, оксиды азота, серы углерода, а также вещества, используемые в технологии на фабриках.

Воздействие на почвенно-растительный покров происходит при механическом нарушении почв. Химическое воздействие на почвенно-растительный покров — за счет воздействия выхлопных газов, образующихся при работе горной техники и автотранспорта, другой техники.

Одна из основных проблем, возникающих в процессе добычи драгоценных металлов — это загрязнение природных вод. Воздействие на природные воды может происходить через их изъятие на производственные и хозяйственно-бытовые нужды предприятий, а также в результате сброса сточных вод после очистки в водные объекты

Процесс ведения горных работ, связанный с нарушением естественных условий залегания подземных вод приводит к образованию депрессионных воронок.

В некоторых случаях при добыче драгоценных металлов требуется перенос русел рек и ручьев, что приводит к деградации естественных мест обитания гидробионтов.

При разработке россыпных месторождений в ряде случаев образуются излишки воды, при сбросе которой может быть нанесен ущерб водным объектам.

Отчуждение земельных участков оказывает негативное воздействие и на животный мир. При работах затрагивается растительный покров и почвенные горизонты, что приводит к нарушению сложившегося биоценоза.

В процессе ведения работ на животных влияют различные виды антропогенного воздействия. Акустическое воздействие, вызываемое работой механизмов и транспортных средств, взрывными работами, распространяется на значительное

расстояние от технологических объектов. Реакция животных на шум различна и зависит от индивидуальных особенностей вида.

В целом, горные работы дают 70 % — 80 % от объема всех промышленных отходов [15] и вносят весомый вклад в общее загрязнение окружающей среды.

В настоящее время практически все золотодобывающие предприятия работают с соблюдением действующих в РФ экологических нормативов. Применение рассматриваемых в настоящем справочнике НДТ технологий позволит уменьшить техногенное воздействие на окружающую среду и улучшить экономические показатели предприятий.

1.6.2 Проблемы нормативно-правового регулирования рационального использования недр при добыче драгоценных металлов

В последние годы у недропользователей, ведущих добычу драгоценных металлов, возникли проблемы, связанные с несовершенством действующей системы нормативно-правового регулирования рационального использования недр.

Законодательством, действующим на территории Российской Федерации, установлено, что при разработке рудных, россыпных и техногенных месторождений драгоценных металлов потери при их добыче (эксплуатационные и технологические) подлежат нормированию, учету и утверждению на стадии проекта с последующим (при необходимости) уточнением в годовых планах развития горных работ.

На практике сложилось четкое представление об эксплуатационных потерях (потерях в недрах) и технологических потерях, возникающих в процессе первичной переработки добытых руд и песков с доведением их до требуемых кондиций — шлихового металла, концентрата, промпродукта. Суммарный уровень этих потерь характеризует полноту извлечения промышленных запасов и наряду с четким выполнением проектных параметров разработки является основным показателем качества хозяйственного освоения конкретного месторождения [14].

Размеры эксплуатационных и технологических потерь зависят от множества факторов и устанавливаются в проекте разработки конкретного месторождения, который проходит государственную экспертизу. Поэтому, при разработке месторождения, осуществляемой в соответствии с утвержденным проектом, уточнять установленные в данном проекте показатели (нормативы) потерь практически нет оснований. Лишь в случае, когда выявлены участки (блоки), отличающиеся по вещественному составу, параметрам и условиям залегания от принятых в проекте, возникает необходимость пересмотра (с целью уточнения) и последующего утверждения нормативов потерь в годовых планах развития горных работ.

В законе РФ «О недрах» не установлено значение термина «нормативные потери». В результате его пришлось устанавливать в налоговом законодательстве. Под нормативными потерями полезных ископаемых согласно Налоговому кодексу РФ признаются фактические потери полезных ископаемых при добыче, технологически связанные с принятой схемой и технологией разработки месторождения, а добытым полезным ископаемым, подлежащим налогообложению, применительно к драгоценным металлам являются «концентраты и другие полупродукты, содержащие драгоценные металлы, получаемые при добыче драгоценных металлов из коренных (рудных), россыпных и техногенных месторождений». Конкретная технология извлечения

полезного ископаемого из добытой горной массы устанавливается техническим проектом, утверждаемым в порядке, установленном Правительством РФ .

Порядок подготовки, согласования и утверждения технических проектов разработки месторождений полезных ископаемых и иной проектной документации на выполнение работ, связанных с пользованием участками недр, устанавливается Правительством Российской Федерации по видам полезных ископаемых и видам пользования недрами. В исполнительной же практике происходит отступление от законодательных установок.

В связи с неоднократными изменениями структуры причастных к недропользованию федеральных органов исполнительной власти и перемещению первоначально установленных функций по государственному геологическому контролю за рациональным использованием недр при их геологическом изучении и по государственному горному надзору при добыче полезных ископаемых между исполнительными структурами создан весьма сложный механизм утверждения нормативов потерь полезных ископаемых при добыче.

Согласно ст. 37 закона РФ «О недрах» «государственный контроль за рациональным использованием и охраной недр осуществляется органами государственного геологического контроля и органами государственного горного надзора..» в соответствии с положениями, утверждаемыми Правительством РФ [16].

Начиная с 2005 г. государственный геологический контроль за соблюдением недропользователями требований федеральных законов, иных нормативных правовых актов Российской Федерации, связанных с геологическим изучением, рациональным использованием и охраной недр (за исключением требований, надзор за соблюдением которых отнесен к компетенции органа государственного горного надзора), входит в полномочия Федеральной службы по надзору в сфере природопользования (Росприроднадзор).

Функции органа государственного горного надзора до 2008 г. выполняла Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). В частности, она имела полномочия контроля за соблюдением «всеми пользователями недр законодательства Российской Федерации, утвержденных в установленном порядке стандартов (норм, правил) по охране недр» и полномочия по согласованию «условий лицензий, технических проектов на пользование недрами, на разработку месторождений полезных ископаемых, нормативов потерь полезных ископаемых при их добыче и первичной переработке». Однако в соответствии с изменениями, внесенными Правительством РФ в соответствующее Положение, Ростехнадзор с 2008 г., хотя и является органом государственного горного надзора, но не осуществляет контроль за рациональным использованием недр.

Таким образом, органы государственного горного надзора в части рационального использования и охраны недр при добыче полезных ископаемых в настоящее время отсутствуют.

Вместе с тем произошла передача некоторых полномочий органа государственного горного надзора Федеральному агентству по недропользованию (Роснедра), не являющемуся контрольным органом. В результате функции государственного горного надзора превратились в функции по оказанию государственных услуг. Передача Роснедра функций органа государственного горного надзора, по существу, приводит к замене исполнения этих функций предоставлением

платных услуг «государственной» экспертизы посредническими коммерческими организациями, называющими себя «экспертными центрами».

Более того, в 2008 г. Роснедра отказались утверждать нормативы технологических потерь при добыче драгоценных металлов, представляемые недропользователями в ежегодных планах развития горных работ. На поручение Аппарата Правительства РФ рассмотреть этот вопрос Роснедра предложили считать объектом налога на добычу «полезные ископаемые, добытые из недр, а не продукты, извлеченные при переработке добытых из недр полезных ископаемых».

В Налоговом кодексе РФ налогооблагаемой базой являются концентраты и другие полупродукты, содержащие драгоценные металлы, т.е. законодатель признает правильным облагать налогом на добычу полезных ископаемых только то количество полезного ископаемого, которое является товаром.

Последствием такого решения стали претензии налоговых органов к предприятиям по добыче драгоценных металлов по неуплате налога на добычу полезных ископаемых.

Согласно действующему законодательству утверждение нормативов потерь при рассмотрении ежегодных планов развития горных работ должно производиться на предстоящий год и к началу очередного календарного года в установленном порядке должно быть представлено в налоговые органы. Однако материалы нормативов потерь на 2005-2007 гг. рассматривались ЦКР Роснедра только в 2008 г.

Поскольку технологические потери составляют в сумме общих потерь при добыче драгоценных металлов около 80 %, ущерб золотодобывающих предприятий от неправомерных действий Роснедр мог бы составить около 15 млрд. руб.

Одним из законодательных требований по рациональному использованию недр является дополнительное вовлечение в разработку некондиционных запасов и полезных ископаемых, остающихся во вскрыше, в отвалах или отходах горнодобывающих и перерабатывающих производств. Налоговым законодательством в связи с этим предусмотрено применение нулевой ставки по налогу на добычу.

Правительство РФ возложило исполнение операций, связанных с применением нулевой ставки по налогу на добычу, на Минприроды России и затем на Роснедра .

Порядок отнесения запасов полезных ископаемых к некондиционным и обоснования нормативов содержания полезных ископаемых, остающихся во вскрышных, вмещающих (разубоживающих) породах, в отвалах или отходах горнодобывающего и перерабатывающего производств, который был разработан, оказался недоступным недропользователям из-за большого объема материалов, требуемых для рассмотрения; оплаты за «услуги государственной экспертизы», осуществляемые посредническими коммерческими организациями; расходов на командировки и т.д. В результате недропользователь вынужден отказываться от стимулов, предоставляемых ему налоговым законодательством.

Геолого-маркшейдерское обеспечение горных работ осуществляется всеми предприятиями, ведущими добычу драгоценных металлов на основании действующего Положения. Задачей геолого-маркшейдерских служб предприятий является рациональное использование недр в процессе эксплуатации, в том числе учет изъятой из недр горной массы, различного рода потерь и разубоживания.

Роснедра во Временных рекомендациях не делают различий между изменением состояния запасов, произошедшим в течение года в результате эксплуатационной

разведки при подготовке выемочных единиц, потерь при добыче, изменения технических границ, и изменением запасов, полученным в результате прироста от проведения геолого-разведочных работ на флангах и (или) глубоких горизонтах разрабатываемого месторождения. Приказ Роснедра противоречит установленному Правительством РФ положению, согласно которому «Государственная экспертиза осуществляется путем проведения анализа документов и материалов по оперативному изменению состояния запасов полезных ископаемых» только «по результатам геолого-разведочных работ и переоценки запасов 1,13 и установленному Минприроды России пункту 12 «Порядка представления государственной отчетности предприятиями, осуществляющими разведку место-рождений полезных ископаемых и их добычу, в федеральный и территориальные фонды геологической информации».

В 2017 г. письмом Роснедр № СФ-04-30/10154 от 01.08.2017 г. недропользователю предоставлено право изучения техногенных (ранее нарушенных добычей) россыпей путем опытно-промышленной разработки (далее – ОПР), ввиду их сложного геологического строения. В то же время, письмом предусмотрена ежегодная постановка полученных в процессе ОПР запасов и защита их в ТКЗ.

В силу крайне ограниченного времени (не позднее завершения календарного года) проведения всех процедур (проведение ОПР (март-ноябрь), защита в ТКЗ запасов, полученных по результатам ОПР, представление отчетности 5-гр и 2-лс с отражением уже поставленных на баланс и погашенных запасах) ставит недропользователя в положение, когда выполнение данных обязательств нереально в один год, требуются изменения в сторону увеличения срока постановки запасов на баланс.

Горными работами осуществляется выемка значительных количеств горной массы, которая в перспективе может быть использована с пользой для народного хозяйства. Вскрышные породы, не содержащие драгоценных металлов, могут являться общераспространенными полезными ископаемыми, в частности, материалом для производства строительных материалов (тот же щебень).

Вскрышные породы, содержащие определенное количество драгоценных металлов, однозначно являются потенциальным объектом для переработки в будущем, при разработке новых, более эффективных технологий. Это же относится и к хвостам обогащения и гидрометаллургии, а также к забалансовым рудам.

В настоящее время и вскрышные породы и хвосты первичной переработки без оценки перспектив их переработки в будущем и без надлежащего контроля за составом (содержание металла) и учета складируются в качестве отходов и практически теряются. С точки зрения охраны недр наносится ущерб потенциальным запасам драгоценных металлов. Нормативно-правовое регулирование этого вопроса полностью отсутствует.

Проблемами нормативно-правового регулирования в сфере добычи отдельно драгоценных металлов и драгоценных камней Минприроды России, отвечающее за нормативно-правовое регулирование в недропользовании в целом, не занимается. Другим федеральным органам исполнительной власти такие полномочия также не даны. Таким образом, предприятия по добыче драгоценных металлов и драгоценных камней оказались в правовом вакууме.

В условиях отсутствия единого федерального органа исполнительной власти, осуществляющего функцию нормативно-правового регулирования в сфере добычи

драгоценных металлов и драгоценных камней стали возможными нарушения законодательств о недрах, драгоценных металлах и драгоценных камнях и налогового законодательства.

Раздел 2. Описание технологических процессов, используемых в настоящее время при добыче драгоценных металлов

Драгоценные металлы в качестве полезных ископаемых, пригодных к добыче и последующему извлечению, присутствуют в рудных и россыпных месторождениях . Способы разработки месторождений и дальнейшей переработки добытого минерального сырья в зависимости от типа месторождения и вида драгоценного металла существенно отличаются.

Россыпные месторождения драгоценных металлов разрабатываются по специальным технологиям [17 - 23], в связи с этим, описание технологических процессов добычи драгоценных металлов из россыпей представлено в отдельном разделе (2.1).

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.

2.1 Добыча драгоценных металлов из россыпных месторождений

2.1.1 Горноподготовительные работы

Горноподготовительные работы включают процессы, обеспечивающие подготовку месторождения к эксплуатации. В комплекс горноподготовительных работ входят:

- подготовка поверхности месторождения (удаление лесорастительности, корчевка пней, снятие и складирование почвенно-растительного слоя, если его толщина превышает 0,1 м);
- осушение площади месторождения;
- проведение вскрывающих выработок.

Осушение россыпей, как правило, производится канавами. По назначению и расположению канавы могут быть:

руслоотводными, служащими для отвода русла реки или ручья, если оно проходит непосредственно по россыпи, пересекает ее или находится в опасной близости;

нагорными, назначение которых — перехват грунтовых и атмосферных вод на склонах долины и отвод их за пределы разрабатываемого участка;

разрезными, когда они проходят непосредственно по участку россыпи, подлежащему разработке, с целью его осушения;

капитальными, служащими для принятия воды из разрезных канав и сброса ее ниже участка эксплуатационных работ;

водозаводными, которые проходят для обеспечения водой промывочных установок.

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.

При раздельном способе разработки россыпей дном вскрывающего котлована является кровля пласта песков.

Размер пионерного котлована и его конфигурация в плане зависят от производительности промывочной установки и мерзлотной обстановки на месторождении. Так, если пески находятся в мерзлом состоянии, то площадь пионерного котлована должна обеспечивать суточную производительность промывочной установки по объему оттаивающих за сутки песков на данной площади.

К подготовительным работам относятся такие работы по сооружению грунтовых террасированных площадок для монтажа на них промывочных установок и собственно монтаж установок, проходка зумпфов для насосных станций, обустройство илоотстойников и оборотного водоснабжения.

2.1.2 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 необходима в тех случаях, когда невозможно сразу же разместить отвал торфов за пределами промышленной части россыпи. Сначала выкладываются временные отвалы, которые в дальнейшем «переваливаются» за контур россыпи. Чаще всего перевалка применяется при ведении вскрышных работ экскаваторами-драглайнами.

Технология вскрышных работ зависит от состояния торфов (мерзлые или талые). Талые торфы или мерзлые, но разрыхленные можно разрабатывать сразу на всю мощность или слоями любой мощности. Мерзлые торфы, которые оттаивают под действием солнечной радиации, разрабатываются только горизонтальными слоями.

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.

Бульдозер в этом случае может выполнять несколько операций: срезать талый слой торфов до заполнения своего отвала и транспортировать их на определенное расстояние (чаще всего на подъем), а также осуществлять рыхление пород механическим способом (клык). Однако на операции транспортирования удельный расход дизтоплива у бульдозера кратно выше, чем, например, у автосамосвала или колесного погрузчика. В связи с этим при больших расстояниях транспортировки

вскрышных пород целесообразно применение двух типов машин: бульдозеров на снятии талого слоя и формировании временного отвала и колесной техники (автосамосвал или колесный погрузчик) на перемещении вскрыши в постоянный отвал (отвалообразование).

Выемка торфов на всю мощность применяется либо на талых россыпях, либо на мерзлых после буровзрывного рыхления. Выемка торфов возможна как шагающими драглайнами, так и гидравлическими экскаваторами с погрузкой в автосамосвалы.

Наиболее простой системой вскрышных работ на всю глубину является экскаваторная выемка с размещением торфов сразу в постоянный отвал. Ширина заходки экскаватора зависит от мощности торфов и длины стрелы экскаватора.

В настоящее время изготавливаются экскаваторы драглайны с длиной стрелы от 45 до 120 м. При ширине россыпи, кратно превышающей ширину заходки, целесообразно отрабатывать россыпь по ленточной системе разработки. То есть после выемки песков на первой ленте вскрыша второй ленты (на ширину заходки) размещается в выработанном пространстве, что обеспечивает высокую производительность вскрышных работ и их низкую себестоимость.

Выемка торфов на всю мощность гидравлическими экскаваторами с погрузкой в автосамосвалы и транспортировкой в постоянный отвал является универсальной технологией и пригодна для любых горнотехнических условий, однако себестоимость вскрышных работ выше, чем при использовании экскаваторов драглайнов.

2.1.3 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 в промывку только в теплое время года. Второй вариант, как правило, характерен для поземной разработки многолетнемерзлых россыпей, однако иногда применяется и на открытых разработках на глинистых или обводненных песках, которые в теплый период трудно добыть.

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

Если золото проникает в трещиноватый плотик, который не поддается выемке бульдозером, то эта часть пласта рыхлится тяжелыми бульдозерами-рыхлителями, а затем вынимается по обычной технологии.

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.

2.1.4 Переработка песков на промывочных установках

Промывочные установки включают 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 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, 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.

2.1.5 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 горноподготовительными 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).

Предохранение от сезонного промерзания талых запасов обычно производится затоплением площади переходящих запасов на зимний период. Успех этого способа зависит от надежности удержания воды на затопленном участке водоподъемной плотиной. Чем меньше коэффициент фильтрации пород, из которых сооружена плотина, тем надежнее удерживается вода на затопленной площади.

Ранее в небольших объемах применялись способы предохранения от сезонного промерзания путем покрытия поверхности искусственными теплоизоляционными материалами (пенопласты, замерзающая водно-воздушная пена, опилки и проч.), но они широкого использования не нашли по экономическим и экологическим причинам.

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.

Для снижения экологического ущерба в части загрязнения природных водотоков дражный разрез должен быть изолирован от них дамбами или перемычками.

2.1.6 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—30^0. 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.

2.1.7 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, описанному в разделе 2.2.2.4

2.2 Добыча драгоценных металлов из коренных (рудных) месторождений

2.2.1 Способы разработки коренных (рудных) месторождений

Разработка месторождений драгоценных металлов, как правило, производится подземным, открытым или комбинированным способами [24 - 28].

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).

2.2.1.1 Подземный способ разработки коренных (рудных) месторождений

Преимущества и недостатки подземного способа разработки:

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 исключается 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.

Стадии подземного способа разработки и классификация систем разработки:

В процессе подземной разработки месторождений руд драгоценных металлов можно выделить 3 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 месторождения при подземном способе разработки 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, которую 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). Подготовительные выработки служат для передвижения людей, транспортирования горной массы, доставки оборудования и материалов, проветривания и других целей. Проходятся они также, как правило, по пустым породам (полевые выработки), буровзрывным способом с отбойкой руды шпурами, но большая часть их проходится одновременно с очистными работами, поэтому, как уже отмечалось, при их проходке появляется возможность оставления отбитых пустых пород в руднике, снижаются затраты на транспорт и снижается себестоимость подготовительных работ.

Добыча полезных ископаемых (нарезные и очистные работы) производится системами разработки, которые весьма многообразны и применение той или иной из них для отработки очистного блока зависит от горно-геологических и горнотехнических условий отработки этого очистного блока. На одном месторождении могут использоваться несколько систем разработки в зависимости от изменения, например, угла падения рудных тел или их мощности, устойчивости руд и вмещающих пород, склонности их к слеживаемости и самовозгоранию, удароопасности различных участков месторождения и т. д.

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.

Согласно правилам технической эксплуатации рудников и приисков, разрабатывающих месторождения цветных, редких и драгоценных металлов, в качестве единой классификации систем подземной разработки установлена классификация в основу которой положен способ управления горным давлением (способ поддержания очистного пространства, таблица 2.1).

Таблица 2.1 — Классификация систем разработки разрабатывающих месторождения цветных, редких и драгоценных металлов

Класс	Система
I. Системы с открытым выработанным пространством	1. Сплошная 2. Потолкоуступная 3. Камерно-столбовая 4. Подэтажных штреков (ортов) 5. С доставкой руды силой взрыва 6. Этажно-камерная
II. Системы с магазинированием руды	1. С магазинированием руды блоками 2. С магазинированием и отбойкой руды глубокими скважинами
III. Системы с закладкой	1. Горизонтальных слоев с закладкой 2. Сплошная с однослойной выемкой и закладкой 3. Столбовая с однослойной выемкой и закладкой 4. С камерной выемкой и закладкой
IV. Системы с креплением	1. С распорной крепью 2. С крепежными рамами 3. Сплошная с однослойной выемкой и креплением 4. Столбовая с однослойной выемкой и креплением
V. Системы с обрушением	1. Слоевого обрушения 2. Столбовая с обрушением налегающих пород 3. Подэтажного обрушения 4. Этажного обрушения
VI. Комбинированные системы	1. С креплением и магазинированием руды 2. С креплением и закладкой 3. С магазинированием руды и обрушением

Для каждой системы разработки существуют определенные оптимальные условия, при которых применение ее дает лучший технико-экономический эффект по сравнению с другими системами. При этом каждая система разработки применительно к тем или иным горно-геологическим и горнотехническим условиям дополнительно характеризуется по следующим показателям:

- безопасность очистной выемки, т. е. условия, при котором данная система опасна, а поэтому непригодна для применения;
- производительность труда и себестоимость добычи руды;

- по величине потерь и разубоживания руды, возможности выдачи руды по технологическим сортам, возможности оставления в охранных целиках участков непромышленной руды;

- по интенсивности разработки и производительности рудника, которую можно развить, применяя данную систему.

Обойку руды в очистном пространстве производят буровзрывным способом шпурами или скважинами

2.2.1.2 Открытый способ разработки коренных (рудных) месторождений

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.

Основные технологические (производственные) процессы открытых разработок месторождений включают: 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.

Наиболее распространенными являются классификации:

- проф. Е.Ф. Шешко — по направлению перемещения вскрышных пород в отвалы;

- акад. Н.В. Мельникова — по способу транспортирования вскрышных пород на отвалы;

- акад. В.В. Ржевского — по направлению подвигания фронта работ.

2.2.2 Технологии первичной переработки минерального сырья

В настоящее время основная часть мировых запасов золота, серебра и металлов платиновой группы и их промышленной добычи приходится на коренные руды, находящиеся в недрах в виде монолитной горной массы. Разработка коренных (рудных) месторождений сопряжена с дорогостоящими процессами добычи и измельчения минерального сырья, определяющими необходимость использовать относительно большие масштабы производства. Поэтому 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.

Массовое содержание золота и серебра в коренных рудах, подвергаемых промышленной переработке, составляет относительно малую величину — обычно 0,5-50 г/т и 0,5-500 г/т, соответственно. Это определяет высокую вариативность, а зачастую и уникальность применяемых технологий. Существенное влияние на применяемую технологию оказывают формы нахождения полезных компонентов в рудах (свободная, крупная, тонкая, упорная, неупорная). Кроме того, вмещающая порода, составляющая подавляющую массу минерального сырья, может проявлять весьма различные технологические свойства, определяющие оптимальную технологию переработки минерального сырья.

Технологии, применяемые на фабриках, подразумевают первичную переработку минерального сырья на преимущественно механизированной непрерывно действующей фабрике. Технологии, применяемые на фабриках, отличаются относительно высокой интенсивностью (по сравнению с геотехнологиями), позволяющей перерабатывать минеральное сырье за небольшой срок (срок производственного цикла 0,1–10 сут) с высоким извлечением металла, которое обычно для руд составляет 70%–95 % [29 - 32],

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.

Критически важной является высокая технологическая и экономическая эффективность, экологическая безопасность переделов первичной переработки минерального сырья, которые обычно составляют преобладающую долю затрат на все производство (50%–95 %).

На переделах переработки богатых концентратов и получения готовых слитков лигатурного металла обычно имеют дело с небольшими объемами богатых золото- и серебросодержащих продуктов, переработка которых занимает малую долю общефабричных эксплуатационных затрат. Поэтому приоритетным на этих переделах является максимальное извлечение золота, для чего могут быть использованы относительно дорогостоящие методы вскрытия сульфидного минерального сырья (автоклавное окисление, бисерный помол и др.) и пирометаллургического получения

готовой продукции (обжиг, плавка). Могут применяться чисто обогатительные или чисто гидрометаллургические методы (с малотоннажным пирометаллургическим переделом получения готовой продукции) либо их различные комбинации.

Общим для фабричных технологий является применение довольно тонкого измельчения руды до крупности менее 0,2–0,5 мм.

2.2.2.1 Рудоподготовка

Складирование и усреднение руд

Складирование и усреднение руд производится на рудном складе, обычно с расположенным на нем дробильным комплексом. Шихтовочные и погрузочные работы производятся колесными погрузчиками и бульдозерами.

Предобогащение и сортировка руд

Предобогащение 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 технологический свойствам с раздельной переработкой полученных сортов по различным оптимальным технологиям (например, кучное выщелачивание бедного сорта руды и фабричное выщелачивание богатого). Практика осуществления обоих процессов аналогична.

Содержание драгоценных металлов в рудах (миллионные доли) низко для прямого экспресс-анализа извлекаемых компонентов, поэтому чаще используют разделение по косвенным признакам, например по оптическим (цвет, блеск и др.), или рентгенометрическим характеристикам вмещающих минералов (рентгенорадиометрическая и фотометрическая сепарация).

Для предобогащения и сортировки используют сепараторы специальной конструкции. Сортировка ведется в автоматическом режиме в потоке движущихся на конвейере или свободно падающих кусков руды крупностью от плюс 20 до плюс 100 мм. Фото- или рентгенометрические датчики настроены на регистрацию определенного участка спектра поглощения или испускания движущихся кусков руды. В случае удовлетворения спектра заданным условиям происходит автоматическая отсечка выбранного куска руды. Отсечку производят механическим (специальными бойками) или пневматическим (потоком сжатого воздуха) способами.

Рудо- и пульподготовка

Рудоподготовка является одной из основных операций переработки коренных руд. Основная ее задача состоит в получении продукта заданной крупности, обеспечивающей достаточно полное раскрытие ценных компонентов. Дробление горной массы до оптимальной крупности чаще всего проводится в несколько стадий. Чем крупнее исходный материал и чем мельче конечная крупность, тем сложнее схема рудоподготовки. Операции дробления и особенно тонкого измельчения энергоемки, расходы на них составляют значительную долю общих затрат на переработку руды 40 % — 60 %). Для первичного дробления руд наиболее распространены щековые и конусные дробилки, для мелкого — короткоконусные, реже молотковые или валковые дробилки, работающие в цикле с грохотами.

Пульподготовка подразумевает обычно обезвоживание пульпы до массовой доли твердого, необходимой для проведения дальнейший операций. Пульподготовка

может применяться как для продуктов, направляемых на переработку (руда, концентраты или хвосты обогащения), так и для хвостов переработки, направляемых в отвал (например, фильтрация хвостов цианирования).

Дробление руды обычно осуществляют в одну, две или три стадии. На первой стадии (крупное дробление), используемой практически на всех золото- и серебродобывающих предприятиях, руду забойной крупности с максимальным размером куска 500–1200 мм дробят до крупности 100–350 мм, которая может быть переработана методом мокрого само- или полусамоизмельчения в мельницах, либо подвержена дальнейшему среднему дроблению (вторая стадия) до крупности 30–100 мм и тонкому дроблению (третья стадия) до крупности 5–30 мм.

На первой и второй стадиях обычно используют щековые или конусные дробилки, на третьей — конусные, валковые, шнеко-зубчатые и др. Обычно целесообразным является межстадийное грохочение и классификация для вывода материала готовой крупности.

Выбор типа дробилок зависит от технологических свойств руды и производительности предприятия.

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 третей стадиях до крупности 0,04–0,5 мм. Возможен вариант использования только шарового помола с заменой первой стадии измельчения на тонкое дробление.

Шаровые мельницы и мельницы само- и полусамоизмельчения практически всегда работают в цикле с классификаторами (грохота, спиральные классификаторы, гидроциклоны и др.), что позволяет увеличить производительность мельниц без увеличения расхода энергии. Циркуляционная нагрузка при само- и полусамоизмельчении может составлять 30 % — 300 %, при шаровом измельчении — 70 % — 700 %.

При самоизмельчении измельчительной средой являются куски самой руды крупностью минус 200-500 мм. Разновидностями самоизмельчения являются рудно-галечное измельчение, где измельчение ведется специально выделенной прочной фракцией руды (галей) крупностью 30–300 мм и полусамоизмельчение, где к измельчаемой руде добавляют крупные стальные шары диаметром 50–100 мм в количестве 10%–20 % от рабочего объема мельницы.

Мельницы само- и полусамоизмельчения имеют увеличенное соотношение диаметра к длине мельницы. Диаметр мельниц самоизмельчения может составлять 5–12 м, рабочий объем — 20–500 м^3, энергопотребление — 0,1–15 МВт.

Шаровый помол применяется для измельчения руд до крупности менее 0,04–0,5 мм, что сопряжено с существенными энергозатратами, составляющими обычно 30 % — 60 % общих затрат на переработку руды. Измельчающей средой обычно являются стальные или чугунные шары диаметром 25–175 мм, загрузка которых составляет 30 % — 40 % от рабочего объема мельницы. Измельчение продукта осуществляется за счет ударов падающих шаров, а также за счет истирания между ними.

Диаметр промышленных шаровых мельниц может составлять 0,5–8 м, рабочий объем — 1–720 м^3, энергопотребление — 0,05–16 МВт.

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, которое в ряде случаев является не только бесполезным, но и вредным, т.к. снижает показатели извлечения ценных компонентов.

Часто процесс классификации по крупности сопряжен с обогащением материала, что широко используется на практике. Гидрометаллургические сорбционные процессы практически всегда сопряжены с процессами классификации, позволяющими отделить гранулированный сорбент (0,8–3,0 мм) от основной массы минерального сырья или механических примесей.

Для классификации крупных продуктов (20–200 мм) обычно применяют вибрационные и барабанные грохота, работающие по принципу просеивания материала через сито или решетку (соединенные с механическим приводом), с раздельным сбором продуктов, прошедших и не прошедших через сито. Грохота могут классифицировать как сухой материал, так и пульпы.

Для классификации продуктов средней крупности (2–20 мм) применяют вышеуказанные аппараты, а также спиральные, реечные и чашевые классификаторы, основанные на более быстром осаждении в пульпе крупных песков под действием силы тяжести. Пески осаждаются в нижней части классификатора и отделяются при помощи специального механизма, слив классификатора, содержащий более тонкие частицы, разгружается через верхнюю часть аппарата.

Для классификации тонких продуктов (крупностью 0,02–2 мм) наиболее широкое распространение получили гидроциклоны различной конструкции, работающие по принципу разделения частиц твердой фазы в центробежном поле, создаваемом вращающимся потоком пульпы. Обычно применяют не один гидроциклон, а несколько гидроциклонов меньшего размера (кластер гидроциклонов), что позволяет повысить технологическую эффективность процесса классификации при уменьшении эксплуатационных затрат.

Гидроциклоны кроме классификации рудного материала по крупности также способны разделять его по плотности, т. е. выполнять функции гравитационных аппаратов. Это используют для обесшламливания руд и концентратов, которое в некоторых случаях позволяет добиться существенного экономического эффекта за счет улучшения технологических показателей последующих переделов переработки и сокращения объемов производства.

Для отделения пульпы от гранулированных искусственных сорбентов крупностью 0,8–3 мм при сорбционном выщелачивании обычно применяют грохочение пульпы на вибрационных, барабанных и статичных грохотах (дренажах), оборудованных сеткой с размером ячейки 0,6–0,8 мм.

Сгущение и отстаивание пульп

Практически на всех золото- и сероизвлекательных фабриках, применяющих гидрометаллургические технологии, используют процессы сгущения. После измельчения и классификации получаемая пульпа обычно 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.

В результате осаждения твердых частиц верхние слои пульпы освобождаются от твердой фазы, образуя осветленный слой. Твердая фаза концентрируется в нижнем слое пульпы. Более тонкие частицы (шламы, ила) оседают медленно вследствие малой скорости осаждения и электрофизических явлений, вызывающих их взаимное отталкивание.

Для увеличения скорости осаждения используют коагулянты и флокулянты, приводящие к агрегации осаждаемых частиц за счет нейтрализации их одноименных электрических зарядов. В качестве коагулянта чаще применяют известь так как при цианировании она одновременно является защитной щелочью и не вызывает перерасхода цианида натрия.

Флокулянты представляют высокомолекулярные полимерные электролиты, адсорбирующиеся на осаждаемых частицах и способствующие образованию макромолекулярных связей между ними и, как следствие, агрегатов (флокул). Применение флокулянтов наиболее эффективно, так как многократно интенсифицирует процесс сгущения. Известны катионные, анионные и неионные флокулянты, подбираемые эмпирически для требуемых целей.

Сгущение (осаждение частиц) происходит под действием силы тяжести в ламинарном потоке. Удельная производительность сгущения (0,5–50 т/м^2·сут) и массовая доля твердого в сгущенной пульпе (30 % — 70 %) в первую очередь зависят от физико-химических свойств минерального сырья (крупность твердой фазы, плотность и химический состав твердой и жидкой фаз, отношение Ж:Т и др.), типа используемых аппаратов и реагентов для сгущения.

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. Осветление относительно больших количеств бедных растворов (например, растворов кучного выщелачивания) проводят также в прудах-отстойниках.

Отстаивание пульп и осветление растворов происходит в хвостохранилищах фабрик, что позволяет возвращать осветленные воды в производственный цикл и играет ключевую роль в организации оборотного водоснабжения предприятия.

Фильтрование пульп

Процесс фильтрования (фильтрации) пульп часто применяется при промышленном извлечении золота и серебра. Суть процесса заключается в разделении твердой и жидкой фаз с помощью пористой перегородки, через которую жидкая фаза проходит, а твердая нет. Разность давлений с разных сторон перегородки создается нагнетанием или вакуумированием, либо, в простейшем случае, под действием силы тяжести. В результате образуется относительно чистый фильтрат и влажный осадок (кек).

Фильтрацию обычно проводят с целью отделения растворенных драгоценныхдрагоценных металлов, или самой жидкой фазы (если фильтруют отходы

предприятия), либо с целью удаления из пульпы вредных растворенных примесей (например, при фильтрации кислых пульп после автоклавного окисления). Иногда проводят операции промывки кека на фильтре (водой или специальным раствором) и просушки кека воздухом.

Удельная производительность фильтрации (0,2–20 т/м^2·сут) и остаточная влажность кека (5%–40 %) зависят от физико-химических свойств минерального сырья (крупность твердой фазы, плотность и химический состав твердой и жидкой фаз, отношение Ж:Т, температура и др.), величины давления (разницы давлений) фильтрации и типа фильтрующей перегородки (обычно тканный или керамический материалы). Добавление коагулянтов и флокулянтов к пульпе обычно улучшает показатели ее фильтрации.

Для фильтрации крупнотоннажных потоков обычно используют пресс-фильтры, которые обладают достаточно большой поверхностью и производительностью фильтрации, и могут фильтровать как сгущенные, так и разбавленные пульпы. Недостатком пресс-фильтров является периодический режим работы.

Для малотоннажных потоков (обычно для богатых концентратов) могут использовать пресс-фильтры, а также непрерывно действующие дисковые и барабанные вакуум-фильтры и др. Нутч-фильтры применят в отделении готовой продукции для фильтрации малых объемов весьма богатых концентратов (например, катодных осадков и цементных осадков).

С течением времени фильтрующая перегородка засоряется мелкими частицами, проникающими в ее поры, и химическими соединениями, осаждаемыми внутри. Для регенерации фильтрующей перегородки используют механическую чистку и обработку растворами реагентов (HCl, HNO_3 и др.).

Противоточная декантация

Одним из способов извлечения растворенных ценных (золото и серебро) или вредных (кислые продукты автоклавного окисления, токсичные цианидные соединения и др.) компонентов из пульп является противоточная декантация, при которой потоки твердой и жидкой фаз движутся противоточно через цепочку сгустителей, оснащенных распульповочными чанами.

При этом на каждой стадии пульпу разбавляют раствором с меньшей концентрацией растворимых компонентов и сгущают. Частично отмытый сгущенный продукт подается на следующую стадию отмывки, а раствор, обогатившийся растворимыми компонентами — на предыдущую. Число стадий противоточной декантации зависит от необходимой степени отмывки растворенных компонентов и обычно составляет 2–5.

Основные факторы, определяющие эффективность противоточной декантации – это сгущаемость твердой фазы пульпы и сорбционная активность твердой фазы пульпы по отношению к извлекаемому компоненту.

К преимуществам противоточной декантации относятся простота и надежность технологии, низкие эксплуатационные затраты и лучшее качество отмывки, чем при фильтрации с промывкой кека, являющейся единственным альтернативным вариантом отмывки растворенных компонентов. К недостаткам относятся большие капитальные затраты (сгустители и площади); значительное разбавление промывных растворов и снижение эффективности отмывки при сорбционной активности твердой фазы пульпы по отношению к извлекаемому компоненту.

Периодическую декантацию используют для промывки небольшого количество богатых по золоту и серебру концентратов после выщелачивания. Для этого пульпу сгущают в специальном чане и осветленный раствор декантируют (сливают). К сгущенному продукту добавляют свежую воду или раствор и после распульповки повторяют сгущение. После нескольких циклов распульповки-сгущения отмытый материал выгружают из чана, а промывные растворы направляют на обезметалливание.

Центрифугирование

Одним из известных методов разделения твердой и жидкой фазы пульп является центрифугирование. Существуют промышленные центрифуги с периодическим и непрерывным режимом работы. На предприятиях применяется в достаточно редких случаях.

2.2.2.2 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. Гравитационные методы основаны на высокой плотности драгоценных металлов и их минералов, которая существенно выше плотности пустой породы. Флотационные методы используют различия в поверхностных свойствах минералов (смачиваемость). 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.

В некоторых случаях, в зависимости от типа и технологических свойств минерального сырья, удается при первичном обогащении извлечь в концентраты 80%— 95 % полезных компонентов и исключить из дальнейшей переработки основную массу руды (50%—99 %), т. е. сбросить хвосты обогащения в отвал. В других случаях извлечение в концентраты оказывается ниже и возникает необходимость дополнительной переработки хвостов гидрометаллургическими методами, однако и в этом случае обогащение целесообразно, если позволяет облегчить гидрометаллургическую переработку хвостов. Другими словами, преимуществом обогатительных методов является возможность сокращения объема последующей переработки продуктов обогащения и повышение сквозного извлечения ценных компонентов из исходного минерального сырья за счет выделения упорных богатых концентратов, к которым могут быть применены специальные дорогостоящие методы переработки (автоклавное окисление, окислительный обжиг и др.).

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 и оборудование

Драгоценные металлы, особенно золото, характеризуются высокой плотностью, кратно превышающей плотность вмещающих минералов, поэтому для извлечения самородных драгоценных металлов эффективны гравитационные методы. Для извлечения так называемого крупного золота с размером частиц более 0,1 мм

гравитационные методы являются наиболее эффективным и приоритетным, так как позволяет выделить металл в виде быстрореализуемого концентрата. Крупное (или гравитационное золото) плохо извлекается флотационными и гидрометаллургическими методами.

Другой принципиальной возможностью является гравитационное обогащение по сульфидам, в которых часто сосредоточены золото и серебро.

При измельчении руд мельницы работают в замкнутом цикле с классификаторами. Вскрывшиеся при измельчении частицы золота практически не измельчаются в силу ковкости металла, поэтому крупные тяжелые частицы свободного золота аккумулируются в циркулирующей нагрузке (мельница-классификатор). Для вывода свободного золота на разгрузке мельницы перед классификатором обычно устанавливают гравитационные аппараты.

В современной практике для первичного обогащения минерального сырья обычно используют отсадочные машины, центробежные концентраторы, тяжелосредную сепарацию, шлюзы и др, для доводки первичных (черновых) концентратов — в основном концентрационные столы. Гидроциклоны, также выполняющие функции гравитационных аппаратов, применяют для обесшламливания и перечистки руд и концентратов.

Гравитационные концентраты, получаемые при переработке коренных руд, содержат золото в количестве от 50 г/т до 5–10 кг/т. Обычно переработка гравиоконцентратов проводится на месте получения, однако, возможен вариант с реализацией концентрата на заводы цветной металлургии, где он будет использован как флюс при плавке или конвертировании.

Отсадочные машины. Обогащение с помощью отсадочных машин основано на разделении минеральных зерен по плотности в воде, колеблющейся (пульсирующей) относительно разделяемых зерен в вертикальной плоскости. Пульсация среды создается специальным механизмом. Основными параметрами отсадочной машины являются характеристика искусственной постели, частота и амплитуда пульсации, скорость восходящего потока подрешетной воды, производительность по твердому, разжижение пульпы.

Преимуществами отсадочных машин являются возможность переработки неклассифицированного материала, высокая производительность по твердому на единицу поверхности, возможность работы на пульпах с большим диапазоном Ж:Т.

Недостатком является низкое качество получаемых концентратов, требующих последующей доводки, и невозможность улавливания тонкого золота крупностью менее 0,1 мм.

Центробежные концентраторы. В центробежных концентраторах материал разделяется на более и менее плотные фракции под воздействием центробежного поля, создаваемого вращением конусного ротора с рифлями и под обратным воздействием потока промывочной (флюидизирующей) воды. Более плотная фракция, обогащенная золотом и серебром, движется навстречу потоку промывочной воды к стенкам ротора, а легкая обедненная фракция вытесняется к оси вращения и уходит в хвосты. Используют аппараты различной конструкции с периодической либо непрерывной разгрузкой концентрата.

Преимуществами центробежных концентраторов являются возможность извлечения тонкого свободного золота крупностью менее 0,1 мм и высокие показатели

по извлечению золота при обогащении минерального сырья относительно узких классов крупности. К недостаткам относятся невозможность эффективно обогащать сырье в широком диапазоне крупности вмещающей породы и ценных компонентов, потребность в относительно чистой воде без взвешенных частиц и высокая стоимость аппаратов.

Центробежные концентраторы широко используют не только для первичного обогащения руд, но и для обогащения и обесшламливания флотоконцентратов. При обогащении из флотоконцентрата выводят крупные золотины и сульфиды, наиболее обогащенные драгоценными металлами и перерабатываемые затем по отдельной технологии. При обесшламливании из флотоконцентрата удаляют тонкие частицы малой плотности, обедненные драгоценными металлами и зачастую вызывающие технологическую упорность минерального сырья (например, углистые шламы).

Концентрационные столы - Первичные гравиоконцентраты, получаемые на отсадочных машинах и центробежных концентраторах обычно подвергают гравитационной перечистке (доводке) с помощью концентрационных столов, на которых процесс разделения минеральных частиц по плотности происходит в тонком слое воды, текущей по слабонаклонной плоскости (деке), оснащенной рифлями и совершающей возвратно-поступательное движение. На столе образуется веер из частиц разной плотности и крупности, отдельные полосы веера собирают в разные приемники. Концентрационные столы отличаются большим многообразием форм, количества дек, типов приводного механизма и т. д.

Достоинствами столов является возможность получения концентратов высокого качества при высоком извлечении золота. К недостаткам относится низкая производительность, поэтому столы, как правило, используют только в качестве перечистных аппаратов (например, для перечистки концентратов отсадочных машин и центробежных аппаратов).

Гидроциклоны. Гидроциклоны, как и центробежные концентраторы, используют для обесшламливания и обогащения руд и концентратов, что в некоторых случаях позволяет добиться существенного экономического эффекта за счет улучшения технологических показателей последующих переделов переработки и сокращения объемов производства.

Также гидроциклоны используются для тяжелосредной сепарации.

Тяжелосредная сепарация. В некоторых случаях тяжелосредная сепарация может быть применена для обогащения золото- и серебросодержащего минерального сырья. Процесс основан на разделении компонентов по их удельному весу в достаточной плотной жидкой или псевдожидкой среде в поле центробежных или гравитационных сил и сил сопротивления среды. Крупность перерабатываемого минерального сырья может составлять от минус 0,5–100 мм в зависимости от его вещественного состава и технологических свойств.

В качестве плотной (тяжелой) среды обычно используют устойчивые водные взвеси тонкодисперсных плотных веществ-утяжелителей (магнетит, ферросилиций, галенит и др. плотностью 4–8 г/см3 и крупностью минус 0,1 мм). Для регенерации утяжелителя продукты сепарации перечищают, например, методами, связанными с высокой магнитной восприимчивостью утяжелителя.

Применяют статические (корытные, барабанные, конусные и др.) и динамические (гидроциклоны) тяжелосредные сепараторы: в первых разделение происходит под

действием силы тяжести, во вторых — под действием центробежного поля создаваемого вращением пульпы.

Преимуществами тяжелосредной сепарации являются максимальная селективность разделения благодаря возможности точного подбора плотности среды и широкий диапазон крупности перерабатываемого минерального сырья. Недостатком – существенные потери утяжелителя с продуктами сепарации, достигающие сотен граммов на 1 т переработанного минерального сырья, что приводит к снижению экономической эффективности операции.

Флотационные методы

Пенная флотация при промышленном извлечении драгоценных металлов является широко применяемым методом. В первую очередь ее высокая эффективность определяется возможностью извлечения как сульфидных минералов, обогащенных драгоценными металлами из бедного минерального сырья (руды, хвосты гравитации), так и свободного тонкого золота.

Процесс основан на различной способности минералов удерживаться на границе раздела газовой и водной фаз. Суть процесса заключается в продувании воздуха через пульпу при интенсивном перемешивании. При этом гидрофобные частицы (обычно золото и сульфиды, обогащенные драгоценными металлами) прилипают к пузырькам продуваемого воздуха и увлекаются ими к поверхности пульпы, где их механически отделяют. Гидрофильные частицы остаются в слое пульпы, происходит селекция минералов.

Для некоторых типов минерального сырья целесообразным является предварительное флотационное обогащение с целью удаления компонентов, вредящих последующей переработке (углистое вещество, минералы меди, сурьмы и др.).

При флотации широко используют различные реагенты, изменяющие поверхностные свойства разделяемых минералов и позволяющие управлять процессом. Применяют различные собиратели, селективно гидрофобизирующие поверхность целевых минералов: ксантогенаты (бутиловый, амиловый, этиловый) и аэрофлоты и др. Вспенивателями служат сосновое масло, реагенты Т-66, Т-92 и др. Также используют активаторы поверхности целевых минералов (медный купорос и др.) и подавители флотации пустой породы (жидкое стекло и др.).

Оптимальные параметры флотационного обогащения минерального сырья зависят от его технологических свойств и отличаются большим разнообразием.

Крупность материала, подаваемого на флотацию, как правило составляет от минус 0,1 до минус 0,5 мм. Выход концентрата составляет до 10%—15 % от массы исходного минерального сырья и его переработка обходится значительно дешевле. Кроме того, к концентрату могут быть применены специальные дорогостоящие методы переработки, снижающие или устраняющие его упорность и позволяющие повысить сквозное извлечение драгоценных металлов.

Скоростная флотация используется в цикле измельчения и классификации руды. Процесс проводится в специальном оборудовании в «энергонасыщенном» режиме на грубом материале, что позволяет извлекать крупное «гравитационное» золото и грубоизмельченные сульфидные минералы, однако, в большинстве случаев с такими задачами хорошо справляются более дешевые гравитационные методы обогащения.

2.2.2.3 Гидрометаллургия руд и концентратов

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

Многие руды и концентраты содержат драгоценные металлы в виде тонких вкраплений (менее 10 мкм) в сульфидные и реже иные минералы. Если шаровый помол такого минерального сырья до крупности минус 0,04–0,1 мм не дает приемлемой степени вскрытия целевых компонентов для последующего их выщелачивания, то такое сырье считают упорным и применяют для его переработки специальные методы деструкции сульфидной (или иной) матрицы.

Ниже описаны применяемые в промышленной практике 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

Жидкофазное автоклавное окисление сульфидов заключается в обработке пульпы техническим кислородом (редко кислородом воздуха) при температуре 100 °С — 200 °С и давлении 0,2–2 МПа в условиях перемешивания. При этом большинство сульфидных минералов окисляются до водорастворимых сульфатов. Например, для пирита характерна следующая реакция окисления:

$$4FeS_2 + 15O_2 + 2H_2O = 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2SO_4$$

Золото же в этих условиях практически нерастворимо, оно вскрывается и становится неупорным для последующего выщелачивания. После окисления сернокислые пульпы выдерживают 1–2 ч при температуре 90 °С для частичного гидролиза солей железа и «состаривания», дегидратации и уплотнения образуемых осадков. Затем пульпу охлаждают, отмывают водой от растворенных сернокислых примесей. Окисленный продукт направляют на выщелачивание золота, которое чаще всего проводится методом цианирования после предварительного защелачивания, но также могут быть использованы и нецианистые растворители.

Серебро также достаточно хорошо вскрывается в автоклавных условиях, однако, при снижении температуры и давления часть серебра соосаждается с паразитными соединениями и пассивируется для последующего выщелачивания. Разработаны способы минимизации данного явления.

Для окисления используют технический кислород, получаемый на месте на специальном оборудовании (криоректификационые, адсорбционные и мембранные кислородные станции).

К преимуществам автоклавного окисления сульфидов относится его высокая технологическая эффективность: продолжительность окисления составляет 1–3 ч при степени окисления сульфидов более 90 %, что обычно обеспечивает максимальное извлечение золота по сравнению с другими способами предварительно вскрытия.

К недостаткам технологии относится высокий расход реагентов (O_2 на окисление, $CaCO_3$ и CaO на нейтрализацию сернокислых отходов производства), сопоставимый с массой окисляемых сульфидов, необходимость использования дорогого кислотоупорного оборудования, работающего под давлением.

Существуют другие разновидности автоклавного окисления, например в щелочной среде или с добавкой других реагентов (хлориды, тиосульфаты).

Для окисления используются автоклавы периодического и непрерывного действия.

Бактериальное окисление

Бактериальное окисление является довольно распространенным методом вскрытия золото- и серебросодержащего сульфидного минерального сырья с тонковкрапленными (тонкодисперсными) полезными компонентами. Суть процесса заключается в окислении сульфидных минералов кислородом воздуха при помощи особых бактерий (обычно тионовые железобактерии Thiobacillus ferrooxidans), существенно интенсифицирующих процесс.

Обычно окислению подвергают флотационные концентраты с содержанием сульфидов несколько десятков процентов, однако процесс могут использовать для сульфидных и малосульфидных руд (в том числе в режиме кучного выщелачивания). Бактериальное окисление обычно ведут в агитационном режиме при аэрации пульпы, температуре 25 °С — 40 °С, отношении Ж:Т ≈ 5:1 и значении pH 1–3.

К преимуществам процесса относится возможность достаточно полного безавтоклавного окисления сульфидов без использования кислорода (только воздуха) до степени, обеспечивающей высокое извлечение золота при последующем выщелачивании.

К недостаткам процесса относится его низкая интенсивность — минимальная продолжительность окисления составляет обычно несколько суток. Кроме того, для процесса характерны высокие эксплуатационные затраты, связанные с большим расходом реагентов на цианирование окисленного продукта (из-за элементной серы) и обезвреживание сернокислых отходов, необходимостью использования кислотоупорного оборудования и дорогостоящего передела «разведения» бактерий.

Сверхтонкий помол

Сверхтонкий помол (до крупности 5–40 мкм) обычно применяют для относительно богатых (10–100 г/т) упорных золото и серебросодержащих концентратов (содержащих тонко вкрапленные ценные компоненты) как операцию предварительного вскрытия перед цианированием или жидкофазным окислением.

Помимо прямого механического разрушения минералов, вскрытия полезных компонентов, сверхтонкий помол приводит к механоактивации их поверхности. При этом происходит искажение естественной кристаллической структуры минералов, что способствует вскрытию драгоценных металлов, находящихся на межкристаллических плоскостях. Увеличение площади поверхности сульфидных минералов приводит к увеличению их реакционной способности в процессах последующего жидкофазного окисления.

Для сверхтонкого помола могут быть применены бисерные, шаровые, вибрационные, струйные и планетарные мельницы, однако, на практике в основном используют бисерные и шаровые. Использование обычных шаровых мельниц в цикле с классификаторами в особых режимах целесообразно при измельчении до крупности

20–40 мкм. Дальнейшее снижение крупности шарового помола приводит к экспоненциальному росту энергозатрат, и он не применяется.

Бисерные мельницы состоят из стационарной цилиндрической камеры, оснащенной ротором (мешалкой) и заполненной мелкими шариками (бисером) на 70% — 85 % объема. При вращении ротора происходит движение бисера, который измельчает и активирует частицы материала. Высокая эффективность бисерного помола определяется большой площадью контакта между измельчающей средой и измельчаемым материалом, а также большой энергонасыщенностью процесса.

Для измельчения используют бисер из плотных керамических материалов (силикаты и оксиды циркония и гафния и др.) крупностью 0,5–5,0 мм.

Промышленные бисерные мельницы работают в непрерывном проточном режиме, для чего они имеют устройство непрерывного отделения бисера от измельченной пульпы.

Крупность минерального сырья, подаваемого на бисерный помол должна составлять минус 0,1 мм. В этом случае он отличается достаточно высокой пропускной способностью и высоким коэффициентом использования энергии.

Преимуществом сверхтонкого помола является заметное повышение извлечения ценных компонентов при последующем цианировании либо заметное увеличение эффективности последующего жидкофазного окисления сульфидов.

К недостаткам способа относится кратное увеличение расхода реагентов на прямое цианирование измельченных продуктов, увеличение сорбционной активности твердой фазы пульпы, высокая вязкость сверхтонких пульп, требующая большего их разбавления (до отношения Ж:Т = 3–4:1), высокая стоимость бисерных мельниц и расходных материалов.

Известково-кислородное окисление

В ряде случаев при промышленной переработке упорных золото и серебросодержащих сульфидных концентратов целесообразным является частичное окисление сульфидов кислородом в мягких условиях при атмосферном давлении, что позволяет существенно сократить расходы реагентов на нейтрализацию сернокислых отходов по сравнению с автоклавным или бактериальным методом при незначительной потере в извлечении золота.

Процесс окисления сульфидов кислородом при нормальном давлении и температуре протекает весьма медленно. Для интенсификации процесса применяют ряд приемов. Обычно концентраты предварительно подвергают бисерному помолу до крупности 5–20 мкм. Окисление ведут в агитационном автогенном режиме при температуре 50 °С — 90 °С. В качестве окислителя используют технический кислород (95 % O_2), для повышения степени использования которого применяют сложные керамические и механические диспергаторы. Кроме того, процесс проводят при добавках извести (CaO) или известняка ($CaCO_3$), поддерживая pH на уровне 4–12, что обеспечивает постоянное удаление из жидкой фазы пульпы продуктов реакции (серной кислоты, сульфатов железа и др.). Осаждаемые продукты являются рыхлыми и практически не препятствуют последующему выщелачиванию драгоценных металлов.

Например, реакцию известково-кислородного окисления пирита можно представить следующим образом:

$$4FeS_2 + 15O_2 + 2H_2O + 8CaO = 4FeO(OH) + 8CaSO_4$$

В редких случаях для окисления вместо кислорода может быть использован воздух или озон. После окисления сульфидов до достаточной степени (30 % — 70 %) пульпу защелачивают до значения pH = 10–11 и цианируют.

Преимуществами предварительного жидкофазного окисления сульфидных концентратов при атмосферном давлении являются снижение расхода реагентов (O_2, $CaCO_3$ или CaO) по сравнению с автоклавным и бактериальным методами окисления и снижение расхода реагентов на цианирование окисленных концентратов.

К недостаткам процесса относится его низкая интенсивность (продолжительность может составлять 4–72 ч), низкая степень использования кислорода (20 % — 70 %) и необходимость использования дорогостоящего сверхтонкого (бисерного) помола.

Кислотно-кислородное окисление

В редких случаях для окисления золото- и серебросодержащих сульфидов может быть использован процесс кислотно-кислородного выщелачивания, который основывается на достаточно быстром окислении сульфидных золото- и серебросодержащих минералов азотной кислотой (и оксидами азота), непрерывно регенерируемой в ходе процесса при использовании кислорода. Например, реакции окисления пирита кислородом можно представить следующим образом:

$$2FeS_2 + 10HNO_3 = Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2SO_4 + 10NO + 4H_2O$$

$$4NO+3O_2+2H_2O=4HNO_3$$

Обычно процесс окисления сульфидных минералов проводят в агитационном режиме при атмосферном давлении, температуре около 80 °С — 100 °С, времени окисления 1–2 ч, концентрации азотной кислоты 10–100 г/л и отношении Ж:Т = 5–10:1.

Основными преимуществами процесса кислотно-кислородного окисления являются высокие показатели окисления сульфидов и вскрытия ценных компонентов.

К недостаткам этого процесса, как и любого другого кислого процесса, является высокий расход реагентов (азотной кислоты, нитратов или нитритов) на нецелевое растворение пустой породы и на нейтрализацию (известняк и известь) кислых отходов производства.

Сернокислотное выщелачивание

Сернокислотное выщелачивание может быть использовано в ряде случаев как предварительная операция для удаления примесей (цветных металлов и др.), вредных для последующего извлечения золота и серебра из минерального сырья (руды, концентраты обогащения, цементные осадки и др.).

Для тонкоизмельченных продуктов (руд и концентратов) обычно реализуют пульповой процесс в агитационном режиме. Также возможен вариант с кучным сернокислотным выщелачиванием дробленых руд.

Условия обработки существенно разнятся в зависимости от технологических свойств и вещественного состава минерального сырья. Сернокислые растворы после выщелачивания могут быть подвергнуты селективному извлечению выщелоченных компонентов (например, меди и цинка), если это является рентабельным.

Сульфидно-щелочное выщелачивание

Сульфидно-щелочное выщелачивание применяют для переработки сурьмусодержащих концентратов с тонко-вкрапленными драгоценными металлами.

Процесс основан на способности сульфидно-щелочных растворов (Na_2S и NaOH) растворять сульфидные и окисленные минералы сурьмы, например:

$$Sb_2S_3 + 3Na_2S = 2Na_3SbS_3$$

$$Sb_2O_3 + 3Na_2S = Na_3SbS_3 + Na_3SbO_3$$

Процесс выщелачивания проводят в агитационном режиме в течение нескольких часов при отношении Ж:Т = 5–10:1 и температуре (80 °С — 100 °С). Драгоценные металлы преимущественно остаются в нерастворимом остатке, для их извлечения остаток цианируют или подвергают другим видам извлечения.

Защелачивание и известковая обработка пульп

Известковая обработка пульп (известкование) используется в ряде случаев при переработке золото- и серебросодержащего минерального сырья. Ее часто используют для защелачивания минерального сырья перед цианированием (и в ходе цианирования) и на других операциях (например, при хлорировании цианистых отходов, кондиционировании растворов).

При защелачивании сильнокислых продуктов (после автоклавного, бактериального и кислотно-кислородного окисления и др.) целесообразным является предварительная обработка более дешевым известняком ($CaCO_3$), позволяющим довести значение pH пульпы до 6. Для защелачивания пульп до значения pH=12 используют известь (CaO).

Поскольку эти реагенты имеют ограниченную растворимость в воде, их готовят и используют в виде взвеси (пульпы) с массовой долей твердого 10% — 20 %. Комовые реагенты предварительно измельчают и классифицируют на оборудовании, аналогичном рудному. Полученную взвесь подают в пульпу, которую агитируют в периодическом или непрерывном режиме в течение 1–10 ч, осуществляя контроль pH при помощи добавления вышеуказанных реагентов.

При известковой обработке, предшествующей цианированию, доводят pH пульпы до значения 10,5–12,0. Для сульфидных концентратов проводят известковую обработку при активной аэрации пульпы, которая позволяет насытить пульпу кислородом, снизить расход NaCN на цианирование и повысить эффективность выщелачивания полезных компонентов.

Известковую обработку часто применяют как предварительную операцию перед цианированием для стабилизации pH пульпы в щелочной области и насыщения ее кислородом. Обработку проводят в агитационном режиме при значении pH 10–12.

2.2.2.4 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 весьма часто применяют гидрометаллургические методы, включающие процесс растворения драгоценных металлов с последующим их извлечением из пульп и растворов.

Цианидные растворители

Цианирование является наиболее распространенным промышленным способом извлечения драгоценных металлов. По различным оценкам от 75% до 85 % мировой добычи золота связано с использованием технологии цианирования.

Сущность процесса заключается в выщелачивании драгоценных металлов цианидами (в основном NaCN) в присутствии кислорода, например:

$$4Au + 8CN^- + O_2 + 2H_2O = 4[Au(CN)_2]^- + 4OH^-.$$

Для серебра реакция аналогична.

К достоинствам цианирования относятся:

- высокая селективность растворителя по отношению к золоту и серебру, возможность вести выщелачивание как при больших (1–20 г/л), так и малых (0,01–1 г/л) концентрациях CN^- и, как правило, небольшой расход NaCN;

- простота аппаратурного оформления процесса и возможность использования обычных конструкционных материалов вследствие неагрессивности растворителя;

- эффективные и проверенные промышленной практикой методы обезметалливания (сорбция-десорбция, цементация) и обезвреживания (детоксикации, нейтрализации) цианистых растворов и пульп (хлорирование, озонирование, разложение сернистым газом или метабисульфитом, биологическая очистка, ионный обмен и др.);

- универсальность технологии для продуктов разнообразного вещественного состава с широким диапазоном содержаний драгоценных металлов от 0,1–0,3 г/т до 5–10 кг/т.

Поскольку кислород необходим для растворения драгоценных металлов, то проводят накислораживание пульпы, чаще всего посредством аэрации, т. е. продувая воздух через пульпу. В некоторых случаях целесообразна продувка технического кислорода, что повышает эффективность выщелачивания, но увеличивает эксплуатационные расходы.

Используемые в качестве реагентов цианидные соли подвержены гидролизу в водных растворах:

$$CN^- + H_2O = HCN + OH^-.$$

Для подавления гидролиза используют щелочные реагенты, в основном CaO и NaOH. Применение этих реагентов в количестве 0,3–3 кг/т обычно позволяет существенно сократить степень гидролиза цианидных солей. Чаще применяют известь так как она одновременно является коагулянтом при сгущении.

Некоторые рудные минералы (сульфиды, минералы меди, сурьмы, мышьяка и др.) отрицательно влияют на процесс цианирования вызывая нецелевой расход цианида, обескислороживание, образование пассивирующих пленок на поверхности драгоценных металлов и др. Поэтому вещественный состав руд драгоценных металлов, который отличается огромным разнообразием, является одним из основных факторов, определяющих технологию и показатели их переработки.

Для руд и концентратов различного вещественного состава условия цианирования в большинстве случаев находятся в следующих диапазонах: отношение Ж:Т = 1–3:1, концентрация NaCN — 0,1–20 г/л, расход NaCN — 0,3–30 кг/т, продолжительность выщелачивания — 4–72 ч, значение pH — 9–13. В особых случаях используют цианирование при повышенной температуре 30 °С — 80 °С.

Нецианидные растворители

В некоторых случаях применение цианидов для промышленного извлечения драгоценных металлов является невозможным или нежелательным в силу

технологических либо экологических причин. В таких случаях могут быть использованы нецианидные растворители, такие как тиокарбамид, тиосульфаты, галоген-галогенидные системы и др.

Тиокарбамидное выщелачивание проводят в присутствии достаточно мягкого окислителя, способного окислить драгоценные металлы, но не окисляющего тиокарбамид (обычно водорастворимые соли Fe^{3+} или дисульфид формамидина). Значение pH среды поддерживают с помощью H_2SO_4 на уровне 1–4 с целью предотвращения гидролиза тиокарбамида и образующихся комплексов драгоценных металлов. Процесс растворения золота в присутствии Fe^{3+} выражается следующей реакцией:

$$Au + 2CS(NH_2)_2 + Fe^{3+} = [Au(CS(NH_2)_2)_2]^+ + Fe^{2+}$$

Для серебра реакция аналогична. К преимуществам тиокарбамирования (по сравнению с цианированием) относится меньшая токсичность тиокарбамида, значительно большая скорость выщелачивания золота и особенно серебра. Тиокарбамидные растворы эффективно выщелачивают серебро из природных сульфидов, в отличие от цианидных растворов. В некоторых случаях тиокарбамирование является более селективным методом извлечения драгоценных металлов, чем цианирование (например, для золото-сурьмяных продуктов).

Недостатками является необходимость поддержания концентрации тиокарбамида на уровне 5–20 г/л, что в сочетании с его низкой химической устойчивостью приводит к большому расходу реагента, на уровне 10–50 кг/т. Часто использование серной кислоты приводит к существенному нецелевому растворению вмещающих минералов. Кислые пульпы отличаются трудной сгущаемостью и фильтруемостью, вызывают необходимость использования более дорогой кислотостойкой аппаратуры.

Тиосульфатное выщелачивание золота проходит по реакции:

$$4Au + 8S_2O_3^{2-} + O_2 + 2H_2O = 4[Au(S_2O_3)_2]^{3-} + 4OH^-.$$

Для серебра реакция аналогична.

Для тиосульфатного выщелачивания в агитационном режиме характерно достаточно большое разбавление пульпы до отношения Ж:Т = 3–10:1, а также большие концентрации (5–20 г/л) и расходы (10–100 кг/т) реагентов ($Na_2S_2O_3$, $(NH_4)_2SO_3$, NH_4OH, Cu^{2+}), что является существенным недостатком технологии.

К преимуществам тиосульфатного выщелачивания относится меньшая токсичность выщелачивающих растворов и возможность более селективного выщелачивания драгоценных металлов из некоторых типов упорного для цианирования минерального сырья (содержащего Mn, Cu, Sb, Se, Te, сульфиды серебра и др.).

К недостаткам относятся высокие рабочие концентрации и расход реагентов, в том числе на последующее обезвреживание.

Галоген-галогенидные (хлор-хлоридные, бром-бромидные и йод-йодидные) растворы могут быть применены для выщелачивания золота и серебра. Выщелачивание золота основано на образовании, золото-галогенидных комплексов, например, золото-хлоридного:

$$2Au + 3Cl_2 + 2Cl^- = 2[AuCl_4]^-$$

В качестве окислителей выступают элементные галогены или их кислородные соединения (Cl_2, Br_2, I_2, NaClO, $Ca(ClO)_2$, $NaBrO_3$ и др.), комплексообразователем являются галогенид-ионы, вводимые в выщелачивающий раствор в виде солей щелочных металлов (NaBr, NaCl, NaI).

Более эффективно галоген-галогенидное выщелачивание проходит в кислой среде (pH=2-5) при концентрации активных галогенов 1-10 г/л; галогенид-ионов 5-20 г/л. В этих условиях кинетика выщелачивания драгоценных металлов выше, чем при цианировании.

Наиболее перспективным является хлор-хлоридное выщелачивание с применением гипохлоритов (ClO^-). Оптимальные условия выщелачивания и обезметалливания получаемых растворов и пульп подбираются отдельно для каждого типа минерального сырья.

К недостаткам галоген-галогенидного выщелачивания относятся: высокие рабочие концентрации и расход реагентов, высокая химическая активность элементарных галогенов, вызывающая нежелательное растворение многих рудных минералов и необходимость использования дорогое коррозионностойкое оборудование, малая устойчивость комплексов драгоценных металлов.

Агитационное выщелачивание

Агитационное выщелачивание заключается в перемешивании (агитации) пульпы и характеризуется наиболее благоприятными условиями диффузионного подвода реагентов и отвода продуктов реакции от поверхности выщелачиваемых драгоценных металлов. Поэтому по динамике и полноте выщелачивания агитационное выщелачивание превосходит другие виды выщелачивания (перколяционное, кучное и подземное). Крупность материала при агитационном выщелачивании составляет от минус 0,02 мм до минус 0,3 мм в зависимости от характера вкрапленности драгоценных металлов.

Агитационное выщелачивание проводят в аппаратах механического, пневматического, и пневмомеханического действия. Аппараты первого типа представляют собой емкости, оснащенные валом с импеллером и механическим приводом. В аппаратах второго типа перемешивание проводится за счет достаточно интенсивной продувки воздуха через пульпу; эти аппараты имеют форму колонн с высотой, превышающей диаметр в 3-4 раза. Аппараты третьего типа представляют промежуточный вариант, в котором используются оба вида перемешивания. Вместительность аппаратов, используемых при гидрометаллургическом извлечении драгоценных металлов может составлять 0,5-2000 $м^3$, в зависимости от производительности предприятия и используемой на нем технологии.

Предпочтительным является выщелачивание в непрерывном режиме, для чего обычно используют цепочку последовательно соединенных аппаратов, между которыми происходит самотечный или принудительный переток пульпы. При малотоннажной переработке богатых концентратов допустим периодический режим работы выщелачивающего оборудования.

Поскольку наиболее распространенным является агитационное выщелачивание драгоценных металлов цианидными растворами, для действия которых необходим растворенный кислород, используют принудительную аэрацию пульпы с расходом 0,005-0,1 $м^3$ на 1 $м^3$ пульпы в минуту. В некоторых случаях целесообразна продувка

техническим кислородом, что повышает эффективность выщелачивания, но увеличивает эксплуатационные расходы.

Агитационный режим выщелачивания применяется не только для извлечения драгоценных металлов, но и для различных типов предварительной гидрометаллургической обработки минерального сырья (бактериальное и автоклавное окисление, сернокислотное выщелачивание и др.), позволяющих удалить из минерального сырья вредные примеси или снизить их отрицательное влияние на последующие технологические операции.

Сорбционное выщелачивание

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.

Преимуществом сорбционного выщелачивания является возможность не проводить дорогостоящие и в большинстве случаев неэффективные операции фильтрации и отмывки (или противоточной декантации) пульпы от растворенных драгоценных металлов, приводящие к их существенным потерям (до 30 % при переработке сорбционно активного минерального сырья).

Сорбционное выщелачивание проводят в непрерывном режиме в цепочке последовательно соединенных аппаратов при противоточном движении пульпы и искусственного сорбента — сорбент периодически или непрерывно загружают в хвостовой аппарат цианирования, и переводят из каждой ступени в предыдущую. Для отделения пульпы от искусственных сорбентов при сорбционном выщелачивании обычно применяют грохочение пульпы на вибрационных, барабанных и статичных грохотах (дренажах), оборудованных сеткой с размером ячейки 0,6-0,8 мм. Насыщенный сорбент, содержащий драгоценные металлы в количестве 0,3-50 кг/т, выводят из головного аппарата и обычно направляют на десорбцию и регенерацию, после чего используют в обороте. Возможен вариант с безвозвратной пирометаллургической переработкой сорбента. Также пирометаллургической переработке подвергают некондиционные сорбенты, неизбежно образуемые при регенерации сорбента.

Обычно целесообразным является предварительное цианирование пульпы без искусственного сорбента, а затем сорбционное выщелачивание, что позволяет получать более богатый насыщенный сорбент. Однако в случае переработки сорбционно-активных руд этот прием приводит к дополнительным потерям драгоценных металлов, поэтому его исключают и проводят прямое сорбционное цианирование.

Интенсивное цианирование

Первичные гравитационные концентраты, получаемые при обогащении руд и промпродукты доводки концентратов с содержанием золота (и серебра), недостаточным для прямой плавки на слиток (50-5000 г/т), обычно перерабатывают

методом выщелачивания (чаще цианирования), так как драгоценные металлы в них содержатся в свободной форме, либо в виде сростков, доступных для выщелачивания.

Гравиоконцентраты представляют собой крупнозернистые (плюс 0,1 минус 2 мм) плотные (плотность твердой фазы 3,5-4,5 г/см^3) продукты, поэтому для них используют особые гидродинамические и реагентные режимы выщелачивания и специальное оборудование.

С точки зрения процесса цианирования золото в гравиоконцентратах находится в относительно больших количествах в виде крупных частиц с малой площадью, что требует интенсификации процесса выщелачивания для гарантии его максимального извлечения. Интенсификации добиваются, используя подогрев выщелачивающих растворов до 30 °С — 40 °С, повышенную концентрацию NaCN в пределах 10–30 г/л и специальные реагенты-ускорители (Leachwell, H_2O_2 и др.).

Наиболее распространенная технология периодического интенсивного цианирования включает операции загрузки концентрата в реактор, добавления реагентов и выщелачивания ценных компонентов, отделения продуктивного раствора, промывки и выгрузки выщелоченного концентрата. Выщелачивание ведется в режиме циркуляции раствора между реактором и емкостью рабочего раствора. Применяются реакторы агитационного и перколяционного действия.

Для обезметалливания продуктивных растворов с концентрацией драгоценных металлов более 50 мг/л обычно используют электролиз, для более бедных растворов — цементацию на цинк или сорбцию на активный уголь или ионообменную смолу.

2.2.2.5 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 мг/л. Сорбционные методы, кроме того, позволяют напрямую обезметалливать пульпы (особенно глинистые), что является их существенным преимуществом.

Электролиз и химическое осаждение применяют в основном для богатых растворов с концентрацией золота и серебра более 50 мг/л.

Указанные методы могут быть использованы как для извлечения драгоценных металлов из цианидных, так и из тиокарбамидных, тиосульфатных, хлоридных или других сред. Выбор метода зависит от технологических свойств растворов, концентрации извлекаемых компонентов, объемов производства и др.

Сорбционные методы

При гидрометаллургическом извлечении золота и серебра широко применяют гранулированные активные угли и ионообменные смолы крупностью 0,8–3,0 мм, которые при контакте с жидкой фазой сорбируют и концентрируют растворенные

ценные компоненты. Чаще всего обезметалливанию подлежат цианидные пульпы и растворы.

Преимуществами ионообменных смол является бóльшая селективность и эффективность (скорость и полнота извлечения ценных компонентов) сорбции золота и серебра из растворов и пульп простого вещественного состава. Также смолы обычно обладают большей механической прочностью и их расход в несколько раз ниже, чем активного угля.

Преимуществами активных углей является бóльшая селективность и эффективность сорбции в растворах сложного состава с большим количеством примесей (Zn, Cu, SCN^- и др.), а также в несколько раз меньшая стоимость сорбента.

Неоспоримым преимуществом сорбционного выщелачивания является возможность осуществления бесфильтрационного способа переработки минерального сырья.

Обезметалливание растворов проводят чаще всего в колоннах специальной конструкции с неподвижным, кипящим либо псевдо-кипящим слоем сорбента. Преимуществом неподвижного слоя сорбента является компактность сорбционной установки (достаточно одной стадии) и бóльшая емкость насыщенного угля, недостатком — невозможность перерабатывать ошламованные растворы. Использование кипящего слоя сорбента позволяет перерабатывать мутные растворы, но сорбционная установка должна включать несколько (обычно 3–5) ступеней сорбции, что увеличивает капитальные и эксплуатационные затраты.

Сорбцию применяют как для извлечения золота и серебра из бедных растворов (сливов сгустителей, растворов кучного выщелачивания, оборотных растворов хвостохранилищ), так и из богатых (маточных растворов электролиза, растворов интенсивного цианирования и др.)

Для переработки насыщенных золото- и серебросодержащих сорбентов, наибольшее распространение получили способы, подразумевающие их повторное использование и включающие операции десорбции ценных компонентов с регенерацией сорбционных свойств.

Для извлечения драгоценных металлов из активных углей обычно применяют способы, основанные на десорбции цианидных комплексов металлов при повышенной температуре. Через колонну (десорбер) с зажатым слоем угля пропускают элюирующий раствор (обычно NaOH или NaCN и NaOH) при температуре 140 °С — 165 °С и давлении 0,4–0,7 МПа. Продуктивные растворы (элюаты) могут непрерывно циркулировать в цикле десорбции-электролиза либо накапливаться и поступать на последующее обезметалливание (электролизом или иными методами).

Уголь, циркулирующий в цикле сорбции-десорбции, периодически подвергают кислотной обработке (HCl или HNO_3) и высокотемпературной реактивации в электропечах барабанного типа при температуре 650 °С — 750 °С, что обеспечивает практически полную регенерацию сорбционных свойств угля.

В редких случаях (например, при хлор-хлоридном выщелачивании) насыщенный уголь перерабатывают окислительным обжигом (озолением) с последующей плавкой на слиток золото лигатурное или гидрометаллургической переработкой огарка.

Для десорбции золота и серебра из ионообменных смол и регенерации их сорбционных свойств применяют элюирование при атмосферном давлении. Для сильноосновных смол (АМ-2Б и др.) ведут последовательное элюирование примесей

различными растворами, а затем элюирование золота и серебра тиокарбамидными растворами. Для низкоосновных смол десорбцию ведут в одну стадию щелочными или щелочно-цианидными растворами.

Цементация

Цементационный метод основан на осаждении золота и серебра более электроотрицательными металлами. Наиболее распространенным является использование цинка для обезметалливания цианистых растворов, однако, возможно использование других металлов (алюминия, свинца, железа и др.) для других сред (тиокарбамидные, галоген-галогенидные и др.), например:

$$2[Au(CN)_2]^- + Zn = 2Au + [Zn(CN)_4]^{2-}$$

$$2[Ag(ThiO)^3]^+ + Pb = [Pb(ThiO)_3]^{2+} + 2Ag.$$

С целью исключения снижения качества цементных осадков и эффективности самого процесса цементации обычно используют предварительное осветление растворов. Для этого используют чаны- и пруды-отстойники, сгустители и фильтры разнообразной конструкции.

Для интенсификации процесса цементации на цинковую стружку (толщиной 0,1–0,3 мм) применяют ее предварительное освинцовывание либо приводят ее в контакт с электропроводным углеватином, обладающим развитой поверхностью, на которой и происходит осаждение ценных компонентов. При использовании цинковой стружки она обычно образует зажатый (статичный) слой через который прокачивают обезметалливаемые растворы. Может быть использовано несколько стадий цементации.

Также используют цинковую пыль (пудру) крупностью минус 0,01–0,03 мм, обладающую большей поверхностью. В этом случае растворы предварительно обескислораживают (вакуумируют) с целью снижения расхода цинка. Затем пыль контактируют с обескислороженными растворами и смесь фильтруют.

Преимуществом процесса цементации является его универсальность: он может быть применен для обезметалливания бедных и богатых, цианидных и нецианидных растворов при высоком извлечении золота. Недостатки — заметный расход металла-цементатора (например, 0,02–0,5 кг цинка на 1 $м^3$ растворов), который может вызывать технологическую «усталость» растворов и увеличить затраты на обезвреживание токсичных примесей.

Полученные цементные осадки подвергают пирометаллургический переработке на слиток, иногда после дополнительной гидрометаллургической обработки (сернокислотная обработка для удаления цветных металлов и др.).

Электролиз

Электролитическое осаждение драгоценных металлов основано на их осаждении на катодах при пропускании электрического тока через раствор, например:

$$[Au(CN)_2]^- + e^- = Au + 2CN^-$$

$$[Au(CS(NH_2)_2)_2]^+ + e^- = Au + 2CS(NH_2)_2$$

Электролиз обычно применяют для обезметалливания относительно богатых растворов (растворы выщелачивания богатых концентратов и элюаты от десорбции золота с искусственных сорбентов) с концентрацией золота или серебра более 50 мг/л.

Наибольшее распространение получили циркуляционные и проточные электролизеры. Циркуляционные работают в периодическом режиме и требуют использования промежуточной баковой аппаратуры. Электролизеры проточного типа обеспечивают необходимую степень осаждения металлов за однократный проток раствора, но имеют более сложную конструкцию.

Для электролиза цианистых растворов используют оборудование, изготовленное из нержавеющей стали. В качестве материала катодов используют стальную вату, стальные сетки или листы, углеватин. Для повышения эффективности электролиза и увеличения электропроводности растворов в них добавляют NaOH до концентрации ~ 10 г/л. Для электролиза тиокарбамидных растворов применяют кислотоупорное титановое оборудование.

Преимуществом электролиза является отсутствие необходимости использования реагентов и возможность многократного использования раствора в обороте.

К недостаткам относится низкая эффективность обезметалливания бедных растворов, поэтому электролиз обычно ведут до остаточной концентрации золота и серебра 1-10 мг/л. Кроме того, для процесса характерен низкий выход по току не превышающий 5 %, что связано с протеканием побочных реакций.

Химические осаждение

Химическое осаждение золота и серебра применяется преимущественно для богатых тиокарбамидных растворов защелачивание которых до pH = 4–6 приводит к разложению тиокарбамидных комплексов золота, серебра, а также меди, железа и др. и выпадению этих компонентов в малорастворимый осадок, который отделяют и перерабатывают пирометаллургическими методами.

Преимуществом химического осаждения является простота метода при достаточно высокой степени обезметалливания. К недостаткам относится низкая селективность осаждения, повышенный расход тиокарбамида и накопление примесей, вызывающих «усталость» растворов.

Для обеззолачивания цианидных растворов методы цементации, сорбции и электролиза являются детально разработанными и химическое осаждение на практике не применяют. Однако для серебра может применяться осаждение из цианидных сред, например, в виде сульфида серебра.

2.2.2.6 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.).

Соотношение стоимости компонентов, находящихся в единице массы минерального сырья определяет технологию его переработки.

Сырье считают комплексным если стоимость драгоценных металлов и недрагоценных компонентов в руде сопоставима (отличается не более чем в несколько раз) и возможно рентабельное получение нескольких товарных продуктов.

Если стоимость недрагоценных компонентов существенно выше стоимости драгоценных металлов, то для минерального сырья применяют технологии извлечения недрагоценных компонентов, а драгоценные металлы рассматривают как попутно извлекаемые.

В случае низкого содержания недрагоценных компонентов, когда их стоимость существенно ниже стоимости драгоценных металлов, и при их явном негативном влиянии на целевой процесс извлечения золота и серебра – их рассматривают как вредные упорные компоненты (органический углерод, медь, сурьма и др), стараясь удалить их из перерабатываемого минерального сырья или минимизировать их негативное действие.

Золото-медные руды

Медь часто сопутствует драгоценным металлам в минеральном сырье, ее содержание в рудах может достигать 0,5 % и более. Если для извлечения золота и серебра из такого минерального сырья применяют операцию цианирования, то обычно целесообразным является предварительное извлечение меди до стадии цианирования.

Для извлечения сульфидных (халькопирит, халькозин и др.) и некоторых окисленных форм (малахит, хризоколла и др.) меди может быть эффективно применено флотационное обогащение с получением золото-медного концентрата, направляемого на медеплавильный завод. Хвосты флотации при этом направляют в отвал либо подвергают доизвлечению драгоценных металлов гидрометаллургическими методами.

Окисленные минералы меди гораздо хуже извлекаются флотационным обогащением. Для их извлечения также целесообразными являются гидрометаллургические способы, в основном сернокислотное и аммиачно-карбонатное выщелачивание с последующей цементацией, электролизом или экстракцией меди и получением товарного медного концентрата с содержанием меди 30 % — 80 %.

Медь хорошо растворима в цианистых растворах, поэтому процесс цианирования медистых золото- и серебросодержащих руд и продуктов обогащения обычно проводят при относительно низкой концентрации NaCN на уровне 0,01–0,2 г/л, что требует несколько большей продолжительности цианирования, но позволяет существенно сократить скорость и степень растворения меди и в целом повысить эффективность выщелачивания.

Кроме того, могут быть использованы различные способы регенерации цианида, находящегося в жидкой фазе хвостов цианирования в виде медных комплексов (подкисление с отдувкой и улавливанием синильной кислоты или осаждение меди в виде сульфида с переводом связанных цианидов в свободные).

Золото-сурьмяные руды и концентраты

Сурьма часто является спутником драгоценных металлов в минеральном сырье.

При достаточно большом (более 1 %) содержании сурьмы (особенно сульфидных форм) в золото- и серебросодержащем сырье, целесообразным является ее флотационное извлечение с целью реализации концентрата или последующей переработки концентрата до металлической сурьмы. В концентрат флотации также увлекаются минералы драгоценных металлов. В зависимости от вещественного состава и технологических свойств концентратов они могут быть переработаны: по пирометаллургической технологии на медеплавильном или обжиговом заводе, по

комплексной гидрометаллургической технологии с раздельным получением драгоценных металлов (золото лигатурное) и металлической сурьмы, например, методом предварительного сульфидно-щелочного выщелачивания сурьмы, или методом предварительного нецианидного выщелачивания драгоценных металлов. Если хвосты флотации содержат промышленные содержания драгоценных металлов их обычно перерабатывают методом цианирования.

При низком содержании сурьмы в золото- и серебросодержащем сырье (менее 1 %) для его переработки чаще применяют метод цианирования, а сурьму рассматривают как вредный компонент, мешающий цианированию, так как минералы сурьмы растворимы в щелочной среде характерной для процесса цианирования, что существенно снижает его технологические показатели. При значимом содержании сурьмы (обычно более 0,3 %) процесс цианирования ведут в специальных режимах, например, при пониженном значении pH пульпы (на уровне 9,5–9,8) или с использованием соединений свинца, которые частично пассивируют нецелевой процесс растворения сурьмы.

Высокоуглистые руды и концентраты

Руды, содержащие золото и углерод в органической форме (углистое вещество, органический углерод), достаточно широко распространены в природе. В ходе цианировании такого минерального сырья некоторая доля растворенных драгоценных металлов сорбируется углистым веществом и теряется с хвостами. Доля потерь растворенных полезных компонентов может превышать 99 %, что делает выщелачивание бессмысленным, а сырье упорным.

Переработку сорбционно-активного минерального сырья проводят специальными методами обогащения и гидрометаллургической переработки.

Руды и концентраты с незначительной сорбционной активностью не требуют применения специальных методов и могут быть переработаны методом сорбционного цианирования. При умеренной сорбционной активности применяют особые режимы цианирования (добавки органических веществ, пассивирующих поверхность углерода, повышенный поток искусственного сорбента и др.).

Для переработки руд с сильно выраженной сорбционной активностью, а тем более для руд с двойной технологической упорностью, связанной также с тонкой вкрапленностью драгоценных металлов, обычно применяют достаточно сложные гравитационно-флотационные обогатительные методы (раздел 2.3.1.4), позволяющие сконцентрировать минералы золота и серебра, и по возможности удалить из концентрата вредный органический углерод, обладающий низкой плотностью и образующий шламы в процессе измельчения руды.

В большинстве случаев углерод все же частично переходит в концентрат, что требует применения специальных методов его выщелачивания (повышенные температуры и потоки сорбентов, органические добавки и др.).

В редкий случаях, при чрезвычайно высокой сорбционной активности, осложненной тонкой вкрапленностью полезных компонентов в сульфидах, когда вышеуказанные методы не позволяют эффективно извлекать драгоценные металлы, применяют жесткие методы, подразумевающие деструкцию углистого вещества, например, окислительный обжиг, хлоринация и др.).

Кроме того, для переработки золото и серебросодержащего сорбционно-активного минерального сырья могут быть использованы нецианидные растворители, в

которых сорбционная активность твердой фазы будет минимизирована или вообще не будет проявляться.

Руды и концентраты с тонковкрапленным золотом

По различным оценкам доля упорных руд, содержащих тонковкрапленное золото, составляет более 30 % мировых запасов металла. Для их переработки обычно используют гравитационно-флотационное обогащение с получением концентрированной по золоту упорной фракции и переработку ее специальными методами, минимизирующими упорность при последующем извлечении золота.

2.2.2.7 Пирометаллургия концентратов

Пирометаллургические методы обычно применяют для переработки относительно богатых золото- и серебросодержащих концентратов.

Переработка богатых концентратов с получением товарных сплавов драгоценных металлов

Для большинства предприятий, перерабатывающих минеральное золото- и серебросодержащее сырье, экономически целесообразным является получение готовой продукции в виде товарных слитков, принимаемых аффинажными заводами (золото лигатурное). Поэтому на таких предприятиях имеется передел получения готовой продукции, который, как правило, включает операции обжига и плавки богатых золотосодержащих полупродуктов с содержанием золота более 5 масс. % (шлиховое золото, «золотые головки», промпродукты доводки концентратов, катодные и цементные осадки).

Иногда бывает целесообразным проведение предварительной гидрометаллургической обработки концентрата для удаления вредных примесей из материала, подвергаемого плавке (кислотная обработка для удаления цветных металлов или серебра, сульфидно-щелочное выщелачивание сурьмы и др.).

Как правило передел получения готовой продукции является малотоннажным периодическим производством с производительностью по золото лигатурное 0,01-10 т/год. Перерабатываемые продукты отличаются разнообразным вещественным составом и технологическими свойствами.

Окислительный обжиг богатых концентратов

В большинстве случаев при плавке богатых полупродуктов на золото лигатурное целесообразным является проведение предварительного окислительного обжига, который позволяет удалить или окислить ряд примесей (сульфидная сера, углерод, цветные металлы, вода и др.), вредных для плавки.

Особенно важное значение имеет обжиг гравитационных концентратов («золотых головок» и др.), содержащих сульфидные минералы, которые при последующей плавке образуют штейн, осложняющий анализ готового слитка и вызывающий потери драгоценных металлов при зачистке слитка.

Обычно обжиг ведут в камерных (подовых) печах сопротивления в атмосфере воздуха при температуре 200 °С — 800 °С.

Бесколлекторная плавка на слиток

Плавку ведут при температуре 1150 °С — 1250 °С. В качестве флюсов используют буру, соду, стекло, известь и другие реагенты. По окончании плавки расплав сливают в чугунные (или графитовые) изложницы. Охлажденные шлак и

слитки сплава золота лигатурного выбивают из изложниц. Слитки механически зачищают от шлака и заусенцев, взвешивают и опробуют.

Для плавки обычно используют индукционные тигельные и электродуговые руднотермические печи.

В индукционных печах тепловыделяющим элементом является тигель и расплавляемый материал за счет протекающих по ним индуцированных вихревых электрических токов. Преимуществом индукционных печей являются высокие технологические, экологические и эксплуатационные характеристики процесса, к недостаткам относятся достаточно строгие условия эксплуатации (обеспечение параметров электропитания, использование относительно чистой воды, квалификация персонала). Эти печи обычно используют на крупных, круглогодично действующих предприятиях.

В руднотермических печах тепло выделяется в расплавляемом материале от электрической дуги и токов, возникающих между помещенными туда электродами. Преимуществами этих печей являются простота их конструкции и эксплуатации, надежность и невысокая стоимость. Их применение целесообразно обычно для малых сезонных предприятий.

Переработка концентратов с получением продуктов, требующих дальнейшей переработки

Пирометаллургические методы могут быть также применены для переработки относительно небогатых упорных сульфидных, высокоуглистых и других концентратов с содержанием золота и серебра десятки и сотни г/т. В таком случае огарки являются достаточно бедными для прямой плавки на слиток и требуют дальнейшей переработки (методом цианирования и др.).

Окислительный обжиг

Окислительный обжиг может применяться как при крупнотоннажной переработке упорных золото- и серебросодержащих концентратов (редко исходных руд), так и при малотоннажной переработке относительно небогатых продуктов и полупродуктов, неизбежно образуемых на промышленных предприятиях (щепа, сорбенты некондиционной крупности и др.).

При окислительном обжиге золото- и серебросодержащие сульфиды окисляются кислородом воздуха, например, окисление пирита можно представить следующим образом:

$$4FeS_2 + 11O_2 = 2Fe_2O_3 + 8SO_2$$

Образуемые твердые продукты окисления не препятствуют последующему выщелачиванию драгоценных металлов, что является главным преимуществом обжига.

При окислении высокоуглистых концентратов углерод окисляется до CO_2 и полностью удаляется из концентрата, который в большинстве случае теряет сорбционную-активность и становится легкоцианируемым.

Для проведения крупнотоннажного окислительного обжига обычно применяют печи кипящего слоя непрерывного действия, обеспечивающие наилучшие технологические показатели обжига. Обжиг концентратов, как правило, ведут автогенно — без использования топлива, руд — с применением топлива.

При малотоннажном обжиге (озоление щепы, насыщенных активных углей или угольной мелочи при сорбционном гидрометаллургическом производстве и др.) можно использовать электрические печи барабанного и камерного типов и др.

Технологические режимы окислительного обжига могут варьироваться в широких пределах (температура 350 °С — 800 °С, концентрация кислорода в газовой фазе — 2–20 об. % и др.), зависящих от вещественного состава и технологических свойств сырья. Возможны сложные варианты с использованием комбинаций нескольких стадий обжига, в том числе низкотемпературного, восстановительного или других процессов (предварительное или промежуточное выщелачивание и др.).

Преимуществом процесса обжига золото- и серебросодержащего минерального сырья является его высокая технологическая эффективность: обычно не требуется использование реагентов, обеспечивается высокое извлечение драгоценных металлов при последующем цианировании и др.

Существенным недостатком метода является необходимость применения сложной и дорогостоящей системы очистки (циклоны, скрубберы, электрофильтры и др.) печных газов от токсичных пылевидных и газообразных продуктов окисления (соединения мышьяка, серы и др.).

2.2.3 Геотехнологии

Геотехнологии подразумевают извлечение золота и серебра методами, исключающими операции тонкого измельчения минерального сырья (кучное выщелачивание) или операции извлечения минерального сырья с первичной переработкой на месте залегания (подземное выщелачивание). Наиболее важными отличительными особенностями геотехнологий по сравнению с фабричными технологиями являются:

- существенно меньшая удельная себестоимость переработки минерального минерального сырья;
- меньшая степень извлечения золота из минерального минерального сырья (обычно 50% — 70 %).

Указанные особенности позволяют рентабельно применять геотехнологии при извлечении золота и серебра из бедного и забалансового минерального сырья, не подходящего для фабричной переработки.

2.2.3.1 Кучное выщелачивание

Суть кучного выщелачивания заключается в орошении выщелачивающим раствором дробленой руды, уложенной в виде штабеля (кучи) на водонепроницаемом основании. При фильтрации раствора через штабель происходит постепенное выщелачивание драгоценных металлов. Продуктивный раствор, содержащий драгоценные металлы и стекающий снизу, обезметалливают и вновь направляют на выщелачивание.

Дробление и окомкование

Обычно крупность руд, перерабатываемых методом кучного выщелачивания составляет 10–70 мм, для чего используют предварительное дробление. Если низкая проницаемость растворов через дробленую руду (например, из-за наличия глинистых минералов) не позволяет добиться приемлемых результатов по динамике

выщелачивания золота и серебра, то проводят окомкование (агломерацию) материала, целью которого является увеличение фильтрационной способности штабеля.

Кучному выщелачиванию также могут подвергаться хвосты фабричной переработки руд с крупностью менее 0,1–0,5 мм (например, хвосты амальгамации или гравитации), для которых окомкование является обязательным.

Для получения требуемых агломератов, обычно используют вяжущие вещества (цемент, известь или серную кислоту с расходами обычно до 2–15 кг/т), воду или выщелачивающий раствор (до влажности 8 % — 22 %) и выдержку, необходимую для «укрепления» агломератов (4–72 ч).

Обычно агломерацию проводят на ленточных, барабанных и чашевых агломераторах.

Укладка штабелей

Основание штабеля обычно состоит из фундамента, противофильтрационного экрана и дренажного слоя. Основание должно состоять из химически стойких материалов, обеспечивать прочность и устойчивость штабеля и исключать какие-либо утечки растворов.

Создание фундамента состоит в снятии растительного слоя с участка земли, планировке поверхности (обычно с образованием уклон 3° — 5° в сторону сбора дренирующих растворов) и при необходимости – рытье котлована, отсыпке или строительстве дамб и др.

Противофильтрационный экран обеспечивает герметичность основания. Используют в основном геомембраны — полимерные пленки толщиной 0,5–3 мм (поливинилхлорид, полиэтилен высокого давления, в том числе химически модифицированный, бутиловая резина и др.). Применяются также экраны из глины, асфальта, бетона. Основания могут быть многослойными и включать различные комбинации указанных материалов и в зависимости от условий использования и эксплуатационных требований.

Поверх экрана укладывают дренажный слой, назначение которого состоит в эффективном сборе растворов, профильтровавшихся через штабель и предохранении экрана от разрывов и других механических повреждений во время строительства штабеля. Для этого обычно используют сыпучие материалы (руду или пустую породу определенной крупности, песок и др).

Укладка штабеля является наиболее ответственной операцией, определяющей эффективность и безопасность кучного выщелачивания. Основная задача сооружения штабеля — обеспечение его однородных фильтрационных свойств. В основном используют штабели в виде усеченных пирамид с прямоугольным квадратным или трапецеидальным основанием. Штабели могут укладывать в один или несколько слоев (этажей). Высота штабелей может иметь высоту 4–60 м.

Для укладки или отсыпки штабеля применяют конвейеры, укладчики, погрузчики, самосвалы, бульдозеры. Обычно отсыпку штабелей кристаллической руды производят автосамосвалами с послойным планированием бульдозером или колесным погрузчиком. После укладки поверхность штабеля взрыхляется для разуплотнения после перемещения техники. Для формирования штабелей из окомкованных материалов применяют систему конвейеров и поворотные телескопические стакеры-штабелеукладчики.

Орошение (выщелачивание)

Может использоваться открытое разбрызгивание через распылители (перфорированные трубы и шланги, форсунки, воблеры, виглеры, эмиттеры), прудковое орошение (канавы, траншеи, прудки расположенные на верхнем основании штабеля). При закрытой укладке верхнюю площадку штабеля с системой орошения (и иногда боковые стороны штабеля) покрывают пленочным (полимерные пленки, рубероид, резинотканевые материалы) или грунтовым покрытием (суглинки, супеси, тонкозернистый песок),

Плотность орошения зависит от характера руды и может изменяться в широких пределах — 0,15–3 $м^3/м^2 \cdot$ сут. Продуктивный раствор, вытекающий из основания штабеля стекает по дренажным каналам в пруд-сборник. Осаждение драгоценных металлов из растворов осуществляют сорбционными или цементационными методами. По окончании выщелачивания штабель орошают водой для отмывки растворенных золота и серебра, и после дренирования промывного раствора выщелоченную руду консервируют как отвальный продукт либо транспортируют в хвостохранилище.

В целом процесс кучного выщелачивания отличается простотой технологии, низкими капитальными и эксплуатационными затратами, в связи с чем используется, в основном, для переработки бедного и забалансового минерального сырья с содержанием золота 0,5-2 г/т. Применение кучного выщелачивания экономически целесообразно также для переработки богатых руд небольших месторождений, для которых строительство фабрики экономически неэффективно.

При наиболее распространенном варианте кучного выщелачивания драгоценных металлов цианидными растворами расход NaCN в большинстве случаев составляет относительно малую величину 0,2-0,5 кг/т.

Недостатками технологии являются большая продолжительность цикла переработки, которая составляет 10-500 сут, а также относительно низкое извлечение золота и серебра, которое обычно составляет 50-70 %. Кроме того, в большинстве случаев процесс не может быть применен для переработки технологически упорного минерального сырья драгоценных металлов, так как не обеспечивает приемлемого извлечения ценных компонентов.

2.2.3.2 Подземное выщелачивание

В отличие от остальных методов разработки месторождений, включающих дорогостоящие этапы добычи и переработки руды, метод подземного выщелачивания заключается в прокачивании выщелачивающего раствора через рудное тело, залегающее в недрах, для чего пробуривают закачные и откачные скважины. Благодаря этому отличию подземное выщелачивание характеризуется малыми сроками пуска предприятий и разработки месторождений, низкими капитальными и эксплуатационными затратами и низкой себестоимостью продукции. Подземное выщелачивание дает возможность рентабельно отрабатывать месторождения, разработка которых традиционными способами невыгодна: месторождения со сложными горно- или гидрогеологическими условиями залегания драгоценных металлов, месторождения с малыми запасами или с низким содержанием металлов в руде, забалансовые и техногенные месторождения, стены карьеров и подземных выработок после разработки месторождения традиционными способами.

Одним из главных факторов, определяющих эффективность применения процесса подземного выщелачивания является проницаемость руды. Выщелачивание может вестись цианидными, тиокарбамидными, тиосульфатными, галоген-галогенидными растворителями в зависимости от технологических свойств руды и экологических условий района. После откачки продуктивных растворов их подвергают обезметалливанию стандартными методами, если требуется кондиционируют, доукрепляют по реагентам и используют в обороте, расходуя в закачные скважины.

Раздел 3. Воздействие на окружающую среду и текущие уровни эмиссии

Добыча драгоценных металлов осуществляется из россыпных и коренных (рудных) месторождений. Драгоценные металлы, находящиеся в россыпных месторождениях, находятся в дезинтегрированном виде и извлекаются по относительно простым технологиям, в основном методами гравитационного обогащения.

Коренные руды, содержащие драгоценные металлы (в основном золото и серебро), требуют применения более сложных технологий, включающих вскрытие самородных частиц и минералов с их последующим извлечением различными методами обогащения и/или гидрометаллургии. Соответственно, уровни эмиссий в окружающую среду для процессов добычи драгоценных металлов из различных видов минерального сырья будут отличаться.

3.1 Воздействие на окружающую среду при добыче драгоценных металлов из россыпных месторождений

Учитывая, что метод подземной разработки россыпных месторождений применяется в единичных случаях в разделе рассмотрены процессы открытой добычи драгоценных металлов из россыпей.

Работа предприятия, ведущего добычу полезных ископаемых из россыпей открытым способом сопровождается:

- разрушением почвенного покрова; изменением/уничтожением естественных ландшафтов, уничтожением мест обитаний природной фауны;
- запыленностью и загазованностью атмосферы при работе техники с двигателями внутреннего сгорания;
- негативным влиянием на гидросферу в связи с забором воды из водоемов, сбросом в них сточных вод, выпадением загрязненных осадков и пыли из атмосферы; изменением уровня подземных вод в результате осушения горных выработок;
- загрязнением земель, почв, недр и т.п., в том числе из-за образования и размещения отходов вскрышных и вмещающих пород, отходов обогащения;
- физическими воздействиями — шумом и вибрацией при эксплуатации техники и ведении буровзрывных работ.

К основным объектам окружающей среды, испытывающим техногенное воздействие, относятся воздух, вода, почва, недра, животный и растительный мир, ландшафт, особо охраняемые территории и объекты, другие материальные объекты и

взаимосвязь между этими компонентами (объектами). Виды воздействия: механическое; газо-аэрозольное и пылевое; гидродинамическое; гидрохимическое; химическое; шумовое; отчуждение земель; нарушение природного ландшафта.

Источники загрязнения атмосферного воздуха

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха при ведении открытых горных работ на россыпях являются:

- погрузочно-разгрузочные работы на участке, на отвале;
- выбросы от ДВС автосамосвалов, бульдозеров, другой техники, пыление с дорог и сдув пыли с кузова;
- сдув пыли с поверхности породных отвалов;
- буровзрывные работы.

В процессе ведения работ отрицательное воздействие на атмосферный воздух участков работ сводится к следующему:

- загрязнение продуктами сгорания топлива двигателей внутреннего сгорания горной и вспомогательной автотранспортной техники;
- загрязнение пылью при движении самосвалов, бульдозерной и вспомогательной автотранспортной техники;
- загрязнение пылью при выемке, погрузке и разгрузке вскрышных пород;
- загрязнение пылью при формировании отвалов на площадках их складирования, а также от сформированных отвалов;
- загрязнение пылью при формировании и эксплуатации технологических дорог на месторождении;
- загрязнение парами нефтепродуктов при их хранении и заправке горной техники топливозаправщиком;

При производстве горных работ, организации промплощадок и других процессов используют бульдозеры, самосвалы, экскаваторы, автотранспорт, прочие машины и механизмы. Автотранспорт осуществляет также перевозку технологического оборудования, строительных грузов, рабочих, вывоз отходов для складирования и утилизации. При работе двигателей внутреннего сгорания экскаваторов, бульдозеров, самосвалов, вспомогательного автотранспорта в атмосферу поступает комплекс загрязняющих веществ: диоксид азота, оксид азота, оксид углерода, предельные углеводороды (алканы C_{12} — C_{19}), ангидрид сернистый (диоксид серы), сажа, формальдегид, бенз(а)пирен, керосин.

Заправка техники и автотранспорта осуществляется, как правило, на специально оборудованной площадке с помощью топливозаправщиков. Слив топлива в баки спецтехники производится заправочным рукавом с помощью насоса, установленного на автозаправщике. При отпуске дизельного топлива автозаправщиком в атмосферу происходит выделение следующих загрязняющих веществ: предельные углеводороды (алканы C_{12} — C_{19}), сероводород, пары нефтепродуктов.

Для выполнения сварочных работ в трассовых условиях используются сварочные агрегаты, работающие на дизельных приводах. Для сварки используются соответствующие электроды. В состав основных загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу при сварочных работах и резке, входят: оксид железа, марганец и его соединения, фтористые газообразные соединения, оксиды азота и углерода, пыль неорганическая..

Большинство разрабатываемых в настоящее время россыпных месторождений находятся в местах, удаленных от населенных мест и зон другой промышленной деятельности. В таких условиях воздействие на атмосферный воздух оказывают только продукты работы двигателей внутреннего сгорания и пылевые выделения. В таблице 3.1 представлен перечень загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу при работе техники на россыпных месторождениях.

Таблица 3.1 — Перечень загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу при работе техники на россыпных месторождениях

Загрязняющее вещество	Выброс вещества, г/маш.-час (при среднем уровне нагрузки)
Бульдозер (промтрактор) Т-35.01 (480)	
Оксиды азота (в пересчете на азота диоксид)	1578,46
Взвешенные вещества	185,34
Керосин (в пересчете на углеводороды)	234,50
Бульдозер (промтрактор) Т-20.01 (280)	
Оксиды азота (в пересчете на азота диоксид)	921,14
Взвешенные вещества	108,16
Керосин (в пересчете на углеводороды)	136,85
Погрузчик	
Оксиды азота (в пересчете на азота диоксид)	650,14
Взвешенные вещества	76,34
Керосин (в пересчете на углеводороды)	96,59

Газообразные выбросы от техники в количественном отношении определяются масштабами выполняемых работ и количеством используемой техники. Обычно их количество относительно невелико и не приводит к необратимым последствиям, требующим применения специальных мероприятий. Выделение пылей при проведении добычных, погрузочно-разгрузочных и транспортных работ в местах интенсивного пыления (особенно это касается технологических автодорог) подавляется применением орошения (полива) сухих поверхностей.

Отрицательное воздействие на атмосферный воздух может оказывать пыление отвалов при сильных ветрах. Этот процесс возможен, если на поверхности отвалов находятся породы, имеющие в своем составе тонкодисперсные фракции. Не исключено, что при выполнении технической рекультивации такие породы временно могут оказаться на поверхности искусственно созданного рельефа. Однако пыления таких поверхностей в постоянном режиме, как правило, не происходит по следующим причинам:

- после выполнения рекультивации вскрышные породы, состоящие из аллювиальных отложений и включающие обычно весь спектр фракций гранулометрического состава от крупных валунов до частиц микронного размера, после двух-трех дождей не имеют на поверхности тонкодисперсных включений, склонных к сдуванию. Эти частицы смываются дождем и проникают вглубь рыхлой толщи, а на поверхности остается каменистый и достаточно крупный материал, не склонный к пылению;

- происходит постепенное зарастание рекультивированной поверхности травой, кустарником, что также исключает пыление.

В целом уровни техногенных эмиссий в атмосферный воздух от технологий добычи россыпного золота имеют ограниченный по масштабам и количеству характер, экологические нормативы по воздушной среде соблюдаются.

Источники загрязнения поверхностных вод

Основными загрязняющими веществами, содержащимися в сточных водах, являются грубо- и мелкодисперсные примеси (взвешенные вещества) и нефтепродукты. Нефтепродукты представлены в основном маслами в виде пленок.

В таблице 3.2 приведены загрязняющие вещества, поступающие в водные объекты на россыпных месторождениях и предъявляемые к ним критерии качества.

Таблица 3.2 — Основные сбросы при разработке россыпных месторождений

Загрязняющие вещества	Код по [2]	Используемый критерий	Значение критерия, мг/дм^3
Взвешенные вещества	166	ПДКрх.	+0,75 к фону
Нефтепродукты	74	ПДКрх.	0,05

Сточные воды, формируемые на территории объектов разработки россыпных месторождений, перед сбросом в поверхностные водотоки-приемники подлежат очистке. При выборе технологии очистки сточных вод определяющими факторами являются: количественная характеристика, исходная концентрация загрязняющих компонентов, требования к качеству очищенной воды по всем нормируемым загрязнениям. Очистка сточных вод проводится с целью устранения вредных и опасных свойств, которые могут привести к негативным воздействиям на окружающую среду.

Расход сточных вод. Расход сточных вод определяется водным балансом площадки проведения работ. Сточные воды, поступающие на очистные сооружения, как правило, сбрасываются в природные поверхностные водотоки.

Исходная концентрация загрязняющих компонентов. В основном зависит от гранулометрического состава извлекаемых торфов и песков, наличия и вместимости технологических отстойников, вводного баланса площадки проведения работ.

Требования к качеству очищенной воды. Степень очистки сточных вод определяется требованиями к их сбросу и соблюдению допустимых норм загрязняющих веществ в водотоке — приемнике сточных вод.

В соответствии с приказом Федерального агентства по рыболовству № 20 от 15 января 2010 г. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водных объектах рыбохозяйственного значения» (в настоящее время отменен), предельно допустимое содержание взвешенных веществ определяется как 0,25 мг/дм^3 к фоновому содержанию взвешенных веществ для водных объектов рыбохозяйственного значения высшей и 1-й категории и 0,75 мг/ дм^3 для водных объектов рыбохозяйственного значения 2-й категории.

3.2 Воздействие на окружающую среду при добыче драгоценных металлов из коренных (рудных) месторождений

3.2.1 Воздействие на окружающую среду при разработке коренных (рудных) месторождений открытым способом

Работа любого горно-металлургического предприятия, ведущего добычу полезных ископаемых открытым способом (большинство месторождений драгоценных металлов обрабатывается именно таким способом), сопровождается:

- разрушением почвенного покрова; изменением/уничтожением естественных ландшафтов, уничтожением мест обитания представителей местной фауны;
- запыленностью и загазованностью атмосферы при производстве массовых взрывов в карьере, выполнении погрузочных и транспортных работ, измельчении добытого минерального сырья, при сжигании топлива в промышленных котельных и/или в ДВС электрогенераторов;
- негативным влиянием на гидросферу в связи с забором воды из водоемов, сбросом в них сточных вод (шахтный и карьерный водоотлив), выпадением загрязненных осадков и пыли из атмосферы, изменением уровня подземных вод в результате осушения горных выработок;
- физическими воздействиями - шумом и вибрацией при эксплуатации техники и ведении буровзрывных работ.

В таблице 3.3 представлены основные потоки и эмиссии при открытой разработке рудных месторождений.

Выбросы в атмосферный воздух

Загрязнение атмосферного воздуха газами и пылевыми выбросами происходит при буровзрывных, погрузочно-разгрузочных работах; при дроблении руды; а также при пылении отвалов, складов готовой, промежуточной продукции и т. д. Хотя количество пылевых выбросов мало по сравнению с объемами отходов вскрышных и вмещающих пород, пылевые выбросы на горнодобывающих предприятиях являются достаточно значимыми. Наиболее неблагоприятными по признаку выхода пыли являются буровзрывные работы.

Таблица 3.3 — Основные эмиссии при открытой разработке месторождений

Этапы и виды работ	Результаты работ	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Снятие плодородного слоя почвы			
Подготовка территории (уборка древесины, корчевка пней); срезка, транспортировка и размещение в бурты почвы	Площади для производства горных работ; бурты	Бульдозеры; скреперы; автосамосвалы	Взвешенные вещества; выбросы ЗВ от технологическог о оборудования
Вскрышные работы			

Этапы и виды работ	Результаты работ	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Экскавация вскрышных пород; погрузка вскрышных пород в транспорт; откачка воды	Вскрытые фронта руды; вскрышные породы	Экскаваторы; погрузчики	Взвешенные вещества; выбросы ЗВ от технологическог о оборудования; вскрышные породы; дренажная вода
Буровзрывные работы			
Бурение скважин; зарядка скважин ВВ; взрывание	Взорванная горная масса	Буровые станки; зарядные машины	Взвешенные вещества; выбросы ЗВ от технологическог о оборудования; выбросы ЗВ от взрывных работ
Извлечение минерального сырья			
Экскавация руды; погрузка руды в транспорт; откачка воды	Руда	Экскаваторы; погрузчики	Взвешенные вещества; выбросы ЗВ от технологическог о оборудования; сточные воды
Транспортировка			
Погрузка руды в транспорт; перевозка руды	Руда	Технологически й транспорт	Взвешенные вещества; выбросы ЗВ от технологическог о оборудования
Первичное дробление			
Разгрузка руды в бункер дробилки; дробление; транспортировка конвейерным транспортом; складирование дробленой руды в буферные склады	Дробленая руда	Технологически й транспорт; дробильное оборудование; конвейерный транспорт; складское оборудование	Взвешенные вещества; выбросы ЗВ от технологическог о оборудования
Отвалообразование			

Этапы и виды работ	Результаты работ	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Транспортировка вскрышных пород в отвалы; складирование вскрышных пород в отвалы; откачка воды	Вскрышные породы; отвалы	Технологический транспорт; бульдозеры; экскаваторы	Взвешенные вещества; выбросы технологического оборудования; вскрышные породы; сточные воды

В таблице 3.4 представлены основные источники и виды загрязнения атмосферы при производстве открытых горных работ [34]. В районах разработки карьеров атмосферный воздух загрязняется пылью и газами от работы двигателей внутреннего сгорания, а также газообразными веществами, образующимися при срабатывании ВМ.

Таблица 3.4 — Основные источники и виды загрязнения атмосферы при производстве открытых горных работ

Операции	Эмиссии
Подготовка горных пород к выемке	Пыль при бурении скважин и шпуров. Пыль и токсичные ЗВ при производстве взрывных работ
Выемочно-погрузочные работы	Пыль при выемке и погрузке горной массы в транспортные средства и разгрузке в отвал различными выемочными машинами
Транспортирование карьерных грузов	Пыль на карьерных автодорогах. Сдувание пыли из транспортных сосудов при перемещении полезных ископаемых, пустых пород и отходов обогащения. Пыль на пунктах перегрузки. Газы при работе автотранспортных средств с двигателями внутреннего сгорания
Отвалообразование и складирование пустых пород, отходов обогащения и полезных ископаемых	Пыль при укладке горной массы в отвалы и склады. Пыление обнаженных поверхностей отвалов пустых пород, складов полезных ископаемых
Карьерные выемки	Сдувание пыли с поверхностей откосов и площадок
Объекты промплощадки: дробильносортировочные комплексы; котельные установки; базы техники	Пыль при разгрузке, дроблении и сортировке полезных ископаемых. Пыль при работе котельных установок. Газы и пыль при эксплуатации баз производственной техники

Данные о концентрациях загрязняющих веществ в атмосфере карьеров после проведения массовых взрывов представлены в таблице 3.5 Данные о выделении пыли при сдувании с поверхностей приведены в таблице 3.6 [34].

Таблица 3.5 — Содержание пыли и загрязняющих веществ в атмосфере карьеров после массовых взрывов

Место отбора проб	Количество одновременно взрываемого ВВ, т	Максимальная концентрация после взрыва, %			
		CO	CO_2	NO + NO_2	Пыль, мг/м^3
В пылегазовом облаке	50–300	0,1–0,15	6–10	0,01–0,03	510–4250
На рабочем горизонте	50–350	0,06–0,1	0,5–0,8	Следы	0,8–2,0
В траншее	50–200	0,2–0,1	07–1,0	Следы	0,5–2,5
Во взорванной горной массе на глубине до 10 м	50–200	0,25–5,0	8–9	0,003–0,025	Нет данных
* В пылегазовом облаке через 40–60 с, в остальных местах — через 60 мин.					

Таблица 3.6 — Показатели сдувания пыли с пылящих поверхностей при открытых горных работах

Объект пыления	Характеристика объекта	Удельное сдувание пыли, мг/м^2 ·с, при скоростях ветра, м/с		
		до 4	6–8	10
Поверхность породных отвалов	Свеженасыпанный	10	9	15
	Через 3 мес после насыпки	0,6	5	8

Снижение пылегазовыделений при производстве взрывных работ достигается путем осуществления технологических и инженерно-технических мероприятий. К технологическим мероприятиям относят способы управления действием взрыва:

- взрывание высоких уступов (более 30 м), что позволяет уменьшить высоту подъема пылегазового облака в 1,2–1,3 раза по сравнению с взрыванием обычных уступов;
- взрывание в зажатой среде с шириной буферного слоя в 20–30 м, что резко сокращает объем пылегазового облака;
- рассредоточение заряда, что увеличивает полезную часть энергии до 19 % — 24 %, и способствует уменьшению объема переизмельчения пород за счет сокращения радиуса зоны пластических деформаций.

В целях сокращения выбросов загрязняющих веществ при производстве взрывных работ предусматриваются следующие мероприятия:

- применение взрывчатых веществ с кислородным балансом, близким к нулю;
- орошение подготовленных к взрыву участков и прилегающей к ним зоны и зоны выпадения пыли;

- орошение взорванной горной массы после взрывов;
- производство взрывов в часы максимальной ветровой активности;
- применение гидрозабойки — размещения по рядам над устьем скважин полиэтиленовых рукавов диаметром >900 мм, а также непосредственно внутрь скважины.

С целью снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при разработке и эксплуатации карьеров предусматриваются следующие мероприятия:

- предварительное увлажнение горной массы в массиве.
- увлажнение разрыхленной горной массы в развале и на складах - осуществляется в основном с использованием передвижных установок. Увлажнение горной массы с одновременной интенсификацией ее дегазации после взрыва происходит с использованием передвижных вентиляционно-оросительных установок, при этом наряду со снижением пылеобразования эта схема позволяет в 3–4 раза сократить время простоя оборудования после проведения массового взрыва. Увлажнение горной массы при перегрузке ее и при погрузке на складах осуществляется с использованием стационарных оросительных установок.
- пылеулавливание на экскаваторах в местах перегрузки горной массы с использованием аспирационных систем, состоящих из укрытий и пылеулавливающих установок. Для пылеподавления при работе роторных экскаваторов применяется система пылеотсоса и осаждения пыли с помощью орошения или в специальных пылеосадителях. Пылеподавление при работе экскаваторов, бульдозеров, скреперов, одноковшовых погрузчиков осуществляется орошением горной массы с помощью самоходных гидромониторных установок на базе автомашин с заполненными водой цистернами, обеспечивающих орошение забоев как с верхней, так и с нижней площадок уступов.
- полив автодорог.
- установка на выхлопных трубах работающей техники каталитических нейтрализаторов, обеспечивающих снижение выбросов CO на 86 %, углеводородов на 30 %, NO_x на 50 %;ежемесячная регулировка двигателей внутреннего сгорания машин и механизмов.

Для полива и орошения чаще всего применяют карьерную (шахтную) воду и пену, а также для пылеподавления применяют неионогенные водные дисперсии акрилового сополимера, образующего на поверхности полимерную пленку. Средство обработки покрытия дорог выбирают в зависимости от времени года и климатических условий.

Карьерные воды

Карьерные воды формируются в основном из подземного водопритока, дренажа поверхностных вод и атмосферных осадков. Карьерные воды загрязнены взвешенными веществами и растворенными химическими веществами, перешедшими в раствор в процессе контактирования воды с рудными минералами, вмещающей породой. Их откачивают на поверхность и размещают в прудах-отстойниках для осветления.

При наличии системы осушения отрабатываемого месторождения с использованием внешних контуров водопонижающих скважин откачиваемые воды обычно не содержат значительных количеств загрязнений, с ними обращаются как с условно-чистыми.

Химический состав карьерных вод зависит от состава и реакционной способности минералов и вмещающих пород разрабатываемых месторождений. Их количество определяется гидрогеологическими и метеорологическими условиями района горных работ.

Во многих случаях сброс карьерных вод в окружающую среду без предварительной очистки приводит к недопустимому загрязнению природных вод. С целью защиты последних целесообразна организация использования максимального количества карьерных вод для компенсации потерь водного баланса предприятия, пылеподавления, орошения автодорог и других пылящих поверхностей.

Карьерные воды, сбрасываемые в окружающую среду, подлежат очистке от загрязнений, в основном от взвешенных веществ, методом отстаивания.

Вскрышные породы

Вскрышные породы размещают в отвалы вскрышных пород. Отвалы оказывают негативное воздействие на окружающую среду, заключающееся в изъятии земель для их размещения, выделении пыли при ветровом сносе с поверхностей отвалов, образовании дренажных вод при выпадении атмосферных осадков на отвал.

3.2.2 Воздействие на окружающую среду при разработке коренных (рудных) месторождений подземным способом

При разработке месторождений подземным способом негативное воздействие на окружающую среду заключается в следующем:

- проходка вскрывающих и подготовительных выработок по пустым породам связана с проблемой транспортирования большого объема породы от забоя на поверхность и складирования ее на поверхности;

- проходка выработок осуществляется, как правило, буровзрывным способом шпуровыми зарядами, что связано с большим выбросом ядовитых веществ и пыли, которые при проветривании проходческих забоев попадают в атмосферу;

- осушение подземных выработок сопровождается понижением уровня подземных вод с формированием депрессионной воронки, изменением водного баланса территории, влияющего на поверхностные водотоки и водоемы, грунтовые воды и водноболотные угодья, расположенные на водосборной площади. Снижение уровня подземных вод может вызвать также высыхание колодцев и водозаборных скважин;

- добыча полезных ископаемых (очистные работы) оказывает значительное воздействие на недра за счет изъятия горной массы из недр и нарушения состояния геологической среды, которое проявляется в формировании подземных полостей, в изменении полей напряжений в горном массиве, и как следствие, его структурных характеристик и свойств, в нарушении циркулирующих в недрах водоносных, газовых и других потоков. Происходят провалы, проседания, обвалы, оползни и смещение блоков горных пород, изменения порождают, горные удары и внезапные выбросы, разрушают инженерные сооружения;

- отбойка руды при очистных работах производится взрыванием вееров скважин и сопровождается еще большими, чем при проходческих работах, выбросами ядовитых веществ и пыли. При применении самоходного оборудования с дизельными

двигателями на транспортных и погрузочных работах выделяются выхлопные газы (оксиды азота, углерода, диоксиды серы).

Пыль выделяется также с поверхности породных отвалов и складов полезных ископаемых.

Все это негативно действует на окружающую среду, включая атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвенный покров, растительный и животный мир.

В таблице 3.7 представлены основные эмиссии при подземной разработке месторождений.

Интенсивное пыле- и газообразование происходит во время следующих процессов: бурение шпуров и скважин; взрывание и погрузка взорванной горной массы; транспортировка, погрузка и перегрузка сырой руды и породы; грохочение, дробление; работа проходческих, добычных и прочих машин и механизмов. Однако, подвергаясь процессу пылеподавления и гидрообеспыливания, и проходя по горным выработкам запыленный воздух почти полностью самоочищается.

Таблица 3.7 — Основные эмиссии при подземной разработке месторождений

Этапы и виды работ	Результаты работ	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Вскрытие			
БВР; выемка, транспорт и подъем горной массы; проветривание; откачка воды; возведение крепи; монтаж металлоконструкций, механизмов и оборудования	Горные выработки; горная масса	Подъемные машины; лебедки; полки, передвижные опалубки; насосы; вентиляторы; проходческое буровое и погрузочное оборудование	Пустая порода; пыль; газообразные продукты взрывных работ; шахтные воды
Подготовка			
БВР; выемка, транспорт и подъем горной массы; проветривание; откачка воды; возведение крепи; монтаж металлоконструкций, механизмов и оборудования	Горные выработки; горная масса	Подъемные машины; проходческое буровое и погрузочное оборудование; машины и оборудование для возведения крепи; насосы; вентиляторы	Пустая порода; пыль; газообразные продукты взрывных работ; шахтные воды
Очистная добыча			

Этапы и виды работ	Результаты работ	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
БВР; выпуск, транспорт и подъем руды и породы; проветривание; откачка воды; поддержание очистного пространства; вторичное дробление	Сырая руда; пустая порода	Подъемные машины и комплексы; буровое, зарядное и погрузочное оборудование; локомотивы, вагоны, опрокидыватели; конусные, щековые дробилки; насосы; вентиляторы	Пустая порода; пыль; газообразные продукты взрывных работ; шахтные воды
Транспорт; подъем; отвалообразование	Отвалы	Подъемные машины и комплексы; локомотивы, вагоны, опрокидыватели; автотранспорт, бульдозеры	Пустая порода; пыль; естественный сток с породных отвалов

Основной фактор влияния на водную среду — сброс шахтных вод, загрязненных взвешенными частицами и растворенными химическими веществами, а также поверхностный сток с породных и рудных отвалов. Кроме того, в подземных условиях загрязняются дренируемые грунтовые воды, а при откачке шахтной воды образуются депрессионные воронки, радиус которых может достигать значительных размеров.

Устройство оборотных систем водоснабжения, использование шахтных вод для целей пылеподавления и орошения пылящих поверхностей, ликвидация отвалов, сокращение поступления примесей в сточные воды путем совершенствования технологических процессов являются первоочередными задачами комплекса мероприятий, предупреждающих загрязнение водотоков и водоемов сточными водами. Все предприятия с подземным способом разработки месторождений обязаны осуществлять очистку сбрасываемых в окружающую среду сточных и шахтных вод.

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.

3.2.3 Воздействие на окружающую среду при первичной переработке минерального сырья

Добытое в процессе проведения горных работ минеральное сырье подвергается последующей переработке с целью извлечения содержащихся в нем драгоценных металлов. Первичная переработка минерального сырья обычно осуществляется на специально построенных фабричных комплексах с применением наиболее пригодных для этого технологий обогащения и гидрометаллургии (см. раздел 2).

Работа комплекса, ведущего первичную переработку минерального сырья, сопровождается техногенным воздействием на элементы окружающей среды:

- загрязнением атмосферного воздуха пылью и газами, выделяющимися на фабриках в процессах обогащения и гидрометаллургической переработки рудного материала, с рудных складов и хвостохранилищ, других пылящих поверхностей;
- выделением газов при работе автомобильного транспорта, выполнении погрузочных и транспортных работ, сжигании топлива в промышленных котельных и/или в ДВС электрогенераторов;
- техногенным влиянием на гидросферу в связи с забором воды из природных водоемов, сбросом в них сточных вод, выпадением загрязненных осадков и пыли из атмосферы, изменением уровня подземных вод в результате осушения горных выработок;
- воздействием на земли, почвы, недра и т.п., в том числе из-за образования и размещения хвостов фабричной переработки в хвостохранилищах и на полигонах;
- физическими воздействиями — шумом и вибрацией при эксплуатации техники и оборудования, сокращениям площадей местообитаний представителей местной фауны.

В таблице 3.8 представлены основные эмиссии при первичной переработке минерального сырья на фабричных комплексах по наиболее распространенным технологиям с использованием цианистых растворителей.

Выбросы в атмосферный воздух

При первичной переработке минерального сырья на фабриках в атмосферу выделяются пыль неорганическая и химические вещества, переходящие в газовую фазу из технологических растворов.

Пыль выделяется на первых стадиях организованной переработки при транспортировании минерального сырья на операции дробления/грохочения и самих этих операциях при работе с рудой низкой (забойной) влажности.

Таблица 3.8 — Основные эмиссии при фабричной переработке руд драгоценных металлов

Этапы и виды работ	Результаты работ	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Предобогащение и сортировка			
Рентгенометрическая сепарация; фотометрическая сепарация	Богатая руда; пустая порода	Рентгено- и фотометрические сепараторы	Взвешенные вещества; вода от промывки руды
Рудо- и пульпоподготовка			

Этапы и виды работ	Результаты работ	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Дробление и грохочение руды; полусамоизмельчение, шаровое измельчение, классификация, в том числе в цианистой среде; Сгущение	пульпа для дальнейшей переработки	Конвейеры, дробилки, грохоты, мельницы, классификаторы, сгустители	Взвешенные вещества; выбросы ЗВ от технологического оборудования
Обогащение			
Гравитационное обогащение; флотационное обогащение; обогащение в тяжелых средах	Концентраты гравитационные; и/или флотационные; хвосты обогащения	Обогатительное оборудование	Взвешенные вещества; выбросы ЗВ от технологического оборудования; хвосты обогащения
Агитационное выщелачивание с фильтрацией			
Агитационное цианирование руд, концентратов, хвостов обогащения; фильтрация, отмывка кеков; осаждение благородных металлов	Хвосты цианирования; золотосодержащие осадки; оборотные растворы	Агитаторы, фильтры, цементаторы, электролизеры	Выбросы ЗВ от технологического оборудования; хвосты цианирования
Сорбционное цианирование			
Предварительное цианирование руд, концентратов, хвостов обогащения; сорбционное цианирование; выделение насыщенного сорбента с десорбцией благородных металлов и регенерацией; осаждение благородных металлов	Хвосты цианирования; золотосодержащие осадки; оборотные растворы	Агитаторы, сорбционные пачуки, колонны для десорбции, электролизеры	Выбросы ЗВ от технологического оборудования; хвосты цианирования
Интенсивное цианирование концентратов			
Подготовка концентратов к переработке; интенсивное цианирование; отделение раствора с осаждением металла	Хвосты интенсивного цианирования; Золотосодержащие осадки	Агитаторы; электролизеры, цементаторы	Выбросы ЗВ от технологического оборудования
Плавка металлосодержащих осадков			
Сушка осадков; шихтовка; плавка на слиток золото лигатурное	Слитки золото лигатурное	Сушильное и шихтовочное оборудование, плавильные печи	Выбросы ЗВ от технологического оборудования

Этапы и виды работ	Результаты работ	Основное технологическое оборудование	Эмиссии
Складирование хвостов			
Складирование хвостовой пульпы в наливное хвостохранилище; Сгущение, фильтрация, складирование кеков фильтрации; сгущение пастовое, складировании пасты (загущенной пульпы)	Хранилища хвостов цианирования отвалы	Технологический транспорт; трубопроводы, гидротехнические сооружения, полигоны; экскаваторы	Взвешенные вещества; выбросы ЗВ от гидротехнических сооружений; хвосты цианирования; сточные воды

Для понижения пылевыделения на операциях транспортирования руды, дробления и грохочения применяется орошение пылящих поверхностей, которое обычно снижает количество выделяемой пыли с высокой эффективностью. После дробления до заданной крупности руда подается на операцию измельчения, которая происходит в водной среде и выделение пыли прекращается.

Операции измельчения осуществляются в мельницах (шаровых, полусамоизмельчения, самоизмельчения). Выделения в газовую фазу на этой операции происходят только при применении технологии измельчения в цианистой среде. С открытых поверхностей пульп и технологических растворов (мельницы, классификаторы) выделяются пары цианистого водорода (гидроцианид).

Пары цианистого водорода выделяются на каждой операции с цианистыми пульпами и растворами за счет гидролиза цианида натрия. При использовании в технологиях растворов щелочей и кислот (операции известкования, десорбции и т.п.), флотореагентов в газовую фазу переходят применяемые реагенты как за счет испарений, так и за счет каплеуноса и диффузии.

В количественном отношении выбросы химических веществ в атмосферу варьируются в достаточно широких пределах и зависят от применяемых концентраций реагентов, конструкционных особенностей оборудования и их геометрических размеров.

Сточные воды

В настоящее время при фабричных технологиях переработки руд повсеместно используются системы повторного применения водной фазы в системах полного оборотного водоснабжения без сброса технологических сточных вод в окружающую среду. Длительный опыт эксплуатации систем бессточного водоснабжения показал на возможность непрерывной работы предприятий без сброса технологических сточных вод при стабильных показателях извлечения полезных компонентов.

Для оптимизации водного баланса предприятия и исключения накапливания излишков технологических растворов применяются организационные мероприятия по минимизации потребления свежей воды, использованию с максимальной полнотой оборотных вод там, где это возможно.

Хвосты первичной переработки

В процессе первичной переработки минерального сырья по фабричным технологиям образуются хвосты обогащения и/или цианирования в виде хвостовых пульп. В зависимости от технологии переработки хвостовые пульпы либо складируются в наливные и намывные хвостохранилища напрямую, либо подвергаются фильтрации и складируются в виде фильтрационных кеков. Вариантом складирования, применяющимся достаточно редко, является размещение в хвостохранилище загущенной пульпы после «пастового» сгущения.

При хранении хвостов в хвостохранилищах возможна эмиссия техногенных веществ в подземные воды с дренажами жидкой фазы через ложе гидротехнического сооружения. При опасности значительного техногенного воздействия на подземные воды, превышающего установленные нормативы, осуществляют строительство системы перехвата дренажей или экранирование ложа с использованием местных водоупорных материалов, а при их отсутствии — синтетических геомембран.

Хвостохранилища оказывают определенное техногенное воздействие на окружающую среду, заключающееся в изъятии земель для их размещения, выделении пыли при ветровом сносе с сухих поверхностей

В таблице 3.9 приведены данные по количеству пыли, сдуваемой с пляжей хвостов различной влажности при различных скоростях ветра.

Таблица 3.9 — Показатели сдувания пыли с пылящих поверхностей при открытых горных работах

Объект пыления	Характеристика объекта	Удельное сдувание пыли, мг/м^2·с, при скоростях ветра, м/с		
		До 4	6–8	10
Поверхность хвостохранилищ	Хвосты влажностью 2 % — 4 %	2,8	130	400
	Хвосты влажностью 4 % — 6 %	1,8	35	60
	Хвосты влажностью 8 % — 10 %	1,2	12	25

3.2.4 Воздействие на окружающую среду при использовании геотехнологий

В последнее время достаточно широкое распространение получила технология кучного выщелачивания драгоценных металлов из руд.

Эта геотехнология основана на формировании штабелей рудного материала на открытых площадках с их обработкой растворами, содержащими растворитель драгоценных металлов, в качестве которого наиболее часто применяется цианид натрия. Рудные штабели организуются на специально оборудованных гидроизолированных площадках, позволяющих полностью перехватывать дренирующие через тело штабеля цианистые растворы, содержащие растворенные золото и серебро. Растворы после извлечения металлов используются повторно.

Эмиссиями при кучном выщелачивании являются выделение в процессе формирования штабеля и его последующего орошения вредных веществ, в частности пыли и цианистого водорода (гидроцианида), в газовую фазу (атмосферный воздух), а также образование отработанных рудных штабелей, которые консервируют на месте их расположения с оказанием техногенного влияния на земную поверхность и ландшафт.

Другая геотехнология — подземное выщелачивание, оказывает техногенное воздействие в основном на подземные воды. Часть раствора, закачиваемого в подземный горизонт, может теряться. Величина потерь раствора зависит в основном от гидрогеологических условий района расположения отрабатываемого рудного тела, в частности наличия водоупорного горизонта ниже зоны проведения работ.

3.3 Данные по обобщенным эмиссиям в окружающую среду предприятий, осуществляющих добычу драгоценных металлов

В таблицах 3.10 и 3.11 приведены данные по обобщенным эмиссиям в окружающую среду вредных (загрязняющих) веществ от предприятий, осуществляющих добычу драгоценных металлов (включая объекты инфраструктуры). Данные получены по материалам анкетирования действующих предприятий.

Таблица 3.10 — Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух

Наименование загрязняющего вещества	Удельная масса выбросов загрязняющих веществ после очистки, т/год		Количество предприятий, представивших данные
	Минимум	Максимум	
Азота диоксид	10,58	920,6	16
Азотная кислота	0,016	1,46	3
Азот (II) оксид	1,65	149,6	15
Углерод (сажа)	0,33	142,6	13
Сера диоксид	1,01	241,6	14
Серная кислота	0,000003	8,5	6
Углерод оксид	4,9	864,2	15
Гидрохлорид	0,00028	0,42	5
Гидроцианид	0,0025	113,4	12
Бенз(а)пирен	0,000006	0,00068	13
Формальдегид	0,018	0,77	10
Керосин	1,68	224,9	15
Кальция оксид	0,006 7	1,74	5
Пыль неорг. 70 % — 20 % SiO_2	4,1	710,8	15
Пыль неорг. до 20 % SiO_2	0,000 3	162,2	6
диЖелезо триоксид	0,07	0,89	5
Марганец и его соединения	0,00002	0,03	6
Медь оксид	0,00007	0,0001	3
Свинец и его неорганические соед.	0,00003	0,017	3
Мышьяк, неорганические соед.	0,003	0,003	1
Цинк оксид	0,0003	0,009	2
диНатрий карбонат	0,016	0,21	3
Кальций гипохлорит	0,003	1,11	3
Натрий гидроксид	0,0019	1,46	10
Дигидросульфид	0,000003	0,44	8
Хлор	0,00028	1,9	5

Наименование загрязняющего вещества	Удельная масса выбросов загрязняющих веществ после очистки, т/год		Количество предприятий, представивших данные
	Минимум	Максимум	
Аммиак	0,0002	4,45	3

Таблица 3.11 — Сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду

Наименование загрязняющего вещества	Удельная масса сбросов загрязняющих веществ после очистки, т/год		Количество предприятий, представивших данные
	Минимум	Максимум	
Взвешенные вещества	0,081	24,4	9
Железо	0,0002	1,06	8
Медь	0,000004	0,007	7
Нефтепродукты	0	0,093	9
Никель	0,00004	0,01	4
Сульфаты	0,403	178,5	7
Хлориды	0,343	46,55	6
Цинк	0,00008	0,026	6
Аммоний	0,006	0,54	5
Нитраты	0,004	124,06	6
Фосфаты по Р	0	0,21	5
Нитриты	0,0015	0,091	4
Фенолы летучие	0,000008	0,015	2
Алюминий	0,00081	0,00081	1
Марганец	0,00017	0,133	6
Цианиды	0,00008	0,00025	3
Тиоцианаты	0,00008	0,00008	1
Кобальт	0,00004	0,0067	3
Сурьма	0,001	0,006	1
Кремний	11,6	11,6	1
Мышьяк	0	0,036	2
Свинец	0,00003	0,011	2

Раздел 4. Определение наилучших доступных технологий

Применение НДТ направлено на комплексное предотвращение и (или) минимизацию негативного воздействия на окружающую среду.

В настоящее время утверждены «Методические рекомендации по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии» [33], разработанные на сновании Постановления Правительства Российской Федерации «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также

разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям» [7].

Определение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов в качестве наилучшей доступной технологии для конкретной области применения, утверждение методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии осуществляются уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти, который создает технические рабочие группы, включающие экспертов заинтересованных федеральных органов исполнительной власти, государственных научных организаций, коммерческих и некоммерческих организаций, в том числе государственных корпораций.

Сочетанием критериев достижения целей охраны окружающей среды для определения наилучшей доступной технологии являются [1]:

- наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо другие предусмотренные международными договорами Российской Федерации показатели;
- экономическая эффективность ее внедрения и эксплуатации;
- применение ресурсо- и энергосберегающих методов;
- период ее внедрения;
- промышленное внедрение этой технологии на двух и более объектах, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям разрабатывается с учетом имеющихся в Российской Федерации технологий, оборудования, минерального сырья, других ресурсов, а также с учетом климатических, экономических и социальных особенностей Российской Федерации. При их разработке могут использоваться международные информационно-технические справочники по наилучшим доступным технологиям.

Определение наилучших технологий производится на основании:

сбора и анализа имеющейся в общем доступе информации по применению на предприятиях, добывающих руды драгоценных металлов современных передовых технологических и технических решений (Интернет, периодические специализированные, в том числе отраслевые издания горнопромышленного профиля);

опыта специалистов и экспертов, принимавших участие в разработке настоящего справочника в указанной области (охрана окружающей среды, технология добычи, обогащения и гидрометаллургии и т.п.);

анализа материалов справочников НДТ и наилучших практик в смежных и (или) схожих отраслях;

данных анкетирования горнодобывающих предприятий, проведенного в период май — август 2017 года;

сбора и анализа информации о перспективных технологиях и технических решениях: материалы специализированных изданий, патентный поиск и т. д.

Внедрением наилучшей доступной технологии юридическими лицами или индивидуальными предпринимателями признается ограниченный во времени процесс проектирования, реконструкции, технического перевооружения объектов, оказывающих

негативное воздействие на окружающую среду, установки оборудования, а также применение технологий, которые описаны в опубликованных информационно-технических справочниках по наилучшим доступным технологиям и (или) показатели воздействия на окружающую среду которых не должны превышать установленные технологические показатели наилучших доступных технологий.

Раздел 5. Наилучшие доступные технологии

Перечисленные в настоящем разделе наилучшие доступные технологии для области применения настоящего информационно-технического справочника не являются предписывающими или исчерпывающими. Могут быть применены НДТ из аналогичных справочников по другим отраслям промышленности, а также иные технологии, обеспечивающие, по меньшей мере, такой же уровень охраны окружающей среды.

5.1 Перечень НДТ при добыче драгоценных металлов из россыпных месторождений

НДТ 1. Оптимизация технологии снятия талого слоя песков

Снятие талого слоя песков бульдозером с формированием бурта талых пород, предназначенных для отгрузки на промывку при дальности транспортирования талого слоя в бурт не более чем на 15–30 м со снижением общих затрат на транспортировку и расхода дизельного топлива.

НДТ 2. Замена бульдозерной транспортировки песков и торфов на автотранспортную

Замена дорогостоящей бульдозерной транспортировки песков в направлении к промывочной установке при разработке техногенных и целиковых запасов на автотранспортную транспортировку с загрузкой автосамосвалов из временных буртов.

НДТ 3. Выемка песков электрическими карьерными экскаваторами

Выемка песков высокопроизводительным выемочным оборудованием - электрическими карьерными экскаваторами (типа ЭКГ) с погрузкой и транспортировкой золотосодержащих песков автосамосвалами

5.2 Перечень НДТ при добыче драгоценных металлов из коренных (рудных) месторождений

5.2.1 Перечень НДТ при разработке коренных (рудных) месторождений драгоценных металлов открытым способом

НДТ 4. Применение современной горнотранспортной техники

Применение горнотранспортной техники с современными низкотоксичными двигателями, соответствующими требованиям Евро 3.

НДТ 5. Использование современных систем инициирования

Использование при ведении взрывных работ современных систем инициирования (например, неэлектрических систем инициирования СИНВ с индивидуальным замедлением взрывания каждого заряда), благодаря которым достигается: низкий сейсмический эффект и слабая интенсивность воздушных ударных волн, малый разлет кусков горной массы при взрыве.

5.2.2 Перечень НДТ при разработке коренных (рудных) месторождений драгоценных металлов подземным способом

НДТ 6. Закладка выработанного пространства

Применение систем разработки с закладкой выработанного пространства породами от проходческих работ со снижением количества складируемых пустых пород на поверхности, ликвидацией формирования подземных полостей и отрицательных гравитационных процессов. Использование современных маневренных погрузочно - доставочных машин (ПДМ), в ковше которых транспортируется порода, позволяет добиться высокого уровня производительности закладочных работ.

НДТ 7. Увеличение доли селективной добычи руды

Увеличение удельного соотношения систем разработки с селективной добычей полезного ископаемого позволяет, особенно при отработке тонких и маломощных рудных тел, снизить разубоживание руды пустыми породами и грузооборот как внутри рудника, так и на поверхности, уменьшить затраты на ГСМ при транспортировании и перегрузке руды, уменьшить удельные расходы применяемого ВВ при очистных работах на единицу объема полезного ископаемого. При этом сокращается расход воздуха на проветривание рудника, снижается объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и уменьшаются затраты на электроэнергию при вентиляции рудников.

НДТ 8. Оборудование двигателей современными каталитическими нейтрализаторами

Использование современного подземного самоходного оборудования с дизельными двигателями класса не ниже Евро 3 и оборудованного современными каталитическими нейтрализаторами.

НДТ 9. Использование новых эффективных взрывчатых веществ и передовых технологий взрывания

Использованием передовых технологий при производстве буро – взрывных работ с применением наиболее эффективных взрывчатых веществ, в том числе с минимальным (нулевым) кислородным балансом и новых технологий взрывания.

5.2.3 Перечень НДТ по снижению выбросов взвешенных веществ в атмосферный воздух при разработке россыпных и коренных (рудных) месторождений драгоценных металлов

НДТ 10. Организация хранения, перегрузки и транспортировки горной массы

Организация хранения, погрузочно-разгрузочных работ и транспортировки горной массы осуществляется с применением следующих технологических подходов:

- организация хранения, перегрузок и перевозок, обеспечивающих минимизацию попадания пылящих материалов в окружающую среду;
- сокращение числа промежуточных узлов и мест перегрузок;
- использование устройств, установок для выравнивания и уплотнения верхнего слоя пылящих грузов в железнодорожных вагонах.

НДТ позволяет сократить количество выбросов взвешенных веществ в атмосферный воздух от процессов хранения, перегрузки и транспортировки пылящих материалов.

НДТ 11. Орошение пылящих поверхностей

С целью сокращения пыления поверхностей дорожного полотна, складов, породных отвалов, сухих пляжей хвостохранилищ, земель, подлежащих рекультивации, сдувания и уноса материала при перевозке в открытых вагонах, из экскаваторных забоев и др. в теплый сухой период года осуществляется их орошение и укрепление внешнего слоя пылящих поверхностей путем применения:

- систем пылеподавления водяным орошением с использованием поливочных машин, установок, распылителей;
- систем пылеподавления, если применимо, пылесвязывающими жидкостями (растворами неорганических и органических веществ, ПАВ, полимерными веществами, эмульсиями и другими химическими реагентами), создающими на поверхности обрабатываемого материала утолщенную эластичную и долговременную корку.

НДТ 12 Рекультивация пылящих поверхностей

Озеленение пылящих поверхностей (откосов породных отвалов, терриконов) — посев трав и саженцев на неиспользуемых территориях с целью закрепления внешнего слоя пылящих поверхностей, сокращения площади неорганизованных источников пыления.

Применение НДТ способствует защите пылящих поверхностей от ветровой эрозии, сокращению площади неорганизованных источников пыления.

В качестве технологических показателей при применении НДТ в области снижения выбросов взвешенных веществ в атмосферный воздух при разработке россыпных и коренных (рудных) месторождений драгоценных металлов устанавливается концентрация загрязняющих (маркерных) веществ, которая определяется в атмосферном воздухе на границе СЗЗ предприятия согласно программе производственного экологического контроля.

Не превышение установленных технологических показателей достигается путем применения совокупности вышеописанных НДТ.

Таблица 5.1 — Технологические показатели загрязняющих (маркерных) веществ при применении НДТ в области минимизации негативного воздействия на атмосферный

воздух при разработке россыпных и коренных (рудных) месторождений драгоценных металлов

№	Наименование вещества[1)]	Код	Единица измерения	Технологический показатель
1	Взвешенные вещества	2902	мг/м^3	≤0,5 [2)]
[1)] Перечень загрязняющих (маркерных) веществ справедлив для добычи драгоценных металлов на коренных и россыпных месторождениях [2)] Замеры осуществляются на границе СЗЗ предприятия согласно программе производственного экологического контроля.				

5.2.4 Перечень НДТ при первичной переработке минерального сырья процессами обогащения

НДТ 13 Применение предварительной рентгенорадиометрической или фотометрической сепарации

Применение предварительной сепарации (рентгенорадиометрической, фотометрической) для выделения обогащенной рудной фракции с ее последующей переработкой методами обогащения и/или гидрометаллургии.

НДТ 14 Обогащение гравитационными методами

Процесс гравитационного обогащения минерального сырья с применением отсадочных машин, шлюзов, центробежных концентраторов и концентрационных столов, получение гравитационного концентрата с его реализацией или первичной переработкой цианированием (интенсивным цианированием), направлением хвостов гравитации на первичную переработку методами цианирования или в отвал, на полигон или в хвостохранилище.

НДТ 15 Обогащение флотационными методами

Процесс флотационного обогащения минерального сырья с получением флотационного концентрата, его реализацией или первичной переработкой цианированием, направлением хвостов обогащения в отвал или на первичную переработку методами цианирования.

НДТ 16 Применение комбинированных схем гравитационно-флотационного обогащения

Применение комбинированных схем обогащения минерального сырья гравитацией и флотацией хвостов гравитации с получением гравитационного и флотационного концентратов, их реализацией в качестве готового продукта или первичной переработкой раздельно методами интенсивного и сорбционного цианирования или совместно методом сорбционного цианирования.

НДТ 17 Флотационное обогащение со складированием хвостов в наливное (намывное) хвостохранилище

Флотационное обогащение минерального сырья с применением бутилового ксантогената калия, сернистого натрия и других флотационных реагентов, получением

флотационного концентрата, его реализацией или первичной переработкой цианированием, направлением хвостов обогащения в наливное или намывное хвостохранилище или на первичную переработку методами цианирования, возврат осветленной оборотной воды из хвостохранилища в технологический цикл предприятия.

НДТ 18 Флотационное обогащение с фильтрацией хвостов и складированием кеков на полигоне (хвостохранилище)

Флотационное обогащение минерального сырья с применением бутилового ксантогената калия, сернистого натрия и других флотационных реагентов, получением флотационного концентрата, его реализацией или первичной переработкой цианированием, фильтрации хвостов обогащения с использованием фильтрата в технологическом цикле предприятия, складирование кеков фильтрации на полигоне (хвостохранилище).

НДТ 19 Применение скоростной флотации в цикле измельчения

Применение скоростной флотации из циркуляционной нагрузки мельниц, объединение полученного концентрата с конечным концентратом традиционного контура обогащения, дальнейшей переработкой объединенного концентрата по гидрометаллургическим схемам или реализацией в качестве готового продукта.

5.2.5 Перечень НДТ при первичной переработке минерального сырья процессами гидрометаллургии

НДТ 20. Бактериальное вскрытие минерального сырья

Вскрытие минерального сырья с применением биологических методов разрушения сульфидов с последующим цианированием (сорбционным цианированием). Технология включает измельчение материала до крупности менее 0,2 мм, обработку пульпы в биореакторах с нейтрализацией кислоты и отмывкой (фильтрация или декантация), цианирование в агитационном сорбционном режиме при концентрации NaCN 0,2–3 г/л, складирование хвостов цианирования.

НДТ 21. Автоклавное вскрытие минерального сырья

Автоклавное вскрытие минерального сырья (руд, концентратов) при повышенной температуре и давлении с окислением сульфидов и последующим цианированием (сорбционным цианированием). Технология включает измельчение материала до крупности менее 0,1 мм, обработку пульпы в автоклавах, нейтрализацию кислоты, отмывку (фильтрация или декантация), цианирование в агитационном сорбционном режиме при концентрации NaCN 0,2–3 г/л, складирование хвостов цианирования.

НДТ 22. Цианирование со складированием хвостов в наливное (намывное) хвостохранилище

Цианирование минерального сырья со складированием хвостов в хвостохранилище и оборотом цианидсодержащих растворов. Технология включает измельчение материала до крупности менее 0,2 мм, цианирование измельченного продукта в агитационном сорбционном режиме при концентрации NaCN 0,2–3 г/л,

складирование хвостовой пульпы в наливное или намывное хвостохранилище и возврат осветленных цианидсодержащих растворов из хвостохранилища в технологический цикл.

НДТ 23. Цианирование с фильтрацией хвостов и складированием кеков на полигоне-хвостохранилище

Цианирование минерального сырья (руд, концентратов, хвостов обогащения) с полусухим складированием хвостов и внутрифабричным оборотом цианистых растворов (фильтрата). Технология включает измельчение материала до крупности менее 0,2 мм, цианирование измельченного продукта в агитационном сорбционном режиме при концентрации NaCN 0,2–3 г/л, фильтрацию хвостов цианирования до остаточной влажности кека 10 % — 30 %, использование цианистых фильтратов в технологическом цикл предприятия, складирование хвостов в виде кеков фильтрации на полигоне/хвостохранилище.

НДТ 24. Цианирование, фильтрация, осаждение драгоценных металлов цинковой пылью

Цианирование минерального сырья с получением фильтрата и осаждением из него драгоценных металлов цинковой пылью. Технология включает измельчение материала до крупности менее 0,2 мм, цианирование измельченного продукта в агитационном режиме при концентрации NaCN 0,2–3 г/л, фильтрацию хвостов цианирования с промывкой, осаждение золота из фильтратов цинковой пылью.

НДТ 25. Переработка лежалых хвостов амальгамации

Технология включает гравитационное обогащение хвостов амальгамации с получением концентратов с содержанием золота не менее 20 г/т и возвратом хвостов обогащения в хвостохранилище на место изъятия лежалых хвостов. Полученный гравиоконцентрат доизмельчают до крупности менее 0,1 мм, фильтруют, распульповывают оборотным цианистым раствором и цианируют в агитационном сорбционном режиме. Хвосты цианирования фильтруют, цианистый фильтрат направляют на распульповку кека питания цианирования. Кек от фильтрации хвостов цианирования распульповывают водой из хвостохранилища и хлорируют с применением гипохлорита кальция и извести до полного разрушения растворимых цианидов. Обезвреженные хвосты цианирования возвращают в хвостохранилище на место изъятия.

НДТ 26. Переработка упорных золотосодержащих концентратов с применением сверхтонкого помола

Переработка упорных золотосодержащих концентратов с применением сверхтонкого помола. Технология включает бисерный помол золотосодержащих концентратов до крупности 5–20 мкм, снижающий их упорность, цианирование в агитационном сорбционном режиме при концентрации NaCN 0,5–3 г/л, фильтрацию хвостов цианирования (без промывки) до остаточной влажности кека 30 % — 50 %, складирование кеков фильтрации на полигоне/ хвостохранилище, кондиционирование жидкой фазы пульпы и оборотное использование кондиционированной жидкой фазы в цикле выщелачивания.

НДТ 27. Интенсивное цианирование золотосодержащих гравиоконцентратов

Интенсивное цианирование богатых золотосодержащих гравиоконцентратов, получаемых при добыче драгоценных металлов из руд или россыпей, на малотоннажных гравитационных обогатительных фабриках. Технология включает гравитационное обогащение материала с доводкой и получением концентратов с содержанием золота не менее 50 г/т, интенсивное цианирование гравиоконцентратов при концентрации NaCN 3–20 г/л с добавкой реагентов-ускорителей, направление хвостов цианирования в цикл фабричного цианирования (руда) или обезвреживание цианистых отходов и их складирование совместно с хвостами обогащения (россыпи).

5.2.6 Перечень НДТ по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при первичной переработке минерального сырья

НДТ 28. Применение технологических методов и оборудования для снижения выбросов загрязняющих веществ при первичной переработке минерального сырья

С целью снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при первичной переработке минерального сырья используются технологические методы и приемы, такие как поддержание заданного уровня pH пульпы, контроль расходования растворов реагентов, а также газоочистное оборудование.

В качестве технологических показателей при применении НДТ в области минимизации негативного воздействия на атмосферный воздух при первичной переработке минерального сырья устанавливается концентрация загрязняющих (маркерных) веществ, которая определяется в аспирационном воздухе, выбрасываемом из организованных источников предприятия согласно программе производственного экологического контроля.

Не превышение установленных технологических показателей достигается путем применения совокупности вышеописанных НДТ.

Таблица 5.2 — Технологические показатели загрязняющих (маркерных) веществ содержащихся в аспирационном воздухе при применении НДТ в области минимизации негативного воздействия на атмосферный воздух при первичной переработке минерального сырья

№	Наименование вещества	Код вещества	Технологический передел	Единица измерения	Технологический показатель
1	Взвешенные вещества	2902	Рудоподготовка	мг/м^3	≤ 500[1)]
2	Гидроцианид (водород цианистый)	0317	Приготовление растворов реагентов, цианирование и сорбция, регенерация, обезвреживание	мг/м^3	≤ 500[1)]

№	Наименование вещества	Код вещества	Технологический передел	Единица измерения	Технологический показатель
3	Сероводород[2)]	0333	Флотационное обогащение[4)]	мг/м^3	≤ 100[1)]
4	Сероуглерод[3)]	0334	Флотационное обогащение[4)]	мг/м^3	≤ 300[1)]

[1]Среднее значение за период отбора.
[2]При использовании в качестве флотореагента сернистого натрия.
[3]При использовании в качестве флотореагента бутилового ксантогената калия.
[4]Данные технологические показатели используются, только если на фабрике технология флотационного обогащения является единственной технологией первичной переработки минерального сырья.

5.3 Перечень НДТ при первичной переработке минерального сырья применением геотехнологий

НДТ 29. Кучное выщелачивание

Формирование из минерального сырья (руды, хвосты обогащения) штабелей с их орошением цианистыми растворами и растворением драгоценных металлов. Технология включает дробление материала, его окомкование (агломерацию), укладку штабеля на гидроизолированном основании, орошение штабеля цианистыми растворами со сбором дренажных вод и извлечением из них металла, повторным использованием обезметалленного цианистого раствора в системе оборотного водоснабжения. Хвосты кучного выщелачивания консервируются на месте либо вывозятся в спецотвал (хвостохранилище).

НДТ 30. Подземное выщелачивание

Прокачивание раствора, содержащего растворитель драгоценных металлов, через рудное тело, залегающее в недрах, с помощью закачных и откачных скважин. Технология включает организацию, при необходимости, подземных взрывов в рудном теле для его дробления и создания проницаемости, оконтуривание рудного тела системой закачных и откачных скважин, прокачку с помощью этих скважин выщелачивающего раствора, содержащего растворитель драгоценных металлов (гипохлорит, цианид и др.), обезметалливание продуктивного раствора с его последующим доукреплением и повторной закачкой, получение после обезметалливания лигатурного металла.

5.4 Перечень НДТ по обращению с вскрышными и вмещающими породами

НДТ 31. Использование вскрышных и вмещающих пород

Использование вскрышных пород, образующихся в процессе производства горных работ на россыпях и карьерах, для обратной закладки выработанного

пространства, рекультивация нарушенных земель с применением вскрышных пород позволяет снизить количество складируемых пустых пород на поверхности и /предотвращает изъятие земель под склады для размещение отходов производства.

НДТ 32 Применение специальных систем складирования вскрышных и вмещающих пород

Применение специальных систем складирования вскрышных пород, предотвращающих образование поверхностных потоков дренажных вод с использованием складируемого материала (вскрышных пород) для строительства оснований соответствующих породных складов.

НДТ 33. Формирование месторождений общераспространенных полезных ископаемых из складируемых вскрышных пород

Формирование месторождений общераспространенных полезных ископаемых (ОРПИ) вскрышных пород в местах их складирования

5.5 Перечень НДТ по оборотному водоснабжению, очистке сточных вод, обезвреживанию и складированию хвостов

НДТ 34. Кондиционирование медьсодержащих цианистых растворов

Кондиционирование медьсодержащих цианистых технологических растворов с извлечением меди в ликвидный концентрат, регенерацией свободного цианида и организацией полного оборотного водоснабжения предприятия.

НДТ 35. Оптимизация конструктивных параметров площадок россыпной добычи

Оптимизация конструктивных параметров площадок россыпной добычи драгоценных металлов с проходкой нагорных канав, временным отводом русел рек за пределы площади горных работ строительством руслоотводных дамб и плотин илоотстойников, строительством отстойников оборотной воды и организацией системы полного оборотного водоснабжения.

НДТ 36. Организация прудов-отстойников карьерных и шахтных вод

Организация прудов-отстойников карьерных и шахтных вод с использованием фильтрующих дамб и методов первичной водоподготовки, реализация максимально возможного использования воды прудов отстойников для внутренних целей, в том числе пылеподавления и полива внутренних технологических дорог и сбросом излишков вод в поверхностные водоемы.

НДТ 37. Очистка сбрасываемых карьерных и шахтных вод

Применение для очистки сбрасываемых сточных вод отстойников, илоотстойников, биологических прудов, установок по эффективной очистке от техногенных загрязнений с механической, реагентной, физико-химической, мембранной технологиями.

В качестве технологических показателей при применении НДТ в области минимизации негативного воздействия на водные объекты при извлечении

минерального сырья из недр открытым и подземным способом устанавливается средний уровень концентраций загрязняющих (маркерных) веществ, которые определяются в воде, сбрасываемой в принимающий водный объект согласно программе производственного экологического контроля.

Таблица 5.3 — Технологические показатели загрязняющих (маркерных) веществ при применении НДТ в области минимизации негативного воздействия на водные объекты при извлечении минерального сырья из недр открытым и подземным способом

№	Наименование вещества [1)]	Единица измерения	Технологический показатель
1	Взвешенные вещества	мг/л	≤30 [2)]
[1)]Перечень загрязняющих (маркерных) веществ справедлив для добычи драгоценных металлов на коренных и россыпных месторождениях [2)]Замеры осуществляются согласно программе производственного экологического контроля предприятия.			

НДТ 38. Обезвреживание цианидсодержащих хвостовых пульп реагентами

Обезвреживание хвостов сбрасываемых в хвостохранилища, с применением в качестве обезвреживающих реагентов гипохлоритов, диоксида серы, метабисульфита, растворов альдегидов (формальдегида) и другими.

НДТ 39. Доизвлечение металла в хвостохранилище

Использование гидротехнических сооружений в качестве технологических емкостей для осуществления процесса дополнительного растворения (довыщелачивания) драгоценных металлов из хвостов цианирования путем их длительного контактирования с цианидсодержащей жидкой фазой хвостохранилищ. Дополнительно растворенные драгоценные металлы, содержащиеся в жидкой фазе хвостохранилища, могут быть извлечены либо в отдельных аппаратах (сорбционных колоннах), либо подачей обогащенного дорастворенным металлом раствора в качестве оборотной воды в фабричную технологию.

НДТ 40. Формирование техногенных месторождений драгоценных металлов в местах складирования хвостов

Формирование техногенных месторождений драгоценных металлов в местах складирования хвостов обогащения и гидрометаллургической переработки руд, вскрышных пород. Организация учета количества укладываемых хвостов и вскрышных пород, содержания в них ценных веществ для объемного моделирования формируемого техногенного месторождения.

НДТ 41. Применение сезонных технологий обезвреживания хвостовых пульп

Применение сезонных технологий обезвреживания хвостовых пульп с использованием в качестве обезвреживающего реагента растворов альдегидов (формальдегида).

НДТ 42. Обработка хвостов цианирования в центробежных сепараторах с извлечением недорастворенного золота

Обработка хвостов цианирования в центробежных сепараторах с извлечением недорастворенного золота в виде гравитационного концентрата и возвратом его в цикл рудаподготовки (операции измельчения).

НДТ 43. Оборотное водоснабжение процессов первичной переработки минерального сырья, содержащего драгоценные металлы

Первичная переработка минерального сырья, содержащего драгоценные металлы, при оборотном (повторном) использовании технологических вод и растворов в процессах рудоподготовки, обогащения, гидрометаллургии, обезвреживании хвостов. Образование и использование оборотных вод может быть организовано внутри технологических процессов, например на операциях сгущения, фильтрации и т.п. (внутрифабричный водооборот), так и при осветлении хвостов в хвостохранилищах, полигонах (внешний водооборот). При необходимости подготовки вод к повторному использованию могут быть применены процессы их кондиционирования с удалением (обезвреживанием) веществ, снижающих эффективность извлечения драгоценных металлов.

Раздел 6. Экономические аспекты применения наилучших доступных технологий при добыче драгоценных металлов

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. И наиболее пригодными для этого являются наилучшие доступные технологии - НДТ.

Затратная часть на внедрение и эксплуатацию НДТ состоит из двух основных компонентов - капитальных затрат и эксплуатационных расходов.

Выгодами от внедрения НДТ являются дополнительные доходы, предотвращенные издержки, налоговые льготы и государственная финансовая поддержка.

К дополнительным доходам могут быть отнесены: реализация дополнительной и побочной продукции и оказание услуг, экономия на использовании в производственных процессах ресурсов.

Предотвращенные издержки могут включать сокращение потерь при транспортировке пылящих материалов (продукции, горной массы), снижение затрат за счет сокращения простоев и оптимизации использования транспорта и т. д.

Выгоды от внедрения НДТ включают уменьшение сумм природоохранных платежей за счет:

1. снижения объема эмиссий, применения коэффициента 0 к ставке платы за негативное воздействие на окружающую среду (согласно п. 5 ст. 16.3 [1]).
2. налоговых льгот, предусмотренные ст. 17 [1].
3. государственной поддержки (выделение средств федерального бюджета и бюджетов субъектов Российской Федерации с целью содействия в осуществлении инвестиционной деятельности, направленной на внедрение наилучших доступных технологий и реализацию иных мер по снижению негативного воздействия на окружающую среду), согласно ст. 17 ([1]);

При оценке экономической целесообразности внедрения технологии в качестве НДТ необходимо учитывать ряд следующих факторов:

- особенности перерабатываемой руды, применимость для ее переработки технологического процесса и оборудования;
- масштаб производства;
- наличие транспортной и энергетической инфраструктуры, логистика, доступность инфраструктурных и технологических объектов;
- прямые операционные затраты, зависящие от уровня ресурсоемкости технологии (к примеру, климатические условия; специальные мероприятия по обеспечению технической безопасности; затраты на оплату труда, связанные с масштабом деятельности, требованиями безопасности и трудового законодательства, местного рынка труда; стоимость потребляемых объемов энергии, воды и т. д.);
- финансовые особенности проекта, связанные с периодом внедрения технологии, необходимостью использования кредитных финансовых ресурсов, дисконтированием показателей;
- стадии жизненного цикла предприятия, запасы полезных ископаемых и продолжительность добычных работ;
- в целом экономическая ситуация в стране и уровень инвестиционного климата в регионе присутствия.

Для оценки доступности технологий, представленных в разделе 5 настоящего Справочника, с точки зрения экономической целесообразности был использован метод экспертных оценок. Результаты экономической оценки НДТ представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 — Экономическая оценка НДТ добычи драгоценных металлов

НДТ	Затраты	Экономический эффект	Примечание/ Ограничения
НДТ 1	Приобретение бульдозеров, скреперов и др. техники. Строительство внутренних автодорог	Повышение производительности выемочного оборудования, снижение удельного расхода дизельного топлива, и, как следствие, сокращение выбросов.	Применимо при разработке россыпных месторождений
НДТ 2	Замена бульдозерной транспортировки песков на автотранспортную	Повышение производительности транспортного оборудования, снижение удельного расхода топлива, и, как следствие, сокращение выбросов	
НДТ 3	Приобретение экскаваторов с электрическим приводом	Повышение производительности выемочного оборудования, снижение расход дизельного топлива, и, как следствие, сокращение выбросов.	Применимо в отрасли
НДТ 4	Приобретение современной горнотранспортной техники с экономичными и экологически менее опасными двигателями.	Повышение производительности горнотранспортной техники, снижение расхода горючего, сокращение выбросов	Применимо в отрасли
НДТ 5	Приобретение современных систем инициирования	Снижение техногенного воздействия взрывов, сокращение выбросов	Применимо в отрасли
НДТ 6	Использование вскрышных пород, образующихся в процессе производства горных работ, для обратной закладки выработанного пространства, рекультивации нарушенных земель	Снижение величины экологических платежей, платы за размещение отходов	Применимо в отрасли
НДТ 7	Применение систем селективной выемки добываемой руды	Снижение расхода ВВ и электроэнергии, сокращение выбросов	Подземная разработка месторождения

НДТ	Затраты	Экономический эффект	Примечание/ Ограничения
НДТ 8	Приобретение самоходного оборудования с дизельными двигателями, оснащенными современными каталитическими нейтрализаторами.	Снижение энергозатрат, сокращение выбросов	Применимо в отрасли
НДТ 9	Приобретение более эффективных ВМ	Снижение техногенного воздействия взрывов, сокращение выбросов	Применимо в отрасли
НДТ 10	Затраты на организацию систем пылеподавления при хранении, погрузочно-разгрузочных работах и транспортировки горной массы.	Снижение пылевых выбросов	Применимо в отрасли
НДТ 11	Затраты на приобретение систем орошения	Снижение пылевых выбросов	Применимо в отрасли
НДТ 12	Затраты на рекультивационные работы	Снижение пылевых выбросов	Применимо в отрасли
НДТ 13	Затраты на приобретение сепараторов	Сокращение массы минерального сырья, поступающего на первичную переработку	Применимо в отрасли
НДТ 14	Затраты на оборудование	Выделение гравиоконцентрата с высоким содержанием металла	Применимо в отрасли
НДТ 15	Затраты на оборудование	Выделение флотоконцентрата с высоким содержанием металла	Применимо в отрасли
НДТ 16	Затраты на оборудование	Выделение гравио- и флотоконцентратов с высоким содержанием металла	Применимо в отрасли
НДТ 17	Первичная переработка концентратов с высоким содержанием металла	Применение оборудования меньших размеров, сокращение расхода реагентов	Применимо в отрасли
НДТ 18	Первичная переработка концентратов с высоким содержанием металла	Применение оборудования меньших размеров, сокращение расхода реагентов	Применимо в отрасли

НДТ	Затраты	Экономический эффект	Примечание/ Ограничения
НДТ 19	Затраты на оборудование	Выделение гравиоконцентратов с высоким содержанием металла, повышение извлечения металла	Применимо в отрасли
НДТ 20	Затраты на оборудование	Повышение извлечения металла	Применимо в отрасли
НДТ 21	Затраты на приобретение автоклавного и вспомогательного оборудования	Повышение извлечения металла	Применимо в отрасли
НДТ 22	Затраты на оборудование	Извлечение металла	Применимо в отрасли
НДТ 23	Затраты на оборудование	Извлечение металла	Применимо в отрасли
НДТ 24	Затраты на оборудование	Извлечение металла	Применимо в отрасли
НДТ 25	Затраты на приобретение обогатительного и гидрометаллургического оборудования	Возможность повторной добычи драгоценных металлов из лежалых хвостов амальгамации	Вторичная переработка лежалых хвостов
НДТ 26	Затраты на приобретение дополнительного оборудования для бисерного измельчения, фильтрации и кондиционирования растворов	Повышение извлечения золота из упорных концентратов до 70 – 80 % и более	Применимо к упорным рудам и концентратам
НДТ 27	Строительство установок или обогатительных минифабрик для переработки гравиоконцентратов. Приобретение дополнительных реагентов-ускорителей	Получение дополнительного металла за счет более полной переработки концентратов и выдача более качественной продукции – слитков золото лигатурное.	Применимо в отрасли
НДТ 28	Затраты на приобретение средств автоматики и газоочистного оборудования	Снижение количества выбросов	Применимо в отрасли
НДТ 29	Затраты на строительство оснований под рудные штабели, приобретение оборудования для подготовки руды, укладки штабелей и извлечения металла	Снижение капитальных и эксплуатационных затрат	Применимо в отрасли
НДТ 30	Затраты на бурение откачных и закачных скважин, приобретение оборудования для извлечения металла	Снижение капитальных и эксплуатационных затрат	Применимо в отрасли

НДТ	Затраты	Экономический эффект	Примечание/ Ограничения
НДТ 31	Затраты на приобретение горнотранспортного оборудования	Снижение количества складируемых пустых пород на поверхности и предотвращение изъятие земель под склады для пород	Применимо в отрасли
НДТ 32	Затраты на приобретение горнотранспортной техники	Снижение платы за отходы, сокращение количества сбросов	Применимо в отрасли
НДТ 33	Затраты на организацию учета складируемых вскрышных пород	Снижение платы за отходы	Применимо в отрасли
НДТ 34	Затраты на строительство установки для кондиционирования и на приобретение дополнительных реагентов.	Регенерация из отработанных технологических растворов свободного цианида, применение полного оборотного водоснабжения, получение ликвидного дорогостоящего продукта – медного концентрата	Применимо в отрасли при переработке руд драгоценных металлов с повышенным содержанием меди.
НДТ 35	Затраты на строительство площадок россыпной добычи специальных конструкций, нагорных канав, руслоотводных каналов, плотин илоотстойников	Организация оборотного водоснабжения со снижением техногенного воздействия на гидросферу района проведения работ	Применимо при разработке россыпных месторождений
НДТ 36	Затраты на строительство прудов отстойников	Снижение содержания вредных веществ в сбросах	Применимо в отрасли
НДТ 37	Затраты на строительство прудов-отстойников, фильтрующих дамб, биологических прудов	Снижение техногенного воздействия карьерных и шахтных вод на гидросферу района проведения работ	Применимо в отрасли
НДТ 38	Затраты на строительство очистных установок и на обезвреживающие реагенты.	Снижение содержания вредных веществ в сбросах	Применимо в отрасли

НДТ	Затраты	Экономический эффект	Примечание/ Ограничения
НДТ 39	Затраты на установку по извлечению драгоценных металлов из вод хвостохранилища	Извлечение дополнительного количества золота из хвостов	Применимо в отрасли
НДТ 40	Затраты проведение специальных тестов и НИР, обосновывающих возможность и перспективность вторичной переработки хвостов гидрометаллургии и обогащения после их длительного хранения в хвостохранилищах. Организационные мероприятия на ведение учета складируемых в хвостохранилища хвостов.	Исключение из класса отходов хвостов гидрометаллургии и обогащения. Исключение применения к этим хвостам понятия «класс опасности» (т.к. это не отходы). Обнуление платы за размещаемые в хвостохранилищах хвосты гидрометаллургии и обогащения.	Применимо в отрасли
НДТ 41	Затраты на организацию установки по обработке цианидсодержащей хвостовой пульпы формальдегидом и на приобретение обезвреживающего реагента – формалина..	Защита окружающей природной среды (атмосферы и гидросферы) от техногенного влияния технологии цианирования. Сокращение затрат на эти цели в 20 – 50 раз по сравнению с традиционными технологиями.	Применимо в отрасли
НДТ 42	Затраты на приобретение оборудования – центробежных концентраторов	Извлечение дополнительного количества золота из хвостов	Применимо в отрасли
НДТ 43	Затраты на кондиционирование оборотноых вод и их перекачку в технологические процессы	Сокращение потребления свежей воды, снижение, вплоть до полного исключения, сброса сточных вод.	Применимо в отрасли

Раздел 7. Перспективные технологии

В разделе рассмотрены перспективные технологии (**ПТ**), реализация которых позволит улучшить технико-экономические показатели процесса добычи драгоценных металлов, повысить эффективность охраны окружающей среды:

ПТ-1. Обжиг мышьяковистых концентратов с последующим цианированием

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

ПТ-2. Цианирование медистых руд

Цианирование медистых руд *(либо продуктов обогащения*) с кондиционированием хвостовых растворов. Технология включает 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.

ПТ-3. Тиокарбамидное выщелачивание концентратов.

Тиокарбамидное выщелачивание богатых золото- и серебросодержащих концентратов. Технология включает 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.

ПТ-4. Цианирование золотосодержащих хвостов обогащения полиметаллических руд.

Цианирование золотосодержащих хвостов обогащения полиметаллических руд. Технология включает 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).

ПТ-5 Обезвреживание от токсичных соединений озоном

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

ПТ-6 Ионообменная очистка шахтных и карьерных вод

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

ПТ-7 Кондиционирование технологических растворов и оборотных вод с использованием озона

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

Заключительные положения и рекомендации

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Добыча драгоценных металлов» подготовлен в соответствии с Поэтапным графиком создания в 2015 - 2017 годах справочников наилучших доступных технологий, утвержденным распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р [10], и правилами определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 [7].

Окончательный состав ТРГ 49 «Добыча драгоценных металлов» был утвержден протоколом совещания под председательством заместителя Министра промышленности и торговли Российской Федерации В.С.Осьмакова от 18 мая 2017 года № 24-ОВ/12.

№ п/п	Ф.И.О	Организация
1	Бакун Елена Юрьевна	Нордголд Менеджмент
2	Бииц Николай Александрович	АО «Золоторудная компания Павлик»
3	Бурдин Максим Викторович	ФГУП «ГХК»
4	Бутовский Руслан Олегович	ФГБУ «ВНИИ Экология»
5	Вардиков Арсен Генрихович	Росприроднадзор
6	Войлошников Григорий Иванович	АО «Иргиредмет»
7	Горлов Игорь Геннадьевич	ФГБУ «ВИМС»
8	Гришаев Сергей Иванович	Минпромторг России
9	Жарехин Андрей Александрович	ООО «УК Полюс»
10	Желтова Лариса Михайловна	АО «Золоторудная компания Павлик»
11	Житенко Людмила Петровна	Гохран России
12	Захарова Юлия Сергеевна	Нордголд Менеджмент
13	Икрянников Валентин Олегович	Минпромторг России

№ п/п	Ф.И.О	Организация
14	Короленко Ирина Александровна	ГИЦ ГмбХ
15	Крикалова Ольга Сергеевна	Росприроднадзор
16	Леманова Светалана Александровна	АО «Полиметалл УК»
17	Луняшин Павел Дмитриевич	НО «Союз старателей России»
18	Миклин Юрий Алексеевич	АО «Заводская компания металлов»
19	Миляков Виктор Александрович	АО «НИИ Атмосфера»
20	Минеев Сергей Дмитриевич	ООО «РДМ»
21	Петров Владимир Феофанович	АО «Иргиредмет»
22	Писарев Алексей Александрович	ООО «УК Полюс»
23	Писчасова Оксана Георгиевна	АО «Полиметалл УК»
24	Полищук Максим Игоревич	ГИЦ ГмбХ
25	Седельникова Галина Васильевна	ФГУП «ЦНИГРИ»
26	Смольков Константин Геннадьевич	Акционерное общество «Южуралзолото Группа Компаний»
27	Соколова Мария Александровна	ООО «Ай Эм Си Монтан»
28	Тараканов ский Виктор Иванович	НО «Союз старателей России»
29	Татаринова Ирина Николаевна	ПАО «Высочайший»
30	Темнов Александр Викторович	Минприроды России
31	Тощев Дмитрий Анатольевич	ФГУП «ВНИИ СМТ»
32	Троицкий Виктор Владимирович	АО «Золоторудная компания Павлик»
33	Хан Сергей Алексеевич	Минпромторг России

Публичное обсуждение справочника НДТ проходило с 29 сентября 2017 года по 29 октября 2017 года.

Экспертиза проекта справочника НДТ была проведена профильным техническим комитетом по стандартизации ТК 113 «Наилучшие доступные технологии».

В целях сбора информации о применяемых на горнодобывающих предприятиях технологических процессах, оборудовании, источниках загрязнения окружающей среды, технологических, технических и организационных мероприятиях, направленных на снижение негативного воздействия на окружающую среду, повышение энергоэффективности и ресурсосбережения, была подготовлена унифицированная анкета и направлена в адреса всех крупных холдингов, осуществляющих деятельность в сфере добычи драгоценных металлов и попадающих под область распространения данного справочника НДТ. Всего было получено 19 заполненных анкет от предприятий. По результатам анкетирования охвачены предприятия, обеспечивающие более 50 % валовой добычи в рассматриваемой отрасли промышленности.

Сведения, полученные в результате анкетирования, были использованы при разработке настоящего справочника НДТ.

Справочник НДТ согласован членами ТРГ 49 в соответствии с установленной процедурой. Протоколы голосования имеются в деле справочника НДТ и хранятся в Бюро НДТ.

Исполнители разделов настоящего справочника НДТ:

Раздел	Исполнители[1)]
Введение	Войлошников Г.И.
Предисловие	Петров В.Ф.
Область применения	Петров В.Ф.
Раздел 1. Общая информация о рассматриваемой отрасли промышленности	Войлошников Г.И., Петров В.Ф.
Раздел 2 Описание технологических процессов, используемых в настоящее время при добыче драгоценных металлов	Петров В.Ф., Новикова С.А.,Эвертовский В.М., Бывальцев А.В.
Раздел 3. Воздействие на окружающую среду и текущие уровни эмиссии	Петров В.Ф., Новикова С.А.,
Раздел 4. Определение наилучших доступных технологий	Петров В.Ф.
Раздел 5. Наилучшие доступные технологии	Петров В.Ф., Войлошников Г.И., Пятаков В.Г., Бывальцев А.В.
Раздел 6. Экономические аспекты применения наилучших доступных технологий при добыче драгоценных металлов	Петров В.Ф.

Раздел 7. Перспективные технологии	Петров В.Ф., Войлошников Г.И.
Заключительные положения	Петров В.Ф., Войлошников Г.И.
Приложения	Петров В.Ф.
[1] АО «Иргиредмет» (Иркутск)	
Примечание: активное участие в работе над различными разделами справочника принимали специалисты ООО «УК Полюс» (Писарев А.А.), АО «Полиметалл УК» (Леманова С. А.) и Нордголд Менеджмент (Бакун Е. Ю.)	

Справочник НДТ подготовлен также с учетом материалов справочника Европейского союза по наилучшим доступным технологиям по обращению с отходами и пустыми породами горнодобывающей промышленности [8].

Рекомендуется продолжать дальнейшую работу в следующих направлениях:

- сбор (накопление) данных, чтобы оценить состояние определенных технических решений на уровне предприятий, особенно потенциальные НДТ;
- сбор данных по стоимости (инвестиции, эксплуатационные расходы), относящихся ко всем техническим решениям, учитываемым при определении НДТ.

Приложение А
(справочное)

Коды ОКВЭД и ОКПД, соответствующие области применения настоящего справочника НДТ

ОКПД *	Наименование продукции по ОКПД	Наименование вида деятельности по ОКВЭД	ОКВЭД **
Раздел В	Продукция горнодобывающих производств	Добыча полезных ископаемых	Раздел В
07	Руды металлические	Добыча металлических руд	07
07.2	Руды цветных металлов	Добыча руд цветных металлов	07.2
07.29.1	Руды и концентраты прочих цветных металлов	Добыча руд прочих цветных металлов	07.29
07.29.14	Руды и концентраты драгоценных металлов	Добыча руд и песков драгоценных металлов и руд редких металлов	07.29.4
07.29.14.111	Руды серебряные	Добыча руд и песков драгоценных металлов (золота, серебра и металлов платиновой группы)	07.29.41
07.29.14.121	Руды золотосодержащие	—	—
07.29.14.131	Руды металлов платиновой группы	—	—

* Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности.
** Общероссийский классификатор видов экономической деятельности.

Приложение Б

(обязательное)

Перечень маркерных веществ

№	Для атмосферного воздуха	Для водных объектов
1	Взвешенные вещества	Взвешенные вещества
2	Гидроцианид (водород цианистый)	—
3	Сероводород	—
4	Сероуглерод	—

Приложение В

(обязательное)

Перечень технологических показателей

В1. Для атмосферного воздуха

Таблица В.1 — Технологические показатели маркерных веществ при применении НДТ в области минимизации негативного воздействия на атмосферный воздух при разработке россыпных и коренных (рудных) месторождений драгоценных металлов

№	Наименование вещества [1]	Код	Единица измерения	Технологический показатель
1	Взвешенные вещества	2902	мг/м^3	≤ 0,5[2]
[1]Перечень маркерных веществ справедлив для добычи драгоценных металлов на коренных и россыпных месторождениях				
[2]Замеры осуществляются на границе СЗЗ предприятия согласно программе производственного экологического контроля				

Таблица В.2 — Технологические показатели маркерных веществ содержащихся в аспирационном воздухе при применении НДТ в области минимизации негативного воздействия на атмосферный воздух при первичной переработке минерального сырья

№	Наименование вещества	Код	Технологический передел	Ед. изм.	Технологический показатель
1	Взвешенные вещества	2902	Рудоподготовка	мг/м^3	≤ 500[1)]
2	Гидроцианид (водород цианистый)	0317	Приготовление растворов реагентов, цианирование и сорбция, регенерация, обезвреживание	мг/м^3	≤ 500[1)]
3	Сероводород[2)]	0333	Флотационное обогащение[4)]	мг/м^3	≤ 100[1)]
4	Сероуглерод[3)]	0334	Флотационное обогащение[4)]	мг/м^3	≤ 300[1)]
[1]Среднее значение за период отбора. [2]При использовании в качестве флотореагента сернистого натрия. [3]При использовании в качестве флотореагента бутилового ксантогената калия. [4]Данные технологические показатели используются, только если на фабрике технология флотационного обогащения является единственной технологией первичной переработки минерального сырья.					

В 2. Для водных объектов

Таблица В.3 — Технологические показатели маркерных веществ при применении НДТ в области минимизации негативного воздействия на водные объекты при извлечении минерального сырья из недр открытым и подземным способом

№	Наименование вещества [1)]	Единица измерения	Технологический показатель
1	Взвешенные вещества	мг/л	≤ 30[2)]
[1]Перечень загрязняющих (маркерных) веществ справедлив для добычи драгоценных металлов на коренных и россыпных месторождениях			
[2]Замеры осуществляются согласно программе производственного экологического контроля предприятия			

Приложение Г

(обязательное)

Перечень НДТ

№ НДТ	Наименование НДТ
НДТ 1	Оптимизация технологии снятия талого слоя песков
НДТ 2	Замена бульдозерной транспортировки песков и торфов на автотранспортную
НДТ 3	Выемка песков электрическими карьерными экскаваторами
НДТ 4	Применение современной горнотранспортной техники
НДТ 5	Использование современных систем инициирования
НДТ 6	Закладка выработанного пространства
НДТ 7	Увеличение доли селективной добычи руды
НДТ 8	Оборудование двигателей современными каталитическими нейтрализаторами
НДТ 9	Использование новых эффективных взрывчатых веществ и передовых технологий взрывания
НДТ 10.	Организация хранения, перегрузки и транспортировки горной массы
НДТ 11	Орошение пылящих поверхностей
НДТ 12	Рекультивация пылящих поверхностей
НДТ 13	Применение предварительной рентгенорадиометрической или фотометрической сепарации
НДТ 14	Обогащение гравитационными методами
НДТ 15	Обогащение флотационными методами
НДТ 16	Применение комбинированных схем гравитационно-флотационного обогащения
НДТ 17	Флотационное обогащение со складированием хвостов в наливное (намывное) хвостохранилище
НДТ 18	Флотационное обогащение с фильтрацией хвостов и складированием кеков на полигоне (хвостохранилище)
НДТ 19	Применение скоростной флотации в цикле измельчения
НДТ 20	Бактериальное вскрытие минерального сырья
НДТ 21	Автоклавное вскрытие минерального сырья
НДТ 22	Цианирование со складированием хвостов в наливное (намывное) хвостохранилище
НДТ 23	Цианирование с фильтрацией хвостов и складированием кеков на полигоне-хвостохранилище
НДТ 24	Цианирование, фильтрация, осаждение драгоценных металлов цинковой пылью
НДТ 25	Переработка лежалых хвостов амальгамации
НДТ 26	Переработка упорных золотосодержащих концентратов с применением сверхтонкого помола

№ НДТ	Наименование НДТ
НДТ 27	Интенсивное цианирование золотосодержащих гравиоконцентратов,
НДТ 28	Применение технологических методов и оборудования для снижения выбросов загрязняющих веществ при первичной переработке минерального сырья
НДТ 29	Кучное выщелачивание
НДТ 30	Подземное выщелачивание
НДТ 31	Использование вскрышных и вмещающих пород
НДТ 32	Применение специальных систем складирования вскрышных и вмещающих пород
НДТ 33	Формирование месторождений общераспространенных полезных ископаемых из складируемых вскрышных пород
НДТ 34	Кондиционирование медьсодержащих цианистых растворов
НДТ 35	Оптимизация конструктивных параметров площадок россыпной добычи
НДТ 36	Организация прудов-отстойников карьерных и шахтных вод
НДТ 37	Очистка сбрасываемых карьерных и шахтных вод
НДТ 38	Обезвреживание цианидсодержащих хвостовых пульп реагентами
НДТ 39	Доизвлечение металла в хвостохранилище
НДТ 40	Формирование техногенных месторождений драгоценных металлов в местах складирования хвостов
НДТ 41	Применение сезонных технологий обезвреживания хвостовых пульп
НДТ 42	Обработка хвостов цианирования в центробежных сепараторах с извлечением недорастворенного золота
НДТ 43	Оборотное водоснабжение процессов первичной переработки минерального сырья, содержащего драгоценные металлы

Приложение Д

(обязательное)

Энергосбережение и повышение энергоэффективности

Краткая характеристика отрасли с точки зрения ресурсо- и энергопотребления

Предприятия, добывающие драгоценные металлы, относятся к числу энергоемких производств.

Характерной чертой промышленности по добыче драгоценных металлов является рост удельных энергозатрат на грамм добываемого металла. Увеличение энергопотребления вызывается в основном следующими причинами:

- качественными изменениями перерабатываемого минерального сырья, а именно снижением содержания извлекаемых металлов;
- разработкой ограниченных по запасам месторождений со строительством горнодобывающих комплексов относительно небольшой производительности;
- расположением месторождений в районах, удаленных от существующих инфраструктурных образований – транспортных магистралей, линий электропередач и т.п.
- усложнением горно-геологических условий добычи минерального сырья;
- вовлечением в переработку руд все более сложного состава, содержащих «упорные» к первичной переработке драгоценные металлы, требующие применения более сложных и дорогих технологий извлечения;

Российские предприятия по добыче драгоценных металлов используют в своей деятельности два вида энергоресурсов – электроэнергию и жидкое топливо, в основном дизельное. Электроэнергию получают из линий электропередач или, при их отсутствии, дизельными электростанциями. Уголь, при возможности его доставки или наличии пригодных к разработке местных месторождений, используется для отопления жилых и производственных помещений.

Энергетические затраты в себестоимости продукции, в зависимости от места расположения предприятия, содержания металла в добываемой руде, применяемой технологии добычи и первичной переработки составляют от 6 % до 20 % и более.

Структура энергопотребления предприятия добычи драгоценных металлов может быть представлена двумя основными блоками:

1. Энергопотребление при добыче из рудных тел минерального сырья технологического оборудования шахт или карьеров – бурильных станков и установок, погрузочных и погрузочно-транспортных машин, рудничного транспорта и др.

Энергоэффективность добычного технологического оборудования может быть улучшена за счет применения новых, более эффективных горных машин повышенной производительности, благодаря чему удельные затраты энергии будут снижаться.

2. Энергопотребление при первичной переработке добытого минерального сырья на фабриках. Наиболее энергоемкими являются операции рудоподготовки – дробление, измельчение. Повышение энергоэффективности может быть достигнуто: за

счет достижения оптимальной крупности материала , поступающего на операции обогащения и гидрометаллургии, без его переизмельчения; использованием передовых энергоэффективных технологий помола – полусамоизмельчения и самоизмельчения, применением нового более производительного дробильно-измельчительного оборудования, мельниц с облегченной футеровкой и т.п. Перспективы имеет использование приводов с регулируемой скоростью (ПРС) в установках со значительными колебаниями нагрузки (мельницы, дробилки).

В таблице В-1 приведены удельные показатели энергопотребления основных процессов добычи драгоценных металлов, достигнутые современными предприятиями, совершенствующими существующие технологические процессы с точки зрения повышения энергоэффективности и внедряющие новые подходы в политике снижения расхода электроэнергии.

На удельное энергопотребление основное влияние оказывают следующие факторы:

- физико-химические свойства обрабатываемого минерального сырья, его твердость;
- степень измельчения, обеспечивающая достаточно высокое извлечение драгоценных металлов;
- масштаб производства и удельная производительность используемых механизмов и оборудования.

Таблица Д.1 — Удельные показатели энергопотребления при добыче драгоценных металлов

Наименование процесса	Единица продукции	Удельный расход электроэнергии, кВт·ч
Добыча руд драгоценных металлов:		
- подземная	1 т руды	35–45
- открытая	1 т руды	10–15
Обогатительные фабрики:		
Гравитационно-обогатительная фабрика	1 т руды	17–20
Флотационная фабрика	1 т руды	20 -30
Фабрика с гидрометаллургической первичной переработкой руды/концентрата	1 т руды	25–35

Наилучшие доступные технологии, направленные на повышение энергоэффективности

Наилучшие доступные технологии, содержащие решения по повышению энергоэффективности при добыче драгоценных металлов, приведены в таблице Д-2.

Таблица Д.2 — Наилучшие доступные технологии, направленные на повышение энергоэффективности

№ НДТ	Наименование НДТ	Примечание

НДТ 1	Оптимизация технологии снятия талого слоя песков	Применение более производительного и экономичного колесного автотранспорта
НДТ 2	Замена бульдозерной транспортировки песков и торфов на автотранспортную	
НДТ 3	Выемка песков электрическими карьерными экскаваторами	Применение более производительной техники
НДТ 4	Применение современной горнотранспортной техники	
НДТ 6	Закладка выработанного пространства	Снижение затрат на транспортировку пустой породы
НДТ 7	Увеличение доли селективной добычи	
НДТ 10	Организация хранения, перегрузки и транспортировки горной массы	Применение оптимальных схем управления горной массой
НДТ 21	Автоклавное вскрытие упорного минерального сырья	Вскрытие материала за счет энергии окисления сульфидов
НДТ 29	Кучное выщелачивание	Упрощенная рудоподготовка
НДТ 30	Подземное выщелачивание	Отсутствие рудоподготовки
НДТ 35	Оптимизация конструктивных параметров площадок россыпной добычи	Применение оптимальных схем управления горной массой

Экономические аспекты реализации НДТ, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

Затраты на электроэнергию и энергетические ресурсы играют значительную роль в расходах предприятий, добывающих драгоценные металлы, особенно отрабатывающих месторождения подземным способом и осуществляющих электроснабжение дизельными электростанциями.

Неоптимальное функционирование энергосистем предприятия способно привести к увеличению эксплуатационных затрат.

Приложение Е

(справочное)

Перечень основного технологического оборудования, применяемого при добыче драгоценных металлов

Россыпные месторождения
Бульдозеры
Скреперы
Автосамосвалы
Экскаваторы
Погрузчики
Драги
Дезинтеграторы
Грохота бочечные
Грохота пластинчатые
Грохота вибрационные
Дезинтеграторы
Приборы промывочные
Шлюзы
Гидровашгерды
Отсадочные машины
Центробежные сепараторы
Концентрационные столы
Насосные установки
Дизельные электростанции
Открытая добыча руд драгоценных металлов
Самосвалы
Рельсовый транспорт

Буровые станки
Экскаваторы
Бульдозеры
Смесительно-зарядные машины
Грохота
Дробилки крупного дробления
Оборудование для измельчения негабаритных кусков породы, бутобои
Оборудование для перевозки материалов и людей
Подземная добыча руд драгоценных металлов
Самосвалы
Конвейера
Рельсовый транспорт
Вагонетки
Скиповой транспорт
Подъемники
Погрузочно-доставочные машины
Скреперы
Ручные перфораторы
Телескопные перфораторы
Самоходные перфораторные установки
Оборудование для оборки кровли
Оборудование для возведения крепления
Оборудование для измельчения негабаритных кусков породы и руды, бутобои
Первичная переработка руды на золотоизвлекательных фабриках
Самосвалы
Весы автомобильные
Бульдозера

Механические лопаты
Бункерное оборудование
Грохота неподвижные
Оборудование для измельчения негабаритных кусков руды, бутобои
Конвейера ленточные
Весы конвейерные
Питатели вибрационные
Питатели шнековые
Мельницы самоизмельчения
Мельницы полусамоизмельчения
Мельницы шаровые
Классификаторы
Гидроциклоны
Машина отсадочная
Концентратор центробежный
Сепаратор магнитный
Машины флотационные
Столы концентрационные
Зумпфы
Баковое оборудование
Столы концентрационные
Магнитные сепараторы
Сгустители
Агитаторы механические, контактные чаны
Агитаторы пневмомеханические
Пачуки
Грохота вибрационные

Колонны промывочные
Колонны для десорбции
Электролизеры
Нутч-фильтры
Пресс-фильтры
Дисковые фильтры
Барабанные фильтры
Аппарат для вскрытия барабанов с реагентами
Компрессоры
Насосы центробежные
Насосы песковые
Насосы дренажные
Циклоны
Скрубберы
Пылеуловители
Скоростные промыватели
Мультивихревые гидрофильтры

Библиография

1. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2016).
2. ГОСТ Р 56828.14-2016 Наилучшие доступные технологии. Структура информационно-технического справочника. —М.: Стандартинформ, 2016. — 16с.
3. ГОСТ Р 56828.13-2016 Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий. —М.: Стандартинформ, 2016. — 8с.
4. ГОСТ Р 56828.15-2016 Наилучшие доступные технологии. Термины и определения. —М.: Стандартинформ, 2016. — 50с.
5. Федеральный закон от 23 июня 2016 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об актах гражданского состояния».
6. Федеральный закон от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».
7. Постановлением Правительства Российской Федерации от 23.12.2014 г. № 1458 «О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям».
8. Проект справочника ЕС по НДТ для обращения с отходами отраслей добывающей промышленности [BREF for the Management of Waste from the Extractive Industries, 2016 Draft].
9. Приказ Федеральной службы по техническому регулированию и метрологии от 23 июня 2015 г. № 863 «Об утверждении порядка сбора данных, необходимых для разработки информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям и анализа приоритетных проблем отрасли».
10. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р «Об утверждении поэтапного графика создания в 2015-2017 годах справочников наилучших доступных технологий».
11. Федеральный закон от 26.03.1998 N 41-ФЗ (ред. от 03.07.2016) «О драгоценных металлах и драгоценных камнях».
12. Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. gost.e-ecolog.ru
13. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2015 году» / Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – Москва, 2016.
14. Брайко В. Н., Иванов В. Н., Тарakановский В. И. Проблемы нормативно-правового регулирования рационального использования недр при добыче драгоценных металлов. — 2009. — №5. —С.59–62. Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. Издательство: ООО «РГ-Информ» (Москва).
15. Саксин, Б. Г. Прогнозная экологическая оценка регионального воздействия горных работ на окружающую природную среду при добыче цветных и редких металлов на востоке России / Б. Г. Саксин // Тихоокеанская геология / Институт горного дела ДВО РАН. — Хабаровск : Институт тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина Дальневосточного отделения РАН. — 2008. — Т. 27. — № 5. — С. 115–123.
16. Закон РФ от 21.02.1992 N 2395-1 (ред. от 30.09.2017) «О недрах»

17. Дудинский Ф.В., Нечаев К.Б. Определение основных параметров открытой разработки месторождений с горизонтальным и пологим залеганием пласта // Вестник ИрГТУ. 2014. № 11 (94). С. 122- 127.
18. Костромин М.В., Грешилов Д.М. Эксплуатационные потери песков в межшаговых и межходовых целиках при дражной разработке россыпей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2012. № 8. С. 80-87.
19. Справочник по разработке россыпей. / Под общей редакцией В.П. Березина, В.Г. Лешкова, Л.П. Мацуева, С.В. Потемкина. – М.: Недра, 1973. – 502 с.
20. Костромитинов К.Н., Лысков В.М. Оценка эффективности отработки месторождений драгоценных металлов. – Иркутск: Изд-во БГУЭП, 2015. – 530 с.
21. Костромин М.В., Юргенсон Г.А., Ползутко С.Г. Проблемы дражной разработки континентальных россыпей. – Новосибирск: Наука, 2007. – 180 с.
22. Yurgenson G.A. Geotechnogeneisis problems / G.A. Yurgenson // J. Geosci. – 2004. – Vol. 7 (1). – P. 92–96.
23. Talgamer B.L., Machno D.E. The nature protection technology of dragging/ 8th International IAEG Congress. – 2000 Balkema, Rotterdam. ISBN 9054109904. 4363-4365.
24. Аман И.П. Открытая разработка месторождений. ПГТУ, Пермь, 2005 г., 84 с.
25. Ю. В. Михайлов Подземная разработка месторождений полезных ископаемых Издательства Academia, 2008, 354 с.
26. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Комбинированная разработка рудных месторождений. Горная книга, 2012, 344 с.
27. Андреев Б.Н., Ошмянский И.Н., Черных А.Д. Открыто-подземная разработка рудных месторождений. :Техника, Киев, 2010 г., 520 с.
28. Арсентьев А.И. Разработка месторождений твердых полезных ископаемых открытым способом. Санкт-Петербургский горный интститут, Санкт-Петербург, 2009 г., 136
29. Котляр Ю. А. Металлургия благородных металлов / Ю. А. Котляр, М. А. Меретуков. — М. : АСМИ, 2002. — 466 .
30. Бочаров В. А., Игнаткина В. А., Абрютин Д.В. Технология переработки золотосодержащего сырья. - М.:Изд. Дом МИСиС, 2011, 328 с.
31. Баликов С.В., Дементьев В.Е. Золото: Свойства. Геохимические аспекты. Иркутск, ОАО «Иргиредмет», 2015.-327 с.
32. Баликов С.В., Дементьев В.Е. Золото: Геологические аспекты Иркутск, ОАО «Иргиредмет», 2015. - 414 с.
33. Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 31 марта 2015 г. №665 «Об утверждении методических рекомендаций по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии».
34. Токмаков П.И., Коваленко В. С., Михайлов А. М., Калашников А. Т. Экология и охрана природы при открытых горных работах. Изд-во Моск. Гос. Горного ун-та. М., 1994. 418 с

gost.e-ecolog.ru