ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ИНФОРМАЦИОННО-
ТЕХНИЧЕСКИЙ
СПРАВОЧНИК
ПО НАИЛУЧШИМ
ДОСТУПНЫМ
ТЕХНОЛОГИЯМ

ИТС
23 –
2017

ДОБЫЧА И ОБОГАЩЕНИЕ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Москва
Бюро НДТ
2017

Содержание

Введение VI
Предисловие VIII
Область применения 1
Раздел 1 Общая информация о рассматриваемой отрасли 2
промышленности 2
1.1 Добыча руд 2
1.1.1 Медные руды 2
1.1.2 Никелевые руды 9
1.1.3 Свинцовые и цинковые руды 13
1.1.4 Руды и россыпи олова 25
1.1.5 Руды и россыпи вольфрама 29
1.1.6 Руды молибдена 34
1.1.7 Руды и россыпи титана 37
1.1.8 Алюминиевое сырье 42
1.2 Обогащение руд 47
1.2.1 Медные руды 47
1.2.2 Медно-цинковые руды 49
1.2.3 Свинцовые полиметаллические руды 50
1.2.4 Медно-никелевые кобальтсодержащие руды 50
1.2.5 Руды и россыпи олова 57
1.2.6 Руды и россыпи титана 59
1.2.7 Вольфрамо-молибденовые руды 62
1.2.8 Алюминийсодержащее сырье 63
1.3 Ресурсный потенциал отходов горно-металлургических производств 64
1.4 Основные экологические проблемы 66
Раздел 2. Описание технологических процессов при добыче и обогащении руд
цветных металлов 71
2.1 Открытая добыча руд цветных металлов 71
2.1.1 Общие положения 71
2.1.2 Снятие и складирование почвы 73
2.1.3 Вскрытие 73
2.1.4 Системы разработки 74
2.1.5 Буровзрывные работы 80
2.1.6 Добычные работы 80
2.1.7 Транспорт 81
2.1.8 Обращение с породами 82
2.2 Подземная добыча руд цветных металлов 83
2.2.1 Общие сведения 83
2.2.2 Вскрытие 84
2.2.3 Системы разработки 86
2.2.4 Скважинные технологии добычи руд 89
2.2.5 Отбойка и дробление руд 90
2.2.6 Доставка 93
2.2.7 Выпуск руды 94

2.2.8 Поддержание выработанного пространства 95
2.2.9 Транспорт и подъем 99
2.2.10 Шахтный водоотлив 99
2.2.11 Рудничная вентиляция 100
2.2.12 Обращение с пустыми породами 100
2.3 Обогащение руд цветных металлов 101
2.3.1 Подготовительные процессы 101
2.3.1.1 Дробление руд 101
2.3.1.2 Измельчение руд 106
2.3.1.3 Классификация материалов 107
2.3.2 Основные методы обогащения руд 110
2.3.2.1 Разделение по крупности 111
2.3.2.2 Гравитационные методы обогащения 111
2.3.2.3 Магнитные методы обогащения 111
2.3.2.4 Флотационные методы обогащения 112
2.3.2.5 Электрические методы обогащения 112
2.3.2.6 Специальные методы подготовки и обогащения 113
2.3.3 Химические процессы в комбинированных схемах обогащения 114
2.3.4 Вспомогательные процессы 115
2.3.5 Аппараты для обогащения руд цветных металлов 116
2.3.5.1 Аппараты гравитационного обогащения 116
2.3.5.2 Аппараты для разделения частиц по крупности 118
2.3.5.3 Аппараты для разделения частиц по крупности и плотности 118
2.3.5.4 Аппараты магнитной сепарации 120
2.3.5.5 Аппараты электрической сепарации 122
2.3.5.6 Аппараты флотационной сепарации 124
2.3.5.7 Аппараты для обезвоживания 125
2.4 Технология обогащения руд цветных металлов 128
2.4.1 Процессы рудоподготовки 128
2.4.2 Медные сульфидные руды 128
2.4.3 Медные окисленные руды 130
2.4.4 Медно-цинково-пиритные руды 131
2.4.5 Медно-никелевые руды 135
2.4.6 Медно-кобальтовые руды 137
2.4.7 Медно-свинцово-цинково-пиритные руды 137
2.4.8 Свинцово-цинковые руды 142
2.4.9 Свинцовые руды 146
2.4.10 Титановые руды 146
2.4.11 Вольфрамовые руды 147
2.4.12 Оловянные руды 150
2.4.13 Бокситы 152
2.5 Сточные воды обогатительных фабрик, их очистка и использование при обогащении руд 153
2.5.1 Сточные воды обогатительных фабрик 153
2.5.1.1 Общие сведения 153

2.5.1.2 Условия сброса сточных вод в водные водоемы 153
2.5.1.3 Характеристика сточных вод обогатительных фабрик 159
2.5.2 Очистка сточных вод 161
2.5.2.1 Очистка сточных вод от грубодисперсных веществ - осветление 161
2.5.2.2 Химическая очистка сточных вод 162
2.5.3 Использование сточных вод в процессах обогащения (оборотное водоснабжение) 164
2.5.3.1 Схемы оборотного водоснабжения 164
2.5.3.2 Подготовка сточных вод для использования их в обороте - кондиционирование 165
Раздел 3. Текущие уровни эмиссий в окружающую среду 166
3.1 Воздействие на окружающую среду при добыче руд 166
3.1.1 Пылегазовыделение при разработке месторождений открытым способом 166
3.1.2 Пылегазовыделение при подземной разработке месторождений 171
3.1.3 Шум и вибрация при открытой и подземной разработке 173
3.1.4 Сравнение открытых и подземных разработок 173
3.1.5 Сбросы в водные объекты при добыче руд 178
3.1.6 Воздействие при ликвидации 196
3.1.7 Воздействие при рекультивации 196
3.2 Обогащение руд цветных металлов 197
3.2.1 Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ 197
3.2.2Сбросы загрязняющих веществ в водные объекты 199
3.2.2.1 Общие положения 199
3.2.2.2 Характеристика техногенных вод 200
3.2.3 Размещение отходов обогащения руд 207
Раздел 4. Определение наилучших доступных технологий 222
Раздел 5 Наилучшие доступные технологии 224
5.1 Системы экологического менеджмента (СЭМ) 224
5.2 НДТ, направленные на снижение негативного воздействия при добычи руд цветных металлов 225
5.2.1 НДТ, направленные на снижение выбросов при добычи руд цветных металлов 225
5.2.1.1 Открытый способ разработки месторождений 225
5.2.1.2 Подземный способ разработки месторождений 227
5.2.2 НДТ, направленные на снижение негативного воздействия на водные ресурсы при добыче руд цветных металлов 228
5.2.3 НДТ, направленные на сокращение воздействия отходов 230
5.3 НДТ, направленные на снижение негативного воздействия при обогащении руд цветных металлов 230
5.3.1 НДТ, направленные на снижение негативного воздействия при подготовительных процессах, хранении, транспортировки и переработки сырья, получении селективных концентратов 230
5.3.2 НДТ, направленные на снижение выбросов при производстве концентратов цветных металлов 234

5.3.3 НДТ, направленные снижение негативного воздействия на водные ресурсы 235
5.4 Технологии обращения с отходами обогащения руд 236
5.5 НДТ в области энергосбережения и ресурсосбережения 237
5.6 НДТ в области рекультивации земель 239
5.7 Противоаварийные мероприятия 240
Раздел 6 Экономические аспекты реализации наилучших доступных технологий 243
6.1 Общие положения 243
6.2 Добыча руд цветных металлов 244
6.3 Обогащение руд цветных металлов 245
6.3.1 Технико-экономические показатели флотационных фабрик 245
6.3.2 Селективное извлечение металлов из сточных вод 246
6.3.3 Размещение отходов в выработанном пространстве рудников и карьеров 265
Раздел 7. Перспективные технологии 267
7.1 Перспективные технологии добычи руд цветных металлов 268
7.2 Перспективные технологии обогащения руд цветных металлов 282
Заключительные положения и рекомендации 285
Приложение А (справочное) Коды ОКВЭД и ОКПД, соответствующие области применения настоящего справочника НДТ 288
Приложение Б (обязательное) Перечень маркерных веществ и технологических показателей 290
Приложение В (обязательное) Перечень НДТ 292
Приложение Г (обязательное) Энергоэффективность 294
Приложение Д (справочное) Технологическое оборудование 301
Библиография 318

Введение

Настоящий информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Добыча и обогащение руд цветных металлов» (далее — справочник НДТ) является документом по стандартизации, разработанным в результате анализа технологических, технических и управленческих решений, применяемых при добыче и обогащении руд цветных металлов.

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 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.

Краткое содержание справочника НДТ

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.

Раздел 1. В разделе 1 представлена информация о состоянии и уровне развития добычи и обогащения руд цветных металлов в Российской Федерации. Описаны основные предприятия-производители и потребители цветных металлов, географическое расположение горно-обогатительных предприятий, вещественный состав и характеристика руд цветных металлов, качество товарной продукции. Также в разделе 1 приведен краткий обзор экологических аспектов добычи и обогащения руд цветных металлов.

Раздел 2. В разделе 2 представлено описание типовых процессов добычи и обогащения руд и россыпей цветных металлов, управления отходами горного производства, очистки сточных и кондиционирования оборотных вод.

Приведены сведения о химических и физических методах интенсификации процессов разделения минералов, методах обработки реагентов перед флотацией и их дозирования в процесс с целью сокращения расхода, методах энерго- и ресурсосбережения в процессах рудоподготовки и обогащения, мероприятиях по снижению потерь металлов с отвальными хвостами, уровне потребления основных и вспомогательных производственных материалов, контроле и управлении процессами обогащения руд цветных металлов и отходов горно-металлургических производств.

Раздел 3. В разделе 3 приведена информация о регламентируемых и фактических уровнях эмиссий в окружающую среду для существующих технологических процессов и дана оценка потребления сырья, топлива, вторичных сырьевых и энергетических ресурсов, характерных для добычи и обогащения руд и россыпей цветных металлов и отходов горно-металлургических производств в Российской Федерации, с указанием применяемых методов определения.

Раздел подготовлен на основе данных, представленных предприятиями РФ в рамках разработки настоящего справочника НДТ, а также различных литературных источников.

Раздел 4. В разделе 4 описаны подходы к определению НДТ, применяемые при разработке настоящего справочника НДТ, и соответствующие Правилам определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям (утверждены постановлением Правительства РФ от 23.12.2014 г. № 1458) и Методическим рекомендациям по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии (утверждены приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 31.03.2015 г. № 665).

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

Раздел 6. В разделе 6 приведены доступные сведения об экономических аспектах реализации НДТ на горно-обогатительных предприятиях Российской Федерации.

Раздел 7. В разделе 7 приведены сведения о перспективных технологических и технических решениях (не применяемых в России на момент подготовки настоящего справочника НДТ, но находящихся на стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ или опытно-промышленного внедрения), позволяющих повысить эффективность производства и снизить влияние на окружающую среду эмиссий загрязняющих веществ и отходов горно-обогатительного производства. Указаны условия, при которых перспективные технологии станут доступными экономически и технически.

Заключительные положения и рекомендации. Приведены сведения о членах технической рабочей группы (ТРГ 23), принимавших участие в разработке настоящего справочника НДТ. Даны рекомендации горно-обогатительным предприятиям по дальнейшим исследованиям экологических аспектов их деятельности.

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

Предисловие

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» [2].

1 Статус документа

Настоящий справочник НДТ является документом по стандартизации.

2 Информация о разработчиках

Настоящий справочник НДТ разработан технической рабочей группой «Добыча и обогащение руд цветных металлов» (ТРГ 23), состав которой утвержден приказом Росстандарта от 28 декабря 2016 г. № 2026 «О создании технической рабочей группы «Добыча и обогащение руд цветных 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) (www.burondt.ru).

3 Краткая характеристика

Справочник НДТ содержит описание применяемых при добыче и обогащении руд и россыпей цветных металлов и отходов горно-металлургических производств технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, в том числе позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду, потребление воды и сырья, повысить энергоэффективность. Из числа описанных технологических процессов, оборудования, технических способов, методов определены решения, являющиеся НДТ. В справочнике НДТ установлены технологические показатели НДТ, где это необходимо и возможно.

4 Взаимосвязь с международными, региональными аналогами

Справочник НДТ разработан в соответствии с Федеральным законом [1] (статья 28.1, пункт 7) на основе результатов анализа отрасли в Российской Федерации и с учетом материалов проекта справочника Европейского союза по наилучшим доступным технологиям по обращению с отходами и пустыми породами горнодобывающей промышленности (BREF for the Management of Waste from the Extractive Industries) [3].

5 Сбор данных

Информация о технологических процессах, оборудовании, технических способах, методах, применяемых при добыче и обогащении руд и россыпей цветных металлов и отходов горно-металлургических производств 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 Минпромторга России от 18 апреля 2017 г. № 1234.

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 [4], отражена в разделе "Область применения".

7 Информация об утверждении, опубликовании и введении в действие

Справочник НДТ утвержден приказом Росстандарта от 15 декабря 2017 г. №2839 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 (www.gost.ru).

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ДОБЫЧА И ОБОГАЩЕНИЕ РУД ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

Extraction and refining of non-ferrous metals

Дата введения — 2018-06-01

Область применения

Настоящий справочник НДТ распространяется на следующие основные виды деятельности:

- добычу и обогащение руд и россыпей цветных металлов[1];
- добычу и обогащение отходов горно-металлургических производств;
- технологические процессы, применяемые при добыче и обогащении руд и россыпей цветных металлов и отходов их переработки.

Справочник НДТ также распространяется на процессы, связанные с основными видами деятельности, которые могут оказать влияние на объемы эмиссий и (или) масштабы загрязнения окружающей среды:

- производственные процессы добычи (подготовительные работы — проходка и крепление выработок, очистная выемка и вспомогательные процессы — транспортировка и управление качеством руд, доставка людей, материалов и оборудования, содержание выработок в рабочем состоянии, вентиляция, водоотлив и др.) и обогащения (подготовительные — дробление, измельчение, классификация в воздушной и водной средах, основные — гравитационное обогащение, магнитное обогащение, электрическое обогащение, специальные - усреднение руд, рудосортировка, избирательные методы раскрытия минералов, комбинированные процессы, вспомогательные — сгущение, фильтрование и сушка, химические процессы в комбинированных схемах обогащения руд) руд и россыпей цветных металлов и отходов горно-металлургических производств;
- методы предотвращения и сокращения эмиссий и образования отходов;
- хранение и транспортировка продукции, пустой породы и хвостов обогащения.

Общие процессы и методы, относящиеся ко всей горнодобывающей промышленности, описаны в справочнике НДТ ИТС 16-2016 «Горнодобывающая промышленность. Общие процессы и методы».

Информация, относящаяся к металлургическому производству цветных металлов, содержится в следующих справочниках НДТ (названия справочников НДТ даны в редакции распоряжения Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р):

1 ИТС 3-2015 «Производство меди»;
2 ИТС 11-2016 «Производство алюминия»;
3 ИТС 12-2016 «Производство никеля и кобальта»;
4 ИТС 13-2016 «Производство свинца, цинка и кадмия»;
5 ИТС 14-2016 «Производство драгоценных металлов»;
6 ИТС 24-2017 «Производство редких и редкоземельных металлов».

[1] В соответствии с кодами ОКВЭД (см Приложение А)

Добыча руд и песков драгоценных металлов (золота, серебра и металлов платиновой группы) описана в ИТС 49-2017 «Добыча драгоценных металлов». Описание добычи и обогащения железных руд приведено в ИТС 25-2017 «Добыча и обогащение железных руд».

Дополнительные виды деятельности при добыче и обогащении руд цветных металлов приведены в таблице.

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 цветных металлов	ИТС 3—2015 «Производство меди»; И ИТС 11—2016 «Производство алюминия»; ИТС 12—2016 «Производство никеля и кобальта»; ИТС 13—2016 «Производство свинца, цинка и кадмия»; 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 драгоценных металлов	ИТС 49—2017 «Добыча драгоценных металлов»

Раздел 1 Общая информация о рассматриваемой отрасли промышленности

1.1 Добыча руд

1.1.1 Медные руды

Россия располагает значительной сырьевой базой меди — запасы металла составляют почти 98 млн т, из которых 70 млн т подсчитаны по категориям $A + B + C_1$. Запасы меди высоких категорий разрабатываемых и осваиваемых месторождений составляют 58 млн т, что сопоставимо с сырьевой базой меди США и уступает лишь чилийской и перуанской. Российская Федерация имеет перспективы наращивания сырьевой базы меди, однако прогнозные ресурсы категории P_1 составляют всего 12,6 млн т, а большая часть прогнозных ресурсов оценена по категориям P_2 и P_3 (см. таблицу 1.1).

Таблица 1.1 — Состояние МСБ меди РФ на 01.01.2016 [5]

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Количество	12,6	23	36,2
Запасы	$A + B + C_1$	C_2	
Количество	69,6	28,2	
Изменение по отношению к запасам на 01.01.2015	1	4,9	
Доля распределенного фонда, %	93	94	
Использование МСБ меди РФ в 2015 г.			
Добыча из недр, тыс. т		870,1	
Производство меди в концентратах *, тыс. т		710	
Производство меди по технологии подземного выщелачивания, тыс. т		1,4	
Производство рафинированной меди **, тыс. т		874,3	
Экспорт рафинированной меди, тыс. т		563,2	
Средняя цена (спот) рафинированной меди на Лондонской бирже металлов (ЛБМ) за 2016 г., долл./т		4863	
Ставка налога на добычу, %		8 (для золотосодержащих руд — 6)	
* Из вкрапленных и техногенных руд; богатые руды идут в плавку без обогащения. ** Включая металл, полученный из вторичного сырья.			

Россия занимает седьмое место в мире по добыче меди, ежегодно обеспечивая около 4 % мирового рудничного производства. Безусловным лидером по добыче меди является Чили. Среднее содержание меди в рудах довольно низкое (0,4 % — 1 %), однако это компенсируется значительными масштабами оруденения, а также присутствием в промышленных количествах молибдена, золота и серебра.

Более трети российских запасов меди сосредоточено в сульфидных медно-никелевых месторождениях Норильского рудного района Красноярского края, крупнейшие из которых — Октябрьское и Талнахское — по количеству запасов не имеют аналогов в мире среди объектов данного типа. Среднее содержание меди в их рудах составляет 1,11 % — 1,62 %, однако в «медистых» рудах оно возрастает до 2,58 % — 4,54 %, сплошных (богатых) — до 3,4 % — 4,06 %, а на некоторых участках достигает 9 %.

Запасы меди и объемы ее производства в РФ приведены в таблице 1.2. Распределение запасов и ресурсов меди категории P_1 по субъектам РФ приведено на рисунке 1.1.

Таблица 1.2 — Запасы меди и объемы ее производства в РФ [5]

Запасы, категория	Запасы, млн т	Рудничное производство меди в 2015 г., тыс. т *	Доля в мировом производстве, %
Запасы категорий A + B + C_1 разрабатываемых и осваиваемых месторождений	58	741	4
* По данным Thompson Reuters.			



Рисунок 1.1 — Распределение запасов и ресурсов меди категории P_1 по субъектам РФ, млн т [5]

В Канской металлогенической зоне на юге Красноярского края разведаны среднее Верхнекингашское и мелкое Кингашское месторождения с бедными вкрапленными рудами.

Значительное количество запасов меди (22,7 млн. т) сосредоточено в недрах Забайкальского края, причем почти 20 млн. т — в гигантском Удоканском месторождении медистых песчаников, руды которого содержат в среднем 1,56 % меди, а также серебро.

Более 20 % отечественных запасов меди заключено в месторождениях Южного и Среднего Урала, преимущественно медно-колчеданного типа. Крупнейшим из них является Гайское месторождение в Оренбургской области с запасами 4,8 млн. т меди при ее среднем содержании в рудах 1,3 %; на объекте также подсчитаны запасы цинка, золота, серебра и кадмия.

Крупнейшее в России медно-порфировое месторождение Малмыжское, заключающее более 5 млн. т меди, находится в Хабаровском крае. Руды месторождения бедные, в среднем они содержат 0,41 % Cu.



Рисунок 1.2 — Основные месторождения меди и распределение ее добычи (включая добычу из руд техногенных месторождений) по субъектам Российской Федерации, тыс. т [5]

Таблица 1.3 — Основные месторождения меди в РФ [5]

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание меди в рудах, %	Добыча в 2015 г., тыс. т
		A + B + C_1	C_2			
ПАО «ГМК „Норильский никель“»						

Продолжение таблицы 1.3

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание меди в рудах, %	Добыча в 2015 г., тыс. т
		$A + B + C_1$	C_2			
Октябрьское (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	14 208,1	5547,3	20,2	1,62	333,1
Талнахское (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	7734,7	2679	10,6	1,11	80,9
Норильск-1 (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	740,1	836,1	1,6	0,48	10,6
АО «Кольская ГМК»						
Ждановское (Мурманская область)	Сульфидный медно-никелевый	718,9	226,6	1	0,31	12,5
ПАО «Гайский ГОК»						
Гайское (Оренбургская область)	Медно-колчеданный	4359,5	478,5	4,9	1,3	65,5
ООО «Башкирская медь»						
Юбилейное (Республика Башкортостан)	Медно-колчеданный	1280,5	45,7	1,3	1,67	17,7
Подольское (Республика Башкортостан)	Медно-колчеданный	1701,3	16,7	1,7	2,11	0
ООО «Байкальская горная компания»						
Удоканское (Забайкальский край)	Медистые песчаники	14 434,6	5519,6	20,3	1,56	0
ООО «ГДК „Баимская“»						
Песчанка (Чукотский АО)	Медно-порфировый	2606,2	1124,5	3,8	0,83	0
ООО «Амур Минералс»						
Малмыжское (Хабаровский край)	Медно-порфировый	1271	3885,4	5,3	0,41	0
ООО «ГРК „Быстринское“»						
Быстринское (Забайкальский край)	Скарновый медно-магнетитовый	1716,4	354,8	2,1	0,78	2,2

Окончание таблицы 1.3

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание меди в рудах, %	Добыча в 2015 г., тыс. т
		A + B + C_1	C_2			
ЗАО «Михеевский ГОК»						
Михеевское (Челябинская область)	Медно-порфировый	1125,1	297	1,4	0,44	64,1
АО «Томинский ГОК»						
Томинское (Челябинская область)	Медно-порфировый	1206,3	1418,7	2,7	0,46	0
ООО «Голевская ГРК»						
Ак-Сугское (Республика Тыва)	Медно-порфировый	3121,2	512,1	3,7	0,67	0
ОАО «Святогор»						
Волковское (Свердловская область)	Ванадиево-железо-медный	1598,4	153,4	1,8	0,64	4,1

Практически все запасы меди Республики Тыва связаны с крупным медно-порфировым месторождением Ак-Сугское, запасы которого составляют 3,6 млн. т меди при ее среднем содержании в рудах 0,67 %.

Самыми богатыми рудами (среднее содержание меди 0,83 %) среди отечественных медно-порфировых объектов характеризуется крупное месторождение Песчанка в Чукотском автономном округе, вмещающее 3,7 млн. т меди.

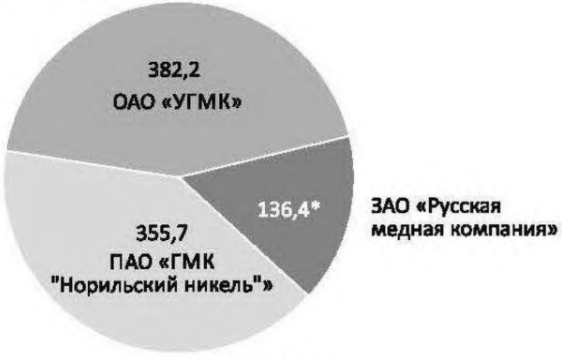
Более 2 млн. т меди заключено в сульфидных медно-никелевых и малосульфидных платиноидных месторождениях Мурманской области, крупнейшим из которых является Ждановское с запасами меди немногим менее 1 млн. т.

Примерно такое же количество запасов меди (2,2 млн. т) сконцентрировано в месторождениях республик Северного Кавказа. Самым крупным из них является медноколчеданное месторождение Кизил-Дере в Республике Дагестан с запасами 1,17 млн. т меди и богатыми рудами, содержащими в среднем 2,14 % металла.

В мелких и комплексных медьсодержащих месторождениях запасы меди подсчитаны и в других регионах России: в Алтайском, Камчатском и Приморском краях, республиках Саха (Якутия), Хакасия, Бурятия, Карелия, Алтай, Северная Осетия-Алания, Кемеровской, Воронежской и Магаданской областях и Кабардино-Балкарской Республике.

Государственным балансом запасов полезных ископаемых Российской Федерации учтено 171 коренное месторождение меди, в том числе 100 существенно медных и 71 комплексное медьсодержащее; на 12 из них подсчитаны только забалансовые запасы. В распределенном фонде недр учитывается 112 объектов, в том числе пять с забалансовыми запасами. Не лицензировано 59 месторождений. Практически все объек-

ты нераспределенного фонда мелкие по масштабу, за исключением трех средних: Кизил-Дере в Республике Дагестан, Комсомольского в Оренбургской области и Култуминского в Забайкальском крае.



* Оценка

Рисунок 1.3 — Добыча меди российскими компаниями в 2015 г., тыс. т [5]

Государственным балансом также учитываются шесть техногенных месторождений: четыре в Свердловской области и по одному в Мурманской области и Красноярском крае с суммарными запасами 91,3 тыс. т меди. Из них не лицензированы два объекта в Свердловской области.

В 2015 г. из российских недр добыто 870,1 тыс. т меди, а с учетом добычи на техногенных объектах - 879,5 тыс. т. Добыча велась на 50 коренных месторождениях, в том числе 40 существенно медных и десяти комплексных медьсодержащих, а также на двух техногенных месторождениях с извлечением меди в концентрат. Кроме того, на восьми комплексных месторождениях добывались медьсодержащие руды, медь из которых была полностью потеряна при обогащении и металлургическом переделе.

Почти половина (48 %) российской меди добыта на месторождениях Норильского рудного района, еще 46 % обеспечили рудники Южного и Среднего Урала. Остальной объем металла получен в основном на месторождениях Республики Тыва, Мурманской области и Карачаево-Черкесской Республики.

Более половины российской меди в 2015 г. добыли предприятия вертикально-интегрированного холдинга ПАО «ГМК „Норильский никель“»: 425 тыс. т добыто на месторождениях Норильского рудного района в Красноярском крае (включая 0,4 тыс. т меди, добытой на техногенном месторождении Хвостохранилище № 1 НОФ), еще 18,4 тыс. т обеспечили объекты Печенгской группы в Мурманской области.

Более трети добычи красного металла (316,5 тыс. т) обеспечили предприятия вертикально-интегрированного холдинга ОАО «УГМК», разрабатывающие месторождения на Южном и Среднем Урале, а также Алтае и Северном Кавказе. Объем добычи компании включает 9 тыс. т меди, полученной на техногенном объекте Шлакоотвал медеплавильного производства СУМЗ в Свердловской области.

Предприятия еще одной российской вертикально-интегрированной компании — ЗАО «Русская медная компания» (ЗАО «РМК») — в 2015 г. добыли 98,4 тыс. т меди.

Основной объем (64,1 тыс. т) обеспечило ЗАО «Михеевский ГОК» на Михеевском медно-порфировом месторождении в Челябинской области, остальное количество металла добыто на медно-колчеданных месторождениях Оренбургской области и Республики Башкортостан, а также на Гумешевском месторождении медистых глин в Свердловской области, где компания ОАО «Уралгидромедь» методом подземного выщелачивания с последующим электролизом растворов получила 1,4 тыс. т меди.

Оставшаяся часть меди (21,2 тыс. т) добыта прочими компаниями на мелких медных и комплексных медьсодержащих объектах.

1.1.2 Никелевые руды

В российских недрах заключено более десятой части мировых запасов никеля - по их количеству в разрабатываемых и осваиваемых месторождениях страна занимает второе место в мире, уступая только Индонезии. Кроме того, страна обеспечивает седьмую часть мировой добычи, являясь одним из ведущих продуцентов вслед за Филиппинами. Данные о состоянии МСБ никеля РФ на 01.01.2016 приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 — Состояние МСБ никеля РФ на 01.01.2016 [5]

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Количество	1,2	5,9	5,5
Запасы	A + B + C_1	C_2	
Количество	Сведения секретны		
Изменение по отношению к запасам на 01.01.2015	−0,7	5,1	
Доля распределенного фонда, %	98,2	93,7	
Использование МСБ никеля РФ в 2015 г.			
Добыча из недр, тыс. т		309,4	
Производство первичного никеля *, тыс. т		231,2	
Экспорт первичного никеля, тыс. т		225,8	
Импорт первичного никеля, тыс. т		0,9	
Среднегодовая цена (спот) рафинированного никеля на ЛБМ в 2016 г., долл./т		9597,6	
Ставка налога на добычу, %		8	
* Первичный никель — металл, полученный из руд и готовый к непосредственному использованию без дополнительной переработки.			

Сульфидные медно-никелевые руды, лежащие в основе отечественной сырьевой базы, характеризуются комплексностью, помимо никеля также являясь источником меди, благородных металлов, кобальта и некоторых других металлов. Другие геолого-промышленные типы, в том числе латеритный (силикатный кобальто-никелевый), значимый для сырьевых баз ряда зарубежных стран, имеют подчиненную роль в структуре МСБ страны.

Более 73 % запасов заключено в комплексных сульфидных рудах Красноярского края. По международному стандарту JORC запасы Октябрьского и Талнахского месторождений в совокупности составляют 6,3 тыс. т никеля. В районе разрабатывается

крупное месторождение Норильск-1, преимущественно во вкрапленных бедных рудах которого заключено более 4 % балансовых запасов страны при среднем содержании никеля 0,35 г/т.

Данные по запасам и добыче никеля в РФ приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5 — Запасы и добыча никеля в РФ [5]

Запасы категории Proved + Probable, млн т	Добыча в 2015 г., тыс. т	Доля в мировой добыче, %
7,3	310	14

Существенно меньшие запасы — чуть более 14 % — находятся на территории Мурманской области в пределах северной части Карело-Кольской провинции; регион является вторым по значимости в сырьевой базе никеля страны. Здесь основные запасы металла приурочены к сульфидным медно-никелевым месторождениям Печенгского рудного района. Руды подобны норильским объектам, однако существенно беднее и сложены, преимущественно, вкрапленными разностями — среднее содержание никеля в запасах самого крупного из группы, Ждановского, составляет 0,67 %.

К Восточно-Уральской провинции приурочены все запасы никеля в силикатных (латеритных) кобальт-никелевых рудах — более 9 % российских. Месторождения не отличаются значимыми запасами и высококачественными рудами в сравнении с мировыми аналогами. В недрах наиболее крупного месторождения силикатного никеля — Буруктальского в Оренбургской области — заключено 5,5 % запасов страны; содержание металла в среднем составляет 0,63 %. Средние концентрации в рудах остальных месторождений не превышают 1 %. Исключением является мелкое месторождение Черемшанское в Челябинской области, где среднее содержание никеля вдвое выше.

В Воронежской области запасы комплексных сульфидных медно-никелевых руд Еланского и Елкинского месторождений представляют собой почти 2 % российских, среднее содержание металла в преимущественно вкрапленных рудах составляют 1,41 и 0,85 % соответственно. В пределах области локализовано 200 тыс. т ресурсов никеля категории P_1.

Оценены запасы никеля в комплексных сульфидных медно-никелевых рудах месторождения Кун-Манье в Амурской области (1,1 % запасов), Шануч в Камчатском крае (около 0,3 %). В Республике Тыва учтены запасы попутного никеля в арсенидных никель-кобальтовых рудах месторождения Ховуаксинское.

На рисунке 1.4 и в таблице 1.6 приведены данные по основным месторождениям никеля в РФ.



Рисунок 1.4 — Основные месторождения никеля и распределение его запасов, % и прогнозных ресурсов категории P_1, тыс. т, по субъектам РФ [5]

Таблица 1.6 — Основные месторождения никеля в РФ [5]

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Доля в запасах A + B + C_1 РФ, %	Содержание никеля в рудах, %	Добыча в 2015 г., тыс. т
ПАО «ГМК „Норильский никель“»				
Октябрьское (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	35,7	0,78	187
Талнахское (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	25	0,69	55,7
Масловское (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	2,5	0,35	0
ПАО «ГМК „Норильский никель“», АО «Артель старателей „Амур“» (ГК «Русская Платина»)				
Норильск-1 (Красноярский край)	Сульфидный медно-никелевый	2,8	0,35	7,8

Государственным балансом запасов учитываются три техногенных месторождения, суммарно заключающие 54,6 тыс. т металла. В Красноярском крае на месторождении Хвостохранилище № 1 НОФ они представлены «лежалыми хвостами» обогащения — продуктами горно-обогатительного и металлургического переделов, «лежалым»

пирротиновым концентратом. На месторождении Озеро Барьерное — никельсодержащими донными осадками, образованными в процессе передела сульфидных руд. В Мурманской области перерабатываются отвалы вскрышных пород и некондиционных сульфидных руд, образованные при разработке Аллареченского месторождения.

В Государственном балансе запасов полезных ископаемых учтено 59 коренных месторождений никеля, причем 14 объектов имеют только забалансовые запасы. Кроме того, учтены три разрабатываемых техногенных месторождения. Все месторождения, обладающие значимыми запасами никеля, переданы недропользователям.

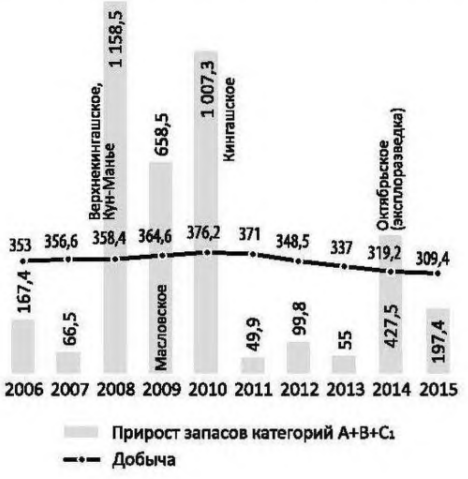


Рисунок 1.5 — Динамика добычи никеля и прироста его запасов категорий $A + B + C_1$ в результате геологоразведочных работ в 2006–2015 гг., тыс. т [5]

Не переданными в освоение недропользователям остаются 24 месторождения различных геолого-промышленных типов, среди них на 11 разведаны только забалансовые запасы. Среди неосвоенных только в единичных случаях руды характеризуются параметрами, схожими с разрабатываемыми объектами. Месторождения в большинстве случаев расположены в малоосвоенных районах и запасы незначительны.

Количество добытого из недр никеля за 2015 г. в РФ составило 309,4 тыс. т, сократившись по сравнению с предыдущим годом на 3 %. Традиционно более 97 % приходится на сульфидный никель, доля силикатного никеля в структуре добычи минимальна и в 2015 г. составила 2,5 %. Кроме того, при разработке техногенных образований было получено 6,8 тыс. т металла.

Подавляющее количество металла было получено на месторождениях Норильского рудного района, обеспечивших 81 % добытого никеля. Кроме того, на объекты Печенгского рудного района Мурманской области пришлось более 15 % добычи. Из силикатных месторождений в Свердловской области было извлечено 2,5 % металла. Кроме того, добыча сульфидного никеля в Камчатском крае составила в 2015 г. около 1,5 %.

Крупнейшим продуцентом никеля как в России, так и в мире, на протяжении многих лет остается вертикально-интегрированная компания ПАО «ГМК „Норильский никель“». В горнорудных активах холдинга сосредоточено более 70 % отечественных запасов никеля, разработка которых позволяет обеспечивать в среднем более 90 % годовой добычи в стране. В мировом масштабе доля компания составляет до 15 % извлекаемого из недр металла ежегодно.

Дочерняя структура холдинга АО «Кольская ГМК» эксплуатирует ряд сульфидных месторождений Печенгской группы, где основная доля добытого металла приходится на Ждановское месторождение. Суммарная добыча по филиалам холдинга в 2015 г. составила 297,3 тыс. т в пересчете на никель, причем на рудники в Красноярском крае пришлось 250,5 тыс. т металла.

Разработку сульфидных руд ведет компания ЗАО «НПК „Геотехнология“» на месторождении Шануч в Камчатском крае.

Добыча силикатных руд в 2015 г. велась только на Серовском месторождении компанией ОАО «Уфалейникель», входящей в структуру ООО «Русникель», и составила 7,4 тыс. т в пересчете на никель.

Положение России на мировой арене стабильно — отечественные продуценты высококачественной продукции обеспечены собственным сырьем для сохранения достигнутых мощностей производства в долгосрочной перспективе.

К проблеме отрасли страны относится практически полное прекращение добычи и переработки силикатных руд. Ситуация обусловлена отсутствием рентабельных технологий добычи и переработки упорных убогих силикатных руд, а также сокращением запасов на эксплуатируемых участках. В отдаленной перспективе может возникнуть проблема воспроизводства российской сырьевой базы никеля — доля распределенного фонда высока, в нераспределенном фонде находятся только нерентабельные к отработке объекты. Ресурсный потенциал в основном приурочен к флангам и глубоким горизонтам разрабатываемых месторождений; вероятность открытия новых крупных объектов низка.

1.1.3 Свинцовые и цинковые руды

Россия располагает одной из крупнейших сырьевых баз свинца и заключает 6 % его мировых доказанных запасов, однако по производству свинца в концентрате обеспечивает только 2 % — 3 %. В то время как на Государственном балансе учитывается 17,8 млн т запасов свинца категорий $B + C_1 + C_2$, к активным запасам можно отнести лишь 5,3 млн т, или немногим более половины запасов категорий $B + C_1$ — за вычетом не вовлеченных в освоение объектов, в том числе Холоднинского месторождения в Республике Бурятия, и технологически не извлекаемого свинца.

Состояние МСБ свинца РФ на 01.01.2016 приведено в таблице 1.7.

Таблица 1.7 — Состояние МСБ свинца РФ на 01.01.2016, млн т [5]

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Количество	3	10,6	27,6
Запасы	$A + B + C_1$	C_2	
Количество	10,2	7,6	

Окончание таблицы 1.7

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Изменение по отношению к запасам на 01.01.2015	-2,1	0,4	
Доля распределенного фонда, %	85	85	
Использование МСБ свинца РФ в 2015 г.			
Добыча из недр, тыс. т		171,2	
Производство свинцового концентрата, тыс. т		283,75	
Экспорт руд и концентратов свинца, тыс. т		284	
Производство рафинированного свинца *, тыс. т		116	
Экспорт рафинированного свинца, тыс. т		98,9	
Импорт рафинированного свинца, тыс. т		1,1	
Средняя цена рафинированного свинца на ЛБМ в 2016 г., долл./т		1870	
Ставка налога на добычу, %		8	
* Из вторичного сырья, оценка.			

Свинец заключается в комплексных рудах преимущественно полиметаллических месторождений, содержащих такие полезные компоненты, как цинк, медь, серебро, золото и др. Свинцовый тип руд выделен только на двух объектах, к нему относят руды Саурейского месторождения в Ямало-Ненецком АО и часть запасов Горевского месторождения в Красноярском крае. Около ½ российских запасов относится к богатым рудам с высоким (4 % и более) содержанием свинца.

Потенциал увеличения сырьевой базы свинца в России невысок: большая часть прогнозных ресурсов металла относится к категориям низкой степени достоверности, в то время как ресурсы свинца категории P_1 оцениваются всего в 3 млн. т. Наиболее перспективными для прироста запасов свинца являются металлогенические зоны в Приморском, Алтайском и Красноярском краях, а также в Архангельской области.

Более 90 % российских запасов свинца разведано к востоку от Урала, в том числе около 80 % - в Сибири. При этом треть металла заключена в недрах самого крупного в стране Горевского свинцово-цинкового месторождения в Красноярском крае, по качеству и масштабу оруденения сопоставимого с наиболее значимыми объектами в мире. Горевское месторождение, на котором добывается 55 % — 75 %российского свинца в год, относится к колчеданно-полиметаллическому геолого-промышленному типу (ГПТ) и залегает в терригенных породах докембрия. Оно заключает подавляющую часть учитываемых Государственным балансом богатых свинцовых руд. На месторождении выделяется два типа руд: свинцовые со средним содержанием свинца 6,91 % и свинцово-цинковые — 5,47 % Pb. Данные по месторождениям приведены на рисунке 1.6.

Таблица 1.8 — Запасы свинца и объемы его производства в РФ [9]

Запасы, категория	Запасы, млн т	Производство в концентрате в 2015 г., тыс. т	Доля в мировом производстве, %
Запасы категорий А + В + C_1 разрабатываемых и осваиваемых месторождений (без Холоднинского)	8,2 (6,2)	156	4



Рисунок 1.6 — Основные месторождения свинца и распределение его запасов и прогнозных ресурсов категории P_1 по субъектам РФ [5]

В Республике Бурятия разведано три месторождения, в том числе крупные Холоднинское и Озерное, главным полезным компонентом которых является цинк. Среднее содержание свинца в их рудах невысоко и составляет 0,6 % и 1,17 % соответственно. Холоднинское месторождение, сходное с Горевским ГПТ, заключает почти 19 % российских запасов свинца. Данные по месторождениям свинца см. в таблице 1.9.

Таблица 1.9 — Основные месторождения свинца в РФ [9]

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание свинца в рудах, %	Добыча в 2015 г., тыс. т
		А + В + C_1	C_2			
ОАО «Горевский ГОК»						

Продолжение таблицы 1.9

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание свинца в рудах, %	Добыча в 2015 г., тыс. т
		A + B + C_1	C_2			
Горевское (Красноярский край)	Колчеданно-полиметаллический в терриг. породах	2917,7	2514,4	30,6	6,55	95,5
ООО «ИнвестЕвроКомпани»						
Холоднинское (Республика Бурятия)	Колчеданно-полиметаллический в терриг. породах	2011,6	1347,3	18,9	0,6	0
ООО «Техпроминвест»						
Озерное (Республика Бурятия)	Колчеданно-полиметаллический в осад.-вулк. породах	1464,1	99,5	8,8	1,17	0
ОАО «Сибирь-Полиметаллы»						
Корбалихинское (Алтайский край)	Колчеданно-полиметаллический в осад.-вулк. породах	457,8	31,4	2,8	2	7,1
Степное (Алтайский край)	Колчеданно-полиметаллический в осад.-вулк. породах	101	21,1	0,7	4,98	9,8
АО «ГМК „Дальполиметалл“»						
Николаевское (Приморский край)	Скарново-полиметаллический	184,5	0,6	1,0	2,25	5,3
ОАО «Ново-Широкинский рудник»						
Ново-Широкинское (Забайкальский край)	Полиметаллический жильный	90,8	211,8	1,7	1,73	17,3
ООО «Восточно-Сибирская компания»						
Сардана (Республика Саха (Якутия))	Свинцово-цинковый стратиформный	0	592,2	3,3	3,23	0
ООО «Байкалруд»						

Окончание таблицы 1.9

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание свинца в рудах, %	Добыча в 2015 г., тыс. т
		$A + B + C_1$	C_2			
Нойон-Тологой (Забайкальский край)	Скарново-полиметаллический	266,9	348	3,5	1,17	5
АО «Первая горнорудная компания»						
Павловское (Архангельская обл.)	Свинцово-цинковый стратиформный	12,5	440,9	2,6	1,44	0

В Забайкальском крае известно более двух десятков связанных со скарнами жильных, преимущественно свинцово-цинковых объектов с рудами различного качества.

В Алтайском крае разрабатываются объекты со средним содержанием свинца от 4,6 %, что соответствует мировой практике. Заключающее около 3 % российских Корбалихинское месторождение характеризуется относительно невысоким (2 %) содержанием свинца в рудах, при явном преобладании цинка (9,85 %). На флангах известных месторождений и в рудопроявлениях того же ГПТ локализованы ресурсы свинца категории P_1 в количестве 556,6 тыс. т, что составляет более 18 % от суммарных в стране.

В Кемеровской области свинец учитывается в недрах четырех мелких колчеданно-полиметаллических месторождений Салаирской металлогенической зоны, характеризующихся низким (менее 1 %) содержанием Pb.

В Приморском крае распространены жильные полиметаллические и оловянно-свинцово-цинковые месторождения. Здесь имеются хорошие перспективы для наращивания запасов свинца.

На европейскую территорию страны приходится только 8 % российских запасов свинца и более пятой части прогнозных ресурсов категории P_1.

В республике Северная Осетия-Алания заключено около 2 % запасов свинца и около 5 % прогнозных ресурсов категории P_1 в десяти мелких полиметаллических месторождениях жильного типа с содержанием свинца в рудах от 1,2 % до 3,9 %.

Государственным балансом запасов полезных ископаемых России учитывается 102 месторождения свинца, десять из которых содержат только забалансовые запасы. В распределенном фонде недр находится 43 объекта с рудами различного качества: от бедных до богатых, в том числе все крупные месторождения. Качество руд российских месторождений свинца неоднородно, однако неосвоенные объекты в этом отношении существенно уступают эксплуатируемым. Объекты нераспределенного фонда характеризуются преимущественно мелким масштабом оруденения.

Данные по добыче свинца в субъектах РФ в 2015 г. приведены на рисунке 1.7.

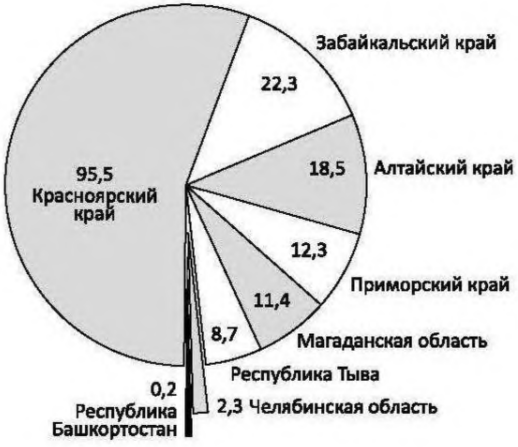


Рисунок 1.7 — Добыча свинца в субъектах РФ
в 2015 г., тыс. т [5]

В 2015 г. добыча свинца в России сократилась на 28 % до 171,2 тыс. т.

Свинец извлекался из недр 18 объектов. Ведущим предприятием оставался Горевский рудник компании ОАО «Горевский ГОК» в Красноярском крае, обеспечивший в 2015 г. 56 % добычи свинца в стране.

Вторым по крупности продуцентом свинца из российских недр стал рудник Ново-Широкинского месторождения в Забайкальском крае компании ОАО «Ново-Широкинский рудник», нарастивший добычу до 17,3 тыс. т в 2015 г.

Компания АО «ГМК „Дальполиметалл“» добыла суммарно 12,3 тыс. т свинца; большая часть получена на рудниках Николаевского и Партизанского месторождений: 5,3 и 2,4 тыс. т соответственно.

Компания ОАО «Сибирь-Полиметаллы» в Алтайском крае добыла 7,1 тыс. т свинца на Корбалихинском месторождении и 1,6 тыс. — на Зареченском.

На Степном месторождении в Алтайском крае компании АО «Уралэлектромедь» в 2015 г. добыто 9,8 тыс. т свинца, Кызыл-Таштыгском в Республике Тыва (ООО «Лунсин») — 8,7 тыс. т, месторождениях Нойон-Тологой в Забайкальском крае (ООО «Байкалруд») и Гольцовом в Магаданской области (АО «Серебро Магадана») — по 5 тыс. т.

Россия обладает одной из крупнейших в мире сырьевых баз свинца. Однако основная часть качественных запасов сосредоточена в практически единственном сопоставимом с зарубежными объектами крупном Горевском месторождении, запасы которого для подземной отработки в 2015 г. существенно сократились в результате переоценки. Кроме того, почти пятая часть российского свинца заключена в бедных рудах Холоднинского месторождения, ввод в эксплуатацию которого в ближайшее время маловероятен.

Расширение действующих производств и создание новых предприятий по добыче свинца в основном имеет целью увеличение экспортных поставок его руд и концентратов. Для экспорта продукции с высокой добавленной стоимостью требуется созда-

ние металлургических заводов, выпускающих свинец из концентратов, строительство которых связано с высокими экологическими рисками и требует крупных инвестиций.

На рисунке 1.8 приведены данные по производству свинца в свинцовом концентрате в 2015 г.

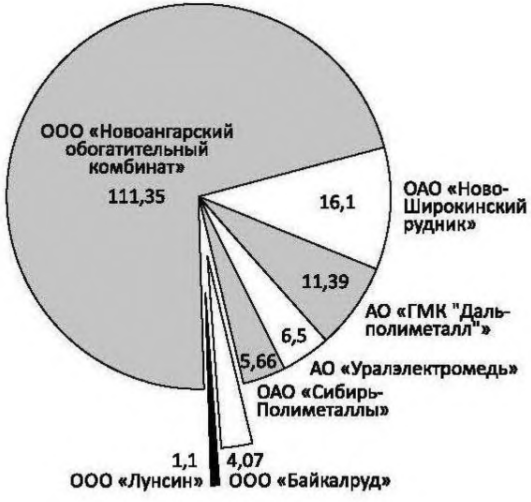


Рисунок 1.8 — Производство свинца в свинцовом концентрате в 2015 г., тыс. т [5]

Российская сырьевая база заключает около десятой части мировых запасов цинка, Государственным балансом запасов учитываются запасы цинка категорий $A + B + C_1 + C_2$ в 59,8 млн. т. По качеству сырья отечественные месторождения соответствуют мировым аналогам. Однако большая часть российского металла добывается из медно-колчеданных руд с низким содержанием цинка, когда в мире основными поставщиками сырья для производства цинковых концентратов выступают богатые цинком свинцово-цинковые полиметаллические и серебро-полиметаллические месторождения. В собственный концентрат в среднем извлекается только 60 % — 65 % добываемого из российских недр цинка. Среди продуцентов цинка в концентратах страна не занимает лидирующих позиций - на долю России приходится до 2 % мирового выпуска.

В таблице 1.10 показано состояние МСБ цинка РФ на 01.01.2016.

Таблица 1.10 — Состояние МСБ цинка РФ на 01.01.2016, млн т [9]

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Количество	10,7	34,9	57,4
Запасы	$A + B + C_1$	C_2	
Количество	40,8	19	
Изменение по отношению к запасам на 01.01.2015	-0,9	0,4	

Окончание таблицы 1.10

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Доля распределенного фонда, %	89,5	90,5	
Использование МСБ цинка РФ в 2015 г.			
Добыча из недр, тыс. т		388,8	
Экспорт руд и концентратов цинка, тыс. т		112,2	
Импорт руд и концентратов цинка, тыс. т		212,2	
Производство рафинированного цинка *, тыс. т		229,6	
Экспорт рафинированного цинка, тыс. т		28,5	
Импорт рафинированного цинка, тыс. т		32,8	
Средняя цена рафинированного цинка на ЛБМ в 2016 г., долл./т		2091	
Ставка налога на добычу, %		8	
* Оценка.			

До 70 % российских запасов цинка сосредоточено в Сибирском регионе, в том числе 50 % только в Республике Бурятия, где локализованы два крупнейших колчеданно-полиметаллических месторождения — Озерное и Холоднинское. Оба месторождения характеризуются высоким содержанием цинка (около 6% и 4 % соответственно).

В Красноярском крае расположено Горевское месторождение с бедными по цинку рудами, главным компонентом которых является свинец: объект заключает около 3 % российских запасов цинка.

На Среднем и Южном Урале в рудах медно-колчеданных объектов сосредоточена пятая часть запасов цинка. В их числе важнейшие для отечественной промышленности Гайское, Узельгинское, Учалинское, Юбилейное. В регионе локализовано 3,1 млн т ресурсов категории P_1 с относительно низким (0,7 % — 2,9 %) содержанием цинка в рудах.

Перспективы прироста российской сырьевой базы цинка незначительны: ресурсы категории P_1 оцениваются в 10,7 млн. т.

Государственным балансом запасов РФ учтено 151 месторождение с запасами цинка; в том числе 20 — только с забалансовыми. В распределенном фонде недр числятся 74 объекта, включая большинство значимых месторождений. Не переданными в освоение остаются преимущественно мелкие, а также средние по запасам цинка объекты. Учитывается техногенное месторождение Шлакоотвал медеплавильного производства Среднеуральского медеплавильного завода, заключающее запасы цинка, отнесенные к забалансовым из-за отсутствия рентабельной технологии его извлечения.

Данные по основным месторождениям цинка приведены на рисунке 1.9 и в таблице 1.11.



Рисунок 1.9 — Основные месторождения цинка и распределение его запасов и прогнозных ресурсов категории P_1 по субъектам РФ, млн т [5]

Таблица 1.11 — Основные месторождения цинка в РФ [5]

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание цинка в рудах, %	Добыча в 2015 г., тыс. т
		A + B + C_1	C_2			
ООО «ИнвестЕвроКомпани»						
Холоднинское (Республика Бурятия)	Колчеданно-полиметаллический в терриг. породах	13,3	7,9	35,5	3,99	0
ООО «Техпроминвест»						
Озерное (Республика Бурятия)	Колчеданно-полиметаллический в осад.-вулк. породах	7,7	0,6	13,8	6,16	0
АО «Корбалихинский рудник»						
Корбалихинское (Алтайский край)	Колчеданно-полиметаллический в осад.-вулк. породах	2,3	0,1	4	9,85	16,2
ОАО «Горевский ГОК»						

Продолжение таблицы 1.11

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание цинка в рудах, %	Добыча в 2015 г., тыс. т
		A + B + C_1	C_2			
Горевское (Красноярский край)	Колчеданно-полиметаллический в терриг. породах	0,6	1,1	2,9	1,37	21,1
ООО «Лунсин»						
Кызыл-Таштыгское (Республика Тыва)	Колчеданно-полиметаллический в осад.-вулк. породах	1	0,2	2	10,11	70,7
ООО «Восточно-Сибирская компания»						
Сардана (Республика Саха (Якутия))	Свинцово-цинковый стратиформный	0	1,9	3,2	10,5	0
ПАО «Гайский ГОК»						
Гайское (Оренбургская область)	Медно-колчеданный	1,4	0,2	2,6	0,52	25,1
АО «Учалинский ГОК»						
Ново-Учалинское (Республика Башкортостан)	Медно-колчеданный	69,7	46,3	5,1	2,6	0
Узельгинское (Челябинская область)	Медно-колчеданный	1,1	0,07	1,9	2,3	68,1
Учалинское (Республика Башкортостан)	Медно-колчеданный	1,0	0,6	0,5	4,1	39,8
ООО «Башкирская медь»						
Подольское (Республика Башкортостан)	Медноколчеданный	1,1	0,01	1,8	1,34	0
Юбилейное (Республика Башкортостан)	Медноколчеданный	1	0,03	1,7	1,26	5,2
ООО «Байкалруд»						
Нойон-Тологой (Забайкальский край)	Скарново-полиметаллический	0,3	0,4	1,2	1,37	8,2

Окончание таблицы 1.11

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание цинка в рудах, %	Добыча в 2015 г., тыс. т
		$A + B + C_1$	C_2			
АО «Первая горнорудная компания»						
Павловское (Архангельская область)	Свинцово-цинковый стратиформный	0,06	1,9	3,3	6,61	0
Нераспределенный фонд						
Комсомольское (Оренбургская область)	Медно-колчеданный	0,7	0,03	1,2	2,26	
Ново-Урское (Кемеровская область)	Медно-колчеданный	0,5	0,01	0,9	2,42	

В 2015 г. в России достигнут рекордный уровень добычи цинка — 388,8 тыс. т, что оказалось на 10 % выше уровня прошлого года. Рудники Уральского региона обеспечили 56 % добычи цинка; рудники Сибири, благодаря 3,5-кратному увеличению добычи металла на Кызыл-Таштыгском месторождении в Республике Тыва, — 37,1 %; на Дальнем Востоке добыто 5,9 % российского цинка; в небольших количествах цинк добывался на Урупском медно-колчеданном месторождении в Карачаево-Черкесской Республике.

В то время как цинк добывался 19 компаниями на 36 месторождениях, крупнейшим продуцентом металла из недр в России оставалась компания ОАО «УГМК».

Данные по добыче цинка в субъектах РФ в 2015 г. приведены на рисунке 1.10.

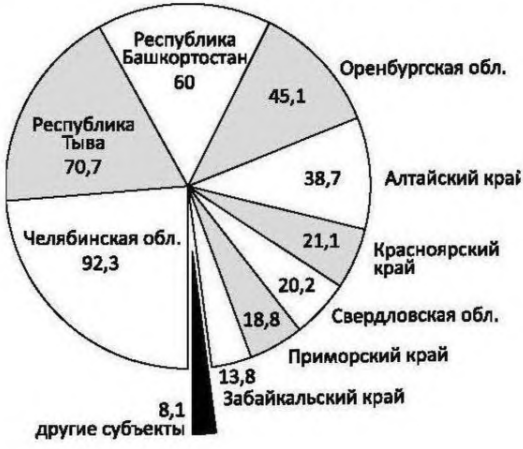


Рисунок 1.10 — Добыча цинка в субъектах РФ в 2015 г., тыс. т [5]

В 2015 г. АО «Учалинский ГОК» нарастило добычу цинка на 12 % — до 122,2 тыс. т, что составило 31,4 % его российской добычи. АО «Сибайский ГОК» добыто 3,9 тыс. т цинка. Среди других подконтрольных УГМК компаний, суммарно обеспечивших 28,3 %, или 109,9 тыс. т, российской добычи цинка, наибольшими объемами отличаются ПАО «Гайский ГОК» (30,9 тыс. т цинка в 2015 г.), АО «Уралэлектромедь» (25,8 тыс. т) и ОАО «Сибирь-Полиметаллы» (18,9 тыс. т).

Новым участником в списке крупных продуцентов стала компания с китайским капиталом ООО «Лунсин» — 70,7 тыс. т цинка, что составило 18,2 % российской добычи.

Данные по добыче цинка российскими горнодобывающими компаниями в 2015 г. приведены на рисунке 1.11.

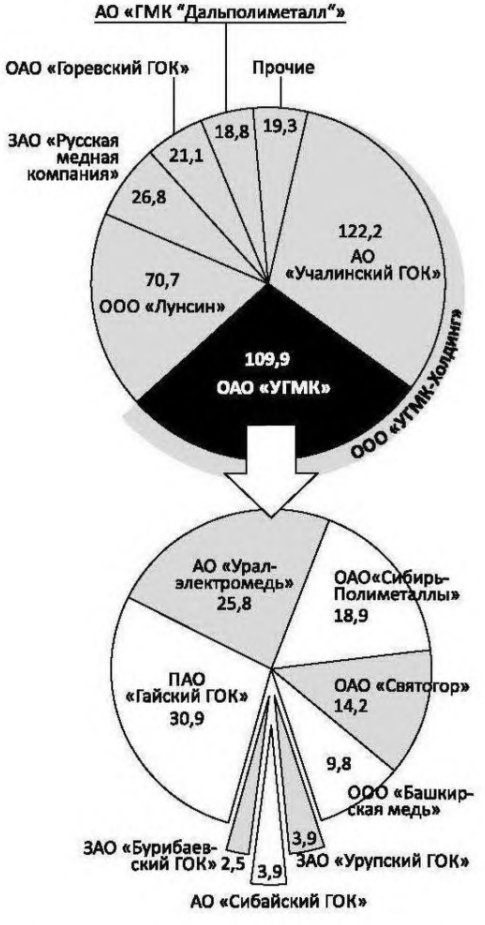


Рисунок 1.11 — Добыча цинка российскими горнодобывающими компаниями в 2015 г., тыс.

Более пятой части добываемого в стране цинка суммарно пришлось на долю ЗАО «Русская медная компания» (6,9 %), ОАО «Горевский ГОК» (5,4 %), АО «ГМК „Дальполиметалл“» (4,9 %), ООО «Байкалруд» (2,1 %), ОАО «Ново-Широкинский рудник» (1,4 %), АО «Серебро Магадана» (1,1 %) и НАО «Башкирское ШПУ» (0,3 %).

Несмотря на то, что в стране добыча цинка по мировым масштабам невелика, благодаря одной из крупнейших в мире сырьевой базе цинка отечественная промышленность обладает существенным потенциалом для укрепления позиций России на мировом рынке.

Вероятность роста добычи металла в ближайшие годы связана с началом подземной отработки Юбилейного месторождения в Республике Башкортостан и вовлечением в эксплуатацию крупных свинцово-цинковых Озерного (Республика Бурятия) и Павловского (Архангельская область) месторождений, последнее из которых относится к низкорентабельным объектам. Меньшее влияние может оказать разработка медно-колчеданных Подольского и Ново-Учалинского месторождений в Республике Башкирия.

Для поддержания стабильности добычи цинка на перспективу необходимо прежде всего обеспечение запасами уже существующих предприятий.

1.1.4 Руды и россыпи олова

Российская сырьевая база олова является одной из крупнейших в мире — учитываемые Государственным балансом запасы металла составляют около 2,17 млн т. При этом имеются перспективы их значительного прироста — только прогнозные ресурсы категории P_1, имеющие наибольшую достоверность, составляют почти 612 тыс. т.

В таблице 1.12 приведены данные о состоянии МСБ олова РФ на 01.01.2016.

Таблица 1.12 — Состояние МСБ олова РФ на 01.01.2016, тыс. т [9]

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Количество	611,5	668,4	412
Запасы	A + B + C_1	C_2	
Количество	1636,2	528,7	
Изменение по отношению к запасам на 01.01.2015	-1,7	-0,01	
Доля распределенного фонда, %	42,3	34,9	
Использование МСБ олова РФ в 2015 г.			
Добыча из недр, т		1633	
Производство олова в концентратах, т		575,1	
Экспорт концентратов, т		1720,6	
Импорт концентратов, т		54,1	
Экспорт необработанного олова, т		289,7	
Импорт необработанного олова, т		1365,7	
Себестоимость добычи товарной руды (ООО «Правоурмийское»), руб./т		2130	

Окончание таблицы 1.12

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Себестоимость 1 т олова в концентрате (ООО «Правоурмийское», ОФ «Правоурмийская»), руб.		742 000	
Среднегодовая цена за 2016 г. рафинированного олова на Лондонской бирже металлов, долл./т		17 972,63	
Ставка налога на добычу, %		0	

Основная часть запасов олова (более 86 %) сосредоточена в разномасштабных коренных месторождениях оловянных руд неоднородного качества (среднее содержание Sn варьируется от менее 0,1 % до более 5 %), преимущественно относящихся к касситерит-силикатному и касситерит-кварцевому геолого-промышленным типам (в мире главными источниками олова являются апоскарновые и касситерит-сульфидные объекты). Россыпи, обеспечивающие около трети мировой добычи металла, в России играют второстепенную роль — в них заключено менее 11 % запасов страны. Еще около 3 % запасов приходится на долю коренных комплексных месторождений оловосодержащих руд, где содержание попутного Sn, как правило, находится на уровне сотых долей процента.

В таблице 1.13 приведены данные по запасам и производству олова в концентратах в РФ.

Таблица 1.13 — Запасы олова и производство олова в концентратах в РФ [9]

Запасы, категория	Запасы, тыс. т	Производство в 2015 г., тыс. т	Доля в мировом производстве, %
Запасы категорий A + B + C, + C_2 разрабатываемых и подготавливаемых к освоению месторождений	776,5	0,6	0,2

В 2015 г. в разрабатываемых месторождениях содержалось около 36 % российских запасов олова, или 776,5 тыс. т металла. По величине этих запасов Россия занимает второе (после Китая) место в мире, однако по объемам добычи металла страна не входит даже в первую десятку мировых продуцентов.

Крупнейшие запасы олова (около 36 % российских) сосредоточены в Республике Саха (Якутия). Основная часть металла заключена в коренных объектах, в основном относящихся к касситерит-силикатному типу. Главным из них является крупнейшее в стране (с запасами почти 256 тыс. т олова) Депутатское месторождение богатых (1,15 % Sn) руд. Также на территории республики находятся две уникальные россыпи — ручьев Тирехтях и Одинокий; в каждой из них заключено более 50 тыс. т олова при его содержании в песках более 800 г/м^3, причем имеются перспективы прироста запасов первой из них.

Данные по основным месторождениям олова приведены на рисунке 1.12 и в таблице 1.14.



Рисунок 1.12 — Основные месторождения и распределение запасов и ресурсов категории P_1 олова по субъектам РФ, тыс. т [9]

Таблица 1.14 — Основные месторождения олова в РФ [9]

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание олова в рудах	Добыча в 2015 г., т
		A + B + C_1	C_2			
ООО «Правоурмийское»						
Правоурмийское (Хабаровский край)	Касситерит-турмалиновый	60,4	22,4	3,8	1,16 %	1633
ОАО «Оловянная рудная компания»						
Фестивальное (Хабаровский край)	Касситеритсульфидный	57,4	29,5	4	0,65 %	0
Перевальное (Хабаровский край)	Касситерит-многосульфидный	30,2	13	2	0,53 %	0
ЗАО «ГОК „Депутатский“»						
Депутатское (Республика Саха (Якутия))	Касситерит-турмалиновый	198,3	57,5	11,8	1,15 %	0
ОАО «Янолово»						

Окончание таблицы 1.14

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание олова в рудах	Добыча в 2015 г., т
		A + B + C_1	C_2			
Россыпь руч. Тирехтях (Республика Саха (Якутия))	Россыпной аллювиальный	68,9	5,3	3,4	814,13 г/куб. м	0
Нераспределенный фонд						
Одинокое (Республика Саха (Якутия))	Касситерит-кварцевый	125,8	1,8	5,9	0,32 %	
Верхнее (Приморский край)	Касситерит-хлоритовый	93,7	6	4,6	0,3 %	
Тигриное (Приморский край)	Касситерит-вольфрамит-кварцевый	170,5	15,6	8,6	0,12 %	
Россыпь руч. Одинокий (Республика Саха (Якутия))	Россыпной аллювиально-делювиальный	50,9	1	2,4	828,71 г/куб. м	

Значительные запасы олова (около 38 % российских) сконцентрированы в месторождениях Приморского и Хабаровского краев. Крупнейшим из них (8,6 % запасов страны) является месторождение Тигриное, содержащее бедные (0,12 % Sn) касситерит-кварцевые руды с попутным вольфрамитом. С экономической точки зрения главным объектом не только региона, но и России в целом в настоящее время является Правоурмийское месторождение богатых (1,16 % Sn) руд в Хабаровском крае, так как только здесь ведется товарная добыча олова.

Основная часть запасов Чукотского АО, где разведано более 15 % российских запасов олова, заключена в бедных (0,2 % — 0,3 % Sn) касситерит-кварцевых с вольфрамитом рудах месторождений Пыркакайского рудного узла. Перспективы прироста запасов здесь отсутствуют.

Сравнительно крупными запасами олова (около 6 % общероссийских) располагает Забайкальский край. Более 80 % его запасов сконцентрировано в бедных (0,17 % Sn) комплексных касситерит-сульфидно-сульфосольных рудах Шерловогорского месторождения.

Государственным балансом запасов учитывается 270 месторождений олова (123 коренных и 147 россыпных), 57 из них (34 коренных и 23 россыпных) содержат только забалансовые запасы. Также на государственном учете стоят четыре техногенных месторождения.

Данные по добыче олова росссийскими компаниями в 2015 г. приведены на рисунке 1.13.

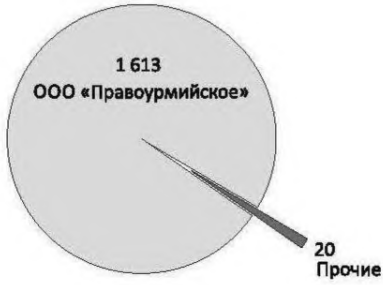


Рисунок 1.13 — Добыча олова российскими компаниями в 2015 г., т [9]

В распределенном фонде недр находятся 15 коренных объектов и одна россыпь. Руды целого ряда не переданных в освоение месторождений не уступают, а иногда превосходят по качеству руды лицензированных объектов.

В 2015 г. добыча олова в России выросла по сравнению с 2014 г. почти на 44 % и составила 1633 против 1136 т годом ранее. Практически весь металл (1613 т) был извлечен из недр Правоурмийского месторождения в Хабаровском крае, эксплуатируемого ООО «Правоурмийское». В результате переработки руды, осуществляемой на собственной обогатительной фабрике, компания получила 575 т олова в концентрате (извлечение 34 %), что примерно на 80 % превысило результат 2014 г.

В незначительных количествах (в 2015 г. — 20 т) олово добывается попутно без извлечения в концентрат на Южном олово-полиметаллическом месторождении в Приморском крае.

Российская сырьевая база олова является одной из крупнейших в мире и включает целый ряд объектов, соответствующих требованиям мировой горной промышленности. Однако многие из них остаются невостребованными, что обусловлено крайне низким спросом на оловянное сырье внутри страны, значительностью доли запасов, пригодных для подземной отработки (более 51 %), недостаточным для обеспечения необходимой рентабельности производства качеством руд и песков.

1.1.5 Руды и россыпи вольфрама

Учитываемые Государственным балансом запасов полезных ископаемых запасы вольфрама значительны и составляют около 1,34 млн т в пересчете на триоксид вольфрама, что позволяет стране занимать третье место в мире после Китая и Казахстана по размерам сырьевой базы металла. Практически в полном объеме запасы заключены в рудах разномасштабных коренных месторождений жильного, скарнового и штокверкового геолого-промышленных типов; на долю россыпей приходится менее 1 %. В зависимости от главного вольфрамсодержащего минерала они подразделяются на вольфрамитовые (более 35,5 % запасов страны) и шеелитовые (около 64 %). Вольфрам в них присутствует и как основной, и как попутный компонент; сами руды, как правило, комплексные и помимо вольфрама могут содержать молибден, медь, висмут, олово, бериллий, золото и др. Существенно вольфрамовые руды, на долю которых приходится примерно 67,5 % российских запасов вольфрама, по среднему содержанию

WO_3 не уступают среднемировому уровню — в вольфрамитовых объектах оно варьируется от 0,12 до 2,73 %, в среднем составляя 0,19 %, в шеелитовых — от 0,03 до 4,4 %, в среднем 0,34 %.

В таблице 1.15 приведены данные по состоянию МСБ вольфрама РФ на 01.01.2016.

Таблица 1.15 — Состояние МСБ вольфрама РФ на 01.01.2016, тыс. т триоксида вольфрама [9]

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Количество	210,4	673,7	1338,2
Запасы	A + B + C_1	C_2	
Количество	950,8	384,5	
Изменение по отношению к запасам на 01.01.2015	−296,8	75,3	
Доля распределенного фонда, %	41,8	86,5	
Использование МСБ вольфрама РФ в 2015 г.			
Добыча из недр, т триоксида вольфрама		4114	
Производство вольфрамовых концентратов (в пересчете на содержащий 60 % WO_3), т		5482	
Производство триоксида вольфрама в концентратах, т		3332	
Экспорт концентратов, т		2678	
Импорт концентратов, т		1714	
Среднегодовая цена паравольфрамата аммония на рынке Западной Европы за 2016 г., долл. за 1 % WO_3 в 1 т		189 5	
Ставка налога на добычу, %		8	

Возможности увеличения сырьевой базы вольфрама России невелики: прогнозные ресурсы категории P_1 в шесть раз меньше запасов; почти пятая их часть распределена между мелкими объектами с ресурсами этой категории менее 10 тыс. т триоксида вольфрама.

В таблице 1.16 приведены данные по запасам вольфрама и объемам производства концентратов в РФ.

Таблица 1.16 — Запасы вольфрама и объемы производства концентратов (в пересчете на триоксид вольфрама) в РФ [9]

Запасы, категория	Запасы, тыс. т WO_3	Производство в 2015 г., тыс. т WO_3	Доля в мировом производстве, %
Запасы категорий A + B + C разрабатываемых и подготавливаемых к освоению месторождений	199,3	3,3	3

Среди мировых продуцентов вольфрамового сырья Россия занимает третье место, обеспечивая около 3 % его мировой добычи, уступая Китаю и Вьетнаму.

Для отечественной МСБ вольфрама характерна высокая концентрация — более 60 % запасов страны сосредоточено в Республике Бурятия, Приморском крае и Кабар-

дино-Балкарской Республике. Еще около 29 % приходится на долю Курганской области, Республики Саха (Якутия) и Карачаево-Черкесской Республики.

В трех месторождениях Республики Бурятия сконцентрировано более четверти запасов вольфрама страны. Два из них сложены вольфрамитовыми рудами: крупное штокверковое Инкурское, среднее содержание WO_3 в бедных рудах которого составляет 0,149 %, и небольшое жильное Холтосонское месторождение сравнительно богатых руд (0,748 % WO_3).

Данные по основным месторождениям вольфрама приведены на рисунке 1.14 и в таблице 1.17.



Рисунок 1.14 — Основные месторождения вольфрама и распределение запасов и прогнозных ресурсов P_1 триоксида вольфрама по субъектам РФ, тыс. т [9]

Таблица 1.17 — Основные месторождения вольфрама (существенно вольфрамовые) в РФ [9]

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т WO_3		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание WO_3 в рудах, %	Добыча в 2015 г., т WO_3
		A + B + C_1	C_2			
ОАО «Приморский ГОК»						
Восток-2 (Приморский край)	Скарновый шеелитовый	0,13	14,94	1,1	4,4	1523
ООО «Лермонтовский горно-обогатительный комбинат»						

Окончание таблицы 1.17

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т WO_3		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание WO_3 в рудах, %	Добыча в 2015 г., т WO_3
		A + B + C_1	C_2			
Лермонтовское (Приморский край)	Скарновый шеелитовый	3,54	0,44	0,3	2,829	1035
ООО «Артель старателей „Кварц“»						
Бом-Горхонское (Забайкальский край)	Жильный вольфрамитовый	2,45	10,29	1	0,904	139
ЗАО «Новоорловский ГОК»						
Спокойнинское (Забайкальский край)	Штокверковый вольфрамитовый	21	3,83	1,9	0,224	1233
ЗАО «Твердосплав»						
Инкурское (Республика Бурятия)	Штокверковый вольфрамитовый	170,95	13,6	13,8	0,149	0
Холтосонское (Республика Бурятия)	Жильный вольфрамитовый	5,67	26,69	2,4	0,748	0
Нераспределенный фонд						
Тырныаузское (Кабардино-Балкарская Республика)	Скарновый шеелитовый с попутным молибденитом	201,77	7,76	15,7	0,436	
Агылкинское (Республика Саха (Якутия))	Скарновый шеелитовый	90,86	0	6,8	1,271	

На севере Приморского края сосредоточено более 18 % запасов вольфрама России. Главную роль здесь играют скарновые объекты с шеелитовыми рудами — Восток-2 и Лермонтовское, в рудах которых содержится в среднем более 1 % WO_3.

Запасы вольфрама Кабардино-Балкарской Республики (более 16 % запасов страны) почти полностью заключены в крупнейшем в стране и одном из самых крупных в мире Тырныаузском скарновом месторождении шеелитовых руд рядового качества (0,436 % WO_3) с попутным молибденитом.

В недрах Республики Саха (Якутия) заключено почти 10 % запасов вольфрама страны. Основная их часть разведана в скарновом Агылкинском месторождении богатых (1,27 % WO_3) шеелитовых руд.

Государственным балансом запасов учитывается 92 месторождения вольфрама, в числе которых 52 коренных объекта и 40 россыпей; 16 из них (11 коренных и 5 россыпных) содержат только забалансовые запасы. Кроме того, учтено одно техногенное

месторождение — Барун-Нарынское в Республике Бурятия с запасами триоксида вольфрама 17,5 тыс. т при среднем содержании WO_3 2161,3 г/м^3.

Данные по добыче триоксида вольфрама (включая добычу из техногенного материала) российскими компаниями в 2015 г. приведены на рисунке 1.15.



Рисунок 1.15 — Добыча триоксида вольфрама (включая добычу из техногенного материала) российскими компаниями в 2015 г., т [9]

В распределенном фонде недр числятся 28 вольфрамсодержащих объектов: 23 коренных, четыре россыпных (один из них только с забалансовыми запасами) и один техногенный.

Руды существенно вольфрамовых месторождений нераспределенного фонда по качеству несколько уступают рудам распределенного фонда — содержание WO_3 варьируется в них в диапазоне 0,03 % — 2,73 % против 0,15 % — 4,4 %.

ГКЗ Роснедра утверждена переоценка запасов Тырныаузского месторождения вольфрамо-молибденовых руд с переводом значительной части запасов в забалансовые. При этом запасы категорий $A + B + C_1$ сократились на 306,3 тыс. т триоксида вольфрама, категории C_2 — на 53,1 тыс. т; среднее содержание WO_3 в оставшихся запасах составило 0,436 %.

В 2015 г. добыча вольфрама из недр велась на шести месторождениях: пяти коренных и одном россыпном. В целом по стране она составила 4114 т в пересчете на триоксид, что на 13,6 % меньше показателя предыдущего года. Более 92 % добычи обеспечили три коренных месторождения: Восток-2, разрабатываемое ОАО «Приморский ГОК» (1523 т триоксида вольфрама), Спокойнинское в Забайкальском крае компании ЗАО «Новоорловский ГОК» (1233 т) и Лермонтовское, эксплуатируемое ООО «Лермонтовский ГОК» (1035 т).

Достаточно крупным источником вольфрама в последние пять лет являются техногенные материалы. В 2015 г. добыча из них составила 1108 т триоксида (+12 % по сравнению с 2014 г.): ЗАО «Закаменск» извлекло 870 т, главным образом из Барун-Нарынского техногенного месторождения, а ЗАО «Новоорловский ГОК» — 238 т из отвалов Спокойнинского ГОКа.

При обеспеченности запасами вольфрама, оцениваемой более чем в 300 лет, сохранение добычи на уровне 2015 г. уже через три года приведет к истощению запасов Лермонтовского, а еще через шесть лет — месторождения Восток-2. Это может означать более чем двукратное падение производства вольфрамового сырья в России. В связи с этим остро встает вопрос компенсации выбывающих мощностей. Важной задачей является создание и внедрение современных и эффективных технологических решений обогащения руд и разработки имеющихся месторождений.

1.1.6 Руды молибдена

Российская Федерация располагает значительной сырьевой базой молибдена — запасы металла, учитываемые Государственным балансом запасов, превышают 2,1 млн т. Качество руд отечественных месторождений в целом сопоставимо с зарубежными, однако большая часть запасов заключена в объектах собственно молибденового штокверкового типа (молибденпорфирового по зарубежной классификации), практическое значение в рудах которых имеет только молибден, а попутные компоненты не извлекаются. В мире такие объекты заключают около трети запасов и обеспечивают менее 30 % добычи, а в России в них сосредоточено более 85 % запасов и добычи. Перспективы прироста отечественных запасов молибдена невелики — большая часть оцененных в стране прогнозных ресурсов относится к наименее достоверной категории P_3.

Данные о состоянии МСБ молибдена РФ на 01.01.2016 приведены в таблице 1.18.

Таблица 1.18 — Состояние МСБ молибдена Российской Федерации на 01.01.2016, тыс. т [9]

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Количество	220,9	665,4	2460
Запасы	A + B + C_1	C_2	
Количество	1417	726,4	
Изменение по отношению к запасам на 01.01.2015	−73,2	127,6	
Доля распределенного фонда, %	63,3	74,1	
Использование МСБ молибдена РФ в 2015 г.			
Добыча из недр, т		4756	
Производство молибденовых концентратов, т		7590,1	
Производство молибдена в концентратах, т		3253,6	
Экспорт концентрата, т		483	
Импорт концентрата, т		4538	
Экспорт ферромолибдена, т		5092	
Импорт ферромолибдена, т		314	
Средняя за 2016 г. цена оксида молибдена на ЛБМ, долл./кг Mo		14,18	
Ставка налога на добычу, %		8	

Государственным балансом запасов Российской Федерации учитывается 34 месторождения молибдена, в том числе четыре только с забалансовыми запасами. Ли-

цензировано 23 объекта, включая десять урановых с попутным молибденом, входящих в состав Стрельцовского рудного района в Забайкальском крае. Среди не переданных в освоение месторождений есть такие крупные объекты, как Орекитканское (360,5 тыс. т Mo) и Мало-Ойногорское (150 тыс. т Mo) в Республике Бурятия. По качеству руд объекты нераспределенного фонда сопоставимы с разрабатываемыми месторождениями.

Данные по запасам и добыче молибдена в РФ приведены в таблице 1.19 и на рисунке 1.16.

Таблица 1.19 — Запасы молибдена и объемы его производства в РФ [9]

Запасы, категория	Запасы, тыс. т	Производство в 2015 г., тыс. т	Доля в мировом производстве, %
Запасы категорий A + B + C_1 + C_2 разрабатываемых и осваиваемых месторождений	1070	3,2	1

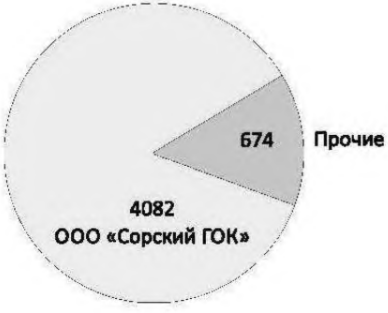


Рисунок 1.16 — Добыча молибдена российскими компаниями в 2015 г., т [9]

В России к эксплуатации подготавливались четыре собственно молибденовые месторождения, однако в 2014–2016 гг. все лицензии на них были приостановлены или аннулированы.

Данные по основным месторождениям молибдена приведены на рисунке 1.17 и в таблице 1.20.



Рисунок 1.17 — Основные месторождения молибдена и распределение его запасов и прогнозных ресурсов категории P_1 по субъектам РФ, млн т [9]

Таблица 1.20 — Основные месторождения молибдена в РФ [9]

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Среднее содержание молибдена в рудах, %	Добыча в 2015 г., т
		A + B + C_1	C_2			
ООО «Сорский ГОК»						
Сорское (Республика Хакасия)	Штокверковый, собственно молибденовый	103	0,2	4,84,8	0,06	4082
Агаскырское (Республика Хакасия)		155,3	0	7,2	0,05	0
ОАО «Жирекенский ГОК»						
Жирекенское (Забайкальский край)	Штокверковый, собственно молибденовый	61,6	0	2,9	0,105	0
ООО «Бугдаинский рудник»						
Бугдаинское (Забайкальский край)	Штокверковый, собственно молибденовый	347,5	252,2	28	0,08	0
ОАО «Коклановское»						

Окончание таблицы 1.20

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Среднее содержание молибдена в рудах, %	Добыча в 2015 г., т
		$A + B + C_1$	C_2			
Коклановское (Курганская область)	Штокверковый, собственно молибденовый	24,5	131,2	7,3	0,082	0
Нераспределенный фонд						
Тырныаузское (Кабардино-Балкарская Республика)	Скарновый вольфрамовый с попутным молибденом	35,8	0,8	1,7	0,077	
Мало-Ойногорское (Республика Бурятия)	Штокверковый, собственно молибденовый	154,9	0	7,2	0,051	
Орекитканское (Республика Бурятия)	Штокверковый, собственно молибденовый	246,7	113,8	16,8	0,099	

1.1.7 Руды и россыпи титана

Балансовые запасы диоксида титана России велики — 600,45 млн т; значительны и забалансовые запасы — 88,8 млн т. По их сумме Россия находится на втором месте в мире после Китая. Запасы категорий $A + B + C_1$ составляют немногим менее половины балансовых запасов — 261,4 млн т, при этом лишь 45 % от этого количества находится в разрабатываемых, осваиваемых и разведываемых месторождениях; по величине этой активной части запасов Россия находится на третьем месте в мире с долей 13 %. Прогнозные ресурсы диоксида титана России огромны, причем более трети из них имеет высокую степень достоверности.

В таблице 1.21 приведены данные о состоянии МСБ титана РФ на 01.01.2016.

Таблица 1.21 — Состояние МСБ титана РФ на 01.01.2016, млн т TiO_2 [9]

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Количество	390	452,1	194,5
Запасы	$A + B + C_1$	C_2	
Количество	261,4	339	
Изменение по отношению к запасам на 01.01.2015	7,262	1,025	
доля распределенного фонда, %	45,14	23,32	
Использование МСБ титана РФ в 2015 г.			
Добыча из недр, тыс. т TiO_2		663	
Производство титановых концентратов, тыс. т		201,5	

Окончание таблицы 1.21

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Производство диоксида титана в концентратах, тыс. т TiO_2		88,85	
Импорт титановых концентратов, тыс. т		312,2	
Экспорт титановых концентратов, тыс. т		223,7	
Производство губчатого титана, тыс. т		40	
Экспорт губчатого титана, тыс. т		6,3	
Производство титановых слитков, тыс. т		65	
Производство титанового проката, тыс. т		28,4	
Экспорт титанового проката, тыс. т		12,8	
Экспорт ферротитана, тыс. т		12,4	
Производство пигментного диоксида титана, тыс. т		77,8	
Экспорт пигментного диоксида титана, тыс. т		73,8	
Импорт пигментного диоксида титана, тыс. т		66,3	
Средняя цена первого квартала 2016 г. на губчатый титан марки TG-tv на европейском «свободном» рынке, долл./кг		4,48	
Среднегодовая цена 2016 г. на пигментный диоксид титана, CIF, порты США, долл./т		2465	
Среднегодовая цена 2016 г. на пигментный диоксид титана, CFR, порты Азии, долл./т		2006	
Средняя цена первого полугодия 2016 г. на ильменитовый концентрат, min 54 % TiO_2, навалом, продуцентов Австралии, FOB, порты Австралии, долл./т		105	
Средняя цена первого полугодия 2016 г. на рутиловый концентрат пигментного сорта, min 95 % TiO_2, навалом, продуцентов Австралии, FOB, порты Австралии, долл./т		721	
Ставка налога на добычу, %		8	

Более половины мирового производства диоксида титана в концентратах обеспечивают четыре страны с сопоставимыми объемами выпуска — ЮАР, Австралия, Китай и Канада.

Российская минерально-сырьевая база титана характеризуется большим разнообразием с преобладанием коренных месторождений, в которых заключено 97 % запасов диоксида титана страны. В погребенных прибрежно-морских россыпях Восточно-Европейской и Западно-Сибирской россыпных провинций заключено только 3 % запасов диоксида титана РФ.

Данные по запасам диоксида и титана и его производству в РФ приведены в таблице 1.22.

Таблица 1.22 — Запасы диоксида титана и производство в концентратах в РФ [9]

Запасы		Производство TiO_2 в концентратах в 2015 г., тыс. т	
категория	млн т	тыс. т	% мирового производства
Запасы категорий A + B + C_1 разрабатываемых и осваиваемых месторождений	118	89	1

В мире россыпные месторождения обеспечивают около 70 % производства диоксида титана в титановых концентратах и шлаках. Остальные 30 % получают из руд коренных месторождений (в России — Куранахское месторождение (9,8 % TiO_2)).

Почти половина (46 %) отечественных запасов титана сосредоточена в Тимано-Печорской титановой провинции в Республике Коми в Ярегском месторождении. Руды месторождения — нефтеносные кварцевые песчаники с лейкоксеном, содержащие 10,4 % диоксида титана, являются одними из самых богатых в России. Однако извлечение диоксида титана из лейкоксена представляет большую сложность из-за высокого содержания в нем кремнезема.

В Карело-Кольской титановой провинции в Мурманской области заключено более пятой части российских запасов диоксида титана: около 12 % в семи апатит-нефелиновых месторождениях Хибинской группы (0,3 % — 3,5 % TiO_2) и 1 % в редкометальном Ловозерском месторождении (1,29 % TiO_2).

Еще 8 % российских запасов диоксида титана находится в крупном месторождении Юго-Восточная Гремяха. Его руды имеют достаточно высокое содержание TiO_2 % — 8,6 %.

В Олекмо-Становой титановой провинции в Забайкальском крае разведано 18 % российских запасов диоксида титана. В той же провинции в Каларском рудном районе Амурской области содержится около 4 % российских запасов диоксида титана.

В Уральской титановой провинции находится Медведевское ильменит-титано-магнетитовое месторождение, в котором сконцентрировано 5 % российских запасов диоксида титана. Его руды, содержащие 7 % TiO_2, труднообогатимы.

На рисунке 1.18 и в таблице 1.23 приведены данные по основным месторождениям титана.



Рисунок 1.18 — Основные месторождения титана и распределение запасов и прогнозных ресурсов категории P_1 диоксида титана (млн т) по субъектам РФ [9]

Таблица 1.23 — Основные месторождения титана в РФ [9]

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т TiO_2		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание TiO_2	Добыча в 2015 г., тыс. т TiO_2
		A + B + C_1	C_2			
ОАО «Ярега Руда», ООО «ЛУКОЙЛ-Коми»						
Ярегское * (Республика Коми)	Лейкоксен-кварцевые нефтеносные песчаники	66 830	211 824	46,4	10,44 %	0
ОАО «Забайкалстальинвест»						
Чинейское (Забайкальский край)	Титано-магнетитовый	30 318	29 576	10	6,53 %	0
ООО «Медведевский ГОК»						
Медведевское (Челябинская область)	Ильменит-титано-магнетитовый	20 686	9523	5	7,03 %	0
ООО «Уралмайнинг»						

Окончание таблицы 1.23

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, тыс. т TiO_2		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание TiO_2	Добыча в 2015 г., тыс. т TiO_2
		A + B + C_1	C_2			
Большой Сэйим (Амурская область)	Ильменит-титано-магнетитовый	20 784	1678	3,7	7,67 %	0
ООО «ГПК „Титан“»						
Центральное * (Тамбовская область)	Россыпной циркон-рутил-ильменитовый	6396	0	1,1	26,85 кг/куб. м	0
Нераспределенный фонд						
Юго-Восточная Гремяха (Мурманская область)	Титаномагнетит-ильменитовый	39 664	10 130	8,3	8,55 %	
Кручининское (Забайкальский край)	Апатит-ильменит-титаномагнетитовый	24 790	25 229	8,3	8,39 %	
* Значительная часть запасов находится в нераспределенном фонде.						

Российские россыпные титановые месторождения представлены погребенными прибрежно-морскими объектами, сходными с аналогичными зарубежными, но в сравнении с отрабатываемыми за рубежом современными россыпями имеют худшие технологические качества рудных песков, более глубокое залегание, сложные горно-геологические и гидрогеологические условия разработки, хотя и сопоставимы с ними по содержанию диоксида титана в песках. Месторождения комплексные; кроме титановых минералов (рутила и ильменита) в песках обычно содержится циркон.

Наиболее крупные запасы диоксида титана в россыпях разведаны в Восточно-Европейской россыпной провинции в Тамбовской области в гигантском Центральном циркон-рутил-ильменитовом месторождении — 6,4 млн т титана, или немногим более 1 % запасов диоксида титана России.

На юге Восточно-Европейской россыпной провинции в Ставропольском крае разведаны три циркон-рутил-ильменитовых месторождения: мелкое Бешпагирское (24,7 кг/м^3 TiO_2) и средние по величине запасов Камбулатский участок (22,05 кг/м^3 TiO_2) и Константиновский участок (16,78 кг/м^3 TiO_2); рудные пески залегают на глубинах от 5 до 45 м. Ставропольский россыпной район имеет неплохой потенциал для прироста запасов — в нем локализовано до 4 % отечественных прогнозных ресурсов диоксида титана категорий P_1 и P_2.

В Западно-Сибирской россыпной провинции в Томской области запасы диоксида титана сконцентрированы в двух месторождениях с более бедными рудами: крупном Туганском (руды содержат 19,7 кг/м^3 TiO_2) и среднем Георгиевском (17,6 кг/м^3 TiO_2). В них заключено менее 1 % российских запасов. Рудные пески залегают на глубине 10–

90 м, на Георгиевском — 120–180 м. В Туганском россыпном районе локализовано 22 млн т ресурсов диоксида титана категории Р. В Омской области в двух мелких циркон-рутил-ильменитовых месторождениях с самыми высокими содержаниями диоксида титана — Самсоновском (34,2 кг/м^3 TiO_2) и Тарском (32,2 кг/м^3 TiO_2) заключено только 0,5 % запасов титана России. Пески месторождений залегают на глубине 40–80 м от поверхности. В Тарском россыпном районе выявлены крупные ресурсы диоксида титана категории P_2–26 млн т.

Мелкие циркон-рутил-ильменитовые месторождения разведаны в Ханты-Мансийском автономном округе — Правобережное (20 кг/м^3 TiO_2), в Новосибирской области — Ордынское (14,4 кг/м^3 TiO_2) и в Свердловской области — Буткинское (16,8 кг/м^3 TiO_2); их суммарные запасы не превышают 0,1 % российских.

Государственным балансом запасов РФ учитываются 35 месторождений диоксида титана (19 коренных и 16 россыпных), из них четыре (два россыпных и два коренных) — только с забалансовыми запасами. В распределенном фонде недр находятся 19 месторождений с наиболее качественными рудами.

Два крупных магматогенных месторождения: Юго-Восточная Гремяха в Мурманской области и Кручининское в Забайкальском крае находятся в государственном резерве. Другие объекты нераспределенного фонда значительно меньше по запасам.

Всего в России в 2015 г. добыто 663 тыс. т диоксида титана — 348 тыс. т. В концентраты извлечено 88,85 тыс. т диоксида титана.

Россия имеет крупную и разнообразную по составу минерально-сырьевую базу титана с преобладанием комплексных нефтетитановых и железо-титановых месторождений. Россыпные месторождения характеризуются часто глубоким залеганием руд, сложными горно-геологическими условиями их отработки, оптимальным способом их освоения может стать способ скважинной гидродобычи (СГД).

Российские месторождения титана менее привлекательны, чем разрабатываемые за рубежом богатые коренные месторождения и поверхностные и приповерхностные россыпи, в том числе в связи с их комплексным составом и отсутствием спроса на другие основные и попутные компоненты.

1.1.8 Алюминиевое сырье

Россия обладает крупной минерально-сырьевой базой алюминиевого сырья — бокситов и нефелиновых руд.

В таблице 1.24 приведены данные о состоянии МСБ алюминиевого сырья РФ на 01.01.2016.

Таблица 1.24 — Состояние МСБ алюминиевого сырья РФ на 01.01.2016, млн т [9]

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Бокситы			
Количество	58,1	39,2	0
Запасы	A + B + C_1	C_2	
Бокситы			
Количество	1124,8	282,4	
Изменение по отношению к запасам на 01.01.2015	–6,577	0	

Окончание таблицы 1.24

Прогнозные ресурсы	P_1	P_2	P_3
Доля распределенного фонда, %	46,1	56,8	
Нефелиновые руды			
Количество	4189,4	779,6	
Изменение по отношению к запасам на 01.01.2015	–25,2	0	
Доля распределенного фонда, %	73,7	55,7	
Использование МСБ алюминиевого сырья РФ в 2015 г.			
Добыча из недр бокситов, млн т		5,661	
Добыча из недр нефелиновых руд, млн т		31,407	
Производство глинозема, млн т		2,593	
Импорт глинозема, млн т		4,471	
Производство первичного алюминия, млн т		3,53	
Экспорт необработанного алюминия, млн т		3,461	
Импорт необработанного алюминия, тыс. т		47,37	
Среднегодовая мировая цена 2016 г. на высокосортный алюминий (99,7 %), наличный товар, на ЛБМ, долл./т		1604	
Ставка налога на добычу, %		5,5	

Запасы бокситов составляют 1,4 млрд т, включая 1,125 млрд т категорий $A + B + C_1$, однако активно используется в разрабатываемых и подготавливаемых к эксплуатации месторождениях менее половины от этого количества — 518,37 млн т, что позволяет стране занимать пятое место в мире. Остальная часть запасов имеет низкое качество руд и/или глубокое залегание и нерентабельна для отработки. Прогнозные ресурсы бокситов незначительны (менее 100 млн т категорий P_1 и P_2).

Данные по запасам и распределению бокситов приведены на рисунке 1.19 и в таблице 1.25.



Рисунок 1.19 — Распределение запасов и ресурсов бокситов по субъектам РФ, млн т [9]

Таблица 1.25 — Запасы бокситов и объемы их добычи в РФ [9]

Запасы		Добыча в 2015 г., млн т	Доля в мировой добыче, %
категория	млн т		
Запасы A + B + C_1 разрабатываемых и осваиваемых месторождений	518,4	6,85	2

Запасы наиболее качественных среди российских бокситов сосредоточены в Свердловской области и Республике Коми, при этом они не могут конкурировать с разрабатываемыми за рубежом как по минеральному составу, так и по глубине залегания, горно-геологическим и климатическим условиям разработки.

Государственным балансом запасов РФ учитывается 57 месторождений бокситов, из них 18 — только с забалансовыми запасами. В распределенном фонде недр находятся 13 объектов с наиболее качественными рудами. В нераспределенном фонде учитывается крупное Висловское месторождение в Белгородской области и другие объекты меньшего масштаба с низкокачественными рудами либо находящиеся в малоосвоенных районах.

Данные по основным месторождениям бокситов в РФ приведены в таблице 1.26.

Таблица 1.26 — Основные месторождения бокситов в РФ [9]

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, млн т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Кремневый модуль, Al_2O_3/SiO_2	Добыча в 2015 г., тыс. т
		A + B + C_1	C_2			
ОАО «Севуралбокситруда»						
Черемуховское (Свердловская область)	Осадочный в карбонатных толщах	136,2	56,8	13,7	11,8	358
Ново-Кальинское (Свердловская область)	Осадочный в карбонатных толщах	74,6	30,2	7,4	17,7	532
Кальинское (Свердловская область)	Осадочный в карбонатных толщах	31,4	48,5	5,7	20,6	646
Красная Шапочка (Свердловская область)	Осадочный в карбонатных толщах	9,6	16,8	1,9	13,3	782
ОАО «Боксит Тимана»						
Вежаю-Ворыквинское (Республика Коми)	Полигенный	101,5	2,7	7,4	6,8	2886
ОАО «Северо-Онежский бокситовый рудник»						
Иксинское (Беловодская залежь, Западный участок) (Архангельская область)	Осадочный в терригенных толщах	253,9	0	18	3,1	443
Нераспределенный фонд						
Висловское (Белгородская область)	Латеритный	153,4	49	11	6	0

Россия входит в десятку основных продуцентов бокситов, занимая восьмое место в мире и обеспечивая немногим более 2 % мировой добычи.

В 2015 г. на семи месторождениях страны добыто 5,661 млн т бокситов — на 6,5 % меньше, чем годом ранее. Основная часть бокситов (92 %) извлечена из недр компаниями «Объединенной компании „РУСАЛ“» (РУСАЛ).

Россия — единственная страна в мире, использующая в качестве алюминиевого сырья нефелиновые руды; из них выпускается треть отечественного глинозема.

По качеству нефелиновые руды значительно уступают бокситам — в них содержится от 11 % до 28 % Al_2O_3 и более 40 % SiO_2, поэтому их переработка в глинозем может вестись только способом спекания.

Запасы нефелиновых руд огромны и составляют почти 5 млрд т. Они разведаны в Мурманской области и в Красноярском крае, Кемеровской области и Республике Тыва.

Распределение и основные запасы нефелиновых руд приведены на рисунке 1.20 и в таблице 1.27.



Рисунок 1.20 — Распределение запасов нефелиновых руд по субъектам РФ, млн т [9]

Таблица 1.27 — Основные месторождения нефелиновых руд в РФ [9]

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, млн т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание Al_2O_3, %	Добыча в 2015 г., млн т
		A + B + C_1	C_2			
АО «Апатит», ЗАО «Северо-Западная Фосфорная Компания»						
Хибинская группа месторождений (Мурманская область)	Апатит-нефелиновые руды	3379,3	446,1	77	12,77	28,55
ОАО «РУСАЛ Ачинский глиноземный комбинат»						

Окончание таблицы 1.27

Недропользователь, месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы, млн т		Доля в балансовых запасах РФ, %	Содержание Al_2O_3, %	Добыча в 2015 г., млн т
		A + B + C_1	C_2			
Кия-Шалтырское (Кемеровская область)	Уртиты	59,4	0	1,2	27,78	2,85
Нераспределенный фонд						
Горячегорское (Красноярский край)	Тералито-сиениты	445,9	292,1	14,8	22,45	
Баянкольское (Республика Тыва)	Уртиты	304,7	41,4	7	26,52	

Государственным балансом запасов РФ учитывается 17 месторождений нефелиновых руд, из них четыре — только с забалансовыми запасами.

Имея крупную алюминиевую промышленность, Россия обеспечивает ее отечественным сырьем только на одну треть.

Россия обладает крупной сырьевой базой низкокачественного алюминиевого сырья — бокситов, нефелиновых руд, лейцитов, анортозитов, руд, содержащих минералы группы силлиманита, каолиновых глин. Внедрение в промышленное производство новых современных технологий переработки такого сырья позволит полнее удовлетворять нужды российской алюминиевой промышленности.

1.2 Обогащение руд

1.2.1 Медные руды

Медь — металл, встречающийся в природе в самородном виде, но наибольшее промышленное значение имеют халькопирит, борнит и халькозин (см. таблицу 1.28).

Таблица 1.28 — Основные и практически важные минералы меди

Название минерала	Химическая формула	Содержание, %	Твердость	Удельный вес, т/м^3
Халькопирит (медный колчедан)	$CuFeS_2$	34,57	3–4	4,1–4,3
Борнит (пестрая медная руда)	Cu_5FeS_4	63,3	3	4,9–5,0
Халькозин (медный блеск)	Cu_2S	79,9	2–3	5.5–5,8
Ковеллин (медное индиго)	CuS	66,5	1,5–2,0	4,59–4,67

Окончание таблицы 1.28

Название минерала	Химическая формула	Содержание, %	Твердость	Удельный вес, т/м^3
Тетраэдрит (блеклая медная руда)	$Cu_{12}Sb_4S_{13}$	22–53	3,0–4,0	4,4–5,4
Теннантит (блеклая медная руда)	$Cu_{12}Sb_4S_{13}$	22–53	3,0–4,0	4,4–5,4

К промышленным относят руды, содержащие более 0,3 % — 0,4 % меди, которая не менее чем на 85 % — 90 % представлена сульфидными минералами.

Для характеристики содержания меди в рудах принята следующая классификация: руды среднего качества — от 1 % до 2 % Cu; руды бедные — от 0,7 % до 1 % Cu; руды весьма бедные — менее 0,7 % Cu.

Медные руды разделяют на сульфидные, оксидные и смешанные. В первичных рудах большинства промышленных месторождений медь присутствует в сульфидной форме. В зоне окисления она представлена карбонатами, силикатами, сульфатами, оксидами и другими соединениями.

В медных рудах часто присутствуют минералы Fe, Mo, W, Pb, Co, As. В значительных количествах есть Au и Ag, а также V. Месторождения меди разделяют на 9 геолого-промышленных типов (медно-никелевые, железо-никелевые в габброидах, карбонатитовые, скарновые, медно-порфировые, кварцево-сульфидные, самородная медь, медистые песчаники и сланцы), входящих в 6 генетических групп (I. Магматическая; II. Карбонатитовая; III. Скарновая; IV. Гидротермальная; V. Колчеданная; VI. Стратиформная). В перспективе как самостоятельный геолого-промышленный тип могут оформиться месторождения медьсодержащих морских железо-марганцевых конкреций и мулов, а также ураново-золото-медные месторождения. Медь присутствует в комплексных рудах Ni, Co, Pb, Sn, W, Bi, Au. Главные добывающие страны в конце XX — начале XXI в. — Чили, США, Канада, Замбия, Конго (Браззавиль), Конго (Киншаса), Перу.

Скарновое медно-магнетитовое месторождение Быстринское осваивает ООО «ГРК „Быстринское“» (входит в ПАО «ГМК „Норильский никель“»). В 2015 г. компания продолжала вскрышные работы, в ходе которых добыто и складировано 467 тыс. т окисленных руд, содержащих 2,2 тыс. т меди. Велось также строительство объектов инфраструктуры будущего горно-обогатительного предприятия, запуск которого намечен на конец 2017 г., а выход на проектную мощность (10 млн т) — на конец 2020 г. Добыча будет вестись открытым способом на четырех карьерах. Переработка первичных руд планируется на строящейся обогатительной фабрике по гравитационно-флотационно-магнитной схеме с получением медного и магнетитового концентратов. Годовая проектная мощность предприятия — 67 тыс. т меди в концентрате и 2,9 млн т магнетитового концентрата; кроме того, из руд будет извлекаться золото (252 тыс. тр. унций в концентрате в год).

В 2015 г. на восьми комплексных месторождениях добывались медьсодержащие руды, медь из которых была полностью потеряна при обогащении и металлургическом переделе.

Более половины российской меди в 2015 г. добыли предприятия вертикально-интегрированного холдинга ПАО «ГМК „Норильский никель“». Компания перерабатывает добываемые руды на своих обогатительных фабриках с получением медного и коллективного медно-никелевого концентратов, которые далее поступают на металлургические предприятия по выпуску рафинированных металлов в г. Норильск и г. Мончегорск. Богатые руды месторождений Норильского рудного района частично поступают в плавку без обогащения.

Переработку руд на предприятиях вертикально-интегрированного холдинга ОАО «УГМК», обеспечивших в 2015 г. более трети добычи меди (316,5 тыс. т), ведут на собственных обогатительных фабриках, а полученные концентраты поступают на плавильные заводы компании.

Переработку руд месторождений ЗАО «РМК» ведут традиционным флотационным методом на обогатительных фабриках с получением медных концентратов, которые направляются на плавильный завод «Карабашмедь», а далее на рафинировочное предприятие ЗАО «Кыштымский медеэлектролитный завод», конечным продуктом которого является катодная медь и медная катанка.

В 2015 г. на российских обогатительных фабриках выпущено около 710 тыс. т меди в концентратах; часть богатых руд не обогащалась.

1.2.2 Медно-цинковые руды

Среди цинковых минералов промышленное значение имеет практически один сфалерит (см. таблицу 1.29).

Таблица 1.29 — Основные и наиболее важные минералы цинка

Минерал	Формула	Содержание Zn, %	Плотность, т/м^3	Твердость
Сфалерит	ZnS	67	3,5–4,2	3,4
Цинкит	ZnO	80,3	5,66	4
Виллемит	Zn_2SiO_4	59,1	3,89–4,18	5–6
Смитсонит	$ZnCO_3$	52	4,1–4,5	5
Гидроцинкит	$ZnCO_3 \cdot 2Zn(OH)_2$	60	3,6–3,8	2–2,5
Каламин	$Zn_2SiO_4 \cdot H_2O$	53,7	3,4–3,5	4,5–5
Франклинит	$(Zn_3Mn)Fe_2O_4$	17–25(ZnO)	5,07–5,22	5,3
Ганит	$ZnAl_2O_4$	35,6	4,0–4,6	7,5–8,0

Ресурсы цинковой горнорудной промышленности в России сосредоточены в медно-колчеданных месторождениях.

Медно-цинковые руды могут содержать в различных (обычно небольших) количествах примеси галенита, арсенопирита, стибнита, касситерита и некоторых других минералов цветных металлов. В них довольно часто содержатся благородные металлы (золото, серебро) и редкие элементы (кадмий, германий, индий и др.). Многочисленными исследованиями установлена изоморфная взаимосвязь значительной части благородных металлов, редких и рассеянных элементов с пиритом.

По своему вещественному составу медно-цинковые руды (например, месторождений Урала) можно разделить на четыре подгруппы: сплошные колчеданные, вкрап-

ленные сульфидные (до 50 % сульфидов), брекчиевидные и смешанные. Четких границ между отдельными подгруппами даже в одном и том же месторождении не наблюдается. В первую очередь это относится к Сибайскому месторождению, где отмечается частая перемежаемость всех подгрупп, и месторождению имени III Интернационала, представленному смесью сплошных колчеданных и вкрапленных руд. Непостоянство вещественного состава характерно также для руд Учалинского и Гайского месторождений. Значительные колебания вещественного состава руд по содержанию основных металлов, сульфидов и вторичных минералов меди создают при отсутствии усреднительных и шихтовальных складов и систем автоматизации значительные трудности при регулировании технологического процесса и управлении им на обогатительных фабриках.

Отмеченные особенности вещественного состава являются причиной недостаточно высоких показателей обогащения некоторых медно-цинковых руд и преодолеваются разработкой развитых технологических схем с использованием эффективных реагентных режимов селективной флотации, учитывающих особенности флотационных свойств разделяемых минералов.

Почти три четверти российской добычи цинка обеспечивает ОАО «Уральская горно-металлургическая компания» (УГМК) в лице двух своих дочерних предприятий: АО «Учалинский ГОК» (63 % добычи страны) и АО «Гайский ГОК» (почти 10 %). Еще около 10 % добыло ОАО «Александринская горнорудная компания», разрабатывающее Александринское месторождение в Челябинской области, и более 7,5 % — ЗАО «Ормет» на Джусинском месторождении в Оренбургской области; обе компании входят в состав ЗАО «Русская медная компания». На долю компании ОАО «ГМК "Дальполиметалл"», разрабатывающей полиметаллические месторождения Приморского края, приходится около 9 % добычи.

1.2.3 Свинцовые полиметаллические руды

Полиметаллическими называют комплексные свинцово-цинковые руды, в которых, помимо свинца и цинка, промышленную ценность могут также представлять медь, кадмий, серебро, золото и другие металлы, в том числе они служат также источником получения ряда редких и рассеянных элементов. На долю главных минералов свинца (галенита) и цинка (сфалерита) приходится свыше 90 % и 95 % запасов и добычи соответственно. Основными минералами свинца и цинка являются сульфиды, сульфосоли и карбонаты (см. таблицу 1.30).

Таблица 1.30 — Основные и наиболее важные минералы свинца

Минерал	Формула	Содержание Pb, %	Плотность, т/м^3	Твердость
Галенит	PbS	86,6	7,4–7,6	2–3
Буланжерит	$5PbS{\cdot}2Sb_2S_3$	55,4	7,2–7,3	2,5–3
Джемсонит	$4PbS{\cdot}FeS{\cdot}Sb_2O_3$	40–50	5,5–6,0	2–3
Бурнонит	$2PbS{\cdot}CuS2S{\cdot}Sb_2S_3$	42,6	5,7–5,9	2–3
Церуссит	$PbCO_3$	77,6	6,4–6,6	3–3,5
Англезит	$PbSO_4$	68,3	6,1–6,4	2,5–3
Пироморфит	$PbCl\,(PO_4)_3$	75,79	6,7–7,1	3,5–4

Минерал	Формула	Содержание Pb, %	Плотность, т/м^3	Твердость
Крокоит	$PbCrO_4$	64,6	6,0	2,5–3
Вульфенит	$PbMo_4$	55,8	6,3–6,0	3
Миметизит	$Pb_3(AsO_4)_3Cl$	69.5	7,2–7,3	3,5
Ванадинит	Pb(VO)Cl	72,7	6,7–7,1	3,0
Плюмбоярозит	$PbFe_6 (SO_4)_4OH)_{12}$	18,3	3,7–3,9	3,0

По содержанию основных компонентов свинцово-цинковые руды подразделяются следующим образом: богатые, с содержанием свинца выше 4 % или с суммарным содержанием свинца и цинка выше 7 %; среднего качества (рядовые), содержащие от 2 % до 4 % свинца или суммарно свинца и цинка от 4 % до 7 %; бедные, с содержанием свинца 1,2 % — 2 % или суммарно свинца и цинка 2 % — 4 %. Промышленностью иногда используются руды и с более низким содержанием свинца и цинка, если целесообразность их переработки обоснована.

По степени окисления руды полиметаллических месторождений подразделяются на три типа: сульфидный, смешанный и окисленный. Критерием для отнесения руд к тому или иному типу служит содержание свинца и цинка в оксидной форме (см. таблицу 1.31).

Таблица 1.31 — Типы свинцово-цинковых руд

Тип руд	Содержание оксидов, %	
	свинца	цинка
Сульфидный	<15	<10
Смешанный	16–50	11–50
Окисленный	>50	>50

Все свинцово-цинковые руды являются комплексными и содержат значительное количество попутных компонентов, которые повышают ценность руд. Благородные металлы находятся в рудах в различной форме: золото в основном связано с халькопиритом и пиритом, но встречается и в свободном состоянии; серебро содержится в галените, а также присутствует в виде сульфосолей серебра и теллуридов; кадмий концентрируется преимущественно в сфалерите в виде тончайшей механической или изоморфной примеси; висмут самородный или в составе сульфосолей тесно ассоциирует с галенитом; сурьма связана с сульфосолями свинца; ртуть присутствует в виде киновари; индий, таллий и галлий содержатся в сфалерите, галените, халькопирите, пирите и других сульфидах; селен и теллур присутствуют в качестве примеси в сульфидных минералах, а теллур — иногда и в виде самостоятельных минералов; германий, как правило, рассеян в силикатах, но в ряде случаев связан со сфалеритом и сульфидами меди.

Богатые месторождения окисленных свинцовых руд, дававшие в прошлом основную добычу свинца, в настоящее время почти полностью отработаны, а находка новых крупных залежей таких руд маловероятна.

Свинцово-цинковые руды России сосредоточены главным образом в месторождениях колчеданного и стратиформного типов, значительно меньше — в зернистых,

скарновых и жильных. Многочисленные палеозойские полиметаллические месторождения Рудного Алтая принадлежат к колчеданному типу (Корбалихинское, Степное, Среднее, Золотушинское и др.). Свинцово-цинково-медное оруденение этих месторождений приурочено в основном к среднедевонским метаморфическим вулканогенно-осадочным породам. Руды содержат цинка больше, чем свинца, а свинца больше, чем меди. Палеозойские колчеданные полиметаллические месторождения есть в Северном Забайкалье (Озерное, Холоднинское). Небольшие колчеданные месторождения есть в Алтай-Саянской складчатой области (Салаирская и Урская группы месторождений, Кызыл-Таштигское). К стратиформным залежам относят Горевские метасоматические (Енисейский кряж, Pb: Zn = 1:0,2). К этому же типу относятся месторождения Сардана на р. Алдан, залегающие в доломитах верхнего венда (Pb: Zn = 1:4). К зернистым относят месторождения нижнего кембрия в карбонатных породах Восточного Забайкалья (Благодатские и др.). Месторождения скарнового типа известны в Сихотэ-Алиньской складчатой области и в Южном Приморье. Мезозойскими являются жильные полиметаллические месторождения на Северном Кавказе (Садонское, Згидское, Архонское, Эльбрусское и др.) и в Восточном Забайкалье (Нерчинская группа). Жильные месторождения послемезозойского возраста обнаружены близ Верхоянска, в Яно-Чукотском районе и на полуострове Камчатка. Большинство свинцово-цинковых месторождений характеризуются комплексным составом руд: наряду со свинцом и цинком содержат медь, олово, благородные металлы, редкие металлы и элементы, а также серный колчедан, иногда барит и флюорит. По содержанию цинка и свинца руды России уступают зарубежным (кроме Горевского месторождения, где содержание цинка 6 %). Содержание свинца и цинка в рудах России соответственно 1 % — 1,3 % и 3,9 % — 4,7 %, тогда как в рудах Австралии, США, Бразилии содержание свинца в рудах — 5 % — 7,8 %, Канады — 3,6 % — 4,5 %, а содержание цинка — от 3,6 % до 15,3 %.

Полиметаллические сульфидные месторождения делят на две большие группы: месторождения в карбонатных (известняках или доломитах) породах и месторождения в силикатных породах.

Группа полиметаллических месторождений, залегающих в карбонатных породах, имея гидротермально-метасоматическое происхождение, по форме, условиям залегания и составу руд может быть разделена на три типа: пластово-вкрапленные, неправильные залежи обычно массивных руд, контактовые (скарновые).

Месторождения в силикатных породах также гидротермального происхождения делятся на три типа: жильные, линзообразные залежи массивных и вкрапленных руд и колчеданные.

Разнообразие составляющих руду минералов, различная чувствительность их к окислению, неодинаковая флотируемость одних и тех же минералов, в различной степени окисленных или активированных, являются причиной сложности используемых технологических и реагентных режимов флотации. В них используются, например, стадиальная флотация с выделением «медной головки», дофлотацией сульфидов цинка из хвостов коллективной флотации, режимы «горячей» флотации на фабрике, обезмеживания и обезжелезнения цинковых концентратов, обесцинкования свинцовых концентратов, обессвинцевание цинковых концентратов с применением широкого круга реагентов.

Компания с китайским капиталом ООО «Байкалруд» продолжила промышленную разработку месторождения Нойон-Тологой в Забайкальском крае. В 2015 г. обогатительная фабрика предприятия с плановой производительностью 600 тыс. т руды в год находилась в стадии пуско-наладочных работ и переработала 268,6 тыс. т сырья; продукцией предприятия являлись свинцовый и цинковый концентраты. К 2018 г. компания планирует нарастить производительность по руде до 850 тыс. т/г.

Входящее в холдинг УГМК АО «Уралэлектромедь» разрабатывает Степное полиметаллическое месторождение в Алтайском крае, а также ведет подготовку к отработке расположенного вблизи Таловского полиметаллического месторождения, проект освоения которого дорабатывается. На объекте уже начато строительство инфраструктуры горнодобывающего предприятия, добытое сырье будет перерабатываться на Рубцовской ОФ.

ООО «ГеоПроМайнинг Верхне Менкече» подготавливает к эксплуатации серебро-полиметаллическое месторождение Верхне-Менкече в Республике Саха (Якутия). Месторождение будет разрабатываться подземным рудником, который планируется ввести в эксплуатацию в 2017 г. В 2016 г. компания начала проходку подземных выработок. По результатам технологических испытаний выбрана схема обогащения руд, позволяющая получать свинцовые концентраты с высокими содержаниями (3–4 кг/т) серебра.

Корпорация «Металлы Восточной Сибири», управляющая горнорудными активами ОАО «ИФК „Метрополь“», ведет освоение крупного Озерного месторождения в Республике Бурятия. Ранее были завершены вскрышные работы и строительство карьера мощностью 8 млн т руды в год. Планируется строительство собственной обогатительной фабрики той же мощности. Начало разработки месторождения намечено на 2019 г.

АО «Первая горнорудная компания» завершило разведочные работы на Павловском месторождении в Архангельской области и предоставило на экспертизу ТЭО постоянных разведочных кондиций для условий его открытой разработки и геологический отчет с подсчетом запасов; ГРР продлятся до 2018 г. В результате проведенного комплекса технологических испытаний на Павловском месторождении в Архангельской области АО «Первая горнорудная компания» разработана технологическая схема переработки свинцово-цинковых руд месторождения с получением товарных свинцового и цинкового концентратов и попутным извлечением серебра.

ООО «Восточно-Сибирская компания» разведывает крупное свинцово-цинковое месторождение Сардана в Республике Саха (Якутия). Проведенные в 2012–2015 гг. работы в целом подтверждают высокое качество свинцово-цинковых руд и сильную изменчивость морфологии рудных залежей. Содержания металлов в рудных интервалах (по керновому опробованию) составляют: свинца — 0,29 % — 14,2 %, цинка-1,76 % — 13 %.

Руды, добываемые Компанией АО «ГМК „Дальполиметалл“» (на пяти разрабатываемых и одном подготавливаемом месторождении в Приморском крае добыла суммарно 12,3 тыс. т свинца; большая часть получена на рудниках Николаевского и Партизанского месторождений — 5,3 и 2,4 тыс. т соответственно), Компанией ОАО «Сибирь-Полиметаллы» (в 2015 г. в Алтайском крае добыла 7,1 тыс. т свинца на Корбалихинском месторождении, преумножив показатель прошлого года почти в 6,5 раз, и 1,6 тыс. т — на Зареченском), компаниями АО «Уралэлектромедь» (на Степ-

ном месторождении в Алтайском крае в 2015 г. добыто 9,8 тыс. т свинца), ООО «Лусин» (на Кызыл-Таштыгском месторождении в Республике Тыва добыто 8,7 тыс. т свинца), ООО «Байкалруд» и АО «Серебро Магадана» (на месторождениях Нойон-Тологой в Забайкальском крае и Гольцовом в Магаданской области добыто по 5 тыс. т свинца), перерабатывают на собственных обогатительных фабриках. Свинец извлекается в свинцовый, реже в медно-свинцовый концентрат; часть металла переходит в цинковый концентрат.

В 2015 г. в России производство свинцовых концентратов сократилось на 11,5 % — до 283,75 тыс. т, заключающих 156,2 тыс. т свинца. Свинцовый концентрат выпускался на семи обогатительных фабриках, перерабатывающих руды 12 месторождений.

Ведущим продуцентом оставалась фабрика дочернего предприятия ОАО «Горевский ГОК» — ООО «Новоангарский обогатительный комбинат» в Красноярском крае. На ней перерабатываются руды Горевского месторождения с получением свинцового и в меньшем количестве — цинкового концентратов. В 2015 г. здесь произведено более 63 % отечественного свинцового концентрата — 180 тыс. т с содержанием свинца 61,9 %. Извлечение металла составило 90,2 % для свинцовых руд и 82,9 % для свинцово-цинковых, из последних также вырабатывался цинковый концентрат, в который перешло около 2 % свинца.

Более качественный концентрат выпускался на Центральной обогатительной фабрике АО «ГМК „Дальполиметалл“» в Приморском крае, перерабатывающей руды месторождений Дальнегорского рудного района (Верхний рудник, Николаевское и др.). В 2015 г. здесь получено 17,54 тыс. т свинцового концентрата с содержанием 64,93 % свинца.

Введенная в эксплуатацию обогатительная фабрика ООО «Лунсин», перерабатывающая руды Кызыл-Таштыгского месторождения в Алтайском крае, выпустила 2,6 тыс. т свинцового концентрата с содержанием 42,3 % свинца; основной продукцией предприятия является цинковый концентрат.

Остальными обогатительными предприятиями компаний ОАО «Ново-Широкинский рудник», ООО «Байкалуд» и дочерними предприятиями УГМК в 2015 г. суммарно выпущено 83,61 тыс. т свинцового концентрата со средним содержанием 38,7 % свинца.

В процессе обогащения руд ряда медных, медно-цинковых и золото-серебряных месторождений, в которых свинец содержится в низких концентрациях, металл в самостоятельный продукт не извлекается.

Свинцовые концентраты, получаемые на российских обогатительных фабриках, из-за отсутствия в стране перерабатывающих их металлургических предприятий поставляются за рубеж; в некотором количестве экспортируются и руды. В 2015 г. российский экспорт руд и концентратов свинца уменьшился почти на четверть относительно предыдущего года и составил 284 тыс. т. Большая часть сырья была традиционно направлена в Китай (199,7 тыс. т), в последние годы несколько сокративший поставки из России; около 20 % и 5 % сырья соответственно направлено в Казахстан (54,9 тыс. т) и Республику Корея (15,6 тыс. т). Вместе с тем в 2015 г. Россия импортировала 1,3 тыс. т свинцовых руд и концентратов из Австралии.

В 2015 г. на российских предприятиях произведено 498,6 тыс. т собственно цинковых концентратов с содержанием металла от 31 % до 52 %, суммарно заключающих

более 246,1 тыс. т цинка. Обогащение цинксодержащих руд с выпуском цинковых концентратов велось на 15 фабриках самих горнодобывающих компаний или их дочерних предприятий, в том числе на находящейся на стадии пусконаладочных работ обогатительной фабрике ООО «Байкалруд».

Корпорация «Металлы Восточной Сибири» подписывала рамочное соглашение по освоению Озерного месторождения с китайскими инженерно-строительной компанией NFC и корпорацией CDB. Согласно календарному плану начало разработки месторождения намечено на 2019 гг.; к 2020 г. мощность рудника должна удвоиться до 8 млн т руды в год. Планируется строительство собственной обогатительной фабрики соответствующей мощности, товарной продукцией которой станут цинковый и свинцовый концентраты.

В этом же регионе ООО «Назаровское», также подконтрольное корпорации «Металлы Восточной Сибири», ведет подготовительные работы на золото-сульфидно-цинковом Назаровском месторождении. Месторождение будет отрабатываться открытым способом, продуктами переработки его руд станут цинковый и медный концентраты и золотосеребряный сплав Доре.

Ведущим предприятием по производству цинкового концентрата остается Учалинская фабрика компании АО «Учалинский ГОК», перерабатывающая медно-колчеданные руды ряда уральских месторождений, среди которых Учалинское в Республике Башкортостан, Узельгинское, Талганское и некоторые другие месторождения Челябинской области. В 2015 г. на предприятии выпущено 172,7 тыс. т цинкового концентрата, заключающего 86,1 тыс. т цинка.

На других выпускающих цинковый концентрат предприятиях, подконтрольных холдингу УГМК, суммарно получено 82,5 тыс. т данного концентрата, содержащего 40,4 тыс. т цинка, в том числе на Рубцовской ОФ в Алтайском крае — 49,7 тыс. т цинкового концентрата, заключающего 24,9 тыс. т цинка.

Введенная в эксплуатацию обогатительная фабрика ООО «Лунсин», перерабатывающая руды Кызыл-Таштыгского месторождения в Алтайском крае, выпустила 120 тыс. т цинкового концентрата, содержащего 60 тыс. т цинка.

Остальные концентраты произведены на фабрике ООО «Новоангарский обогатительный комбинат» (дочернего предприятия ОАО «Горевский ГОК») в Красноярском крае (44 тыс. т в 2015 г.), на Центральной обогатительной фабрике АО «ГМК „Дальполиметалл“» в Приморском крае (33,4 тыс. т), на предприятиях ЗАО «РМК» (Александринской ОФ в Челябинской и фабрике ЗАО «Ормет» в Оренбургской областях) (26 тыс. т), на фабрике ОАО «Ново-Широкинский рудник» в Забайкальском крае (7,5 тыс. т) и только начинающей производственную деятельность обогатительной фабрике Нойон-Тологойского рудника компании ООО «Байкалруд» в Забайкальском крае (12,5 тыс. т).

Импорт цинковых руд и концентратов цинка в 2015 г. составил 212,2 тыс. т, что оказалось в 1,5 раза больше показателя 2014 г. Главным поставщиком по-прежнему выступил Казахстан, доставивший в Россию 191,7 тыс. т цинковых руд и концентратов, в том числе добытых горнодобывающим предприятием (разрабатывающим месторождение Акжал в Казахстане), принадлежащим ПАО «Челябинский цинковый завод»; поставки также осуществлялись из Таджикистана (14,4 тыс. т), Турции (5,7 тыс. т) и Марокко (0,4 тыс. т). Импортное сырье поступает на переработку на Челябинский цинковый завод и завод «Электроцинк» в г. Владикавказ.

Несмотря на дефицит сырья для собственных мощностей, часть руд и концентратов цинка поставляется из России на внешние рынки. В 2015 г. экспорт цинковых руд и концентратов увеличился в 1,6 раза и составил 112,2 тыс. т; поставки в равных долях (по 56,1 тыс. т) были осуществлены в Казахстан и Китай. Ведущими продавцами выступают АО «ГМК „Дальполиметалл“», ОАО «Сибирь-Полиметаллы» и Новоангарский обогатительный комбинат (ОАО «Горевский ГОК»), имеющие удаленные от российских металлургических центров активы.

1.2.4 Медно-никелевые кобальтсодержащие руды

Известно более 40 никелевых и около 30 кобальтовых минералов. До 10 минералов никеля являются водными силикатами. В более чем 100 минералах никель и кобальт содержатся как изоморфная примесь или находятся в адсорбированной форме.

Важнейшими промышленными минералами никеля и кобальта являются: пентландит $(Fe, Ni)_9S_8$ (22 % — 42 % Ni, 1 % — 3 % Co), никелистый пирротин FeS (0,4 % — 0,7 % Ni), миллерит NiS (61 % — 64 % Ni, 0,1–0,5 Co), линнеит Co_3S_4 (40 % — 53 % Co), кобальтпирит $(Fe, Co)S_2$ (0,05 % — 3 % Co).

Более 99 % разведанных и эксплуатируемых мировых запасов никелевых руд представлены месторождениями двух геолого-промышленных типов: сульфидного медно-никелевого и силикатного железоникелевого (железокобальтоникелевого). Доли этих двух геолого-промышленных типов месторождений в мировых подтвержденных запасах составляют 33,4 % и 65,9 % соответственно. На долю месторождений еще четырех типов (арсенидного и сульфо-арсенидного никелево-кобальтового; ильменито-магнетитового никеленосного; колчеданного никеленосного; жильного) приходится лишь около 0,7 % мировых запасов никеля. Месторождения сульфидных медно-никелевых руд выявлены в России, Австралии, Канаде, Китае, ЮАР.

Силикатные никелевые месторождения выявлены в России, но имеют подчиненное значение. Содержание никеля в них ниже, чем в сульфидных рудах, и обычно составляет 0,2 % — 2 %, редко достигает 5 %.

Руды никеля комплексные. В них всегда в том или ином количестве содержится кобальт, который извлекается попутно. В России 89 % — 93 % никеля добывается из сульфидных руд. Запасы никель-кобальтовых руд составляют всего 0,1 % от общероссийских.

В Печенгском, Кольском и Мончегорском рудных районах Мурманской области находится 9 месторождений никеля сульфидного типа, крупнейшим из которых является Ждановское с содержанием никеля в рудах 0,6 %. Месторождение Заполярное содержит богатые руды (около 2 % никеля).

В Норильском рудном районе имеется 3 крупнейших месторождения никеля: Октябрьское, Талнахское и Норильск-1. Первые два являются уникальными как по запасам, так и по качеству руд. Содержание никеля в рудах колеблется от 0,5 % до 3 %. Всего в этих месторождениях сосредоточено около 70 % запасов никеля России.

Месторождения силикатных никелевых руд связаны с корой выветривания ультраосновных пород. Содержание никеля в этих рудах около 0,7 %. Попутным извлекаемым компонентом в них является кобальт. Все 16 промышленных месторождений силикатных никелевых руд расположены на Урале, в Свердловской, Челябинской и Оренбургской областях. Среди них самые крупные по запасам: Буруктальское (Орен-

бургская область) и Серовское (Свердловская область). Последнее дает 800–1000 т руды в год и обеспечивает сырьем Режевский и Уфалейский никелевые заводы.

Арсенидные никелевые руды разведаны в единственном месторождении Хову-Аксы в Республике Тыва. Это месторождение комплексное, содержащее кроме никеля, еще кобальт медь, серебро, висмут и мышьяк. Месторождение не эксплуатируется, но учтено в Государственном балансе РФ.

В 2015 г. на учет в Государственный баланс поставлены Елкинское и Еланское месторождения сульфидного медно-никелевого промышленного типа в Воронежской области, разведываемые ООО «Медногорский медно-серный комбинат» — дочерней компанией ОАО «УГМК». Недропользователь планирует совместную отработку месторождений подземным способом; переработка руд будет осуществляться на единой обогатительной фабрике мощностью 1,5 млн т руды в год. Металлургический передел концентрата будет происходить на предприятиях АО «Уралэлектромедь» в Свердловской области с получением рафинированных никеля, меди, кобальта и химически чистых благородных металлов.

В Мурманской области впервые учитываются запасы месторождения Северный Каменник малосульфидных собственно платиноидных руд. Переработка руд предполагается по флотационной схеме на проектируемой обогатительной фабрике совместно с рудами месторождения Федорова Тундра в силу близких технологических показателей. Суммарная годовая производительность предприятия составит 12 млн т руды, в том числе с месторождения Северный Каменник — 310 тыс. т руды.

В Красноярском крае добываемое сырье перерабатывается на мощностях единого обогатительного комплекса ПАО «ГМК „Норильский никель“» — все промышленные разности руд обогащаются по гравитационно-флотационной схеме на Талнахской и Норильской ОФ до коллективного концентрата. Кроме того, на последней перерабатывают техногенное сырье. В Мурманской области на Заполярной обогатительной фабрике перерабатывают вкрапленные руды Печенгской группы месторождений по флотационной схеме с получением медно-никелевого концентрата. В 2015 г. суммарное производство никеля в концентрате фабриками холдинга из отечественного сырья составило 203,6 тыс. т.

Возобновила разработку сульфидных руд компания ЗАО «НПК „Геотехнология“» на месторождении Шануч в Камчатском крае в пределах опытно-промышленного участка подземного рудника. Количество никеля в добытой руде составило 4,7 тыс. т, производительность опытно-промышленного участка — 88,9 тыс. т руды в год. Сырье было переработано на дробильно-сортировочном комплексе на промплощадке с получением товарного медно-никелевого концентрата.

1.2.5 Руды и россыпи олова

Всего известно 16 оловосодержащих минералов, представленных окислами, сульфидами, сульфостаннатами, силикатами, боратами и танталитами. Промышленное значение имеют касситерит SnO_2 и частично станнин (оловянный колчедан — $Cu_2S{\cdot}FeS{\cdot}SnS_2$).

Оловянный пояс простирается по всему западному побережью Тихого океана от Чукотки до Тасмании. Среди стран этого пояса запасами оловянных руд выделяются Россия (Эсэ-Хайя, Певек, Кавалерово).

Промышленные типы оловорудных месторождений могут быть подразделены на россыпные и коренные. В РФ удельный вес добычи олова из россыпей составляет всего лишь 25 % — 30 %; не менее 70 % олова извлекается из коренных, обычно очень сложных и труднообогатимых тонковкрапленных руд, требующих развитых схем обогащения с применением флотации.

Промышленная ценность оловянной руды зависит от вещественного состава, размеров вкрапленности и содержания касситерита в ней, наличия других ценных компонентов и ряда техноэкономических факторов, определяющих целесообразность разработки того или иного месторождения. При разработке комплексных россыпных месторождений извлечение касситерита возможно при содержании олова 0,01 % — 0,02 %, а комплексных коренных руд — при содержании олова 0,05 % — 0,08 %. Для чисто касситеритовых коренных руд содержание олова должно быть не ниже 0,2 % — 0,3 %.

В зависимости от размеров вкрапленности касситерита промышленные оловянные руды подразделяют на три типа: 1. Тонковкрапленные руды, в которых размер вкрапленности касситерита находится в пределах 0,2–0,001 мм и мельче. Извлечение олова из этих руд сопряжено с определенными трудностями, связанными с тонкой вкрапленностью касситерита; 2. Мелковкрапленные руды, в которых размер вкрапленности касситерита или его сростков колеблется от 1 до 0,2–0,1 мм; 3. Средне- и крупновкрапленные руды с преобладающим размером вкрапленности касситерита от 0,1 до 1 мм и выше.

Россыпные месторождения олова экономически наиболее эффективны для промышленного освоения. В России, где на россыпные месторождения приходятся всего 12,3 % разведанных запасов, ежегодное производство олова из россыпей составляет 20 % — 22 %. Основные промышленные скопления олова в россыпях разведаны в районах Якутии, Чукотки, Центральной Колымы и Забайкалья. Мелкомасштабные россыпи олова известны в Приморье. В последние годы перспективы промышленной россыпной оловоносности установлены в отдельных районах Хабаровского края, преимущественно по обрамлению Буреинского срединного массива.

В большей части россыпных месторождений олова продуктивные пески средние по качеству (содержание касситерита — 0,3–0,6 кг/м^3). В наиболее богатых россыпях концентрации касситерита достигают 1,2–2,0 кг/м^3.

Основной промышленный минерал оловоносных россыпей — касситерит, в качестве сопутствующих могут быть золото, вольфрамит, шеелит, танталит, колумбит, топаз, флюорит, кварц, хлорит, реже мусковит, гидрослюды железа и др., отражающие состав коренных оловорудных тел.

Россыпные месторождения олова делятся на элювиальные, делювиальные, аллювиальные и прибрежные (морские и озерные).

Наиболее легко обогащаются чисто касситеритовые руды и значительно труднее комплексные олововольфрамовые, содержащие вольфрамит, шеелит, а также оловолитиевые руды, содержащие сподумен, лепидолит, амблигонит и т. п. Еще труднее обогащаются руды касситеритово-сульфидной формации, особенно руды, содержащие тонковкрапленный касситерит, и комплексные руды, содержащие сульфиды тяжелых цветных металлов и минералы редких металлов.

Концентраты из песков россыпных месторождений, как правило, характеризуются более высоким содержанием олова и меньшим содержанием вредных примесей по сравнению с концентратами из руд коренных месторождений.

На предприятиях по выпуску оловянных концентратов и выплавке олова выработались следующие требования к концентратам: содержание олова — 60 %, железа — не более 5 %, серы — 1 %, суммы висмута, меди, свинца, цинка, мышьяка и сурьмы — не более 0,5 %.

Содержание касситерита в россыпях колеблется в очень больших пределах. Минимальное промышленное содержание в значительной мере зависит от размеров россыпей и способов их отработки. Применение механизации позволяет перерабатывать россыпи очень большой мощности, а минимальное промышленное содержание — снизить до 200 г/м^3. Вместе с россыпями иногда разрабатывают и подстилающие их выветрелые части коренных месторождений.

ПАО «Русолово», единственная в России оловодобывающая компания, по итогам 8 мес 2017 г. выпустила 511 т олова в концентрате. Этот показатель на 70 % превышает результат аналогичного периода в 300 т, достигнутый компанией в 2015 г.

В 2015 г. компания завершила модернизацию обогатительной фабрики на Правоурмийском месторождении, а в 2016 г. после восстановления ввела в эксплуатацию Солнечную обогатительную фабрику. По итогам 2017 г. компания планирует произвести почти 1000 т олова, что на 60 % выше объема выпуска 2016 г. ПАО «Русолово» создано на базе ОАО «Оловянная рудная компания» и ООО «Правоурмийское» и владеет лицензиями на разработку «Фестивального», «Перевального» и «Правоурмийского» месторождений на территории Хабаровского края. В 2016 г. произведено 627 т олова в концентрате. Компания входит в состав полиметаллического холдинга «Селигдар».

ОАО «Янолово» получило лицензию на разработку уникальных россыпей Тирехтяха в Республике Саха (Якутия), не имеющих аналогов в России как по запасам, так и по качеству песков. Из россыпей получаются богатые концентраты практически без вредных примесей, что обеспечивает высокую цену при реализации.

После банкротства в 2013 г. ОАО «Новосибирский оловянный комбинат» потребителем оловянного сырья стала компания ООО «Новосибирский обрабатывающий завод» (ООО «НОЗ»). Также продолжаются поставки концентратов за рубеж. В 2015 г. их объем составил почти 1721 т, что более чем втрое превысило показатель предыдущего года; более 96 % концентратов поступило в Китай, остальное — в Малайзию. В то же время сохраняется импорт концентратов в Россию, хотя его объемы резко (примерно в 8 раз) упали по сравнению с 2014 г.; весь материал поступил из Демократической Республики Конго.

1.2.6 Руды и россыпи титана

Главным титановым минералом, из которого производится более 85 % всей титановой продукции в мире, является один минерал — ильменит.

Магматические месторождения — наиболее значительный источник титанового минерального сырья. Среди них имеют важное промышленное значение месторождения следующих типов титановых руд: ильменит-титаномагнетитовые в габбро с 12 % —

18 % TiO_2; ильменит-титаномагнетитовые и ильменитовые месторождения в габбро-анортозитах с 7 % — 23 % TiO_2; ильменит-гематитовые в анортозитах с 32 % TiO_2, лопаритовые в ультраосновных щелочных породах с 1 % — 3 % TiO_2.

Экзогенные месторождения — вторая группа крупнейших источников природного титанового сырья. Среди них выделяются: остаточные месторождения титана, связанные с корами выветривания ильменитоносных основных пород; континентальные россыпи; прибрежно-морские современные и погребенные россыпи.

Метаморфогенные месторождения титановых минералов представлены самыми разнообразными типами. Есть месторождения, связанные с сильно метаморфизованными титаноносными базитами. Они образовались при региональном метаморфизме первично-магматических основных пород и представлены амфиболитами, содержащими рудные тела ильменит-магнетитовых сплошных руд и ильменитовых вкрапленных руд.

В РФ основными источниками титанового сырья являются, так же как и во всем мире, ильменитовые концентраты. В весьма незначительном количестве используются рутиловые концентраты, которые содержат 95 % — 96 % TiO_2 и могут заменять титановые шлаки. Кроме того, небольшая часть титана получается при комплексной переработке лопаритовых концентратов, содержащих 40 % TiO_2.

Погребенные прибрежно-морские россыпи — главный сырьевой источник получения ильменитовых концентратов, используемых для металлургического производства титана. При обогащении песков этих россыпей на промышленной обогатительной фабрике из них, кроме ильменитового, в качестве основной продукции получают также рутиловый и цирконовый концентраты, а в качестве попутной продукции — дистен-силлиманитовый, ставролитовый, кварцевый концентраты.

Второй сырьевой источник получения ильменитовых концентратов — пески континентальных аллювиально-делювиальных россыпей, при обогащении которых получают ильменитовые концентраты с менее измененным ильменитом. Химический состав их отличается большим разнообразием, как по содержанию основных компонентов, так и по элементам-примесям. Концентраты, сложенные наиболее измененными разностями ильменита, содержат 60 % и более TiO_2, применяются в металлургическом производстве титана, а концентраты, содержащие 52 % — 60 % TiO_2 с небольшой примесью фосфора (до 0,13 % P_2O_5) и хрома (до 0,05 % Cr_2O_3), используются для сернокислотного производства пигмента двуокиси титана.

Титановые руды и россыпи содержат до 30 % — 35 % диоксида титана. Для получения непосредственно из них металла или его соединений руды не пригодны.

Контрастность в магнитных и электрических свойствах минералов используется для их разделения методами электромагнитной и электрической сепарации. Созданы специальные высокопроизводительные аппараты, позволяющие получать мономинеральные фракции зерен с одинаковыми магнитными или электрическими свойствами, т. е. тем самым быстро и эффективно разделять минералы.

Перовскитовые руды титана Кольского полуострова являются на сегодняшний день перспективным видом титанового сырья. Измельченную руду подвергают магнитной сепарации для выделения титаномагнетита и других минералов железа, а немагнитную фракцию после обесшламливания сначала флотируют для отделения кальцита и получения кальцитового продукта, а затем производят операции по флотации перовскита. В результате получают титаномагнетитовый концентрат с 60 % железа и 7 % —

8 % TiO_2 при извлечении последнего 13 % — 15 % и перовскитовый концентрат с 48 % — 50 % TiO_2 при извлечении 65 % — 70 %.

В РФ титановые минеральные концентраты добываются из россыпных месторождений двух генетических типов — погребенных прибрежно-морских и континентальных.

Россыпи первого типа представляют собой глинистые кварцевые пески. Они залегают под мощной толщей перекрывающих пород на глубине 25–40 м и добываются в карьерах с помощью экскаваторов. По системе конвейеров добытые пески подаются на обогатительную фабрику полного цикла переработки.

Получаемый из этих россыпей ильменитовый концентрат является лучшим в мире титановым сырьем. Он состоит на 93 % — 95 % из ильменита с примесью лейкоксена, содержит 63,5 % — 65,5 % TiO_2 и незначительное количество примесей кремния, алюминия и др. Рутиловый концентрат тоже очень высококачественный титановый продукт: в нем содержится 95 % TiO_2, менее 2 % железа, менее 1,5 % кремния и циркония, сотые доли процента других примесей (фосфора, серы и т. д.). Цирконовый содержит не менее 65 % ZrO_2, дистен-силлиманитовый — не менее 57 % Al_2O_3, ставролитовый — не менее 45,5 % Al_2O_3.

Второй тип отрабатываемых в РФ россыпей — континентальные россыпи ильменита. Они приурочены к древним русловым и террасовым отложениям и залегают под слоем современных осадков мощностью от нескольких метров до 10–20 м. Для добычи рудоносных песков приходится производить довольно большие объемы вскрышных работ, разрабатываются они глубокими карьерами и драгами.

Ильменитовые концентраты, получаемые из континентальных россыпей, содержат 50 % — 57 % TiO_2, 0,08 % — 0,13 % P_2O_5 и менее 0,05 % Cr_2O_3. Они идут в основном на сернокислотную переработку для получения белого пигмента. Получают из континентальных россыпей и более высокотитанистые ильменитовые концентраты (с TiO_2 до 60 %), которые идут в металлургическое производство.

Россия производит только 1 % выпускаемого в мире диоксида титана в титановых концентратах.

Компания АО «Апатит» методом флотации и магнитной сепарации извлекает незначительное количество сфенового концентрата из хвостов апатитовой флотации; весь титаномагнетит и подавляющая часть сфена складируются в хвостохранилищах. Из сфенового концентрата получают титано-кальциевый пигмент, используемый в производстве лакокрасочной продукции.

На Ловозерском редкометальном месторождении в 2015 г. компанией ООО «Ловозерский ГОК» из руды на Карнасуртской обогатительной фабрике извлечено 7,816 тыс. т лопаритового концентрата (3,04 тыс. т TiO_2). Концентрат перерабатывался химико-металлургическим способом на Соликамском магниевом заводе в Пермском крае с получением оксидов редких и редкоземельных элементов и тетрахлорида титана, из которого произведено 1,981 тыс. т губчатого титана.

Опытно-промышленная добыча диоксида титана проводилась в Томской области на Южно-Александровском участке Туганского россыпного циркон-рутил-ильменитового месторождения. В 2015 г. компания ОАО «Туганский ГОК „Ильменит“» добыла открытым способом 17,9 тыс. куб. м рудных песков. На обогатительной фабрике из песков получено 383 т ильменит-рутил-лейкоксенового концентрата, содержащего 208 т TiO_2.

1.2.7 Вольфрамо-молибденовые руды

Вольфрам встречается в природе главным образом в виде окисленных сложных соединений, образованных трехокисью вольфрама WO_3 с оксидами железа и марганца или кальция, а иногда свинца, меди, тория и редкоземельных элементов. Из 22 вольфрамовых минералов, известных в настоящее время, промышленное значение имеют четыре: вольфрамит (Fe, Mn)WO_4 (плотность 6700–7500 кг/м^3), гюбнерит $MnWO_4$ (плотность 7100 кг/м^3), ферберит $FeWO_4$ (плотность 7500 кг/м^3) и шеелит CaWO4 (вольфрамат кальция, плотность 5800–6200 кг/м^3).

К промышленным типам вольфрамсодержаших руд относятся жильные кварц-вольфрамитовые и кварц-касситерито-вольфрамитовые, штокверковые, скарновые и россыпные. В месторождениях жильного типа содержатся вольфрамит, гюбнерит и шеелит, а также минералы молибдена, пирит, халькопирит, минералы олова, мышьяка, висмута и золота. В штокверковых месторождениях содержание вольфрама в 5–10 раз меньше, чем в жильных, но они имеют большие запасы. В скарновых рудах наряду с вольфрамом, представленным в основном шеелитом, содержатся молибден и олово. Россыпные месторождения вольфрама имеют небольшие запасы, однако играют в добыче вольфрама значительную роль Промышленное содержание триоксида вольфрама в россыпях (0,03 % — 0,1 %) значительно ниже, чем в коренных рудах, но их разработка значительно проще и экономически выгоднее. В этих россыпях наряду с вольфрамитом и шеелитом содержится также касситерит.

Вольфрамовые россыпи и руды обогащают, как и оловянные, в две стадии — первичное обогащение и доводка черновых концентратов. При невысоком содержании триоксида вольфрама в руде (0,1 % — 0,8 %) и высоких требованиях к качеству концентратов общая степень обогащения составляет от 300 до 600, которая может быть достигнута только при сочетании различных методов, например гравитационных и флотационных.

Крупнейшим российским продуцентом вольфрамовых концентратов традиционно является ОАО «Приморский ГОК», действующее на базе месторождения Восток-2. В 2015 г. компанией было произведено 2199,1 т концентрата, содержащего 1319,4 т триоксида вольфрама, что составило около 40 % национального показателя (в отдельные годы доля компании превышала 80 %, но с 2010 г. она устойчиво снижается). Показатели всех остальных продуцентов заметно ниже. ЗАО «Новоорловский ГОК», разрабатывающее Спокойнинское месторождение, получило 1502,6 т концентрата, содержащего 930,1 т триоксида вольфрама (более 27 % отечественного производства), ООО «Лермонтовский ГОК», эксплуатирующее одноименное месторождение — 1472,6 т концентрата, содержащего 883,6 т триоксида вольфрама (около 27 %). Концентрат вольфрама из природных руд также выпускается ЗАО «Закаменск» и ООО «А/с „Кварц“» (разрабатывают россыпь руч. Инкур и Бом-Горхонское месторождение соответственно), но объемы их производства на порядок меньше — в 2015 г. ими получено по 154 т продукта.

Полученные в России вольфрамовые концентраты направляются как на внутренний, так и на внешний рынки. В 2015 г. продажи вольфрамового сырья за рубеж сократились по сравнению с 2014 г. на 23,6 % — до 2678 т. Его покупателями выступили Южная Корея, закупившая более 63 % продукции, а также Вьетнам, Гонконг, Нидерланды и Сингапур.

При этом на внутреннем рынке сохраняется дефицит вольфрамового сырья, который частично компенсируется за счет импорта, объемы которого в 2015 г. выросли по сравнению с предыдущим годом на 25 % — до 1714 т. Главными поставщиками являлись Канада (около 51 %) и Вьетнам (около 30 %).

Основными потребителями вольфрамовых концентратов в России являются завод компании ОАО «Гидрометаллург» в г. Нальчик и предприятие ОАО «Кировградский завод твердых сплавов» в Свердловской области. С 2013 г. их потребление растет и в 2015 г. составило 4,5 тыс. т против 1,2 тыс. т в 2012 г.

Приморский ГОК 10 лет добивается изменения статуса земель в пределах Скрытого месторождения вольфрама: переводу из лесных земель в промышленные подлежит площадь 133,0434 га в лесничестве.

Кабардино-Балкария переоценит запасы руды на Тырныаузском месторождении (работы оцениваются в 60 млн руб.), чтобы начать добычу, обогащение и переработку вольфрамосодержащего сырья до конечной стадии — производства готового инструмента из твердых сплавов (при стоимости реализации проекта — 14,2 млрд руб.), доля импорта которого сегодня на российском рынке составляет до 90 %.

На обогатительной фабрике ООО «Сорский ферромолибденовый завод» выпущено 7590,1 т молибденового концентрата, содержащего 3253,6 т молибдена — на 4,5 % больше, чем в 2014 г. На ферромолибденовом заводе компании произведено 4659,7 т ферромолибдена, что на 3,5 % больше результата предыдущего года.

В результате создания в середине 2000-х гг. предприятий по производству ферромолибдена на базе Сорского и Жирекенского месторождений существенно снизились объемы поставок молибденовых концентратов на экспорт и прекратилось их поступление на российский рынок. В 2015 г. экспорт молибденовых концентратов составил 483 т и был осуществлен в Нидерланды.

1.2.8 Алюминийсодержащее сырье

Боксит — алюминиевая руда, состоящая из гидратов оксида алюминия, оксидов железа и кремния, сырье для получения глинозема и глиноземосодержащих огнеупоров. Содержание глинозема в промышленных бокситах колеблется от 40 % до 60 % и выше. Используется также в качестве флюса в черной металлургии. Бокситы являются важнейшей алюминиевой рудой, на которой, за немногими исключениями, базируется почти вся мировая алюминиевая промышленность.

Химический состав бокситов, в зависимости от минералогической формы гидроксида алюминия и количества примесей, колеблется в широких пределах. Качество бокситов, как и алюминиевой руды, определяется прежде всего содержанием в них глинозема и кремнезема: чем ниже содержащее SiO_2 и больше Al_2O_3, тем выше качество при прочих равных условиях.

Бокситовая руда представляет полиминеральную породу, в которой полезные минералы глинозема (гиббсит, бемит, диаспор) находятся в тесной парагенетической ассоциации и в разных количественных соотношениях с кремнеземсодержащими минералами (обычно каолинитом и шамозитом). Для месторождений бокситов характерно отсутствие визуальных границ между сортовой рудой и забалансовой бокситовой породой. Специфической особенностью бокситов является высокая дисперсность входя-

щих в них минералов, что определяет бокситы как чрезвычайно сложный объект механического обогащения.

В РФ основную долю в общем балансе бокситового сырья составляют два типа месторождений бокситов — гиббситовые (мезозойские) и преимущественно бемитовые (палеозойские).

Гиббситовые бокситы мезозойских месторождений Приангарья (Верхотуровское, Киргитейское, Порожнинское), а также бемитовые бокситы палеозойских месторождений Североонежского бокситорудного района (Иксинское) и Среднего Тимана (Вежаю-Ворыквинское) обнаруживают, несмотря на различия в минеральном составе, значительное сходство в условиях залегания, в распространении и взаимоотношениях диалогических разновидностей бокситовых пород, а также в ряде их структурных особенностей. Различие, обусловленное возрастом, выражается во внешнем облике и физическом состоянии породы — практически все бокситовые породы палеозойского возраста в отличие от мезозойских в разной степени сцементированы или уплотнены.

АО «Апатит» в 2015 г. получило из хвостов апатитовой флотации добытых руд 916,1 тыс. т нефелинового концентрата (на 1 % больше, чем годом ранее); ЗАО «Северо-Западная Фосфорная Компания» нефелиновый концентрат не выпускало.

Добыча и переработка бокситов и нефелиновой руды в 2015 г. равнялась соответственно 9,834 млн т и 3,159 млн т, при этом объем добычи бокситов по сравнению с 2014 г. увеличился на 7,2 %, а объем добычи нефелиновой руды снизился на 6,6 %.

1.3 Ресурсный потенциал отходов горно-металлургических производств

Текущая обеспеченность базовых отраслей экономики разведанными запасами основных видов полезных ископаемых представляется достаточно удовлетворительной. В то же время наметились или обострились проблемы МСБ цветных металлов.

Не обеспечен собственным сырьем ряд медеплавильных заводов Урала: Красноуральский, Среднеуральский, Карабашский, Медногорский. На Кольском полуострове с выбыванием Ждановского карьера, основного поставщика (около 80 %) медно-никелевых руд в регионе, в сложном положении окажутся металлургические комбинаты Печенганикель и Североникель.

Без достаточной сырьевой базы на оперативных, практически ежегодно приращиваемых запасах работают свинцово-цинковые рудники в Читинской области, Приморье и на Северном Кавказе, оловянные — в Хабаровском и Приморском краях, вольфрамовые — в Приморском крае.

По мере исчерпания запасов разрабатываемых месторождений техногенные объекты могут стать приоритетным, а в некоторых случаях и единственным источником минерального сырья.

В хвостах обогащения руд цветных металлов доля неизвлеченных компонентов от их количества в исходной руде составляет соответственно (средние и максимальные значения), %: олова — 35 и 58; вольфрама — 30 и 50; цинка — 26 и 47; свинца — 23 и 39; молибдена — 19 и 53; меди — 13 и 36; никеля — 10 и 25. Показатель извлече-

ния основных полезных ископаемых в России составляет 65 % — 78 %, а попутных элементов (в цветной металлургии) — от 10 % до 30 %.

При флотации медных руд извлечение Mo, Cd, Sb, Se, Te, Re колеблется в достаточно широком диапазоне значений. Практически полностью остаются в хвостах флотации In, Ga, Tl, Bi, Hg. В хвостах флотационного обогащения медных руд теряется, % отн.: 28,72–92,59 Mo, 22,54–92,08 Cd, 79,09–97,31 In, 81,42–99,54 Ga, 92,08–98,44 Ge, 92,08–98,35 Tl, 56,49–96,88 Sb, 6,28–49,33 S, 43,43–99,54 Se, 73,24–97,00 Te, 47,88–96,18 Re, 89,59–97,15 Bi, 89,44–99,90 Hg.

В хвостах флотационного обогащения полиметаллических руд теряется, % отн.: 1,64–80,36 Mo, 6,36–18,57 Cd, 14,64–81,48 In, 67,78–97,87 Ga, 69,37–92,48 Ge, 51,09–95,88 Nl, 18,67–80,29 Sb, 22,93–57,38 Se, 52,25–94,09 Te, 71,75–93,66 Re, 39,88–83,58 Bi, 58,01–78,27 Hg.

Примером ценности горнопромышленных отходов могут служить техногенные отходы медной подотрасли Урала — 220 млн т хвостов обогащения, в которых среднее содержание меди (0,34 % — 0,37 %) в отвалах некондиционных руд и хвостах обогащения близко к кондиционным (0,35 % — 0,5 %). Наибольшую ценность в хвостах обогащения уральских руд представляют сера (30 % — 50 % общей стоимости хвостов), драгоценные металлы (25 %— 45 %), медь (10 % — 20 %) и цинк (10 % — 15 %).

Хвосты обогащения медно-никелевых руд Норильского рудного узла содержат промышленные, с точки зрения современных технологий переработки, концентрации платиноидов, золота и серебра.

На обогатительных фабриках, перерабатывающих вольфрамо-молибденовые руды, не извлекаются от 22 % до 60 % меди, до 81 % висмута, до 62 % тантала, а также золото, серебро и другие элементы. На крупнейшем Тырныаузском комбинате, осуществляющем добычу и переработку вольфрамо-молибденовых руд, кондиционными считаются руды с содержанием >0,1 %WO_3. В хвостах его содержание превышает 0,04 %. На долю кондиционных руд приходится всего 13,5 % всей добытой горной массы. В этих рудах содержится лишь 34,6 % полезного компонента. Некондиционные руды (86,5 % добытой горной массы) уходят в отвал, унося с собой 65,4 % металла, содержащегося в эксплуатационном блоке.

Изучение технологической пробы некондиционной руды Тырныаузского месторождения показало, что отвалы некондиционной руды — полноценное техногенное месторождение, пригодное для отработки, причем со значительно меньшими затратами, чем месторождения коренных руд.

В целом на обогатительных фабриках вольфрамо-молибденовой подотрасли накоплено значительное количество хвостов флотационного и флотационно-гравитационного обогащения, которые содержат около 400 тыс. т молибдена и более 100 тыс. т вольфрама. Из общего объема лежалых молибденсодержащих хвостов более половины составляют хвосты с промышленным содержанием молибдена 0,012 % — 0,02 %, в остальной массе содержание молибдена менее 0,005 %.

Большие перспективы связаны с переработкой техногенных месторождений драгоценных металлов — золота и платины.

По ориентировочной оценке, в отходах медной, свинцово-цинковой, никель-кобальтовой, вольфрамо-молибденовой, оловянной, алюминиевой подотраслей промышленности содержится более 8,0 млн т меди, 9,0 млн т цинка, 1,0 млн т свинца, 2,5 млн т никеля, 33,5 млн т Al_2O_3, 600 тыс. т олова, 200 тыс. т молибдена, около

1 тыс. т золота и 12 тыс. т серебра. Резервы полезных компонентов в накопленных отходах равноценны открытию многих новых месторождений.

Из наиболее крупных техногенных накоплений рудного минерального сырья могут быть выделены хвосты обогащения Гайского, Норильского, Салаирского, Учалинского и Солнечного ГОКов; шлаки металлургических заводов — Среднеуральского, Электроцинк, Печенганикель, Североникель; некондиционные руды Гайского, Сибайского и других ГОКов.

Суммарная ценность накопленных извлекаемых металлов в горнопромышленных отходах, по ориентировочной оценке, подчас сопоставима с ценностью потенциальных ресурсов минерального сырья в недрах и более чем в 4 раза превышает ценность идентифицированных ресурсов или известных запасов в недрах, которые пока не используются.

Несмотря на такой огромный ресурсный потенциал, горнопромышленные отходы в России используются лишь как сырье для стройиндустрии (не более 10 % годового объема их образования). В то же время за рубежом из отходов с помощью нетрадиционных технологий (различных видов выщелачивания) получают более 40 % годового объема меди, 35 % золота и значительную долю других металлов.

При вовлечении в переработку отходов горнорудного производства наряду с пополнением МСБ решаются экологические проблемы. При толщине слоя 20 м отходы занимают площадь более 1300 км^2. Ежегодное увеличение площади отчуждаемых земель составляет не менее 85–90 км^2. Негативное воздействие на окружающую среду проявляется на территории, в 10 раз и более превышающей площадь, занимаемую отходами. Значительная часть отчуждаемых земель находится в промышленно развитых районах, нередко в границах населенных пунктов и крупных городов.

При вовлечении в переработку отходов горнорудного производства наряду с пополнением МСБ решаются экологические проблемы. Особую привлекательность придает техногенным месторождениям то, что, как правило, они расположены в промышленно развитых районах, находятся на поверхности земли и горная масса в них преимущественно дезинтегрирована, что резко снижает затраты на их разработку.

1.4 Основные экологические проблемы

Воздействие горнодобывающей деятельности на окружающую среду зависит от геологических особенностей, размера, формы месторождения и концентрации полезногокомпонента, природно-климатических особенностей территории расположения, а также от применяемых методов добычи и обогащения, выбранных технических и технологических решений, природоохранных мероприятий и др.

Горнодобывающая деятельность оказывает воздействие на все компоненты окружающей среды: недра, земли, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный и животный мир.

Геолого-разведочные работы (ГРР) оказывают незначительное воздействие на окружающую среду, что связано с кратковременностью и локальностью проводимых работ, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

Основные эмиссии этапа ГРР: выбросы твердых загрязняющих веществ (пыль) — при строительстве дорог и других коммуникаций, ведении горно-буровых работ, пробной добыче, погрузке и транспортировке горной массы, а также при эксплуа-

тации техники; выбросы газообразных веществ (выхлопные газы) — эксплуатация техники; сбросы загрязненных сточных вод в водные объекты — при осушении разведочных горных выработок; образование и размещение отходов вскрышных и вмещающих пород — при ведении горно-буровых работ и пробной добыче; шум, вибрация — при строительстве дорог и других коммуникаций, ведении буровзрывных работ, погрузке горной массы, эксплуатации техники.

Основные виды работ этапа строительства, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду: инженерная подготовка территории (расчистка, планировка, осушение поверхности); горно-капитальные работы (в том числе применение буровзрывных работ); строительство зданий и сооружений, объектов размещения отходов и очистных сооружений (породных отвалов, хвостохранилищ, прудов-отстойников), складов и др.; строительство линейных объектов (подъездных и внутриплощадочных дорог, железнодорожных путей, трубопроводов, ЛЭП); осушение горных выработок со сбросом сточных вод в водные объекты; эксплуатация техники и оборудования.

На этапе эксплуатации добыча руд оказывает значительное воздействие на недра за счет изъятия горной массы из недр и нарушения состояния геологической среды. Нарушения геологической среды проявляются в виде: формирования подземных полостей; изменения полей напряжений в горном массиве; нарушения циркулирующих в недрах водоносных, газовых и других потоков.

На этапе эксплуатации вскрышные и добычные работы, а также операции по размещению отходов сопровождаются нарушением ландшафтов, утратой растительного и почвенного покрова, местообитаний на территории производства работ.

Размещение отходов добычи осуществляется как на поверхности, так и в горных выработках. Внешние отвалы могут занимать значительные площади, преобразуя естественный рельеф местности, и являться источником загрязнения окружающей среды. Водоотлив изменяет направление движения подземных вод в районе действия горнодобывающего предприятия, сопровождается понижением уровня подземных вод с формированием депрессионной воронки, превосходящей размеры шахтного (карьерного) поля. Данные процессы приводят к изменению водного баланса прилегающей территории и сопровождаются снижением расходов малых рек, изменением водного баланса почв, вызывая угнетение поверхностного и водного биологического разнообразия, вплоть до исчезновения популяций некоторых видов. Снижение уровня подземных вод может вызывать также высыхание колодцев и водозаборных скважин.

Для очистки шахтных и карьерных вод перед сбросом в водный объект на территории организуются очистные сооружения.

При эксплуатации горнодобывающего предприятия образуются поверхностные и хозяйственно-бытовые сточные воды. Отведение сточных вод осуществляется в централизованную систему канализации либо на очистные сооружения с последующим сбросом в водный объект.

Пруды-отстойники и другие очистные сооружения могут быть источником загрязнения подземных вод и почв при фильтрации загрязненных сточных вод через основание и дамбы.

Воздействие сброса сточных вод в поверхностные водные объекты проявляется в изменении гидрологического и температурного режимом водотока, химического состава, повышении мутности и заиливании дна, что негативно сказывается на водном

биоразнообразии, а также на возможностях использования водного объекта в хозяйственных и рекреационных целях.

На территории организуется система хозяйственно-питьевого и производственного водоснабжения, источником может быть свежая вода из поверхностных или подземных источников либо очищенная вода системы оборотного водоснабжения предприятия.

Выемка и погрузка горной массы, как и буровзрывные работы, отвалообразование и пр. сопровождаются выбросами пыли, распространяющимися на значительные расстояния. В состав пыли могут входить соединения тяжелых металлов, которые при определенных концентрациях могут губительно действовать на живые организмы, негативно воздействуя практически на все составляющие экосистемы: атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвенный покров, растительный и животный мир и человека. Оседающая на поверхность земли и водных объектов пыль может вызывать их загрязнение, оказывать воздействие на растения и условия их роста.

На этапе эксплуатации горнодобывающего предприятия возможны выбросы следующих веществ: пыли и рудничных газов — из горных выработок, в состав рудничных газов входит преимущественно метан, с примесью: оксида углерода, сероводорода, диоксида серы, тяжелых углеводородов; оксидов азота, оксида углерода, диоксида серы, бенз(а)пирена, золы, мазутной золы, сажи, углеводородов (бензин, керосин, формальдегид) — при сжигании топлива в котельных и иных топливосжигающих установках; пыли, оксидов азота, оксида углерода — при ведении буровзрывных работ; выхлопных газов (оксиды азота, оксид углерода, диоксид серы, углеводороды, сажа) и пыли — при эксплуа-тации техники.

Выбросы оксидов серы и азота могут вызывать закисление почв и водных объектов, наносить ущерб растительности.

Практически все операции этапа эксплуатации сопровождаются физическими факторами воздействия (искусственное освещение, шум, вибрация, электромагнитное излучение). Наиболее значимое воздействие связано с ведением буровзрывных работ при открытой разработке месторождений.

В результате загрязнения и (или) изменения компонентов окружающей среды в процессе добычи полезных ископаемых происходит угнетение биоценозов на прилегающих территориях; оказывается воздействие на социально-экономические и рекреационные условия проживания населения на близлежащей территории; изменяются среда обитания человека, состояние компонентов биогеоценозов и биоразнообразие, условия землепользования; снижается стоимость объектов недвижимости и земель и т. д.

Процессы обогащения руд сопровождаются выбросами загрязняющих веществ, образованием сточных вод, отходов и другими воздействиями на окружающую среду, зависящими от состава обогащаемого минерального сырья, выбранного метода обогащения, применяемых технических и технологических решений.

Наиболее значимое негативное воздействие на компоненты окружающей среды оказывают операции по размещению отходовобогащения.

Отходы обогащения (хвосты (шламы)) представляют собой мелкофракционный материал, в том числе содержащий остатки применяемых реагентов, размещаемый на объектах размещения отходов (отвалах, хвостохранилищах (шламонакопителях)).

Воздействие от объектов размещения отходов обогащения проявляется в виде изъятия земель, трансформации естественных ландшафтов, статической нагрузки на грунты, загрязнении компонентов окружающей среды.

Загрязнения окружающей среды проявляются в случаях: фильтрации загрязненных сточных вод через основания и дамбы гидротехнических сооружений при нарушении целостности или отсутствии изолирующих экранов; пыления с поверхности объектов размещения отходов; аварийных прорывов дамб, пульпопроводов и др.

Отходы обогащения за счет мелкофракционного состояния могут активно вступать в химические реакции при доступе воды и кислорода с образованием опасных веществ и соединений, способных мигрировать в подземные горизонты, загрязнять, в том числе закислять, почвы и водные объекты. Загрязнение компонентов окружающей среды приводит к угнетению водных и прибрежных биоценозов, ухудшению качества воды источников водоснабженияи др.

На хвостохранилищах (шламонакопителях) возможно развитие опасных инженерно-геологических процессов и явлений, таких как оплывание откосов дамб, появление зон высачивания вод, оседание, промоины и др.

Аварийные ситуации могут привести к катастрофическим последствиям в связи с затоплением и погребением значительных площадей естественных ландшафтов, разрушением зданий и сооружений, инженерных коммуникаций, уничтожением растительного покрова, гибелью людей и животных, значительным загрязнением почв, поверхностных и подземных водных объектов.

Состав загрязненных сточных вод при обогащении полезных ископаемых зависит от состава минерального сырья, применяемых реагентов и др.

Загрязнение водных объектов негативно сказывается на водном биоразнообразии, а также на возможностях использования водного объекта в хозяйственных и рекреационных целях.

Процессы обогащения сопровождаются значительным водопотреблением. Источником водоснабжения могут являться очищенные сточные воды системы оборотного водоснабжения предприятия либо свежая вода из поверхностных или подземных источников.

При обогащении руды на обогатительных фабриках основными загрязняющими атмосферный воздух ингредиентами являются: пыль от процессов сортировки, дробления, грохочения горной массы и продукции, узлов перегрузки и погрузки/разгрузки, мест складирования и хранения горной массы и продукции, а также обжига, сушки концентрата после мокрого обогащения. Состав пыли зависит от вида обогащаемого полезного ископаемого, а также химического и морфологического состава горной массы; оксиды азота, оксид углерода, диоксид серы, зола, бенз(а)пирен — при сжигании топлива в отделениях обжига и на установках сушки концентрата; специфические загрязняющие вещества от реагентных, флотационных отделений, в зависимости от технологии обогащения и состава обогащаемого полезного ископаемого.

При выполнении ликвидационных работ возможно загрязнение атмосферного воздуха твердыми (пыль) и газообразными (выхлопные газы) веществами, образование и размещение отходов от демонтажа зданий и сооружений, образование загрязненного поверхностного стока и сброса шахтных вод в водные объекты, физические факторы воздействия.

Основные виды работ, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду при рекультивации нарушенных земель: планировочные работы; агротехнические и фитомелиоративные мероприятия по восстановлению плодородия нарушенных земель; эксплуатация техники и оборудования. При выполнении рекультивационных работ возможно загрязнение атмосферного воздуха твердыми (пыль) и газообразными (выхлопные газы) веществами, переуплотнение и загрязнение формируемого плодородного слоя почвы и грунтов в результате движения техники. Внесение минеральных и органических удобрений является физико-химическим фактором воздействия. Состав и объем вносимых удобрений зависит от агрохимических свойств формируемого корнеобитаемого почвенного слоя и видов применяемых культур. Также возможным негативным воздействием на окружающую среду при рекультивации может быть внедрение инвазионных видов флоры и фауны.

Основные противоречия в процессах производственной деятельности и отходообразования горных предприятий могут быть разрешены путем утилизации техногенного и некондиционного минерального сырья в цикле комплексного освоения месторождений цветных металлов и применения спецмер (см. рисунок 1.21): осушение на карьерах и водоотлив из шахт; очистка шахтных и карьерных вод с их использованием в производстве; оборотное водоснабжение и регенерация реагентов на обогатительных фабриках; селективные технологии складирования отходов и хвостов обогащения; оптимизация размещения породных отвалов с размещением отходов в горных выработках; мониторинг состояния хвостохранилищ и дамб.

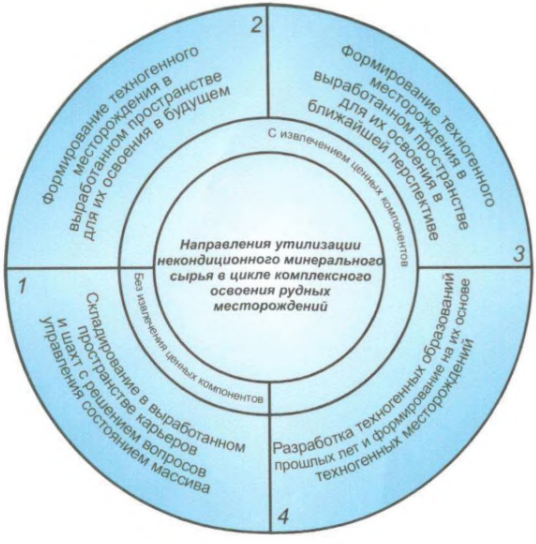


Рисунок 1.21 — Модель утилизации техногенного и некондиционного минерального сырья

Модель (см. рисунок 1.21) позволяет перевести отходообразование из затратной сферы в прибыльную и параллельно снизить все возрастающее негативное воздей-

ствие производства на окружающую среду, обеспечив тем самым поддержание экологической устойчивости системы «природа — производство».

Реальным потребителем отходов может быть строительная отрасль как наиболее материалоемкая. В мире ежегодно добываются сотни миллионов тонн нерудного сырья для производства строительных материалов. Как правило, такого рода сырье содержится в карьерах, что приводит к выведению из хозяйственного оборота больших площадей земель и нарушению сложившегося экологического равновесия. Объем производимых отходов соизмерим с потребностью промышленности строительных материалов в минеральном сырье. Однако в настоящее время в России используется не более 8 % — 10 % отходов.

Вовлечение в хозяйственный оборот техногенных месторождений позволит решить некоторые важные проблемы минерально-сырьевого комплекса страны и улучшить экологическую ситуацию. В частности, оно обеспечит сокращение расходов на поиски и разведку новых месторождений, повышение производительности труда за счет рентабельной переработки уже добытого сырья, улучшение условий труда, так как техногенные месторождения расположены на поверхности Земли в отличие от все более глубокозалегающих обычных коренных месторождений полезных ископаемых, высвобождение занимаемых техногенными отходами земель и их рекультивацию, ликвидацию источников загрязнения окружающей среды.

Воздействие на окружающую среду, указанное в разделе 1.4, возможно только в случае невыполнения природопользователями природоохранных мероприятий.

Раздел 2. Описание технологических процессов при добыче и обогащении руд цветных металлов

2.1 Открытая добыча руд цветных металлов

2.1.1 Общие положения

В России руды цветных металлов залегают в основном на Урале, в Красноярском крае, Забайкалье, Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. Разработка месторождений цветных металлов — это совокупность взаимосвязанных технологических процессов, осуществляемых в пределах отведенного для этих целей участка.

В зависимости от условий залегания рудных месторождений и мощности залежей разработка осуществляется открытым, подземным или комбинированным открытоподземным способами [11]. По отдельным видам руд используются скважинные технологии.

Открытая разработка применяется [12]–[14], если рудное месторождение залегает неглубоко. Подземный способ применяется [15]–[22] в случае залегания руд на значительной глубине. Скважинные технологии используются для руд, способных переходить в жидкое или газообразное состояние в результате специального воздействия [23].

Большинство крупных предприятий Сибири и Дальнего Востока ведут добычу руд на глубинах свыше 500 м, на месторождениях Норильского промышленного района отработка запасов ведется на глубине до 1,5 км, Горной Шории — в среднем на глубине 900 м. В Канаде добычу руд, содержащих золото, медь, никель, ведут на глубинах

1800–2600 м; в США извлечение меди и золота — на глубинах от 1700 до 3000 м; в Индии золото извлекают с глубины в 3500 м; в Южно-Африканской Республике работы ведутся на глубине более 4000 м.

Преимущества открытого способа добычи:

- уровень комплексной механизации и автоматизации горных работ обеспечивает большую производительность труда и меньшие затраты на добычу полезного ископаемого;
- более безопасные и комфортные условия труда;
- более полное извлечение полезного ископаемого;
- меньшие удельные капитальные затраты на строительство.

Недостатки открытого способа:

- необходимость выемки значительно превышающих объем руды вскрышных пород, затраты на что составляют основную часть общих затрат;
- необходимость изъятия из пользования значительных площадей земли и изменение ландшафта;
- изменение гидрологической ситуации в районе добычных работ.

При подземном способе разработки объемы перемещаемых пустых пород по сравнению с открытым способом незначительны и требуют меньших площадей для их размещения. Обеспечивается сохранность земной поверхности.

Преимущества скважинных технологий заключаются в возможности вскрытия запасов руд для безлюдной отработки в короткое время при сравнительно небольших затратах и минимальном риске в любых горно-геологических условиях. К недостаткам можно отнести ограниченность применения руд со специфическими условиями оруденения и вскрытия (например, растворимых солей, меди, золота, урана).

Комбинированным способом разрабатывают мощные крутопадающие месторождения с выходом на земную поверхность.

Горнодобывающая деятельность предприятия прекращается после отработки балансовых запасов. Развитие горнодобывающей промышленности России, обусловленное рыночной конъюнктурой спроса на минерально-сырьевые ресурсы и ужесточением требований к рациональному природопользованию при добыче и переработке полезных ископаемых, осуществляется на основе использования передовых технологий, оптимизации производства и прироста запасов.

Открытая разработка месторождения включает в себя: подготовку поверхности, осушение месторождения, горно-капитальные работы по вскрытию и подготовке к добыче, в том числе вскрытие путем удаления вмещающих руду пустых пород и добычные работы (см. рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 — Открытая разработка месторождения

Открытым способом добывают металлы из месторождений: алюминий Вежаю-Ворыквинское (Республика Коми), медь Удоканского (Забайкальский край), никель Буруктальского (Оренбургская область), свинец Горевского (Красноярский край), цинк Комсомольского (Оренбургская область), олово Одинокое (Республика Саха (Якутия)), вольфрам Лермонтовского (Приморский край), молибден Сорского (Республика Хакасия), титан Ярегского (Республика Коми) и др.

Основные процессы открытых горных работ: снятие почвы, вскрытие рудного тела, отделение руды от массива, транспортировка, первичная подготовка, складирование пород и некондиционного сырья.

2.1.2 Снятие и складирование почвы

Разрабатывающие открытым способом месторождения руд цветных металлов предприятия обязаны снимать плодородный слой почвы и использовать его для улучшения земельных угодий. Снятие плодородного слоя почвы бульдозером осуществляется прирезками с созданием временного штабеля.

Почва грузится экскаваторами или погрузчиками и вывозится во временный отвал или к месту использования. При снятии почвы с древесной и кустарниковой растительностью осуществляется предварительная уборка древесины и освобождение от пней и корней.

Почва в отвалах сохраняет свои свойства в течение 20 лет. Под отвалы почв отводятся участки с исключением подтопления, засоления или загрязнения промышленными отходами и строительным мусором.

2.1.3 Вскрытие

Вскрытие представляет собой комплекс обеспечения доступа к руде путем производства горно-капитальных и текущих работ.

Горно-капитальные работы обеспечивают доступ к полезному ископаемому путем проходки железнодорожных или автомобильных траншей. Текущие вскрышные работы карьера обеспечивают объем добычи руды на запланированном уровне.

Покрывающие породы подразделяют на рыхлые и скальные. К рыхлым относят породы, выемка которых возможна без рыхления буровзрывным способом с использованием экскаваторов и драглайнов. Роторные экскаваторы непрерывного действия разрушают породу с помощью рабочих элементов роторного колеса и транспортируют ее в отвалы или склады.

При разработке рыхлых пород породу отделяют от массива, транспортируют и укладывают в отвал при помощи воды под напором.

Породы рыхлой вскрыши разрабатывают драглайнами или экскаваторами. Скальные породы отличаются тем, что для их экскавации требуется предварительное рыхление буровзрывным способом. На карьерах применяют гидравлические экскаваторы и экскаваторы типа механическая лопата. В процессе вскрытия покрывающие породы снимают и складируют в отвалы, обеспечивая доступ к руде (см. рисунок 2.2).

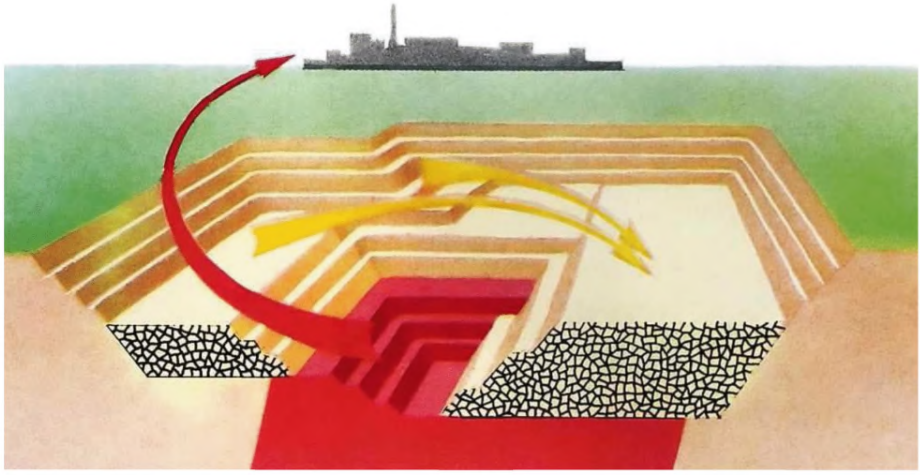


Рисунок 2.2 — Вскрытие месторождения

2.1.4 Системы разработки

Параметрами карьера открытой добычи являются объем горной массы, конечная глубина, размеры по подошве, углы откосов бортов, запасы полезного ископаемого, объем вскрыши и полезного ископаемого, высоты уступов, размеры на уровне дневной поверхности. Углы откосов бортов карьера определяются конструкцией бортов и условиями устойчивого равновесия слагающих его пород.

Горно-капитальные работы включают в себя проходку капитальных и разрезных траншей. Вскрытие месторождения осуществляют чаще всего с помощью капитальной траншеи.

Система разработки называется сплошной, если горно-подготовительные работы отсутствуют. При транспортной системе разработки вскрышных работ порода перемещается сначала во внешний отвал, а по мере развития горных работ — во внутренний отвал.

Вскрыша отрабатывается уступами, высота которых в слабых породах не должна превышать максимальную высоту черпания экскаватора, а крепких породах — более чем в 1,5 раза.

Подготовка горных пород к выемке производится буровзрывным способом с дроблением до заданной крупности. Нужная крупность пород обеспечивается путем рассредоточения зарядов в скважинах большого диаметра. При необходимости получения породных блоков больших размеров небольшие заряды размещают на небольшом расстоянии друг от друга в скважинах малого диаметра.

Выемка горной массы осуществляется чаще всего торцовым забоем, который обеспечивает максимальную производительность экскаватора за счет удобного взаимодействия с автотранспортом.

Карьерный транспорт является связующим звеном системы разработки. Затраты на него составляют не менее 50 % от общих затрат на добычу.

При цикличном транспорте погрузка, движение с грузом, разгрузка и движение без груза осуществляются последовательно, а при транспорте непрерывного действия эти операции совмещаются.

Этапом производства вскрышных работ является образование отвалов. Высота отвального уступа зависит от физико-технических свойств складируемых пород, а количество уступов определяется отводимой площадью и объемом пород. В зависимости от места расположения отвала по отношению к конечному контуру карьера различают внутренние и внешние отвалы. Внешние отвалы располагаются ближе к карьеру, чтобы уменьшить затраты на перемещение вскрыши.

Угол откоса отвальных уступов обычно равен углу естественного откоса пород отвала и зависит от физико-технических свойств пород, их разрыхления и влажности.

Фронтом отвальных работ называют часть участка приема и размещения вскрышных пород. Процесс отвалообразования включает возведение насыпей, разгрузку и складирование вскрышных пород, планировку поверхности и оборудование транспортных коммуникаций.

Веерное формирование отвалов осуществляется бульдозерами по транспортной схеме. По длине участка устраивается предохранительная берма шириной не менее 5 м. За призмой обрушения по длине фронта работ устраивается породная отсыпка высотой не менее 0,5 диаметра колеса применяемого автосамосвала.

Россыпи добывают драгами и гидравлическим способом. Добыча драгами осуществляется при соответствии параметров драги глубине залегания руд, возможностям водного бассейна и крупности руд.

Проф. Е. Ф. Шешко в основу классификации систем открытой разработки принял направление перемещения вскрышных пород из забоев в отвалы (см. таблицу 2.1).

Таблица 2.1 — Классификация систем разработки по Е. Ф. Шешко

Класс	Группа	Характерные признаки
I. Бестранспортные	А. Простая	Экскаваторы выполняют все операции по разработке: выемку, перевалку пустой породы во внутренние отвалы
	Б. С кратной перевалкой	
II. Транспортно-отвальные	А. С применением консольных отвалообразователей	Выемочно-погрузочные работы производятся многочерпаковыми экскаваторами; удаление пустых пород во внутренние отвалы — консольными отвалообразователями, или транспортно-отвальными мостами, или башенными экскаваторами
	Б. С применением транспортно-отвальных мостов	
	В. С применением башенных экскаваторов	
III. Специальные		Системы с перевалкой пустых пород кабель-кранами, башенными экскаваторами или с удалением пород средствами гидромеханизации или колесными скреперами
IV. Транспортные	А. С перевозкой породы во внутренние отвалы	Все погрузочные работы производятся экскаваторами, а транспортирование — локомотивами или средствами безрельсового транспорта во внешние или во внутренние отвалы
	Б. С перевозкой породы на внешние отвалы	
	В. С перевозкой породы на внешние и во внутренние отвалы	
V. Комбинированные	А. С сочетанием I и III классов	Толщу вскрышных пород делят по вертикали на две зоны. Верхнюю разрабатывают экскаваторами с погрузкой породы в думпкары или автомашины, с транспортированием на внешние отвалы. Породы нижней зоны переваливают непосредственно в отвал вскрышными экскаваторами, транспортно-отвальными мостами или консольными отвалообразователями

Академик Н.В. Мельников классифицировал системы открытой разработки месторождений по способу производства вскрышных работ (см. таблицу 2.2).

Продолжение таблицы 2.2

Таблица 2.2 — Классификация систем разработки по Н. В. Мельникову

Система разработки	Основные характеристики системы разработки	Условия применения	Характерное забойное и транспортное оборудование
Бестранспортная: без переэкскавации или с переэкскавацией пород на отвалах	Вскрышные породы перемещают во внутренние отвалы непосредственно экскаваторами; возможна переэкскавация пород на отвалах	Пласты горизонтальные или пологие. Их мощность и мощность покрывающих пород ограничена. Наклонные и крутые пласты при мягких вмещающих породах и глубине карьера, позволяющей производить двойную и тройную переэкскавацию пород экскаваторами	Экскаваторы-мехлопаты и драглайны с большими рабочими параметрами; оборудование для транспортирования вскрыши отсутствует
Экскаватор-карьер	Вскрышные и добычные работы производятся одним экскаватором-драглайном попеременно. Вскрыша переваливается в выработанное пространство, полезное ископаемое грузится в передвижной бункер, устанавливаемый на поверхности. Из бункера полезное ископаемое поступает на конвейеры, в автотранспорт или в средства ж/д транспорта	Пласты горизонтальные или пологие ограниченной мощности (до 20–25 м); покрывающие породы мощностью до 25–30 м	Экскаватор-драглайн, передвижной бункер с питателем
Транспортно-отвальная	Вскрышные породы перемещают во внутренние отвалы при помощи передвижных транспортно-отвальных установок (транспортно-отвальных мостов или отвалообразователей)	Пласты горизонтальные или пологие; рыхлые, мягкие покрывающие породы	Многоковшовые цепные или роторные экскаваторы и мехлопаты. Транспортно-отвальные мосты и передвижные консольные отвалообразователи

Окончание таблицы 2.2

Система разработки	Основные характеристики системы разработки	Условия применения	Характерное забойное и транспортное оборудование
Специальная	Вскрышные породы удаляют башенными экскаваторами, колесными скреперами, гидромеханизированным способом или кабель-кранами	Пласты горизонтальные или пологие; мягкие, рыхлые покрывающие породы. При применении кабель-кранов — крутые пласты в крепких породах	Башенные экскаваторы, колесные скреперы, транспортное оборудование отсутствует; гидромониторы и землесосные установки, кабель-краны
Транспортная	Вскрышные породы средствами колесного транспорта перемещают во внутренние или внешние отвалы	Любая форма месторождения и любая крепость пород	Экскаваторы; рельсовый или автомобильный транспорт
Комбинированная	Вскрышные породы верхних уступов средствами транспорта вывозят во внешние или внутренние отвалы; породы нижних уступов перемещают во внутренние отвалы экскаваторами или транспортно-отвальными установками; возможны другие сочетания систем	Пласты горизонтальные или пологие ограниченной мощности; покрывающие породы мягкие, рыхлые или не выше средней крепости	Экскаваторы для верхних уступов и экскаваторы с удлиненными рабочими параметрами для нижних уступов; рельсовый или автомобильный транспорт, транспортно-отвальные установки

В классификации В. В. Ржевского главным признаком принято направление выемки в пределах всей рабочей зоны карьера (см. таблицу 2.3).

Таблица 2.3 — Классификация систем разработки по В. В. Ржевскому

Индекс группы	Группа систем	Подгруппа	Система разработки
С	Сплошные	Продольные (СД) Поперечные (СП) Веерные (СВ) Кольцевые (СК)	Однобортовая (СДО)
			Двухбортовая (СДД)
			Однобортовая (СПО)
			Двухбортовая (СПД)
			Центральная (СВЦ)
			Рассредоточенная (СВР)
			Центральная (СКЦ)
			Периферийная (СКП)
У	Углубочные	Продольные (УП)	Однобортовая (УДО)

Индекс группы	Группа систем	Подгруппа	Система разработки
		Поперечные (УП) Веерные (УВ) Кольцевые (УК)	Двухбортовая (УДД)
			Однобортовая (УПО)
			Двухбортовая (УПД)
			Рассредоточенная (УВР)
			Центральная (УКЦ)
УС	Смешанные (углубочно-сплошные)	То же, в различных сочетаниях	

Классификация систем разработки по К. Н. Трубецкому приведена в таблице 2.4.

Таблица 2.4 — Классификация систем разработки по К. Н. Трубецкому

Индекс группы	Группа систем	Индекс подгруппы	Подгруппа	Индекс системы	Система разработки
С	Сплошные (с постоянным положением рабочей зоны)	СД	Сплошные продольные	СДО	Сплошная продольная однобортовая
				СДД	Сплошная продольная двухбортовая
		СП	Сплошные поперечные	СПО	Сплошная поперечная однобортовая
				СПД	Сплошная поперечная двухбортовая
		СВ	Сплошные веерные	СВЦ	Сплошная веерная центральная
				СВР	Сплошная веерная рассредоточенная
		СК	Сплошные кольцевые	СКЦ	Сплошная кольцевая центральная
				СКП	Сплошная кольцевая периферийная
У	Углубочные (с переменным положением рабочей зоны)	УД	Углубочные продольные	УДО	Углубочная продольная однобортовая
				УДД	Углубочная продольная двухбортовая
		УП	Углубочные поперечные	УПО	Углубочная поперечная однобортовая
				УПД	Углубочная поперечная двухбортовая
		УВ	Углубочные веерные	УВР	Углубочная веерная рассредоточенная
		УК	Углубочные кольцевые	УКЦ	Углубочная кольцевая

Индекс группы	Группа систем	Индекс под-группы	Подгруппа	Индекс систе-мы	Система разработки
УС	Смешанные (углубочно-сплошные)	–	Те же в различных сочетаниях		

2.1.5 Буровзрывные работы

Буровзрывные работы имеют целью подготовку скального массива к экскавации. Расчет параметров взрывания базируется на зависимости разрушенного объема породы от массы заряда взрывчатого вещества. Свойства массива учитываются через удельный расход взрывчатого вещества, величина которого регламентируется. В большинстве случаев буровзрывное рыхление массива основано на расположении взрывчатого вещества в скважинах, пробуренных буровыми станками.

Буровые работы совмещаются с другими процессами (см. рисунок 2.3).

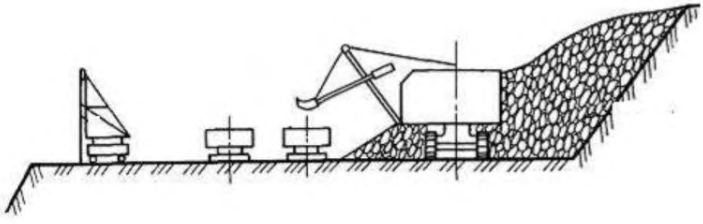


Рисунок 2.3 — Совмещение работ на уступе

Бурение скважин производится буровыми станками шарошечного типа или ударно-шарошечного бурения. Диаметр взрывных скважин зависит от категории буримости породы, расстояния между скважинами, свойств ВВ и др. Скважин бурят на определенном расстоянии друг от друга в зависимости от типа пород, диаметра скважин, применяемого ВВ.

Отбойка скважинными зарядами заключается в размещении ВВ в скважинах с заполнением части скважины инертными материалами. Скважины размещаются на расстоянии друг от друга так, чтобы разрушения в каждой скважине перекрывали друг друга. Заряд ВВ в скважине может быть сплошным и рассредоточенным, что увеличивает эффективность использования ВВ.

Применяется многорядное, короткозамедленное взрывание с использованием пиротехнических замедлителей. Инициирование скважинных зарядов производится посредством промежуточных детонаторов, изготовленных из шашек-детонаторов и изделий неэлектрических средств инициирования или детонирующего шнура.

2.1.6 Добычные работы

Добыча руды осуществляется с использованием преимущественно одноковшовых экскаваторов типа ЭКГ с объемом ковша от 5 до 20 м^3 и гидравлических экскаваторов типа прямая или обратная лопата с вместимостью ковша до 30 м^3.

Разгрузка руды осуществляется в автосамосвалы или железнодорожные думпкары. У гидравлического экскаватора она осуществляется опрокидыванием или раскрытием ковша. У канатного экскаватора разгрузка осуществляется отрыванием днища ковша над местом разгрузки.

Максимальная производительность экскаватора достигается при минимуме передвижек в забое и минимальном среднем угле поворота экскаватора. Высота забоя ограничивается высотой черпания экскаватора. Угол откоса поверхности забоя зависит от свойств разрабатываемого массива и составляет 70°–80°. При автомобильном транспорте автосамосвалы располагаются сбоку или позади экскаватора в зоне разгрузки ковша с минимальным углом разворота от места черпания. При конвейерном транспорте горная масса загружается экскаватором в бункер-питатель, который располагается сбоку экскаватора или внутри заходки позади экскаватора.

2.1.7 Транспорт

Для перевозки вскрышных пород, руды и материалов используют транспорт непрерывного действия (конвейерный, трубопроводный) и цикличного действия (железнодорожный, автомобильный). При большой производительности карьеров преимущественно применяется железнодорожный транспорт (см. рисунок 2.4).

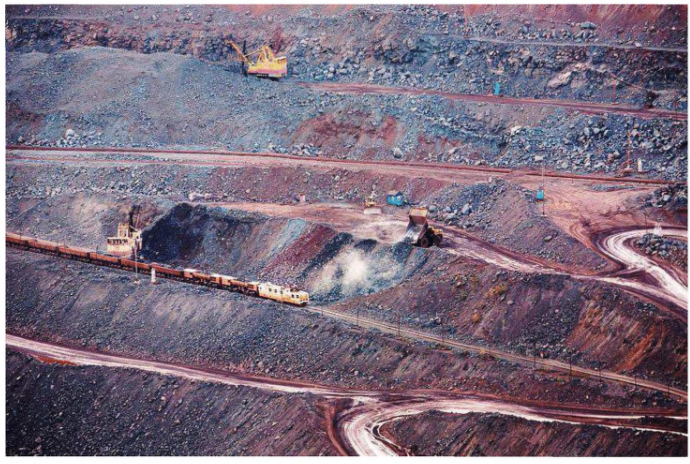


Рисунок 2.4 — Транспортирование руды железнодорожным транспортом

Конвейерный и трубопроводный транспорт обеспечивает поточность производства горных работ, автоматизацию управления и высокую производительность труда. Применение комплексов непрерывного действия повышает степень использования оборудования на карьере.

Для транспортирования мягких, дробленых, скальных и полускальных горных пород получили распространение ленточные конвейеры: забойные, сборочные, подъемные, магистральные и отвальные.

Забойные конвейеры предназначены для транспортирования горной массы от экскаватора до сборочного конвейера. Сборочные конвейеры в торцевых частях карьера предназначены для транспортирования горной породы от одного или нескольких забойных конвейеров к подъемнику. Подъемные конвейеры в нерабочей зоне карьера предназначены для доставки горной массы из рабочей зоны карьера на поверхность. Магистральные конвейеры располагают на поверхности карьера и предназначены для транспортирования пород вскрыши к отвалам, а полезного ископаемого — на обогатительную фабрику или к складам. Отвальные конвейеры располагают на отвалах и перемещают вслед за отвальным фронтом.

Трубопроводный или гидравлический транспорт ограничен в применении по климатическим условиям, свойствам пород и наличию водоисточников.

Железнодорожные пути подразделяются на временные и стационарные. К временным относятся пути на рабочих площадках в карьере и на отвале. К стационарным относятся пути в траншеях, на транспортных бермах и на поверхности карьера. Скорость железнодорожного транспорта в карьере по стационарным путям составляет 35–40 км/ч, по забойным и обменным путям — 15–20 км/ч.

Широкое распространение имеет автомобильный транспорт благодаря мобильности, высокой эффективности в сложных топографических, геологических и климатических условиях. Наиболее эффективная область применения автомобильного транспорта — карьеры малой и средней производительности, глубокие горизонты крупных карьеров в комбинации с железнодорожным транспортом.

Первичное дробление используется для обеспечения возможности транспортировки дробленого материала конвейерным транспортом. Дробилки крупного дробления позволяют дробить руду на куски крупностью до 1500 мм. На выходе с дробильных установок крупность руды не превышает 400 мм, что позволяет производить ее транспортировку конвейерным транспортом. После дробилок первой стадии могут располагаться грохоты или дробилки, обеспечивающие дробление руды до крупности 150–200 мм для транспортировки ее крутонаклонными конвертами.

2.1.8 Обращение с породами

Объект из пустых, скальных и рыхлых пород называется породным отвалом, некондиционных руд - складами, плодородный слой почв укладывается в бурты.

Высота яруса отвала определяется свойствами пород, рельефом поверхности, гидрогеологическими условиями и технологией образования отвала. Укладка пород в отвалы производится бульдозерами. Автосамосвалы разгружаются на некотором расстоянии от бровки по периферии отвала, а бульдозеры перемещают породу под откос, оставляя на бровке предохранительный вал. Поверхность отвала имеет подъем в сторону откоса, равный 3 °. Высота бульдозерного отвала достигает 25–30 м.

Отвалы устраиваются из расчета минимизации занятости земли и обеспечения к минеральной массе впоследствии (см. рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 — Карьерные отвалы

Не отвечающие требованиям кондиций руды укладываются в отдельные отвалы.

Гидроотвалы представляют собой огороженные дамбами понижения рельефа, балки, овраги, выработанные пространства карьеров. Они заполняются из напорных трубопроводов. Твердые частицы и взвесь осаждаются на дно, а отстоявшаяся вода возвращается в систему напорного гидротранспорта.

2.2 Подземная добыча руд цветных металлов

2.2.1 Общие сведения

Подземная разработка месторождений руд цветных металлов различных форм, мощности, углов падения, на разных глубинах осуществляется с использованием подземных горных выработок. Она включает этапы: вскрытие, подготовку и очистную выемку, которые выполняются последовательно или совмещенно во времени и пространстве с целью обеспечения производства достаточными запасами вскрытых, подготовленных и готовых к выемке запасов полезного ископаемого.

Подземным способом добывают металлы из месторождений: алюминий Черемуховского (Свердловская область), медь Октябрьского (Красноярский край), никель Талнахского (Красноярский край), свинец Холоднинского (Республика Бурятия), цинк Гайского (Оренбургская область), олово Фестивального (Хабаровский край), вольфрам Холтосонского (Республика Бурятия), титан Большого Сэйиминского (Амурская область) и др.

Основные горные выработки:

- шахтные стволы, квершлаги и штольни, открывающие доступ ко всему месторождению или его части и обеспечивающие возможность проведения подготовительных выработок и очистной выемки в запланированных объемах;

- штреки, квершлаги, уклоны, бремсберги, восстающие, орты, которыми вскрытая часть месторождения разделяется на обособленные выемочные участки, предусмотренные принятым способом подготовки и системой разработки;

- подэтажные и слоевые выработки, выработки буровые, погрузочно-доставочные, подсечки, вентиляционные, отрезные восстающие, лавы и другие забойные выработки, обеспечивающие выемку полезных ископаемых.

Этапы подземной разработки месторождения: подготовка рудничного поля, отделение горной массы от массива, выдача на транспортные выработки и транспортирование на поверхность с размещением пород в выработанном пространстве или в отвалах.

2.2.2 Вскрытие

Вскрытие заключается в проведении шахтных стволов, квершлагов, штолен, капитальных рудоспусков и др. для получения доступа к рудному телу (см. рисунок 2.6).

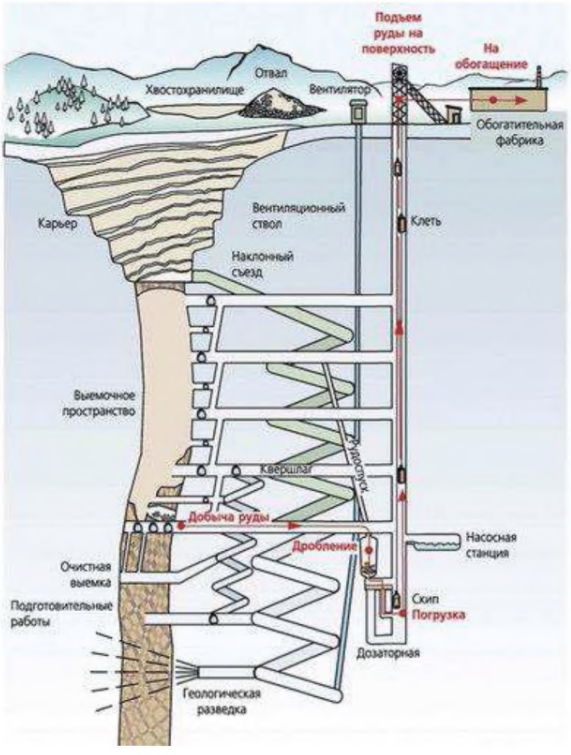


Рисунок 2.6 — Схема вскрытия месторождения

Главные вскрывающие выработки служат для выдачи руды и пород на земную поверхность, вентиляции, перемещения людей, доставки материалов и оборудования. Вспомогательные выработки служат для вентиляции, транспорта оборудования, обес-

печения дополнительного выхода на земную поверхность и других целей. Расположение главных и вспомогательных стволов определяется условиями проветривания.

Форма, размеры, способы проведения, крепления выработок вскрытия зависят от срока их службы, оптимальной работы транспорта, безопасности передвижения людей, доставки материалов и оборудования, а также пропуска необходимого количества воздуха.

Простые способы вскрытия: вертикальным шахтным стволом по рудному телу, по породам лежачего бока, по породам висячего бока; наклонным шахтным стволом по породам лежачего бока и на флангах месторождения; штольней по рудному телу или по породам боков рудного тела.

Комбинированные способы сочетают два или более способа вскрытия, например: вертикальный шахтный ствол с поверхности и вертикальный слепой ствол; вертикальный шахтный ствол и наклонный слепой ствол; штольня и вертикальный слепой ствол; штольня и слепой наклонный ствол.

Штольня в качестве вскрывающей выработки используется при вскрытии в гористой местности. Строительство штольни дешевле, скорость проходки выше, транспортирование руды дешевле и осуществляется без перегрузки, передвижение людей безопаснее, шахтные воды выдаются самотеком, стоимость поверхностных сооружений меньше.

Шахтные стволы имеют круглую, прямоугольную и эллиптическую форму сечения. Размер сечения ствола зависит от его назначения. Капитальные стволы служат для подъема руды и породы, подъема и спуска людей, спуска материалов, вентиляции и размещения водоотливных и воздушных труб, но иногда только для подъема руды и породы, только для спуска-подъема людей, только для вентиляции и т. п.

Вскрытие наклонным стволом осуществляют в лежачем боку за пределами зоны сдвижения пород или по месторождению. От ствола шахты до границы рудного тела проходят квершлаги, длина которых значительно меньше, чем при вскрытии вертикальным стволом, что является основным достоинством способа.

Комбинированные способы вскрытия сочетают разнотипные вскрывающие выработки: верхнюю часть месторождения вскрывают одной выработкой, а нижнюю — другой. Такое вскрытие характерно для месторождений, расположенных в гористой местности или ниже уровня вскрытия штольней. В этом случае их вскрывают слепым стволом. При ступенчатом вскрытии длина квершлагов уменьшается.

Рудные тела крутого падения вскрывают вертикальными стволами в сочетании с наклонным съездом для передвижения самоходного оборудования. Выбор схемы вскрытия производят с учетом геологических условий, производительности, срока существования и возможности применения высокопроизводительной техники. Так, получили распространение наклонные автомобильные съезды.

Околоствольные дворы с комплектом выработок строят на каждом этаже, но иногда применяют вскрытие групповыми квершлагами через два-три этажа. Ствол и откаточные выработки этажей связываются вертикальными и наклонными выработками. Для доставки материалов и оборудования и перемещения людей проходят восстающие с клетевым или лифтовым подъемом.

Целесообразность вариантов вскрытия оценивают путем технико-экономического сравнения. Выбирается тот, при котором обеспечивается наибольшая безопасность работ и меньшие затраты.

Место заложения главной вскрывающей выработки по простиранию месторождения должно быть оптимальным в отношении работы подземного транспорта в течение всего времени отработки запасов, удобства расположения поверхностных сооружений и подъездных путей, сохранности от рисков паводковых и дождевых вод, оползней, лавин и т. д.

Разделение рудничного поля на этажи производят штреками и ортами. Восстающими и наклонными выработками этажи делят на выемочные блоки. Высота этажа составляет 60–120 м. Иногда этажи делят по высоте на подэтажи.

Восстающие выработки проходят способом секционного взрывания скважин или шпуров. Проходку вертикальных восстающих выработок механизируют применением комплексов КПВ, где полок перемещается по монорельсу. Проходка бурением и расширением скважин производится с использованием буровых станков типа 2КВ. Станки обеспечивают проведение вертикальных и наклонных выработок диаметром до 3 м, до 100 м в длину под углом до 70° в породах с коэффициентом крепости до 12 по Протодьяконову. Горные выработки, проведенные в подготовленных участках для выемки руды, называют нарезными.

Нарезные выработки делят блок на подэтажи, служат для доставки отбитой руды и ее вторичного дробления, обнажения руды в днище блока и отрезки блока от массива.

В выработках выемочного участка оставляют рудные целики, возводятся искусственные сооружения и устройства: крепь, грохоты, люки, погрузочные полки, бетонные, металлические или железобетонные облицовки сопряжений выработок выпуска и вторичного дробления и др.

2.2.3 Системы разработки

Система разработки рудных месторождений подземным способом — порядок и технология очистной выемки руды, определяющие совокупность конструктивных элементов выемочного участка, технологических процессов и способ управления горным давлением, увязанных во времени и пространстве (см. таблицу 2.5).

Таблица 2.5 — Классификация систем разработки по академику М. И. Агошкову

Индекс	Классы систем	Группа систем
I	С открытым очистным пространством	Почвоуступные Потолкоуступные Со сплошной выемкой Камерно-столбовые С подэтажной выемкой С этажно-камерной выемкой
II	С магазинированием руды в очистном пространстве	Со шпуровой отбойкой из магазина Со шпуровой отбойкой из специальных выработок С отбойкой глубокими скважинами

Окончание таблицы 2.5

Индекс	Классы систем	Группа систем
III	С закладкой очистного пространства	Системы разработки горизонтальными слоями с закладкой Система разработки наклонными слоями с закладкой Потолкоуступные с закладкой Сплошные с закладкой Системы разработки полосами с закладкой
IV	С креплением очистного пространства	С усиленной распорной и станковой крепью С каменной и комбинированной крепью
V	С креплением и закладкой очистного пространства	Системы разработки горизонтальными слоями и уступами с креплением и закладкой Системы разработки вертикальными прирезками и короткими блоками со станковой крепью и закладкой Сплошные с креплением и закладкой
VI	С обрушением вмещающих пород	Слоевого обрушения Щитовые Столбовые с обрушением кровли
VII	С обрушением руды и вмещающих пород	Слоевого обрушения Щитовые Столбовые с обрушением кровли
VIII	Комбинированные	Комбинированные с выемкой камер и открытым очистным пространством Комбинированные с выемкой камер и магазинированием руды Комбинированные с выемкой камер и закладкой

Готовые к выемке — это запасы руды, в которых пройдены нарезные выработки для производства очистной выемки.

Очистная выемка — комплекс работ по извлечению руды из очистных забоев, включающий отбойку, погрузку, доставку руды из забоя до откаточного горизонта, поддержание выработанного пространства и управление кровлей. Очистное пространство в процессе очистной выемки оставляют открытым, заполняют отбитой рудой, закладкой или обрушенными породами или поддерживают крепью и целиками.

Крутопадающие жилы и пластообразные залежи мощностью до 3 м отрабатывают с потолкоуступной и почвоуступной выемкой.

При разработке горизонтальных и пологопадающих залежей средней и большой мощности до 30 м распространена камерно-столбовая система разработки с регулярными целиками (см. рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 — Камерная система разработки с целиками

Системы разработки с подэтажной выемкой применяют при разработке мощных крутопадающих месторождений. Камеры располагают по простиранию рудного тела при мощности до 15 м, вкрест простирания — при большей. Ширина междукамерных целиков — до 15 м. Расстояние по вертикали между подэтажными выработками — 10–12 м. Потолочину обрушают массовым взрывом вместе с днищем вышерасположенного блока.

Этажно-камерными системами разрабатывают мощные крутопадающие и наклонные месторождения. Полезное ископаемое отбивают горизонтальными, наклонными или вертикальными слоями.

При разработке мощных пологопадающих месторождений применяют варианты системы с твердеющей закладкой (см. рисунок 2.8).

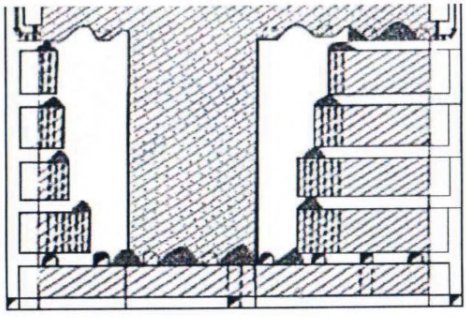


Рисунок 2.8 — Камерная система с отбойкой из подэтажей и закладкой твердеющими смесями

Системы разработки с креплением очистного пространства применяют при разработке месторождений средней мощности. При выемке горизонтальными слоями или потолкоуступным забоем используют усиленную распорную крепь.

Крутопадающие и мощные залежи с неустойчивой рудой и вмещающими породами разрабатывают системой слоевого обрушения нисходящими горизонтальными слоями высотой до 3 м.

Горизонтальные и пологопадающие пластообразные залежи мощностью до 5 м разрабатывают столбовыми системами с обрушением кровли.

Системы с обрушением руды и вмещающих пород применяют для разработки мощных залежей цветных металлов. При разработке крутопадающих залежей богатых руд, склонных к самообрушению, применяют варианты с выемкой руды под деревянным настилом.

Разработку мощных месторождений ведут комбинированно: камеры и целики извлекают одновременно или последовательно различными системами с подготовкой блоков по единой схеме.

Способы управления массивом классифицируют по принципу состояния выработанного пространства на время завершения работ по погашению в отличие от классификации систем разработок в период очистной выемки (см. таблицу 2.6).

Таблица 2.6 — Классификация способов погашения пустот по В. И. Голику

Классы	Группы	Варианты
С изоляцией пустот	Перемычками	Деревянными, бетонными
	Породными завалами	Отбойкой кровли и боковых пород с подачей материала извне
С обрушением пород	Принудительное обрушение	Вместе с рудой В открытую камеру
	Управляемое обрушение	Вместе с рудой В открытую камеру
С закладкой	Твердеющими смесями	Слоевые системы Камерные системы
	Сыпучими материалами	Гидравлическая Сухая
Комбинированные способы	Перепуск пород извне	Вместе с рудой В открытую камеру
	Хвостами подземного выщелачивания	Без разделения на этажи С разделением на этажи С разделением целиками из закладки
	Сочетание способов изоляции и закладки твердеющими смесями	Пустоты в искусственных массивах
	Сочетание способов с закладкой и хвостами ПВ	Без разделения по восстанию С разделением искусственными массивами

При разработке мощных месторождений руд, способных при обнажении обрушаться, используют системы с естественным или принудительным самообрушением.

2.2.4 Скважинные технологии добычи руд

Месторождения склонных к растворению реагентами руд разрабатывают системами с выщелачиванием, комбинируя технологии по признаку максимального извлечения металлов (см. рисунок 2.9).

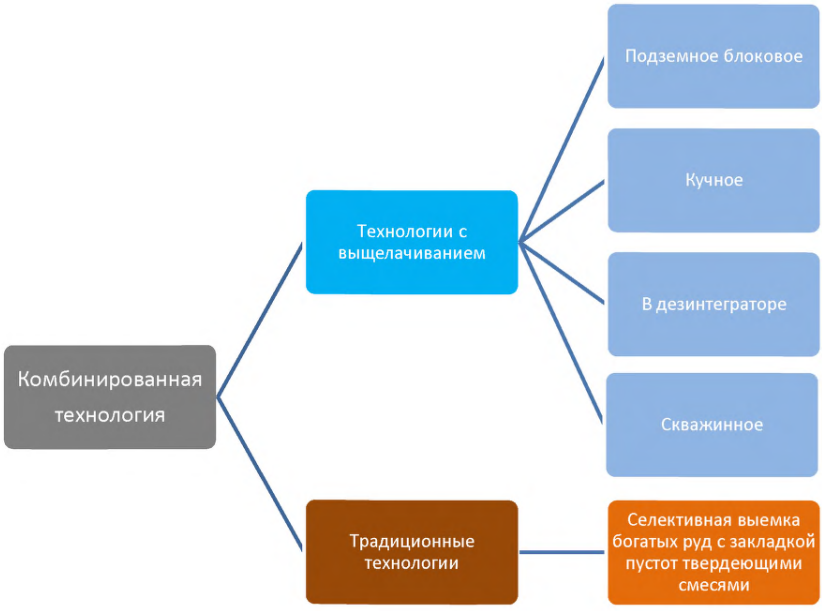


Рисунок 2.9 — Комбинирование традиционных технологий и технологий с выщелачиванием металлов

2.2.5 Отбойка и дробление руд

Отбойку руд средней и высокой крепости ведут взрывным способом, а менее крепких — механическим способом с помощью комбайнов. При добыче слабых или трещиноватых руд в породах, способных при обнажении обрушаться под действием гравитации и давления налегающей толщи, используют феномен самообрушения.

Универсальным для отбойки руд средней и высокой крепости является буровзрывной способ, использующий взрывание зарядов ВВ в шпурах, взрывных скважинах и минных выработках. Способ основан на быстротечном разложении веществ с использованием энергии взрыва на отделение от массива и дробление горной массы.

Шпуровая отбойка используется для отделения от массива полезного ископаемого небольшой крепости, а также для отбойки крепких руд при разработке рудных тел средней и малой мощности.

Отбойка скважинами распространена при разработке мощных рудных месторождений с высокой крепостью и устойчивостью руд и пород. Взрывные скважины бурят

вертикальными, наклонными и горизонтальными так, чтобы руда перемещалась в сторону обнаженной поверхности.

Для увеличения глубины заложения и величины зарядов ВВ донную часть глубоких (5–6 м) шпуров взрыванием небольших зарядов расширяют до формы котла.

Эффективность взрывного дробления повышается: короткозамедленным взрыванием, использованием кинетической энергии соударения, рассредоточением зарядов воздушными промежутками, расположением скважинных зарядов.

При разработке мощных месторождений с крепкими и трещиноватыми рудами применяют отбойку зарядами ВВ, располагаемыми в минных выработках.

Отделение руд от массива путем обрушения в результате гравитационных сил и горного давления применяется при разработке мощных месторождений малоценных руд средней крепости и устойчивости.

При разработке слабых руд выемку осуществляют комбайнами и применяют гидравлическую отбойку.

Показателем оптимальности взрывной отбойки является крупность кусков разрушенного взрывом рудного массива. Если в результате отбойки отделяются крупные куски породы, не подлежащие транспортировке, их измельчают до кондиционных размеров. Размеры максимально допустимого куска в горной массе определяются параметрами транспортных средств, дробилок и другого оборудования. Максимально допустимый размер кусков варьируется от 300–400 до 800–1000 мм. Для дробления негабаритных кусков применяют взрывчатые вещества или механические устройства.

Качество отбойки и дробления улучшают изменением пространственного расположения зарядов относительно друг друга и свободной поверхности.

Вращательное бурение станками пневмоударного и шарошечного бурения с армированными твердыми сплавами коронками применяют в рудах с коэффициентом крепости до 6–8 по шкале проф. М. М. Протодьяконова.

Алмазное бурение взрывных скважин в крепких породах характеризуется хорошими показателями за счет стойкости коронок.

Пневмоударное бурение шпуров и скважин применяют при бурении крепких и весьма крепких руд и пород. Шпуры бурят перфораторами с пневмоподдержками, с фиксацией на пневмоколонках или закрепленных на станках. Для бурения выработок в породах с коэффициентом крепости до 14 применяют самоходные электрогидравлические станки (см. рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 — Установка для бурения скважин

Для бурения взрывных скважин и шпуров используют буровые перфораторы, станки, каретки и установки добычного бурения (рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 — Бурение шпуров

Расположение взрывных скважин может быть параллельным, параллельно-сближенным, веерным. Для размещения зарядов ВВ наиболее распространены скважины диаметром 105–110 мм, которые бурят станками с погружными пневмоударниками.

Для улучшения дробления руды и снижения сейсмического эффекта применяют короткозамедленное взрывание зарядов с интервалами: 25, 50, 75, 100 и 150 мс.

Промышленные ВВ для подземных горных работ: аммиачно-селитренные гранулированные, порошкообразные и эмульсионные ВВ. В гигроскопичные ВВ для придания водоустойчивости вводят специальные добавки. ВВ на основе водоустойчивой аммиачной селитры имеют марку ЖВ: аммониты № 6 ЖВ, а также тротил и др.

Для подземных работ применяют ВВ с кислородным балансом, близким к нулевому с минимизированным количеством оксида углерода CO и оксидов азота NO, NO_2, N_2O_3 и прочих вредных газов при взрыве.

Для заряжания используют самоходные, передвижные и переносные зарядные машины. ВВ транспортируется сжатым воздухом по зарядному шлангу в скважины и шпуры.

2.2.6 Доставка

Отбитая руда доставляется к местам ее погрузки в транспортирующие устройства. Под действием собственного веса она перемещается по почве выработки, рудоспускам, настилам, желобам, трубам с углом наклона выработки от 35° до 50°. Ограниченное применение имеют доставка силой взрыва и гидравлическая.

Механизированная доставка производится скреперами, конвейерами, самоходными вагонетками, погрузочно-доставочными машинами. Скреперная доставка используется для доставки руды от забоя до рудоспуска или погрузочного люка, а на горизонте скреперования — от рудоспусков до погрузочных полков. Ее достоинства: простота устройства, небольшая стоимость оборудования, мобильность, возможность совмещения доставки с погрузкой.

Доставка конвейерами применяется при малоабразивной мелкой руде с подъемом выработки под углом до 20°, иногда до 30°–40°. Скребковые конвейеры, по сравнению с ленточными, имеют меньшую высоту, проще в обслуживании и допускают подъем материала до 35°. Виброконвейеры устанавливают под бетонированными выпускными выработками, но не под навалом руды.

При длине транспортирования до 500 м применяется доставка самоходными установками с электрическим, дизельным, дизель-электрическим и пневматическим двигателем. Перспективны машины с комбинированным электрогидравлическим приводом.

По способу разгрузки различают челночные вагонетки и самосвалы. Дном челночных вагонеток служит скребковый конвейер, разравнивающий и выгружающий транспортируемую руду.

Комплексы состоят из погрузочных машин и самоходных вагонов, а при большой производительности — экскаваторов или ковшовых погрузчиков и подземных автосамосвалов. Электрический привод позволяет снизить отрицательное влияние на окружающую среду. Дизельный привод применяют на рудниках с активным проветривани-

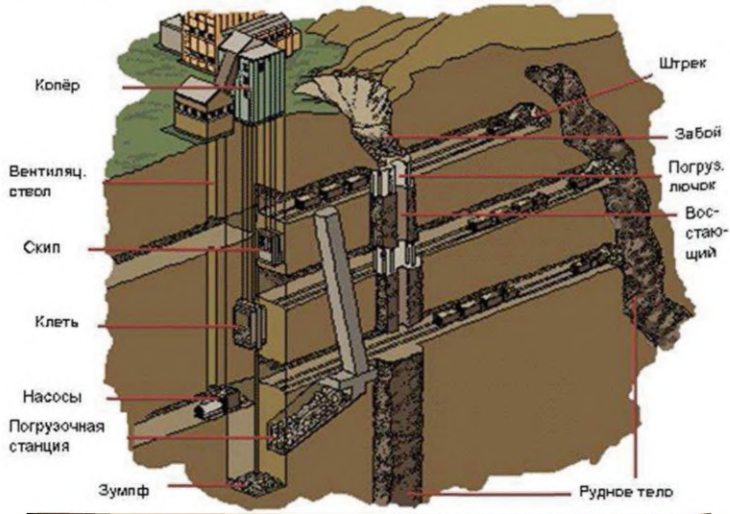
ем. Типы приводов сочетают, например, дизельный — для передвижения, электрический — для погрузки.

Машины с аккумуляторным приводом находят применение при отработке маломощных рудных тел сложной формы.

Машины вспомогательного назначения имеют самоходные шасси, автономный привод и необходимый набор навесных приспособлений — крюк, ковш и др.

2.2.7 Выпуск руды

Руду выпускают из днищ блоков или из торца горизонтальных выработок через люки, питатели, конвейеры и другие устройства (см. рисунок 2.12).



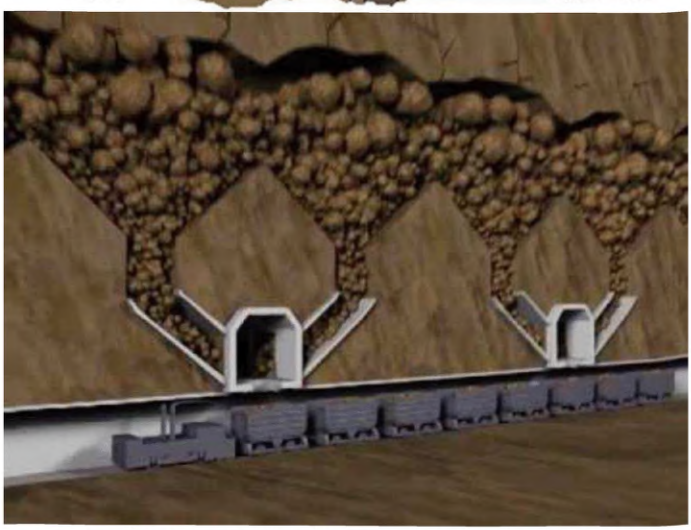


Рисунок 2.12 — Выпуск руды из блока

Тип и параметры люка зависят от количества и свойств пропускаемой через него руды, срока службы, размеров откаточной выработки и емкости откаточного сосуда.

Люки с секторным затвором пригодны для погрузки руды крупностью до 300–400 мм. Люки с пальцевым затвором применяют для погрузки руды крупностью до 1000 мм. Пальцы опускаются под действием собственного веса, а поднимаются с помощью пневматического цилиндра. Комбинированные люки сочетают лотковый затвор с секторным, пальцевым или цепным.

При разработке с погрузкой руды в доставочные агрегаты или откаточные вагоны машинами ее выпускают на почву выработки. Погрузка руды в транспортные средства осуществляется погрузочными машинами, комбайнами, погрузчиками или малогабаритными экскаваторами (см. рисунок 2.13).



Рисунок 2.13 — Погрузочно-доставочная машина

Погрузочные машины имеют колесно-рельсовый, гусеничный и пневмошинный ход; пневматический, электрический, электрогидравлический или дизельный привод. На выпуске руды из блоков используют вибротехнику, существенно повышает производительность. Передвижные вибрационные установки, работающие под навалом руды, сокращают потери руд в днище блока.

2.2.8 Поддержание выработанного пространства

В результате горных работ первоначальное равновесно-напряженное состояние пород нарушается. Вокруг горных выработок возникает поле напряжений — горное давление, формирующееся под влиянием глубины залегания, тектонической деятельности, анизотропии и упругости пород, давления газов и подземных вод и др.

В скальных породах прочностью от 50–100 до 100–150 МПа в зоне нарушенных пород коэффициент ослабления снижается с 0,25–0,35 до 0,15–0,04. Мощность зон вокруг выработок малого сечения составляет 0,5–2,0 м, вокруг крупных — 5–10 м. Внутри этих зон выделяется менее мощная приконтурная зона снижения ослабленности 0,5–

1,5 м. В пределах зоны прочность уменьшается на величину в 2,5–6,0 раз. На контакте зоны влияния выработок напряжения увеличиваются до первоначального значения.

Напряжения в окрестностях выработки могут превысить прочность пород, тогда там образуется область, в которой происходят горные удары и выбросы.

Управление горным давлением — совокупность мероприятий по предупреждению негативных последствий проявления горного давления. Сохранность горных выработок обеспечивается приданием им наиболее устойчивой формы поперечного сечения или возведением в них крепи. Круглая форма принимается при высоком всестороннем давлении, сводчатая — при давлении сверху.

Поддержание выработанного пространства — сохранение его устойчивости путем подпора боков и кровли очистного пространства целиками, закладочным материалом, отбитой рудой или крепью.

В скальных породах нагрузка на крепь формируется за счет массы той части пород в кровле, которая в процессе формирования свода естественного равновесия испытывает неупругие деформации.

Деревянная крепь представляет собой прямоугольные или трапециевидные крепежные рамы, стойки и костры.

Металлическая крепь — стойки, штанги или сложные механизированные агрегаты, являющиеся составной частью выемочных комплексов.

Обрушение пород осуществляют с целью облегчения поддержания очистных выработок за счет перераспределения горного давления. Оптимальным считается такой порядок работ, при котором срок существования выработок минимален. Быстрое погашение блока позволяет увеличивать размеры очистных камер и уменьшать расходы на их поддержание.

При креплении пород применяют бетонную, каменную, смешанную и металлическую крепь в виде переносной или штанговой крепи, а также из полимерных материалов.

По конструкции деревянной крепи различают типы: распорная крепь — простая, усиленная, составная; костровая крепь; крепежные рамы; станковая крепь.

По характеру работы различают крепи: жёсткая, податливая, шарнирная, комбинированная; по сроку службы: постоянная и временная; по форме сечения выработок: трапециевидная, арочная, кольцевая, эллиптическая, полигональная, сводчатой формы; по виду выработки – для горизонтальных, наклонных и вертикальных горных выработок.

Для поддержания очистных выработок после выемки руд применяют затвердевшую смесь раствора цемента с песком, щебнем или гравием. Для изменения свойств бетонов и растворов (подвижности, скорости твердения, водонепроницаемости, долговечности) в их состав вводят добавки.

Крепи, воспринимающие растягивающие усилия, изготовляют из бетона, армированного сталью, — железобетона. Шприц-бетон, набрызг-бетон и торкрет-бетон, состоящий из водной смеси цемента, песка и мелкого щебня, используют для покрытия пород с целью защиты от разрушения, коррозии и придания огнестойкости.

Металл используют редко, обычно для крепления устьевой части штолен, квершлагов и других выработок с большим сроком службы. Находят применение новые композитные крепежные материалы, в первую очередь стеклопластик.

Для крепления капитальных выработок с большим сроком службы применяют крепи: бетонные, железобетонные, сборные металлические и железобетонные (тюбинги), металлические рамы и др., воспринимающие нагрузку в пределах упругих деформаций без изменения формы и размеров.

Железобетонная крепь отличается от бетонной наличием металлической арматуры, позволяющей воспринимать растягивающие усилия. Наряду с монолитной бетонной крепью, применяют сборные железобетонные крепи: сплошную тюбинговую, арочные, кольцевые или эллиптические.

Податливые рамы изготавливают из спецпрофиля, соединяя их между собой хомутами и болтами, которые обеспечивают податливость крепи за счет скольжения в местах соединения. Смешанные рамные крепи состоят из железобетонных пустотелых стоек и металлических верхняков, соединяемых при помощи подвесной скобы.

Жесткие металлические крепи трапециевидной, арочной и кольцевой формы из двутавровых балок и рельсов с соединением элементов накладками и болтами устанавливают на расстоянии 0,5–1 м друг от друга. Кровлю и бока выработки между рамами закрывают затяжками — железобетонными плитами, металлическими решетками и сетками, досками.

Деревянную рамную крепь применяют в выработках небольшого сечения с небольшим сроком службы. Выработки со значительным сроком службы закрепляются негорючими материалами. Рамы устанавливают или вразбежку через 0,5–1 м с отшивкой кровли и боков выработки между рамами деревянными затяжками, или всплошную. Полные рамы с лежнем применяют при давлении со стороны почвы выработки.

Металлическая крепь может быть жесткой, податливой и шарнирной. Податливость ее необходима в условиях неустановившейся нагрузки. Шарниры крепи обеспечивают ее сохранность и устойчивость при косонаправленной нагрузке. Трапециевидная металлическая крепь из рельсов или двутавровых балок, соединенных между собой уголками или литыми соединительными деталями, представляет собой полные или неполные крепежные рамы.

Штанговая (анкерная) крепь в шпурах, пробуренных в кровле и в боках выработки, выполняет функции «подвешивания» породных слоев или «сшивания» их в одну пачку. Применяют стальные, железобетонные, деревянные и полимерные штанги. Наиболее распространены стальные штанги, которые с помощью замка укрепляют в конце шпура, а на их концы навинчивают гайки. Применяют взрывоинъекционный способ анкерования.

Крепление вертикальных выработок при малом сроке службы производится деревянной крепью, представляющей собой венец из четырех бревен или брусьев. Венцы располагают вплотную друг к другу или на некотором расстоянии один от другого, поэтому различают сплошную, на стойках и подвесную крепь.

Армирование вертикальных выработок осуществляется установкой вандрутов, расстрелов, направляющих, лестничных полков и лестниц.

Вандруты устанавливают для усиления жесткости венцовой крепи попарно вдоль длинных сторон выработки, прикрепляют к венцам и соединяют между собой расстрелами. Расстрелы делят выработку на отделения. В подъемных отделениях на расстрелах устанавливают деревянные или металлические проводники, по которым движутся направляющие подъемных сосудов.

В лестничных отделениях через 3–4 м устраивают полки из досок, оставляя в них лазы размером 600 × 700 мм для передвижения людей. Лестницы шириной 400 мм устанавливают между полками под углом 80°. Лестничное отделение отшивают досками от подъемных.

Поддержание целиками — использование части рудного массива для перераспределения напряжений в процессе горных работ. Целики по мере доработки запасов извлекаются, но при малой ценности руд их оставляют. Поддержание целиками применяется, как самостоятельный способ поддержания, так и в комбинации с креплением, закладкой пустот и магазинированием руды.

Целики подразделяют на охранные, междуэтажные, междублоковые и внутрикамерные. Охранные целики оставляют в недрах для защиты капитальных выработок. Выемка полезного ископаемого из охранных целиков разрешается только после того, как необходимость охраны миновала.

Междуэтажные целики состоят из потолочины камеры и днища вышележащего этажа. Междублоковые целики являются опорой. Внутрикамерные целики оставляют по мере необходимости.

При большой глубине разработки и в ряде других случаев оставление целиков становится опасным из-за возможности горных ударов. Поэтому возводят массивы из бетона или твердеющих смесей.

Поддержание магазинированной рудой — временное содержание руды в очистном пространстве для поддержания боковых пород. Поскольку руда при отбойке увеличивается в объеме, 30 % — 40 % выпускаются из блока по мере отбойки, а замагазинированная руда выпускается после погашения блока. Поддержание рудой осуществляется при разработке крутых и наклонных рудных тел в устойчивых породах. Способ неприменим при слеживающихся, возгорающихся и окисляющихся руд.

Поддержание закладкой - заполнение технологических пустот пустой породой, хвостами обогащения, твердеющими смесями и т. п. По признаку заполнения выработанного пространства закладка может быть полной или частичной, а также комбинированной бутобетонной закладкой, т.е. совместной подачей в камеру породы и твердеющей смеси. По составу и способу транспортирования различают сухую, гидравлическую, твердеющую и пневматическую закладку.

В закладочный материал вводятся вяжущие вещества, в результате чего образуется массив высокой устойчивости и прочности. Расходы на добычу закладочного материала, его подготовку, транспортировку и размещение в очистных выработках в большинстве случаев значительны, однако этот способ обеспечивает безопасность работ, радикальное снижение потерь полезного ископаемого, а также препятствует деформации перекрывающих пород и земной поверхности.

После выемки полезного ископаемого горные выработки со временем или сразу заполняются породами, которые постепенно деформируются и обрушаются, вызывая оседание или разрушение земной поверхности.

Расходы на добычу, приготовление, транспортировку и размещение в очистных выработках закладочного материала достигают 2/3 себестоимости руды, однако этот способ обеспечивает безопасность работ, минимизацию потерь полезного ископаемого и гарантирует сохранность земной поверхности.

В заключительной стадии выемки запасов очистные выработки погашают или приводят в такое состояние, в котором они будут находиться в течение неопределенно долгого времени.

2.2.9 Транспорт и подъем

Подземный транспорт — комплекс сооружений и устройств, предназначенный для приема и перемещения грузов и людей. В его задачи входит транспортирование руды и породы от пунктов выгрузки из очистных блоков и проходческих забоев до перегрузочных комплексов, околоствольных дворов и рудничного подъема, снабжение добычных участков материалами, инструментом, оборудованием и перевозка людей.

Виды рудничного транспорта: рельсовый с использованием электровозов и вагонеток; самоходный на колесном ходу; конвейерный.

Наиболее распространен рельсовый транспорт. Локомотивный транспорт объединяет контактные электровозы, вагонетки с глухим днищем, боковой и донной разгрузкой, саморазгружающиеся сосуды. Работа локомотивов обеспечивается автоматизацией процессов откатки, включающей сигнализацию, централизацию и блокировку, дистанционное управление локомотивами и диспетчерскую службу.

Подъем и подземный транспорт — элементы единой транспортной системы. По типу оборудования рудничный подъем подразделяют на клетевой, скиповой, конвейерный, автомобильный, а по назначению — на главный и вспомогательный.

При значительной глубине разработки используют скиповой подъем руды, высокая производительность скипов объясняется их вместимостью (до 50 т), скоростью движения (до 20 м/с и более), тогда как клети движутся со скоростью не более 8 м/с и автоматизацией погрузочно-разгрузочных операций.

Конвейерный подъем эффективен при глубине горных работ до 400–600 м и производительности более 4–5 млн т/год, а также для подъема руды к комплексу загрузки скипов. Для использования конвейерного подъема необходимо дробление руды на куски размерами не более 0,1–0,15 м. Угол наклона выработки не должен превышать 16° — 18°.

Подъем руды на поверхность осуществляют автомобильным транспортом при углах наклона горных выработок до 11^0.

2.2.10 Шахтный водоотлив

Главный рудничный водоотлив осуществляет откачку воды по трубам на поверхность, а участковый водоотлив — перекачку воды из отдельных участков шахты к водосборникам главного водоотлива. Схема водоотлива определяется схемой вскрытия, порядком разработки и гидрогеологией месторождения.

При значительной глубине применяют ступенчатый водоотлив, когда из нижних горизонтов вода перекачивается в промежуточные водосборники вышележащих горизонтов и затем на поверхность.

Система шахтного водоотлива объединяет водоотводные канавки, водосборники, насосные станции с водозаборными колодцами и водоотливными установками, с всасывающими и нагнетательными трубопроводами.

Для главного водоотлива применяют в основном центробежные многоступенчатые секционные насосы в горизонтальном исполнении, допускающие содержание механических примесей в воде крупностью 0,1–0,2 мм до 0,2 %. Для подачи воды на поверхность в стволе шахты прокладываются рабочие и резервные трубы.

2.2.11 Рудничная вентиляция

Проветривание горных выработок осуществляется для создания в подземных выработках условий, исключающих вредное воздействие на человека ядовитых газов, высоких и низких температур.

Принцип проветривания горных выработок — создание сквозной вентиляционной струи за счет общешахтной депрессии и пропуска струи по выработкам. Используется нагнетательный, всасывающий или нагнетательно-всасывающий способ вентиляции. Воздух подают в шахту по одним выработкам, а отводят на поверхность по другим. Свежий воздух по выработкам распределяют с помощью автоматических вентиляционных дверей, шлюзов и перемычек.

Движение воздуха по горным выработкам обеспечивается вентиляторами главного и местного проветривания. Главные вентиляторные установки снабжаются системой дистанционного управления приводом вентилятора и контроля параметров работы с пульта главного диспетчера шахты и оборудуются системой реверсирования вентиляционной струи. При работе вентиляторов на нагнетание используется установка для подогрева воздуха в зимнее время использованием природного газа, электричества, пара или нагретой воды.

При прохождении вентиляционной струи по выработкам к рудничному воздуху примешиваются пыль, различные газы и т. п. Основная мера борьбы с примесями вредных газов — разжижение их свежим воздухом до предельно допустимых концентраций.

Для эффективного выноса пыли из забоя скорость воздуха должна быть не менее 0,3 м/с. Для борьбы с пылью применяют комплекс мер, среди которых приоритетно гидрообеспыливание.

Основные загрязнители в выбросах в атмосферу — газообразные и пылевые примеси в процессах буровзрывных работ, очистной выемки и др.

2.2.12 Обращение с пустыми породами

На земную поверхность извлекают не только полезное ископаемое, но и пустые породы и некондиционную руду. Удельный расход выработок на 1000 т руды достигает: горно-подготовительных выработок 2–6 $м^3$, нарезных 8–14 $м^3$. Пустые породы выдают на поверхность и складируют в отвалы (см. рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 — Складирование пород в отвале

Часть пустой породы с проходки горных выработок может использоваться в качестве сухой или бутобетонной закладки отработанных камер при системах разработки с закладкой выработанного пространства. Также пустую породу используют для производства заполнителя при изготовлении закладочной смеси на дробильно-сортировочных установках.

Руды, не отвечающие в настоящее время кондициям, и не используемые попутные полезные ископаемые укладываются в отдельные отвалы.

Хранение пород влияет на экосистемы окружающей среды. Масштабы и значение этих воздействий зависят от объемов горнодобывающей деятельности в сочетании с топографией и климатическими условиями района, особенностями залегания месторождения, технологии добычи, сельскохозяйственной деятельности в регионе и других факторов.

Источниками загрязнения атмосферы являются газопылевые выбросы с поверхности породных отвалов и рудных складов. Исходящий воздух содержит твердые частицы, окись углерода, оксиды азота и летучие органические соединения. Минимизация выбросов твердых частиц включает: использование туманообразователей, орошение горной массы, использование аэрозолей.

2.3 Обогащение руд цветных металлов

2.3.1 Подготовительные процессы

2.3.1.1 Дробление руд

Рост объемов переработки минерального сырья, разработка бедных месторождений, необходимость комплексного использования сырья и охраны окружающей среды, экономические аспекты требуют качественно нового подхода к процессам переработки [24]–[32].

Только небольшая часть полезных ископаемых пригодна для непосредственной переработки металлургическими, химическими или другими методами. Большая же

часть их в естественном виде не может быть использована для этих целей, так как не удовлетворяет требованиям последующих технологических процессов. В связи с этим для придания полезным ископаемым свойств, необходимых для технически возможной и экономически выгодной технологической переработки, они подвергаются обогащению. Основными задачами, возникающими при обогащении, являются отделение полезных минералов от пустой породы и вредных примесей и разделение полезных компонентов на ряд продуктов, наиболее пригодных для дальнейшей переработки.

Металлургическая промышленность в настоящее время предъявляет очень высокие требования к рудам в отношении содержания в них основных металлов и примесей. Вместе с тем руды, которые могли бы удовлетворять этим требованиям, встречаются редко и количество их не может обеспечить современной потребности в металлах. Поэтому возникает необходимость повысить качество добываемых руд по содержанию в них металлов и вредных примесей.

Необходимость повышения содержания основных металлов в рудах иллюстрируется данными таблицы 2.7, в которой сравнивается процентное содержание некоторых металлов в добываемых рудах и содержание металлов, требуемое для металлургического передела.

Таблица 2.7 — Содержание металлов в рудах и содержание металлов, требуемое для металлургического передела

Наименование металла	Содержание в руде, %	Требуется для металлургии, %
Свинец	2–4	50–60
Цинк	3–5	50–60
Медь	0,7–1,5	20–30
Олово	0,3–1,0	60–70
Молибден	0,1–0,5	50–60

Из таблицы 2.7 следует, что содержание металлов в сырье, поступающем на металлургическую переработку, должно в десятки и сотни раз превышать содержание металлов в добываемых рудах. В ряде случаев руды могут перерабатываться при содержании металлов, более низком, чем это указано, но при этом резко снижаются технические и экономические показатели.

Технологические этапы при обогащении полезных ископаемых остаются неизменными уже в течение длительного времени, несмотря на то, что техника и технологии ушли далеко вперед с тем, чтобы из каждого класса крупности извлечь максимум ценной компоненты (см. рисунок 2.15).



Рисунок 2.15 — Технологические этапы повышения содержания основных металлов в рудах и удаления вредных примесей

Добыча — начальный этап обработки полезных ископаемых. **Дробление, измельчение и классификация** — подготовительные процессы (рудоподготовка), направленные на получение требуемого распределения добытой руды по крупности. **Обогащение** — основные процессы, обеспечивающие увеличение содержания ценных компонентов путем сепарации измельченной руды физико-механическими и физико-химическими методами на продукты, обогащенные ценными компонентами — концентраты и обедненные ими — хвосты. **Доводка** — вспомогательные процессы, обеспечивающие получение концентратов в виде товарных продуктов и хвостов в виде продукта, пригодного для складирования и хранения. **Транспортировка материалов** — технологические операции (доставка добытой руды на обогатительную фабрику, буферное накопление руд (с возможным усреднением), загрузка аппаратов исходным питанием с заданной производительностью), предназначенные для продвижения всего горного процесса вперед с минимальными нарушениями производительности и потока материалов.

Доставку добытой руды осуществляют железнодорожным или автотранспортом. Погрузка и разгрузка грузового транспорта — основной источник пылеобразования в горном цехе.

Целями буферного накопления руд (см. рисунок 2.16) является сглаживание различий в темпах производства, переходов смен, перерывов для ремонта, вариаций: подачи материалов с рудников, участков разных месторождений, обогатимости руд, содержания ценных и вредных компонентов в рудах, крупности руд.

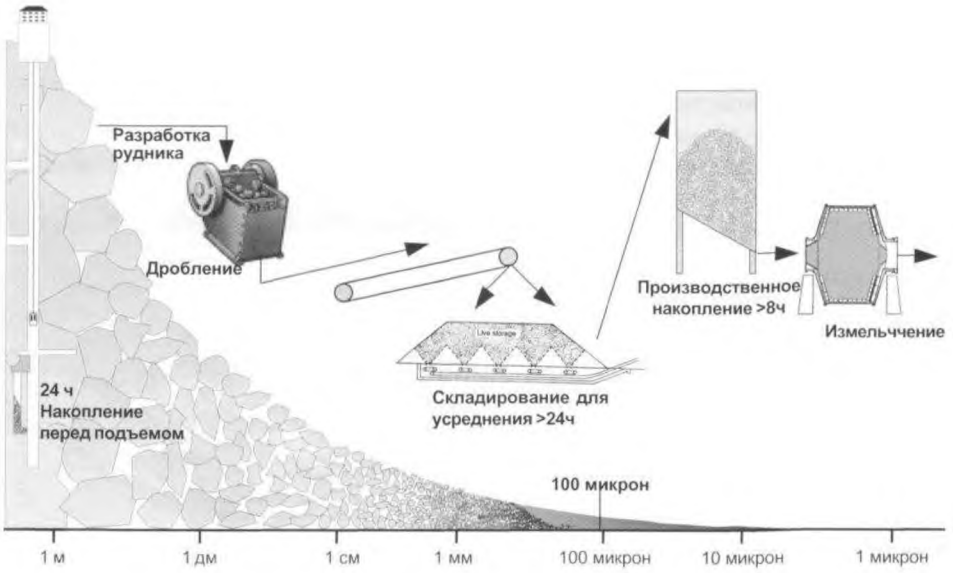


Рисунок 2.16 — Накопление руд

Равномерное питание аппаратов исходным продуктом обеспечивает эффективность его работы (см. рисунок 2.17).

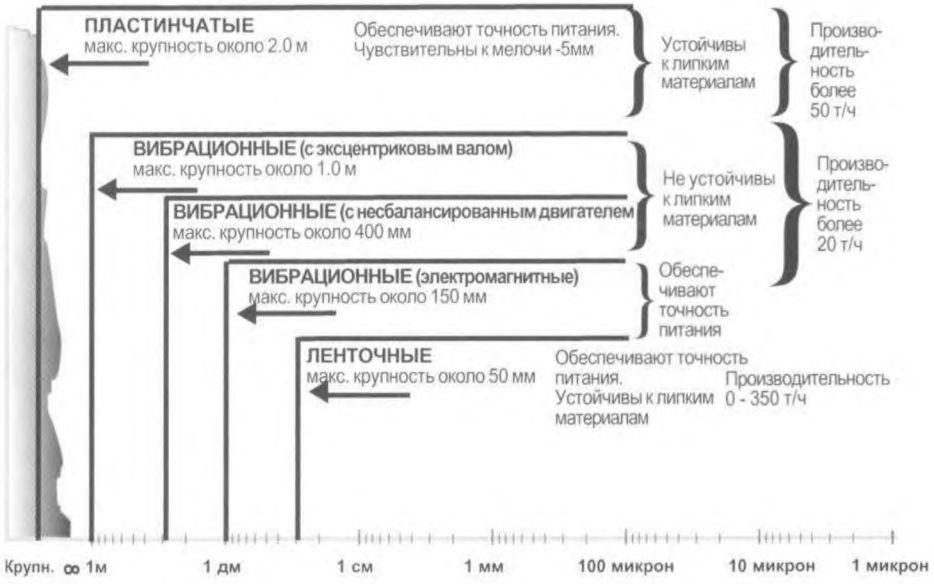


Рисунок 2.17 — Типы питателей в зависимости от крупности материала

Защита — меры по защите технологического оборудования от износа и персонала от воздействия пыли и шума.

Если износ опасен для оборудования и конструкций, то пыль и шум представляют опасность главным образом для операторов. Пыль представляет собой проблему и для оборудования, и для операторов при сухих процессах.

Шум является проблемой для операторов как в сухих, так и в мокрых процессах.

Традиционно экология рудообогатительных фабрик имеет плохую репутацию.

В настоящее время это положение меняется благодаря более жестким законам и более жестким требованиям со стороны организаторов производства.

Цены на производимый продукт редко устанавливает сам производитель, чаще это делает рынок, приобретающий этот продукт. Однако всегда имеется возможность увеличить доход от деятельности предприятия за счет резервов, заложенных в самом выполнении работы. Например, улучшая комфорт операторов, можно поднять их мотивацию и уменьшить помехи работе для увеличения производительности, улучшения качества продукции (см. рисунок 2.18).



Рисунок 2.18 — Результаты хозяйственной деятельности

Среди поставщиков и пользователей оборудования есть устойчивая тенденция говорить на языке «систем», т. е. решать проблемы на уровне различных производственных процессов, а не просто монтажа оборудования. Это эффективно поднимает качество работы (см. рисунок 2.19).



Рисунок 2.19 — Уровни систем при обогащении руд

Процессы дробления, измельчения и классификации относят к подготовительным (в которых не производят сепарации полезных ископаемых по физическим свойствам), назначение которых — разрушение плотного монолитного полезного ископаемого и превращение его в рыхлую смесь с использованием таких механических сил, как удар, сжатие, сдвиг, раскалывание и истирание [33]–[48].

Операции дробления применяются для подготовки руд к измельчению в мельницах или подготовки его непосредственно к операциям обогащения, в случае если руда с крупной вкрапленностью полезных минералов. В схемы дробления обычно включают операции предварительного и поверочного грохочения. Их принято относить к той операции дробления, в которую поступает верхний продукт грохота.

Операция дробления вместе с относящимися к ней операциями грохочения составляет стадию дробления, а совокупность стадий дробления — схему дробления. Схемы дробления включают одну, две, три и более стадии дробления, выполняемые в гирационных дробилках первой стадии дробления, щековых дробилках, молотковых дробилках, конусных дробилках для крупного, среднего и мелкого дробления, роллер-прессах.

Все операции по уменьшению крупности — дробления и измельчения — определяются характеристиками питания, которое подается в процесс. Добытая горная масса всегда состоит из кусков, значительно отличающихся по своим размерам. Наряду с крупными кусками (достигающими при открытой добыче 1,5 м и до 350 мм — при подземной), в ней содержатся частицы в несколько долей миллиметра. Основным исходным параметром является «дробимость или измельчаемость» материала, имеющая также название «индекс работы» и «профиль износа», называемый индексом абразивности.

2.3.1.2 Измельчение руд

Все дробилки, включая дробилки ударного действия, дают ограниченные значения степени дробления. В силу их конструкции имеется ограничение по времени пребывания материала в дробилке: для уменьшения крупности ниже 5–20 мм прибегают к процессам измельчения (см. рисунок 2.20).



Рисунок 2.20 — Методы измельчения

Целью процесса измельчения является высвобождение индивидуальных минералов, заключенных в кусках вмещающей породы (руды), и, таким образом, их раскрытие для последующего обогащения в форме сепарации. Руды подвергаются обогащению при крупности до 0,1 мм и мельче.

Уменьшение крупности путем измельчения также производится оптимально, стадиями с использованием барабанных мельниц: само- и полусамоизмельчения, стержневых, шаровых и галечных, специальных барабанных мельниц — конусных шаровых мельниц и мельниц на обрезиненных роликах. Вертикальные мельницы с пере-

мешиванием дробящей среды типа VertiMill применяют для сверхтонкого измельчения (см. рисунок 2.21).

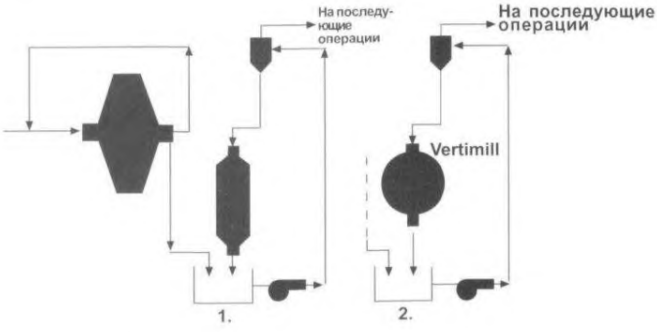


Рисунок 2.21 — Типовая схема измельчения: мельница полусамоизмельчения + шаровая мельница + мельница типа VertiMill

Основные затраты на измельчение составляют затраты на энергию, футеровку и дробящую среду (см. рисунок 2.22).

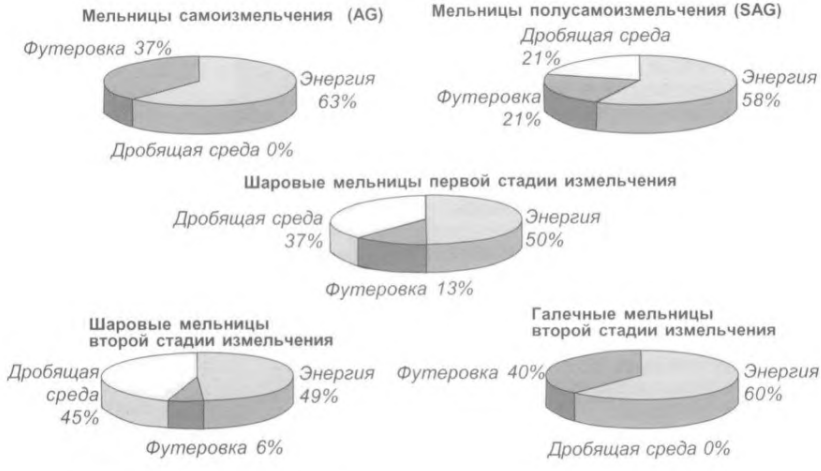


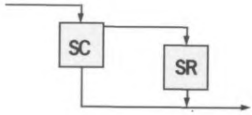
Рисунок 2.22 — Стоимость измельчения — типичные затраты

2.3.1.3 Классификация материалов

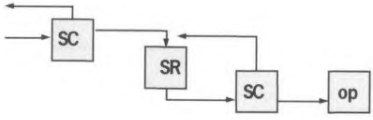
Под классификацией понимают процесс разделения твердой фракции на два или более продукта на основе крупности зерен. Разделять по крупности можно и мокрый и сухой материал.

Цель классификации:

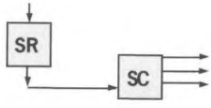
- предотвратить переизмельчение материала готовой крупности на следующей стадии измельчения SR (предварительное грохочение SC);



- предотвратить прохождение крупных фракций на следующую стадию измельчения или на следующую технологическую операцию (ор) (разделение по крупности в замкнутом цикле);

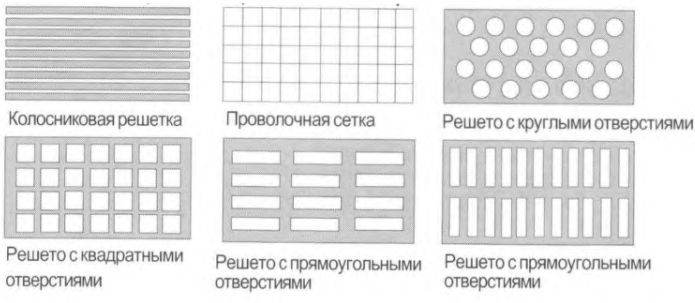


- получить продукт заданной крупности (разделение продукта по крупности).

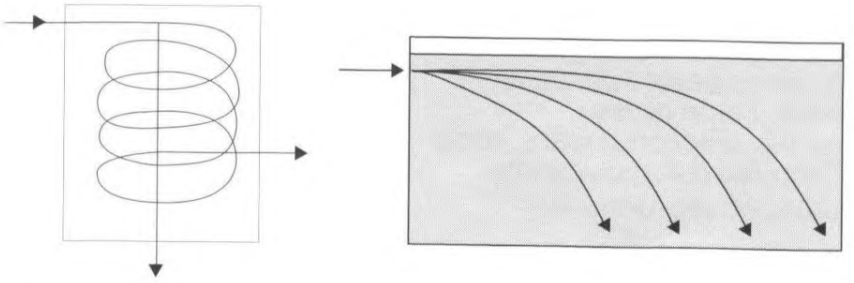


В практике обогащения полезных ископаемых существуют два доминирующих метода классификации:

- грохочение, в котором для разделения используются просеивающие поверхности с отверстиями разной геометрии;



- классификация, в которой для разделения по крупности используют движение частиц.



Действие грохота определяется тремя основными параметрами: движением, наклоном и видом просеивающей среды (см. рисунок 2.23).

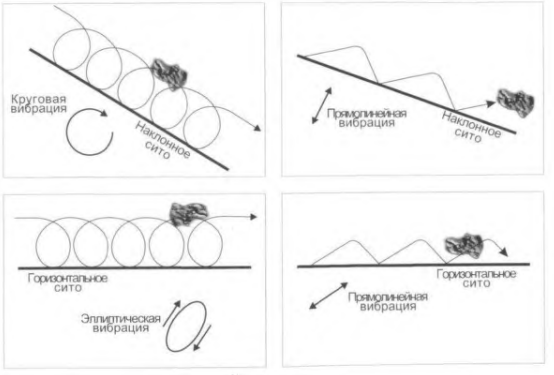
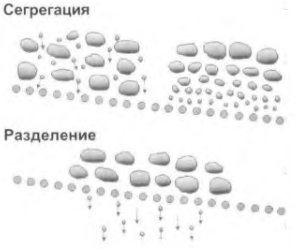


Рисунок 2.23 — Движение просеивающей среды

Просеивание с сегрегацией

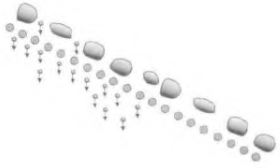
Если на поверхности сита создать минеральную постель, то движение сита будет снижать внутреннее трение в материале, и материал будет разделяться на слои. Это означает, что более мелкие зерна смогут проходить между крупных, обеспечивая резкое разделение классов.



Просеивание за счет свободного падения

Если наклон сита, используемый при сегрегации, увеличить вдвое (от 10–15 до 20–30°), то получим режим свободного падения зерен, что означает, что слой зерен не

сможет нарастать на просеивающей поверхности. Зерна будут напрямую проходить через просеивающую среду, что дает более высокую производительность (или более компактную установку), но при этом менее резкое разделение классов. Такой режим оптимально использовать, когда необходимо быстро удалить большой объем мелочи.



При разделении по крупности частиц, меньших чем 1 мм, мы выходим из границ применимости традиционных грохотов и используем следующие методы классификации:

- мокрая классификация при помощи гидроциклонов, в которых используется разделение за счет центробежной силы и которые охватывают диапазон крупности 10–100 микрон (типичный);
- мокрая классификация при помощи спиральных классификаторов, в которых используется разделение за счет силы тяжести и которые охватывают диапазон крупности 100–1000 микрон (типичный);
- сухая классификация, в которой используется разделение за счет центробежной силы и которая охватывает диапазон 5–150 микрон (типичный).

2.3.2 Основные методы обогащения руд

После высвобождения ценных минералов, содержащихся во вмещающей породе или руде путем дробления и измельчения, их можно разделить индивидуально, выделив их в самостоятельные (селективные) концентраты, на основе различия их физических свойств (см. таблицу 2.8) [49]–[52]. После выделения концентратов оставшуюся часть руды, а также примеси, оказывающие вредное действие при последующей металлургической переработке концентратов, — хвосты — направляют в отвал, размещая в хвостохранилищах.

Таблица 2.8 — Физические свойства минеральных частиц и сростков, используемые для сепарации при обогащении

№ п/п	Физическое свойство	Обогатительные процессы, в которых свойство используется как главное
1	Крупность *l*, мм	Грохочение, классификация (в некоторых аппаратах влияет еще и плотность)
2	Плотность ρ, г/см^3, т/м^3	Гравитационные методы — отсадка, тяжелосредная сепарация, шлюзы, струйные желоба, винтовые сепараторы (в ряде аппаратов оказывает влияние крупность)
3	Магнитная восприимчивость χ, см^3/г	Магнитная сепарация
4	Флотируемость *k*, м/с	Флотация

№ п/п	Физическое свойство	Обогатительные процессы, в которых свойство используется как главное
5	Удельная электропроводность частиц λ, $Ом^{-1} \cdot см^{-1}$	Электрическая сепарация
6	Удельный электрический заряд (наведенный) q, $Кл/см^3$	Электрическая сепарация
7	Светимость, отражательная способность, излучательная способность и т. п. φ, различные единицы	Радиометрическая сепарация — фотометрические, рентгенолюминесцентные и другие сепараторы
8	Растворимость p, различные единицы	Выщелачивание

Разница в физических свойствах минералов может быть усилена искусственным путем. Например, разница в цвете и блеске минералов усиливается после промывки их водой либо при специальном освещении. Магнитная проницаемость может быть повышена магнетизирующим обжигом. Флотируемость и электропроводность минералов изменяют обработкой специальными реагентами.

Обогатительные сепараторы «чувствуют» именно это различие частиц по физическому свойству ξ, а не различие в содержании ценного (вредного) компонента в частицах (см. рисунок 2.24).

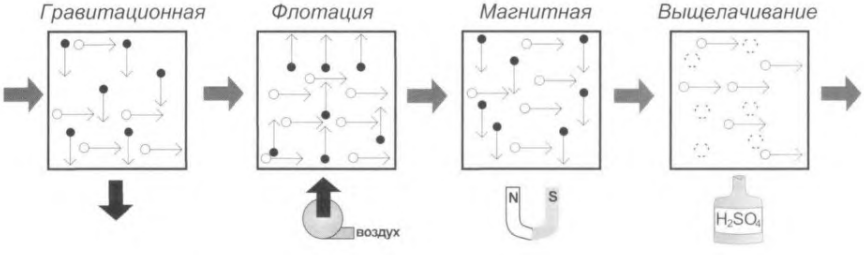


Рисунок 2.24 — Основные методы обогащения

2.3.2.1 Разделение по крупности

При разделении исходного продукта по крупности l, например руд и россыпей цветных металлов на грохотах (см. рисунок 2.25, *а*), на нижний подрешетный и верхний надрешетный продукт, один из них обогащается, а другой обедняется ценным компонентом.

2.3.2.2 Гравитационные методы обогащения

В гравитационном методе обогащения, например в конусном тяжелосредном сепараторе (см. рисунок 2.25, *б*), минералы с большой плотностью, например галенит, попадают в нижний тяжелый продукт, а остальные — в верхний легкий продукт.

Гравитационные методы используют в схемах обогащения руд цветных металлов и золота, ими обогащают россыпи.

2.3.2.3 Магнитные методы обогащения

При магнитном методе обогащения, например доводке вольфрамитовых концентратов на барабанном сепараторе (см. рисунок 2.25, *в*), магнитный вольфрамит попадает в магнитную фракцию, а остальные минералы — в немагнитный продукт.

Магнитным методом обогащается подавляющая часть вольфрамитовых и титановых руд, они обязательны при доводке золотосодержащих шлихов.

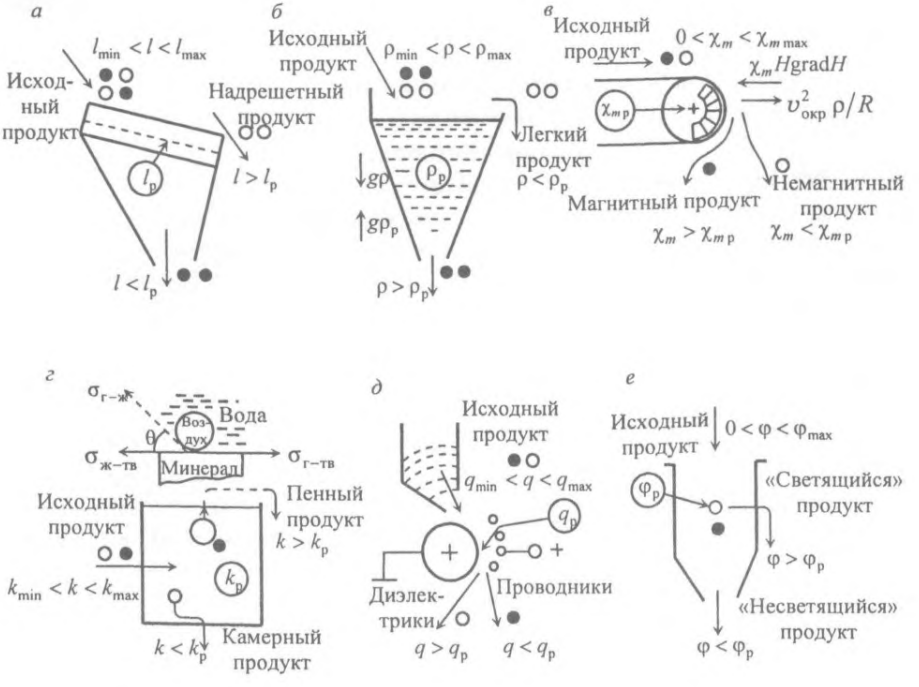


Рисунок 2.25 — Методы обогащения (сепарации) минералов

2.3.2.4 Флотационные методы обогащения

Флотационный метод обогащения, например пенная флотация (см. рисунок 2.25, *г*), основан на возможности закрепления на поверхности введенных в пульпу и всплывающих в пенный слой пузырьков гидрофобных минералов с большой флотируемостью (искусственно созданной с помощью химических реагентов) и отсутствии прилипания пузырьков к поверхности гидрофильных минералов с низкой флотируемостью (в том числе искусственно созданной с помощью химических реагентов), остающихся в камерном продукте. Например, при флотации медных руд частицы с

большей флотируемостью содержат больше меди и наоборот. Поэтому в пенном продукте среднее содержание ценного компонента выше, чем в исходной руде.

Флотационный метод обогащения преобладает для руд цветных металлов, но его можно применять для самых разных руд, так как флотируемость минералов можно изменять с помощью химических реагентов.

2.3.2.5 Электрические методы обогащения

При электрическом методе обогащения, например в сепараторе с коронным разрядом (см. рисунок 2.25, *д*), разделяются минералы-проводники, полупроводники и диэлектрики.

2.3.2.6 Специальные методы подготовки и обогащения

К специальным методам обогащения относят:

- усреднение руд;
- рудосортировку радиометрическими методами;
- избирательное дробление, измельчение, истирание и специальные методы раскрытия минералов;
- обжиг руд;
- обогащение по трению, форме и упругости, обогащение на жировых поверхностях;
- комбинированные процессы — флотогравитацию, магнитогидродинамическую, магнитогидростатическую и магнитогравиметрическую сепарацию.

Усреднение руд при добыче и обогащении обеспечивает увеличение технологических показателей процесса. Избирательное раскрытие минералов достигается применением современного дробильно-размольного оборудования в основном зарубежного производства.

При **радиометрическом (флотометрическом, рентгенолюминесцентном и др.) методе обогащения** (см. рисунок 2.25, *е*) минеральные частицы с высокой светимостью (излучательной способностью) попадают в «светящийся» продукт, остальные — в «несветящийся».

Флотогравитация — это процесс обогащения на концентрационном столе или другом гравитационном аппарате с предварительной обработкой пульпы реагентами, обеспечивающими всплывание флотируемых минеральных зерен при контакте их с воздухом. Флотогравитация основана на различии физико-химических свойств поверхности и разнице плотностей разделяемых минералов. Преимущество флотогравитации перед пенной флотацией — возможность обогащать крупнозернистый материал (3–0,1 мм). Применяют для выделения сульфидных минералов из гравитационных вольфрамитовых и оловянных концентратов, при доводке касситерито-шеелитовых гравитационных концентратов.

Магнитогидродинамическая (МГД) сепарация — это процесс разделения в жидкости твердых зернистых материалов по плотности с учетом их электромагнитных свойств. Применяется, например, для извлечения олова из руд.

Магнитогидростатическая (МГС) сепарация — это процесс разделения минералов в парамагнитной жидкости в неоднородном магнитном поле по плотности с уче-

том их магнитной восприимчивости. В отличие от процесса МГД-сепарации, в данном случае электрическое поле в жидкости (водных растворах галогенидов) не создается.

Магнитогравиметрическая (МГМ) сепарация — разделение минералов по плотности с учетом их магнитной восприимчивости в слое ферромагнитной жидкости, утяжеленной до необходимой плотности и «висящей» между полюсами электромагнита. Т. е. МГМ-сепаратор представляет собой своеобразное «гравитационное решето», на поверхности которого остаются легкие минералы, а тяжелые (галенит, касситерит, золото и т. д.) погружаются и проходят через слой жидкости.

Применение того или иного метода обогащения определяется также размером включений минералов и характером их срастания (см. таблицу 2.9).

Таблица 2.9 — Обогатимость минералов разной крупности

№ п/п	Размер включений минералов	Рекомендуемый метод обогащения
1	Руды с весьма крупными включениями — (200–20) мм	Обогащение по крупности, сухая магнитная сепарация, промывка
2	Руды с крупными включениями — (20–2) мм	Отсадка, концентрация в тяжелых суспензиях, мокрая магнитная сепарация
3	Руды с мелкими включениями — (2–0,2) мм	Концентрация на столах, мокрая магнитная сепарация, электростатическое обогащение
4	Руды с тонкими включениями — (0,2–0,02) мм	Флотация, иногда гравитационные методы
5	Руды с субмикроскопическими включениями (менее 0,002 мм)	Не обогащаются

2.3.3 Химические процессы в комбинированных схемах обогащения

Получили развитие технологии, в которых, наряду с обогатительными методами, применяют пиро- и гидрометаллургические процессы и различные виды химической обработки. Такие схемы весьма эффективны для сложных комплексных и бедных руд, переработка которых по обычным схемам обогащения не дает удовлетворительных результатов. Большинство процессов выщелачивания требуют подготовки питания путем дробления, измельчения и, в некоторых случаях, предварительного обогащения и обжига.

Ниже приведены классические схемы выщелачивания: кучное выщелачивание для крупных фракций (только после дробления) низкосортных руд и выщелачивание с перемешиванием для мелких фракций высокоценных руд.

При кучном выщелачивании землю защищают водонепроницаемой поверхностью, собирающей на себе выщелачивающие реагенты. Когда раствор «созреет», его очищают осаждением или песчаной фильтрацией, затем извлекают металл электролизом (см. рисунок 2.26).



Рисунок 2.26 — Схема кучного выщелачивания

В схеме выщелачивания перемешиванием (см. рисунок 2.27) питание мельче (обычно 200 микрон), а пульпа движется в том же направлении, что и реагенты (прямоточная схема).

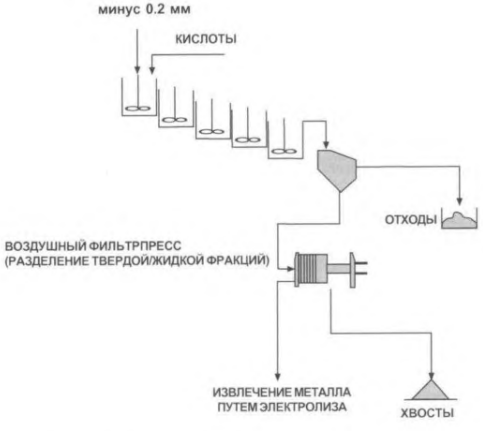


Рисунок 2.27 — Схема выщелачивания перемешиванием

2.3.4 Вспомогательные процессы

К вспомогательным процессам относят обезвоживание полезных ископаемых сгущением, фильтрацией и сушкой, а также пылеулавливание и обеспыливание.

Под обезвоживанием следует понимать дальнейшую обработку конечных продуктов, полученных на стадии обогащения. Обезвоживание касается как полезных минералов (концентрата), так и минеральных отходов (хвостов).

В первом случае обезвоживание означает улучшение качества продукта путем приведения концентрата в состояние, пригодное для транспортирования, или в полно-

стью сухую форму. Обезвоживание хвостов означает надлежащую обработку материала отходов (промывочной воды, технологических стоков и т. п.) с целью защиты окружающей среды, для восстановления технологической воды и для превращения определенной части отходов в полезный материал.

Сгущение основано на естественном осаждении в жидкости мелких и тонких частиц твердого под действием силы тяжести.

Фильтрация является процессом отделения твердых частиц от жидкости через пористую перегородку, проницаемую для жидкости, но непроницаемую для твердых частиц.

Сушка применяется в тех случаях, когда обработка материала тем или иным методом во влажном состоянии невозможна, затруднительна или экономически менее выгодна.

При дроблении руд до крупности 10 мм в воздухе содержится 100–150 г/м^3 пыли.

Пылью называются дисперсные системы, образованные твердыми частицами, взвешенными в газовой среде. В большинстве случаев пыль состоит из частиц размером от 50 мкм и ниже.

Пыль представляет известную опасность в санитарном и пожарном отношении.

Распространение пыли в атмосфере вредно сказывается на здоровье рабочих, в особенности если пыль содержит кварц. Предельно допустимое содержание пыли (бескварцевой) в воздухе не должно превышать 10 мг/м^3, а при содержании в пыли кварца свыше 10 % — не более 2 мг/м^3.

Методы улавливания пыли:

- осаждение пыли под действием собственного веса в пылеосадительных камерах;
- осаждение пыли под действием центробежной силы в циклонах или мультициклонах;
- фильтрация газа через фильтрующую перегородку (например, рукавные фильтры);
- промывка газа в скрубберах и центробежных пылеуловителях-дезинтеграторах;
- электростатическое улавливание пыли в пространстве между электродами под действием коронного (ионного) разряда.

Обеспыливание применяется для отделения пыли от кускового материала.

2.3.5 Аппараты для обогащения руд цветных металлов

2.3.5.1 Аппараты гравитационного обогащения

Классификацию аппаратов гравитационного обогащения, разделяющих частицы по плотности ρ, можно произвести на основе различных признаков: по принципу действия (отсадочная машина, тяжелосредный сепаратор и др.), производительности, крупности питания и т. д. Но приоритет должен быть за сепарационной характеристикой ε(ρ) — чем ближе она к идеальной $\varepsilon_{ид}(\rho) = 1(\rho - \rho_p)$, тем лучше аппарат. Сепарационная характеристика ε(ρ) зависит от суммы сил $\sum F_i$, действующих на частицы в зоне сепарации. Наибольший физический смысл имеет классификация по виду доминирующих сил в зоне сепарации:

1) аппараты с естественной разделяющей средой переменной плотности с силами гравитации $\vec{F}_{грав}$, среднестатистической архимедовой $\vec{F}_{г-а} = -g\bar{\rho}(x, t)$, градиентной $\vec{F}_{град}$ и сопротивления $\vec{F}_{сопр}$, например отсадочная машина с естественной постелью;

2) аппараты с искусственной разделяющей средой постоянной плотности с силами $\vec{F}_{грав}$, $\vec{F}_{г-а} = -g\bar{\rho}(x, t)$, $\vec{F}_{сопр}$, например отсадочная машина с искусственной постелью;

3) аппараты с неестесненными условиями движения частиц — вместо сил градиентной $\vec{F}_{град} = 0$ и сопротивления $\vec{F}_{сопр} = 0$ появляется сила Стокса $\vec{F}_{стокс}$, например разделение в жидкости (тяжелой) при малой производительности.

На рисунке 2.28, *а* показано изменение концентрации $C(x, t)$ тяжелого минерала смеси в пространстве $-x_m < x < +x_m$ и во времени $0 < t < l / \upsilon$. В начальный момент $t = t_0 = l / \upsilon = 0$ концентрация C_i является некоторой функцией x, т. е. $C_i(x, t_0)$; на рисунке взято $C_i(x, t_0) = C_{i\,исх} = \text{const}$ в предположении, что исходный материал идеально перемешан. Дальнейшее изменение концентрации при $t > t_0$ показано поверхностью $C_i(x, t_0)$.

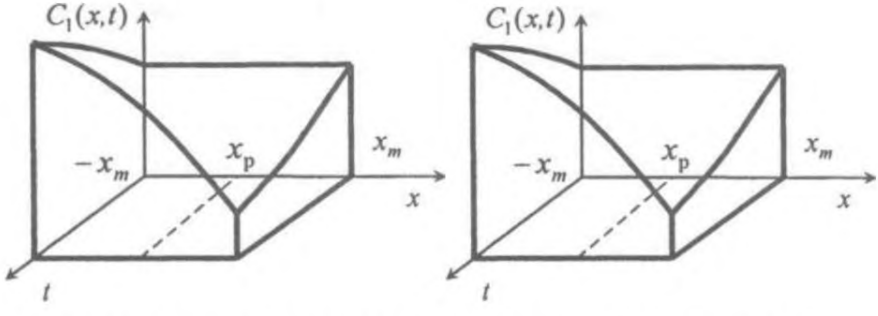


Рисунок 2.28 — Ход гравитационной сепарации в пространстве и во времени

В конце зоны при $t = l / \upsilon$ расслоившаяся смесь разделяется в точке $x = x_p = 0$. Часть тяжелого компонента, попавшая в область $0 < x < x_m$, отводится в тяжелый продукт, а часть, попавшая в область $-x_m < x < 0$, — в легкий. Аналогичная картина на рисунке 2.28, *б*: показывает изменение концентрации легкой фракции $\gamma(\rho_i, x, t)\, d\rho$.

Сепарационные характеристики аппаратов приближаются к идеальным по мере уменьшения роли «вредных» сил — градиентной $\vec{F}_{град}$, а также по мере перехода от

стесненных к неестесненным условиям в зоне, что связано с уменьшением производительности.

2.3.5.2 Аппараты для разделения частиц по крупности

Для периодического грохочения обозначим: $\gamma(l, t)$ — гранулометрическая характеристика материала над ситом; $m(t)$ — масса материала над 1 м^2 сита; $h = \text{const}$ — средняя толщина слоя материала над ситом. Поток элементарного мелкого класса $[l, l + dl]$ через сито будем считать равным $w(l) = -\upsilon_c h^{-1} m\gamma$, тогда уравнение сепарации получается из закона сохранения на границе зоны (на сетке) в виде

$$\frac{\delta}{\frac{m\gamma}{\delta t}} = -\upsilon_c h^{-1} m\gamma,$$

т. е. скорость убыли массы элементарного класса $[l, l + dl]$ из надрешетного материала пропорциональна его массе $m\gamma$ и скорости просеивания υ_c и обратно пропорциональна толщине слоя h. Решение уравнения относительно $m\gamma$ имеет вид

$$m(t)\gamma(l, t) = m_{\text{исх}}\gamma_{\text{исх}}(l)\exp[-\upsilon_c(l)h^{-1}l].$$

Оно показывает изменение массы любого класса $[l, l + dl]$ над ситом с течением времени грохочения.

2.3.5.3 Аппараты для разделения частиц по крупности и плотности

Типичной моделью, отражающей многие процессы разделения по крупности (классификации) и плотности в поле земного тяготения, является гравитационно-классифицирующий столбик (см. рисунок 2.29). Он моделирует: механические спиральные и реечные классификаторы, гидравлические классификаторы, суспензионные сепараторы, сгустители. Жидкость (среда) в столбике движется вверх. Если наряду с жидкостью подавать материал в зону в точке $x = x_0$, то легкие и мелкие частицы всплывают вверх, крупные и тяжелые тонут, а средние имеют тенденцию оставаться в столбике, образуя сортирующий слой.

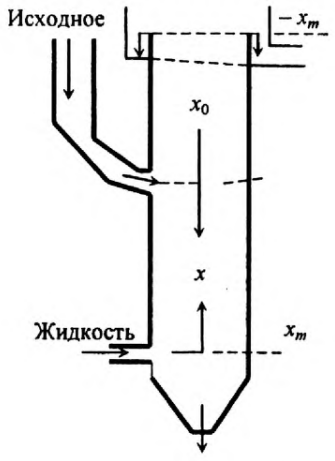
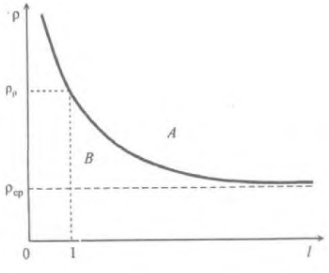


Рисунок 2.29 — Гравитационно-классифицирующий столбик

На рисунке 2.29 начало координат оси x находится в середине зоны, тогда верх зоны обозначим $x = -x_m$, а низ — $x = x_m$.

В промышленных условиях главный режим сепарации — ламинарный для случая, когда исходный материал состоит из частиц разной плотности (ρ = var) и разной крупности (l = var). В верхний продукт уходят частицы, для которых ρ и l удовлетворяют соотношению $\upsilon_{ср} + [g(\rho - \rho_{ср})l^2 / \alpha_c] < 0$, а в нижний — соотношению $\upsilon_{ср} + [g(\rho - \rho_{ср})l^2 / \alpha_c] > 0$.

Граница разделения на слив и пески описывается равенством (см. рисунок 2.30) $\upsilon(\rho, l) = 0$ или $\rho_p = \rho_{ср} - \upsilon_{ср}\alpha_c / gl^2_p$.



A и *B* — тонущие и всплывающие частицы

Рисунок 2.30 — График, характеризующий граничные свойства частиц

Конечная скорость стесненного падения частиц $\upsilon_{ст}$ значительно ниже скорости свободного падения υ: $\upsilon_{ст} = k\,\upsilon$ (где k — коэффициент снижения скорости). Значение коэффициента k зависит главным образом от степени разрыхления θ движущейся массы частиц, т. е. от отношения объема жидкости между частицами к общему объему

взвеси: $\theta = \frac{(V_1 - V_2)}{V_1}$, где V_1 — объем взвеси; V_2 — объем, занятый твердыми частицами.

При стесненном падении скорость составляет от 0,15 до 0,6 скорости свободного падения зерен той же крупности и плотности.

Минеральные зерна, имеющие разные размеры и плотность, но обладающие одинаковой конечной скоростью падения в воде или в воздухе, называются равнопадающими. Отношение диаметра частицы легкого минерала l_1 к диаметру частицы тяжелого минерала l_2, имеющей ту же скорость падения, называется коэффициентом равнопадаемости. Коэффициент равнопадаемости показывает, во сколько раз частица легкого минерала больше частицы тяжелого минерала, имеющей ту же скорость падения: $\frac{l_1}{l_2} = \frac{(\rho_2 - 1)^{0,5}}{(\rho_1 - 1)^{0,5}}$.

2.3.5.4 Аппараты магнитной сепарации

Производят сепараторы с постоянными магнитами и электромагнитами: барабанные для сухой сепарации, барабанные для мокрой сепарации, барабанные с центробежным режимом, валковые для мокрой и сухой сепарации с нижним питанием, валковые с верхним питанием, полиградиентные и др. Сепараторы сухого обогащения применяют для непылящих крупнозернистых материалов, сепараторы мокрого обогащения — при наличии тонких классов. В последнем случае используют: прямоточный режим при малом содержании тонких и магнитных фракций; противоточный — при большом их содержании; полупротивоточный — при наличии илистых сильномагнитных фракций.

Сепараторы со слабым полем применяются для сепарации сильномагнитных руд, содержащих ферромагнитные минералы. Сепараторы с сильным полем применяют для сепарации парамагнитных минералов, магнитная восприимчивость которых χ на 3–4 порядка меньше, чем у ферромагнетиков.

Разомкнутые магнитные системы с чередующейся полярностью дают более чистые концентраты благодаря эффекту электромагнитного перемешивания. Электромагнитное перемешивание бегущим или вращающимся полем может дополнительно вводиться в сепаратор.

Замкнутые магнитные системы применяются для труднообогатимых руд: руда транспортируется между полюсными наконечниками с помощью валков, дисков, роликов (индукционные магниты).

Магнитные сепараторы разделяют частицы по магнитной восприимчивости χ, а также по плотности ρ.

Для роликового или барабанного сепаратора (см. рисунок 2.31) при нестесненных условиях движения частиц в рабочей зоне главными силами в уравнении баланса сил $\sum F_i$ являются магнитная $F_м = \chi H \operatorname{grad} H$ и центробежная $F_{цб} = \upsilon_{окр}^2 R^{-1} \rho$.

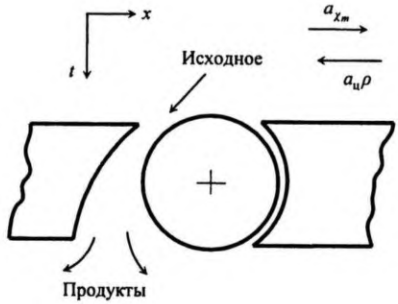


Рисунок 2.31 — Роликовый магнитный сепаратор с замкнутой магнитной системой

Баланс сил

$$\chi H \operatorname{grad} H - \upsilon_{окр}^2 R^{-1} = 0.$$

Модели ленточных барабанных сепараторов на рисунке 2.32, *а* и *б* различаются тем, что в первой разделение ведется в толстом слое, а во второй — в монослое.

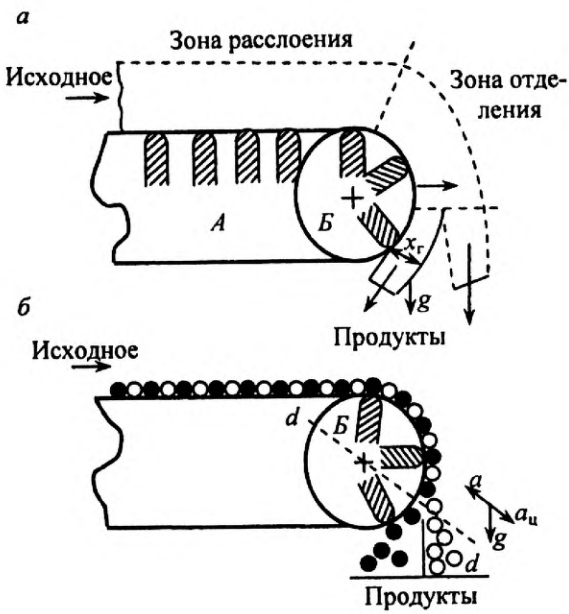


Рисунок 2.32 — Модели с толстым слоем (*а*) и монослоем (*б*) для ленточного барабанного сепаратора

В первом случае требуются предварительные магниты *А* и вибрация смеси, во втором — достаточно магнитов *Б*. В зоне отделения продуктов в действие вступает третье поле — центробежные силы, которые постоянные по величине и направлены

перпендикулярно к слою. В конце зоны отделения внутри слоя есть граница $x_г$, где центробежные силы и силы гравитации, отрывающие частицы от днища, уравновешиваются магнитными силами.

Модель на рисунке 2.32, *а* иллюстрирует отсутствие архимедовых сил, сил трения и градиентных сил. Имеют влияние только силы поля тяготения g, магнитного поля a и центробежные $a_ц$. В горизонтальном направлении разделительного переноса действуют только две силы — магнитная и центробежная: $a\chi$ и $a_ц\rho$ (где $a_ц$ = const).

В модели с монослоем частицы, для которых $(a\chi - a_ц\rho) > 0$, прижимаются к барабану и уходят в магнитный продукт, а частицы, для которых $(a\chi - a_ц\rho) < 0$, — в немагнитный продукт. Соотношение $(a\chi - a_ц\rho) = 0$ характеризует «демаркационную» граничную линию. Она разрезает функцию $\gamma_{исх}(\rho, \chi)$ аналогично тому, как в классифицирующем столбике граничная линия разрезает функцию $\gamma_{исх}(l, \rho)$.

2.3.5.5 Аппараты электрической сепарации

Схемы распространенных электрических сепараторов показаны на рисунке 2.33. В коронных сепараторах (см. рисунок 2.33, *а*) частицы заряжаются ионизацией и далее разделяются под действием сил Кулона и зеркального отражения; в проводящую фракцию выделяются сульфиды, арсениды и другие минералы, а также золото, серебро с удельной проводимостью $\lambda > 1$ См/м. В электростатических сепараторах (см. рисунок 2.33, *б*) частицы заряжаются разными способами и разделяются под действием силы зеркального отражения; при этом минералы-диэлектрики с $\lambda < 0{,}1$ См/м отделяются от минералов-проводников. В комбинированных коронно-электростатических сепараторах в проводниковую фракцию выделяются минералы с $\lambda > 10^6$ См/м.

В трибоадгезионных сепараторах (см. рисунок 2.33, *в*) нагретая смесь подается на холодный ролик-электрод, на котором кварц поляризуется и удерживается.

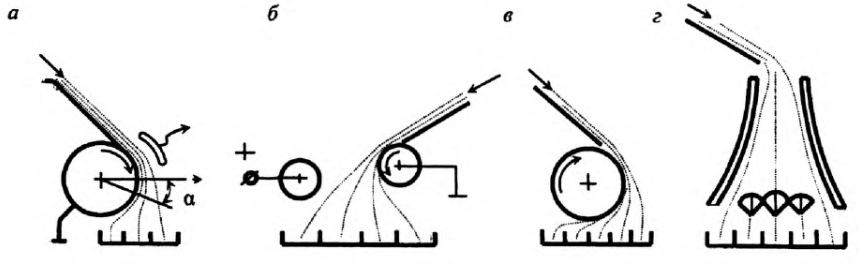


Рисунок 2.33 — Обзор электрических сепараторов: *а* — коронный барабанный; *б* — коронный электростатический; *в* — трибоадгезионный; *г* — трибоэлектростатический камерный с сегментными электродами

В трибоэлектростатических сепараторах (рисунок 2.33, *г*) используется различная способность минералов к электризации трением. Этим путем получают дистеновые

концентраты, чистый кварц и т. д. Обработка поверхностей минералов реагентами значительно расширяет область применения электрической сепарации.

При разделении смесей в электрическом поле может быть использована сила Кулона, действующая на электрически заряженные частицы ($\vec{F}_{кул} = q\vec{E}$), и сила, действующая на поляризованный диэлектрик ($\vec{F}_{эл} = \varepsilon_0\chi_в E \operatorname{grad} E = \varepsilon_0\chi_в E\,(dE / dx)$. В стесненных условиях обогащения добавляются силы сопротивления $\vec{F}_{сопр}$ и градиентная $\vec{F}_{град}$.

Помимо физических свойств q и χ_e, на процесс электрической сепарации влияет плотность частиц ρ, так как во многих конструкциях сепараторов действуют силы гравитации и центробежные.

Затрудняющее обстоятельство связано с тем, что физические свойства q и χ_e (особенно заряд q) частицы приобретают в рабочем пространстве аппарата. Они не так тесно связаны с веществом частиц, как, например, плотность ρ. При контакте частиц с заземленным барабаном на заряд частиц дополнительно влияет их электропроводность. Это не позволяет так легко охарактеризовать фракционный состав смеси функцией вида $\gamma(q)$, как функцией $\gamma(\rho)$ при отсадке, но примеры измерения $\gamma(q)$ известны.

В рабочей зоне барабанного сепаратора с коронным разрядом (см. рисунок 2.34) происходят сразу два главных процесса. Первый процесс — подготовительный.

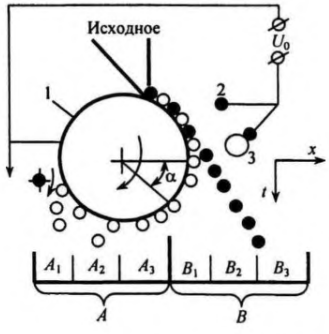


Рисунок 2.34 — Барабанный электрический сепаратор

Он включает зарядку частицы, т. е. приобретение признака q, поляризацию и электростатическую индукцию (дипольных моментов χ_e). Второй процесс — это движение частицы с приобретенными признаками χ_e, q и ρ в силовом поле E и g. Электрическое поле E создается с помощью источника U_o между электродом-барабаном *1* и коронирующим электродом *2*, представляющим собой тонкий проводник, параллельный оси барабана. Имеется еще «отклоняющий» электрод *3*, назначение которого — увеличить неоднородность поля dE/dl и отклонить к себе частицы с большими дипольными моментами. При попадании исходной частицы в зону она почти мгновенно приобретает признак χ_e, с некоторым запаздыванием во времени признак q. Элементарные заряды, возникающие из-за ионизации около коронирующего электрода, при движении встречаются с частицами материала и осаждаются на них.

На этом первый подготовительный этап заканчивается, и далее частица со свойствами χ_e, q и ρ движется под действием силовых полей E, $E(dE/dx)$, g, $a_ц$: qE — электрическая кулоновская сила; $\varepsilon_0\chi_в E\,(dE\,/\,dx) = a_в\chi_в$ — электрическая пондеромоторная сила; $g\rho$ — сила гравитации; $a_ц\rho = \left(\upsilon^2_{окр}R\right)\rho$ — центробежная сила инерции.

Первые две силы — электрические, остальные — механические. Последняя сила — центробежная. Основной процесс разделения происходит под отклоняющим электродом. Частицы, на которые преобладающее воздействие оказывает кулоновская сила + qE (диэлектрики), имеют тенденцию притягиваться к электроду-барабану *1*, частицы с преобладающей электрической силой (проводники) — к отклоняющему электроду *3*.

2.3.5.6 Аппараты флотационной сепарации

Частицы материала, обладающие поверхностными гидрофобными свойствами, прилипают к пузырькам (минерализация пузырьков) и, всплывая, сепарируются в пенный концентратный продукт, а частицы, обладающие гидрофильными свойствами, остаются в «камерном» продукте и попадают в хвосты. Такова картина, включающая два главных субпроцесса флотации: минерализацию пузырьков и гравитационную сепарацию (см. рисунок 2.35).

Подобно гравитационным аппаратам, разделяющим частицы сырья по плотности ρ на концентрат $\rho > \rho_р$ и хвосты $\rho < \rho_р$, флотационные машины разделяют частицы сырья по их флотируемости k на концентрат $k > k_р$ и хвосты $k < k_р$. Во всех типах флотационных машин (механических, пневмомеханических, пневматических, колонных и др.) сепарация происходит прежде всего на границе раздела пузырьки — пульпа.

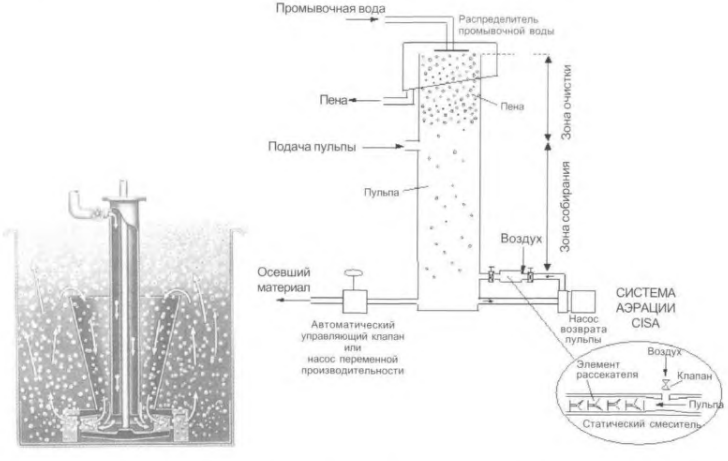


Рисунок 2.35 — Флотационные ячейки чанового и колонного типа

Флотируемость частицы можно оценить изменением поверхностной энергии ($E_1 - E_2$) до и после прилипания к пузырьку, отнесенным к единице образованной поверхности газ-твердое $S_{г\text{-}т}$:

$$k_p = \frac{(E_1 - E_2)}{S_{г\text{-}т}} = \sigma_{г\text{-}ж}(1 - \cos\theta),$$

где $\cos\theta = (\sigma_{г\text{-}т} - \sigma_{ж\text{-}т}) / \sigma_{г\text{-}ж}$ — косинус краевого угла смачивания;

σ — поверхностное натяжение на соответствующих границах раздела фаз.

Эта термодинамическая мера — чем больше энергии освобождается при закреплении частицы на пузырьке, тем выше ее флотируемость — хороша при анализе элементарного акта закрепления одиночной частицы на пузырьке, но вследствие практической неизмеримости малопригодна для процесса промышленной флотации бесчисленного множества частиц.

Более практичной, благодаря измеримости, является мера флотируемости, связанная со скоростью кинетики извлечения в пенный продукт узкой флотационной энергии по уравнению Белоглазова

$$\varepsilon_i(t) = 1 - \exp(-\varphi_i t),$$

где $\varphi_i = \text{const}$ — флотируемость узкой i-й флотационной фракции, $с^{-1}$.

Мера φ не учитывает важнейшего «машинного» фактора — степени аэрации, поэтому предложена несколько измененная мера флотируемости k (м/с), фигурирующая в уравнении Белоглазова в виде $\varepsilon_i(t) = 1 - \exp(-k_i S t)$, где S — площадь поверхности пузырьков в единице объема пульпы (или удельная поверхность раздела жидкой и газообразной фазы), $м^2/м^3$. Такое разбиение φ на два сомножителя k и S позволяет учесть влияние S на скорость флотации и исключить зависимость прежней флотируемости частиц φ от степени аэрации. Флотируемость k_i (или φ_i) узкой фракции [k_i, $k_i + dk$] может быть найдена по кривой кинетики флотации ее (без смеси с другими фракциями).

Флотируемость k для данной элементарной флотационной фракции [k_i, $k_i + dk$] равна усредненной скорости механического движения частиц фракции из жидкой фазы к границе с газовой фазой, т. е. из пульпы на пузырьки (в усреднение скоростей входят и случаи соударений без закрепления и случаи обратного перехода с пузырьков в пульпу, т. е. k суммирует все промежуточные стадии процесса минерализации пузырьков).

2.3.5.7 Аппараты для обезвоживания

В настоящее время имеются принципиально новые возможности для обезвоживания продуктов обогащения.

Жесткую конкуренцию с вакуумными фильтрационными системами выдержали фильтр-прессы. Фильтр-пресс состоит из металлической рамы и установленных на ней фильтровальных камер, которые образуются прижатыми друг к другу обтянутыми фильтротканью (салфетками) плитами, где под действием высокой разности давлений последовательно реализуются процессы фильтрации пульпы, промывки и сушки образующегося кека (см. рисунок 2.36).

Главными достоинствами пресс-фильтров являются высокая эффективность обезвоживания пульпы, небольшая остаточная влажность кека, низкие энергозатраты,

возможность полной автоматизации. Прочные полиэстеровые и полиакриловые фильтровальные ткани надежно задерживают частицы размером до 5–10 мкм, сводя к минимуму содержание твердой фазы в фильтрате.

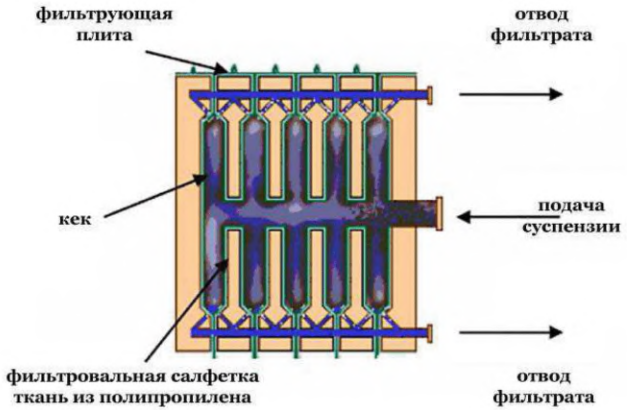


Рисунок 2.36 — Принципиальная схема фильтровальной камеры пресс-фильтра

На производственных площадках Норильского, Учалинского, Гайского, Среднеуральского горно-металлургических комбинатов, на комбинате Печенганикель установлены пресс-фильтры типа ФПАКМ, известные также под марками LaroxPF, FPM и др. (см. таблицу 2.10).

Таблица 2.10 — Показатели фильтрования флотационных концентратов

Наименование обезвоживаемого концентрата	Влажность кека, %	Скорость фильтрации, кг/м^3·ч по сухому продукту
Медный	5–8	140–900
Кобальтовый	7–8	200–600
Никелевый	5–7	250–800
Цинковый	4,7–8	200–1150
Свинцовый	6,5–9	300–900
Оловянный	4,5–8	450–650
Магнетитовый	7,5–10,5	200–400
Апатитовый	6–10	400–550
Кальцитовый	5,5–9	200–450
Тальковый	7,9–14	250–400

Высокий экономический эффект обеспечивается исключением из технологической схемы сушки в барабанных сушилках, снимающей необходимость в использовании топлива и, следовательно, выбросе в атмосферу газов и пыли, а соответственно, и тяжелых металлов.

Процесс сгущения хвостов обогащения до состояния пасты осуществляется сгустителями особой конструкции, позволяющей материалу дольше находиться в сгустителе и уплотняться до нужной консистенции.

Преимущества пастового сгущения хвостов (см. рисунок 2.37):

- исключение возможности возникновения гидродинамических аварий;
- радикальное сокращение капитальных затрат на строительство и поддержание ограждающих конструкций, которые могут и отсутствовать;
- увеличение полезного объема хвостохранилища;
- оптимизация оборотного водоснабжения фабрики;
- снижение энергозатрат на перекачку хвостов;
- отсутствие свободной воды на поверхности хвостохранилища;
- минимальное просачивание;
- снижение пылеобразования;
- быстрая рекультивация;
- минимальные затраты на ликвидацию.

В качестве альтернативы дорогостоящей фильтрации паста является оптимальным основным компонентом закладочной смеси для обратного заполнения горных выработок (шахт). Если требуется паста повышенной прочности, ее перемешивают со связующим веществом (например, портландцементом). Смесь паста — связующее вещество перекачивается к шахтной скважине и под действием силы тяжести транспортируется к месту закладки. Обратное заполнение горных выработок пастой — экономичный метод удаления (захоронения) хвостов.

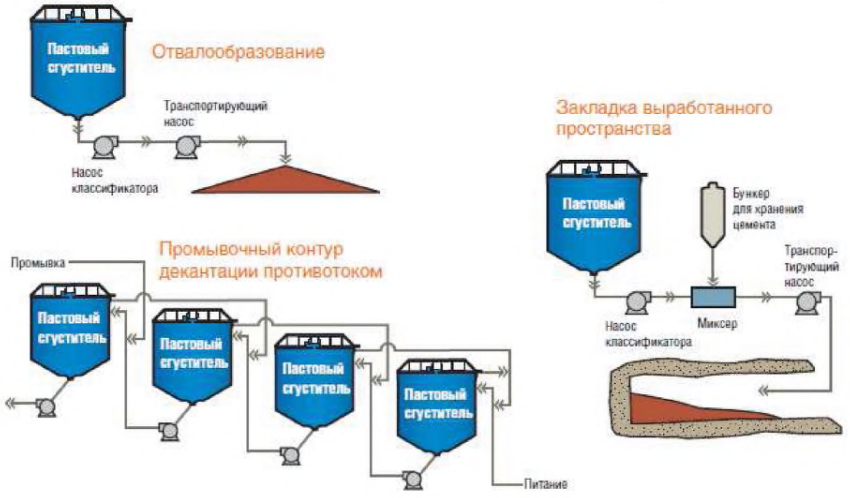


Рисунок 2.37 — Принципиальные схемы применения сгустителей с большим временем задержки обезвоживаемой пульпы

Нашли широкое применение варианты реализации двухстадиальных схем пастового сгущения в случаях удаленного расположения хвостохранилища

(см. рисунок 2.38). На сгустителях первой стадии, устанавливаемых на фабрике, для минимизации затрат на перекачку глубокосгущенного продукта производят предварительное сгущение пульпы, что позволяет сократить ее поток и, соответственно, энергозатраты на ее перекачку в 4–6 раз. Далее сгущенная пульпа транспортируется на вторую стадию пастового сгущения, оборудование которой расположено на борту хвостохранилища.

Пасту можно складировать в уже имеющиеся пруды: она уляжется на дно и будет сохранять плотность, не поддаваясь влиянию воды в верхней части пруда, даже при ее активном отборе.

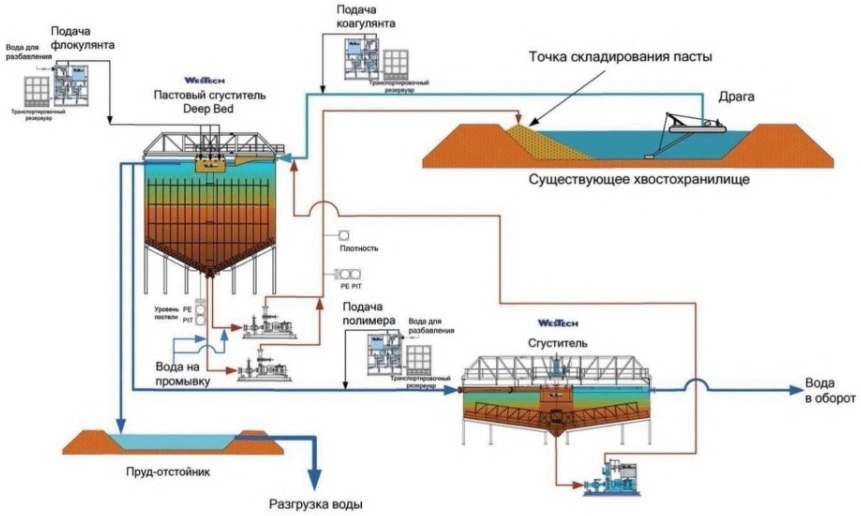


Рисунок 2.38 — Принципиальная схема пастового сгущения хвостов

2.4 Технология обогащения руд цветных металлов

2.4.1 Процессы рудоподготовки

При подготовке полезных ископаемых к обогащению в процессе их дробления и измельчения изменяются физические и химические свойства минеральных комплексов: увеличивается число дефектов кристаллической решетки, изменяются структура минералов и форма частиц, увеличивается поверхность, раскрываются сростки ценных и породообразующих компонентов, образуются микропоры и микротрещины. Существенно возрастает реакционная способность твердых тел, увеличивается каталитическая активность поверхности, скорость протекания химических реакций на межфазных границах. Приобретенная активность во времени изменяется, продолжительность максимума активности 10^{-5}–10^{-7} с [49]–[57].

Реагенты интенсифицируют измельчение — повышаются производительность мельниц и тонина измельчения и обогатительный (флотационный) процесс. Реагенты могут влиять на измельчение, снижая твердость и прочность измельчаемого материа-

ла, предотвращая коагуляцию вновь образованных тонких частиц, закрывая микротрещины на поверхностях и внутри частиц материала, изменяя вязкость пульпы.

Эффективность применения реагентов зависит от их типа и расхода. Положительные результаты при рудоподготовке дают органические и неорганические реагенты. Из органических реагентов рекомендуются низкомолекулярные соединения из класса спиртов, кетонов, аминоалкоголей, полигалоидных производных алканов и карбоновых кислот, из неорганических — соли металлов.

2.4.2 Медные сульфидные руды

При флотации сульфиды легко отделяются от пустой породы. Для подавления силикатных минералов (особенно группы пироксенов) рекомендуется в перечистных операциях использовать смесь этилендиаминтетрауксусной кислоты и реагента ФЛВИДЕКС [53], [57], [58].

Сульфиды меди лучше флотируются в известковой среде (pH 8–12); одновременно известь подавляет пирит. При наличии в руде свободного золота вместо извести рекомендуется применять соду или «мягкое» подавление пирита аэрацией пульпы и дозировкой цианида при небольших расходах (эффективна подача в перечистные операции). Для увеличения извлечения золота используют медный купорос как активатор халькопирита и пирита или флотируют при низком pH (подача серной кислоты). Иногда пирит в медном цикле подавляется при больших расходах извести или цианида (или их сочетанием, в ряде случаев — с цинковым купоросом).

Эффективные собиратели всех сульфидов меди — ксантогенаты (этиловый, изопропиловый, бутиловый, амиловый) и аэрофлоты. Халькопирит лучше флотирует дибутилдитиофосфат натрия (аэрофлот 238), вторичные сульфиды (борнит, халькозин, ковеллин и др.) — этиловый (содовый) аэрофлот и смесь 1:1 диэтил- и дибутилдитиофосфата натрия (аэрофлот 208). При использовании аэрофлотов селективно разделяются минералы меди и пирита. Расходы собирателей редко превышают 50 г/т. Эффективный собиратель-пенообразователь сульфидов меди — цианоэтилдиэтилдитиокарбомат (способствует снижению расхода извести и других реагентов, малоактивен к арсенопириту).

В промышленной практике флотации руд, в которых медь представлена преимущественно халькопиритом, наиболее часто применяют собиратели: изопропиловый, бутиловый и амиловый ксантогенаты, спиртовые аэрофлоты, реагент Z-200 (изопропилэтилтионокарбамат). В качестве дополнительных собирателей используют минереки и Аэро-404 (меркаптобензотиазол). Пенообразователи — сосновое масло и Доуфрос.

Руды, содержащие преимущественно вторичные минералы меди, лучше флотируются сочетанием различных собирателей при относительно больших расходах. Наиболее распространены сочетания низших ксантогенатов или аэрофлотов с более сильными реагентами либо с аполярными маслами. Обычно флотируют при подаче сильных пенообразователей — ОПСБ, Доуфрос, ТЭБ, сосновое масло, аэрофлот 25 и др.

Руды, в которых медь представлена как первичными, так и вторичными минералами, чаще флотируют с применением комбинации собирателей: сочетания этилового и амилового ксантогенатов, этилового ксантогената и Z-200, изопропилового ксантоге-

ната и Z-200 и др. Основные пенообразователи — сосновое масло, гексанол, метилизобутилкарбинол, аэрофлот.

Технологические схемы флотационного обогащения медных сульфидных руд с малым содержанием пирита наиболее просты. При наличии в руде пирита возможны три технологических варианта:

- последовательная селективная флотация минералов меди и пирита;

- коллективная медно-пиритная флотация с последующей флотацией меди из коллективного концентрата;

- полуколлективная флотация при подавлении части пирита в коллективном цикле, части пирита — при разделении медно-пиритного концентрата (при флотации меди).

Подавление известью пирита в цикле разделения коллективного медно-пиритного концентрата усиливается аэрацией пульпы продолжительностью 25–30 мин (например, в пневмомеханических флотомашинах).

Медно-пиритные руды с высоким содержанием глин, окисленных форм пирита и медных минералов — труднофлотируемые. Отрицательное действие глин усиливается в ряду: серицитовые, каолинитовые, монтмориллонитовые глины. Образуемые ими шламы адсорбируют реагенты, взаимодействуют с поверхностью сульфидов, увеличивают вязкость пульпы. Для пептизации глинистых шламов (образуют гидрофильные хлопья; содержат до 70 % воды) и уменьшения вязкости пульпы используются силикаты и сульфиды натрия, флокулянты полиакриламидного типа, а также грубозернистая фракция хвостов флотации. Пирит рекомендуется флотировать из коллективного концентрата с использованием сернистого газа для снижения pH при подогреве пульпы. При наличии окисленных форм медных минералов рекомендуется длительное кондиционирование пульпы с сернистым натрием перед флотацией руды ксантогенатами. Возможно использование собирателей других типов (жирнокислотных, катионных, хелатов). Эффективность флотации повышают предварительный обжиг руды с серой в восстановительной среде, двухстадиальное измельчение и классификация. Для руд, отличающихся избирательностью распределения минералов по классам крупности при измельчении (пирит— в классе +44 мкм, халькопирит — в классе −44 мкм), эффективна раздельная флотация песков и шламов.

2.4.3 Медные окисленные руды

Из окисленных медных минералов наиболее распространены малахит, азурит, куприт, тенорит, хризоколла, атакамит, диоптаз, халькантит, брошантит.

По флотационным свойствам медные окисленные руды условно делят на относительно легкофлотируемые — «неупорные» и труднофлотируемые — «упорные» руды [53], [59]–[61].

Условный критерий «упорности» — количество меди, переходящее в 4%-ный раствор цианистого калия при выщелачивании тонкоизмельченной навески руды в течение 2 ч при Т:Ж = 1:100.

К «неупорным» отнесены руды, из которых в цианистый раствор переходит более 75 % всей содержащейся в них меди. «Неупорные» медные окисленные руды приурочены к центральной части окисленной зоны месторождений. Они слагаются сильно окварцованными сиенитами и гранитпорфирами, часто переходящими в сплошные

кварциты. Медь в «неупорных» рудах представлена малахитом, азуритом, атакамитом и незначительной долей куприта и хризоколлы.

Малахит и азурит достаточно хорошо флотируются после сульфидизации с применением сульфгидрильных собирателей. В случае кварцевой породы эти минералы можно флотировать карбоновыми кислотами или их мылами при pH 8,5–9. Иногда полезно добавление соды и жидкого стекла для пептизации шламов, сернистого натрия в качестве сульфидизатора и пептизатора и аполярных масел как дополнительных собирателей; подача пенообразователя не требуется. Флотация малахита и азурита без сульфидизации возможна при применении собирателей типа меркаптобензотиазола (дробная подача). Эффективно применение сочетания собирателей: гидроксамовая кислота — ксантогенат. Обычно осуществляют раздельную флотацию сульфидных и окисленных минералов.

Флотация руд, содержащих силикаты меди (хризоколла), в промышленном масштабе не производится. Предложен ряд способов флотации руд, содержащих хризоколлу: флотация хризоколлы без сульфидизации аммонийной карбоновой кислотой; флотация хризоколлы ксантогенатом или карбоновой кислотой после ее обработки раствором комплексных аммонийных солей и сульфидизации; обработка пульпы до поступления ее на флотацию сернистым натрием, меркаптобензотиазолом и медным купоросом; флотация хризоколлы после ее сульфидизации в нейтральной или слабощелочной среде с помощью аэрофлота 31, меркаптобензотиазола и его производных; флотация хризоколлы меркаптаном. Перспективна флотация с применением комбинации собирателей — гидроксамовой кислоты C_7 — C_9 и бутилового ксантогената.

2.4.4 Медно-цинково-пиритные руды

Основной промышленный минерал цинка — сфалерит (цинковая обманка). Постоянные минеральные спутники — халькопирит и пирит, часто — халькозин, борнит и пирротин. В результате обогащения можно получать три концентрата — медный, цинковый, пиритный [53], [59]–[69].

При флотационном разделении сульфидов меди, цинка и железа наиболее затруднено отделение медных минералов от цинковых. Сфалерит от железных минералов отделяется относительно легко с помощью извести, подавляющей пирит и пирротин (сфалерит флотируется в широком диапазоне pH, в том числе в известковой среде).

Селективное разделение минералов меди и сфалерита зависит от вида присутствующих медных минералов. Наиболее легко разделить флотацией халькопирит и сфалерит, сложнее — сфалерит и вторичные минералы меди, которые обладают повышенной растворимостью.

При наличии в пульпе ионов меди естественное различие во флотируемости сфалерита и медных минералов исчезает (обменная адсорбция ионов меди и цинка в поверхностном слое сфалерита и образование на нем пленки ковеллина). Флотируют сульфиды меди обычно в известковой среде (pH 8–12).

Неактивированный сфалерит характеризуется пониженной флотоактивностью.

Активаторы сфалерита (помимо солей меди) — соли свинца, серебра, ртути. В практике флотации применяют только медный купорос, его расход необходимо строго контролировать (при недостаточном расходе снижается извлечение сфалерита, при

избыточном — активно флотируется пирит, увеличивается непроизводительный расход ксантогената и извести). При избытке ионов меди расход ксантогената можно сократить, введя сернистый натрий (перевод ионов в осадок). Для связывания активирующих ионов меди поддерживают высокий pH, применяют цианид при больших расходах.

Для повышения селективности флотации сфалерита в присутствии пирита и пирротина рекомендуются обработка пульпы SO_2 (0,5–2 кг/т) или сульфитом натрия в известковой среде (pH 8–9), интенсивное перемешивание пульпы барботированием воздуха в присутствии медного купороса (0,5 кг/т) и последующая цинковая флотация с применением этилового ксантогената (до 100 г/т) и пенообразователя.

После добавления SO_2 или сульфита натрия в пульпе создается сильно восстановительная среда, сфалерит и сульфиды железа подавляются; при интенсивном перемешивании пульпы сжатым воздухом поверхность пирита быстро окисляется по реакции

$$2Fe^{2+} + SO_2 + O_2 = 2Fe^{3+} + SO_4^{2-},$$

пирит плохо флотируется анионным собирателем, селективность флотации сфалерита повышается.

Перспективна активация сфалерита устойчивыми в щелочной среде комплексными ионами $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ (дозировка медного купороса в щелочную пульпу совместно с аммиачной водой при соотношении $Cu:NH_3 = 1:4$).

Подавители сфалерита:

- цианид натрия (перевод катионов меди с поверхности минерала в раствор) подавляет также сфалерит, обработанный собирателем или активированный ионами меди;

- цинковый купорос (при отсутствии в пульпе растворимых солей);

- комбинация цианида натрия и цинкового купороса (подавление связано с образованием коллоидного осадка цианида цинка). Для связывания цианида натрия в цианид цинка расход цинкового купороса должен приблизительно в три раза превышать расход цианида натрия (при условии, что количество растворимых солей в руде мало и цианистые ионы не связываются солями из пульпы);

- желтая кровяная соль, сульфит натрия (или SO_2), сернокислое железо в сочетании с декстрином, сернокислое закисное железо (железный купорос) в сочетании с сульфитом натрия, сернистый натрий в сочетании с цинковым купоросом или сульфитом натрия, бисульфит цинка и др.

По текстурным признакам выделяют две разновидности медно-цинково-пиритных руд: сплошные (массивные) сульфидные с суммарным содержанием сульфидов более 70 % и вкрапленные с содержанием сульфидов до 50 %. Массивные руды наиболее труднообогатимы (наличие растворимых солей тяжелых металлов, вторичных минералов меди, тонкое взаимное прорастание сульфидов).

Минералогический состав медно-цинково-пиритных руд оказывает прямое влияние на технологическую схему и реагентный режим флотации.

Если медь в руде представлена преимущественно халькопиритом, рекомендуется схема последовательной селективной флотации халькопирита и сфалерита. Для повышения технологических показателей обогащения тонковрапленных массивных руд с благоприятным соотношением меди и цинка (особенно при незначительном содер-

жании вторичных сульфидов меди) рекомендуется прямая селективная флотация с доводкой цинкового концентрата методом обратной флотации: концентрат 3 цинковой перечистки сгущается до 60 % твердого, кондиционируется в течение 20 мин с бисульфитом натрия (300 г/т) при нагревании паром до 85 °С — 90 °С (подавление сфалерита), разбавляется холодной водой до содержания твердого 40 % и температуры 50 °С и подвергается обратной флотации с добавлением ксантогената (флотируются пирит, халькопирит и сростки сфалерита с пиритом, содержащие повышенное количество серебра). Пенный продукт доизмельчается и возвращается в цикл медной флотации; хвосты обратной флотации — цинковый концентрат.

Если медь в руде представлена разными минералами (особенно если сульфиды характеризуются тонким взаимным прорастанием и могут быть отделены от породы при относительно грубом измельчении), рекомендуется схема коллективной флотации всех сульфидов (или большей их части) с последующим разделением.

Недостаток коллективно-селективной флотации: в коллективный концентрат переходят легкофлотируемые минералы меди и труднофлотируемый сфалерит, естественное различие в их флотируемости стирается, разделение коллективного концентрата усложняется. Для улучшения условий подавления сфалерита в цикле разделения и уменьшения потерь цинка с медным и пиритным концентратами рекомендуется, по возможности, проводить коллективную флотацию сульфидов без предварительной активации сфалерита медным купоросом с последующей дофлотацией минералов меди и цинка из хвостов в высокощелочной среде с дозировкой медного купороса (30–60 г/т).

Если крупность измельчения перед флотацией по коллективной или селективной схеме приблизительно одинакова, наиболее целесообразны вначале селективный съем «головки» легкофлотируемых медных минералов, затем выделение коллективного медно-цинкового концентрата (промпродукта) и далее, по возможности, выделение цинкового маломедистого концентрата.

Медно-цинково-пиритные руды — одни из наиболее сложных с точки зрения режима флотации по той или иной схеме.

Для облегчения проведения селективной флотации рекомендуется применение слабых реагентов-собирателей (преимущественно малоактивных к пириту) при минимально возможном расходе: этилового ксантогената (средний расход 160 г/т), сочетание этилового аэрофлота и Аэро 404 (80 г/т), аммиачного крезилового аэрофлота 242, спиртового аэрофлота 208 (смесь 1:1 диэтил- и дибутилдитиофосфата натрия); возможно применение тионокарбамата, изопропилового, бутилового и амилового ксантогената, тиокарбанилида, минерека (30–60 г/т). Аэрофлот 208 целесообразнее использовать в цинковой флотации. В цикле медной флотации рекомендуется применение сочетания какого-либо аэрофлота и амилового ксантогената, эффективна тройная комбинация собирателей — аэрофлот 238 (10–15 г/т), амиловый ксантогенат (60 г/т) и Z-200 (25 г/т). При подавлении сфалерита SO_2 в медном цикле эффективно сочетание ксантогената и дитиокарбамата, в цинковом — применение ксантогената.

При коллективной флотации медно-цинковых руд для улучшения качества коллективного концентрата и повышения извлечения в него меди рекомендуется в сочетании 1:1 с ксантогенатом использовать реагент ДЭФК (диметиловый эфир диэтилдитиокарбомаилметилфосфоновой кислоты); реагент ДЭФК может быть также эффективен для селективной флотации (замена 25 % — 30 % ксантогената).

Из реагентов пенообразователей рекомендуется применение сочетания креозота и метилизобутилкарбинола (80 г/т), соснового масла (25 г/т), метилизобутилкарбинола, Доуфроса, ТЭБ, Т-66, флотомасла, ИМ-68.

На реагентный режим разделения минералов меди и цинка влияет присутствие в рудах золота и серебра.

При низком содержании в руде благородных металлов основными подавителями сфалерита могут быть цианид кальция при относительно высоких расходах (МО г/т) и цианид натрия (15 г/т), который дозируется в операцию перемешивания перед медным циклом. Цинковый купорос применяют редко (дозируют в сочетании с цианидом в операцию перемешивания перед перечистками медного концентрата). При тенденции сфалерита к флотации известь и соду в цикле медной флотации не используют. При флотации меди pH 7–7,3. Известь применяют только в цинковом цикле. Существенно влияет на результаты флотации выбор оптимальной точки подачи извести. Для некоторых руд лучшие результаты получены при перемешивании пульпы перед цинковым циклом с медным купоросом и собирателем при относительно низких pH (6,7–7) до подачи извести.

При высоком содержании в медно-цинково-пиритных рудах золота и серебра цианид натрия в качестве подавителя сфалерита в селективной флотации рекомендуется применять при небольших расходах (5–20 г/т) в сочетании с другими подавителями. Главным подавителем сфалерита в медном цикле может быть сульфит натрия (250–450 г/т). Эффективно отделение флотацией минералов меди от сфалерита, пирита и пирротина с применением сульфита натрия и малых дозировок цианида (около 10 г/т) в содовой среде при введении операции дополнительной аэрации пульпы.

Для улучшения условий разделения коллективных концентратов целесообразно перемешивать пульпу с активированным углем (поглощение из жидкой части пульпы избытка реагентов) и сернистым натрием (десорбция), а затем сгущать пульпу (отмывка). Для повышения эффективности операции десорбции рекомендуется предварительно смешивать сернистый натрий с активированным углем (сокращаются потери цинка с медным концентратом при разделении коллективного концентрата).

При разделении коллективных медно-цинково-пиритных концентратов возможны три варианта технологий:

- прямая селективная флотация минералов меди и сфалерита; обратная флотация — вначале сфалерита, затем минералов меди (подавление борнита ферроцианидом либо безреагентное подавление сульфидов меди и железа: выдерживание сгущенного и отфильтрованного коллективного концентрата на воздухе в течение 3–4 дн, с последующей репульпацией теплой водой до содержания 35 % — 40 % твердого и флотацией сфалерита при pH 7,2–7,4 с помощью аэрофолота 243 и соснового масла);

- совместная флотация сульфидов меди и железа (pH 8–8,5, собиратель — изопропиловый ксантогенат) с получением цинкового концентрата в виде камерного продукта контрольной медно-пиритной флотации (подавление сфалерита сернистым натрием и цинковым купоросом с их совместной дозировкой в операцию доизмельчения сгущенного коллективного концентрата перед его разделением).

Два последних варианта технологий наиболее эффективны при флотации сплошных руд с заметным содержанием вторичных сульфидов меди и неблагоприятным соотношением содержания меди и цинка. Для повышения извлечения цинка из таких труднообогатимых руд и одновременного снижения содержания цинка в готовом

медном концентрате на 1 % — 2 % рекомендуется обесцинкование черновых медных концентратов — доизмельчение (обдирка) в присутствии сернистого натрия и цинкового купороса и перефлотация (две перечистки) с направлением хвостов на контрольную медно-пиритную флотацию. Для более простых руд эффективна технология обесцинкования, предусматривающая доизмельчение чернового медного концентрата и его перефлотацию (перечистку) при pH 4,5–5 (снижают добавлением SO_2).

2.4.5 Медно-никелевые руды

Наиболее распространенный никелевый минерал — пентландит (железоникелевый колчедан), который обычно находится в ассоциации с пирротином и халькопиритом. По флотируемости пентландит занимает промежуточное положение между пирротином и халькопиритом. При флотационном разделении халькопирита и пентландита последний подавляют известью, иногда с добавлением цианида или декстрина.

Относительно распространены миллерит и никеленосный пирротин. В состав пирротина никель входит в виде изоморфной примеси. Из них хуже флотируется никеленосный пирротин. Различные образцы пирротина, отличающиеся по составу соотношением серы и железа в минерале (атомное отношение серы к железу в пирротине изменяется от 1,00 до 1,25), обладают неодинаковой флотируемостью. Чем выше содержание в пирротине трехвалентного железа, тем лучше флотируется минерал ксантогенатами.

Все щелочи, как правило, депрессируют никеленосный пирротин. Миллерит (и пентландит) из всех щелочей подавляет только известь. Хороший активатор пирротина — медный купорос.

На обогатительных фабриках применяют три разновидности промышленных схем переработки медно-никелевых руд [53], [59], [66]–[71].

1) Коллективная флотация минералов меди и никеля из исходной руды без последующего разделения коллективного концентрата; продукты флотации в ходе процесса иногда подвергают магнитной сепарации. Из коллективного концентрата выделяют металлы при металлургическом переделе.

2) Коллективная флотация минералов меди и никеля из исходной руды с последующим разделением коллективного концентрата на медный и никелевый. Коллективный концентрат всегда разделяют при подавлении пирротина и пентландита (флотация минералов меди).

Промышленные способы разделения медно-никелевых концентратов (флотация минералов меди при подавлении пентландита и никеленосного пирротина) — реагенты-подавители: известь, известь и реагент 633, известь и цианид, известь и декстрин.

Никель, попавший в медный концентрат, теряется при металлургическом переделе; медь, перешедшая в никелевый концентрат, извлекается затем практически полностью.

При селективной флотации возможно подавление пентландита и пирротина линосульфратом в высокощелочной среде.

3) Магнитная сепарация исходной руды с последующей флотацией никеленосного пирротина из магнитной фракции (никелевый концентрат) и коллективная медно-никелевая флотация немагнитной фракции; коллективный концентрат разделяют.

Магнитное обогащение применимо для никелевых руд, содержащих пирротин. Магнитная восприимчивость пирротина колеблется в широких пределах. Пирротин сульфидных медно-никелевых руд обычно представлен смесью сильномагнитных моноклинных пирротинов и слабомагнитных гексагональных.

Крупность измельчения руд перед коллективной флотацией— 50 % — 80 % — 74 мкм. В коллективном цикле pH 7,8–9,5; возможна флотация в естественной или кислой среде. Регулятор среды — кальцинированная сода и 25%-ный раствор аммиака (0,8–1 кг/т, дозировка в измельчение). При использовании аммиака снижается загрязнение оборотной воды.

В качестве собирателей эффективны амиловый (средний расход 85 г/т), бутиловый (100–150 г/т), изопропиловый (80 г/т) ксантогенаты, сочетание тритиокарбоната щелочного металла и натрийбутилмеркаптида (от 10:1 до 1:1). Для активации пентландита и никеленосного пирротина используется медный купорос.

Из пенообразователей в промышленных условиях эффективны реагенты типа соснового масла (сосновое масло, флотол), ксиленол, бутиловый аэрофлот, Доуфрос, Т-66, метилизобутилкарбинол, ТЭБ. В качестве регулятора ценообразования (и одновременно как дополнительные собиратели) эффективны длинноцепочечные дитиофосфаты и меркаптобензотиазол.

Для подавления флотоактивной силикатной породы применяются карбоксиметилцеллюлоза, карбосульфит и карботиосульфат, тринатрийфосфат, декстрин, крахмал, жидкое стекло, комбинации пирофосфат — гуартек. При обогащении вкрапленных медно-никелевых руд с высоким содержанием флотоактивной пустой породы рекомендуется ее предварительная флотация с дозировкой одного пенообразователя, с последующим доизвлечением ценных минералов из пенного продукта при депрессии минералов породы органическими подавителями.

Для повышения показателей коллективной флотации целесообразно введение операции интенсивного кондиционирования пульпы с реагентами (10–15 мин).

Оптимальный режим разделения коллективного медно-никелевого концентрата включает аэрацию пульпы воздухом в известковой среде с добавлением во флотацию цианида для усиления подавления пентландита и никеленосного пирротина. Высокосортный никелевый концентрат получается в виде хвостов основной медной флотации, низкосортный — в виде хвостов перечисток (в перечистки для уменьшения флотируемости пирротина и пентландита дозируется цианид). При добавлении цианида несколько снижается флотоактивность халькопирита; после дозировки цианида рекомендуется аэрация пульпы для восстановления флотационных свойств халькопирита.

Для повышения селективности флотации рекомендуется подогревать пульпу до 38 °С. Для снижения остаточной концентрации ксантогената вместо аэрации пульпы возможно применение реагентов-окислителей (перекись водорода, гипохлорит натрия); эффективно добавление в пульпу древесного угля.

Ферроникелевые пирротиновые концентраты рекомендуется перерабатывать с применением комбинированного процесса (гидрометаллургия — флотация): окислительное автоклавное выщелачивание концентрата с использованием в качестве окислителя кислорода; осаждение тяжелых цветных металлов в виде сульфидов; серносульфидная флотация пульпы с применением (дробная подача) дибутилдитиофосфата и керосина, также пенообразователя при pH 4 и содержании твердого в пульпе 30 %; селективная дезинтеграция серносульфидного концентрата путем нагрева до темпера-

туры выше точки плавления серы. Конечный сульфидный концентрат содержит до 12 % никеля (при извлечении около 90 %). Из серного концентрата (содержит 70 % — 75 % серы) плавкой получают товарную серу.

2.4.6 Медно-кобальтовые руды

Основные сульфидные минералы кобальта — кобальтин (кобальтовый блеск), глаукодот, кобальтпирит, линнеит, шмальтин). Кобальтпирит и глаукодот представляют собой соответственно пирит и арсенопирит с изоморфной примесью кобальта. Из окисленных минералов наиболее распространены гетерогенит, эритрин, асболан.

При флотации по коллективной схеме в качестве собирателей используют ксантогенаты для сульфидных разностей минералов и карбоновые кислоты (талловое и пальмовое масло) и алкилгидроксаматы для окисленных; в качестве дополнительного собирателя в коллективном цикле рекомендуется использовать аполярные масла. Пенообразователь — сосновое масло. При флотации окисленных богатых медно-кобальтовых руд (содержание меди 4,5 %, кобальта 1,5 %) с применением лаурогидроксамата (200 г/т) достигается извлечение меди в концентрат 88 %, кобальта — 70 %.

При селективной схеме (последовательная флотация минералов меди и кобальтпирита) в цикле медной флотации используют спиртовые аэрофлоты, относительно слабо флотирующие пирит, в пиритном цикле — ксантогенат. Хороший собиратель и одновременно пенообразователь кобальтсодержащих минералов (линнеит, кобальтпирит) — крезиловый аэрофлот 25. Пенообразователь при селективной флотации — метилизобутилкарбинол. Кобальт в небольшом количестве может присутствовать в свинцовых рудах (содержание около 0,008 %); рекомендуется извлекать из хвостов свинцового цикла при pH 10,5–11, используя амины (первичные, вторичные) и аполярные масла (извлечение кобальта 50 % — 65 %).

Эффективные подавители сульфидных кобальтовых минералов цианиды и известь, также сернистый натрий (при больших расходах). Флотация минералов кобальта может быть предотвращена длительной аэрацией пульпы.

Активатор минералов кобальта — медный купорос и серная кислота.

2.4.7 Медно-свинцово-цинково-пиритные руды

В полиметаллических рудах медь может быть представлена разнообразными минералами, цинк — чаще всего сфалеритом, свинец — галенитом. Как правило, галенит встречается в парагенезисе со сфалеритом; основное количество свинца в мировом производстве получают из медно-свинцово-цинковых и свинцово-цинковых руд. В зоне окисления сульфидных полиметаллических месторождений свинец наиболее часто представлен церусситом, реже — англезитом [53], [57], [59], [62]–[66].

Галенит — один из наиболее легкофлотируемых сульфидных минералов. Хорошие собиратели галенита — ксантогенаты и аэрофлоты. Ксантогенаты низших спиртов более эффективны в слабощелочной среде; ксантогенаты высших спиртов (C_4 и более) достаточно эффективны при pH > 10. Селективный собиратель галенита — тиокарбанилид (дифенилтиомочевина) при pH 7,6–7,8.

Специфический подавитель галенита — двухромовокислые соли. Кроме того, его подавляют крахмал, таннин, фосфатные соли, перекись водорода, сульфит натрия в сочетании с сульфатом цинка, также цианиды (при очень больших расходах, не харак-

терных для минералов меди, цинка и железа). Аналогично другим сульфидам флотация галенита может быть временно подавлена сернистым натрием (при его концентрации, превышающей критическую для данного собирателя), а также SO_2 (при больших расходах) или сульфитом, используемыми в сочетании с тиомочевиной (флотируемость восстанавливают аэрацией пульпы).

Некоторое подавляющее действие на галенит, особенно затронутый окислением, оказывает известь. Чем больше расход извести в свинцовом цикле при ее дозировке в измельчение, тем сильнее должен быть собиратель. Получаются примерно одинаковые результаты, если при малом расходе извести применяется аэрофлот, большем расходе — амиловый ксантогенат. Для предотвращения подавления галенита известью собиратель дозируют в измельчение.

При наличии в полиметаллических рудах окисленных минералов свинца их флотируют ксантогенатами после предварительной сульфидизации сернистым натрием.

По технологической сложности медно-свинцово-цинковые руды как объект флотационного обогащения условно классифицируют на три типа:

- сульфидные руды, содержащие халькопирит, галенит и сфалерит;

- сульфидные руды, содержащие различные медные минералы, галенит и сфалерит;

- руды, подвергнувшиеся изменению и окислению с поверхности.

Селективное обогащение руд усложняется, если в них присутствуют пирит, марказит и марматит или отмечается тонкое взаимопрорастание минералов. При флотации полиметаллических руд широко применяют спиртовые аэрофлоты (преимущественно в цинковом цикле флотации) — этиловый, бутиловый, 208 и 238. Средний расход спиртовых аэрофлотов 15–60 г/т. Из фенольных аэрофлотов относительно распространены аэрофлоты 242 и 31 (средний расход 20–60 г/т).

В промышленности применяют три разновидности технологических схем переработки медно-свинцово-цинково-пиритных руд.

1) Последовательная селективная флотация минералов меди, свинца, цинка и железа из полиметаллической руды (схема не получила широкого распространения в практике флотации).

При переработке по схеме прямой селективной флотации тонковкрапленных руд с высоким (до 20 %) содержанием пирита вначале проводят при pH 6,5 медную флотацию после добавления SO_2 или сернистой кислоты (основная дозировка в измельчение) для активации халькопирита (рекомендуется также введение в пульпу метабисульфита натрия), затем флотируют галенит с добавлением цианида (250 г/т) и извести (150 г/т) для поддержания сфалерита и пирита в депрессированном состоянии. В качестве собирателя в медном цикле применяют Аэро-404 или этиловый ксантогенат и содовый аэрофлот, в свинцовом цикле — этиловый или вторичный бутиловый ксантогенат при малых расходах. Хвосты свинцового цикла сгущают и обрабатывают медным купоросом (800 г/т) при подогреве, затем этиловым ксантогенатом в сочетании с амиловым (в цинковом цикле добавляют также содовый аэрофлот или вторичный бутиловый ксантогенат) последовательно флотируют сфалерит и пирит, используя в цинковом цикле в качестве реагентов-регуляторов известь (450 г/т), соду (200 г/т) и КМЦ (последнюю рекомендуется дозировать также в медный и свинцовый циклы флотации).

При недостаточно эффективном отделении флотацией галенита от пирита и сфалерита рекомендуются подогрев пульпы до 85 °С (например, с помощью пара) и

обратная флотация свинцового концентрата без добавления реагентов с выделением хвостов основной флотации в виде свинцового концентрата. Пенный продукт основной флотации дважды перечищается с применением КМЦ, SO_2 и метабисульфита натрия. Медьсодержащий концентрат перечисток рекомендуется направлять в медный цикл, свинецсодержащие хвосты — на контрольную свинцовую флотацию.

2) Коллективная флотация всех сульфидов с последующим разделением коллективного концентрата. При наличии в руде сфалерита с различной флотоактивностью возможна дофлотация из хвостов коллективного цикла цинковых минералов и пирита.

Коллективный медно-свинцово-цинково-пиритный концентрат разделяют различными способами:

а) из коллективного концентрата (после операции десорбции сернистым натрием и отмывки) с использованием цианида (80 г/т) и цинкового купороса (400 г/т) как подавителей сфалерита и пирита проводят медно-свинцовую флотацию, из хвостов последней извлекают вначале минералы цинка, затем — железа; медно-свинцовый концентрат также разделяют. Для сокращения расхода сернистого натрия в операции десорбции рекомендуется подогрев пульпы до 40 °С — 50 °С;

б) коллективный концентрат разделяют с помощью цианида и цинкового купороса на медно-свинцовый и цинково-пиритный концентраты, которые далее разделяют;

в) из коллективного концентрата последовательно флотируют минералы меди и цинка (хвосты цикла разделения — свинцовый концентрат); медный концентрат обессвинцовывают. В качестве подавителя сульфидов в медном цикле применяют только известь (12,5 кг/т концентрата), собиратель-изопропиловый ксантогенат (50 г/т концентрата); в цинковом цикле галенит депрессируют бихроматом натрия (900 г/т концентрата) и реагентом 610 (35 г/т концентрата); собиратель — изопропиловый ксантогенат (45 г/т концентрата);

г) из коллективного концентрата, сфлотированного в сернокислой среде при pH 5,5, последовательно извлекают: при pH 6,3 — халькопирит и теннантит (галенит подавляют декстрином, сфалерит — цинковым купоросом и сернистым газом), при pH 8,5–9 — галенит (сфалерит подавляют цианидом и цинковым купоросом), при pH 11–11,5 — сфалерит; последним флотируют при pH 2–3 пирит.

3) Коллективная флотация минералов меди и свинца из исходной руды при подавлении сфалерита и пирита с последующим разделением медно-свинцового концентрата; из хвостов медно-свинцового цикла извлекают сфалерит, иногда пирит. По такой схеме работает большинство полиметаллических фабрик.

Коллективную медно-свинцовую флотацию проводят при pH 7,5–9,5 с применением в качестве собирателей различных ксантогенатов, аэрофлотов 31 и 242, Аэро-404 (меркаптобензотиазол), тиокарбанилида, тионокарбаматов и дитиофосфинатов; часто используют сочетания собирателей. Пенообразователи медно-свинцового цикла — крезол, синтетические реагенты (циклогексанол, Аэрофрос), Т-80 и др.

Из регуляторов среды наиболее часто применяют соду (100–300 г/т). При наличии сфалерита и пирита с низкой флотоактивностью рекомендуется ввести в процесс немного извести и флотировать медные и свинцовые минералы при низком расходе слабых собирателей. Перечистка коллективного медно-свинцового концентрата в открытом цикле повышает извлечение меди и свинца в концентрат.

Подавители минералов цинка и пирита — цианид (2–100 г/т) и цинковый купорос (100–1300 г/т). Присутствие в пульпе тиосульфатных ионов усиливает депрессирующее действие цианидов на сфалерит и сульфиды железа, в 15–20 раз сокращает расход цианидов (до 2–10 г/т). Ксантогенатную медно-свинцовую флотацию в этом случае рекомендуется проводить при pH 7,2–10 с дозировкой тиосульфата натрия 100–1000 г/т, сульфата цинка 100–300 г/т и максимально 15 г/т цианидов.

Для некоторых руд (содержание меди 0,3 %, свинца 3,2 %, цинка 4,5 %, крупность измельчения 57 % — 44 мкм) эффективна бесцианидная технология подавления цинковых минералов с применением SO_2 и крахмала; медно-свинцовую флотацию проводят при pH 7,2 с применением дитиофосфинатов.

Улучшение флотационных свойств минералов меди и свинца с одновременным подавлением цинковых минералов достигается использованием в коллективной медно-свинцовой флотации тиомочевины в сочетании с сернистым газом или сульфитом. Рекомендуется последовательная обработка пульпы: вначале SO_2 или сульфитом, затем тиомочевиной при малых расходах.

При переработке труднообогатимых полиметаллических руд для облегчения разделения медно-свинцовых концентратов целесообразна селективная флотация из исходной руды вторичных сульфидов меди (халькозин, борнит) в содовой среде при pH 9,5–10 без собирателя в присутствии тиомочевины. Выделяемый затем коллективный концентрат представлен преимущественно халькопиритом и галенитом.

Выбор метода разделения медно-свинцового концентрата зависит в первую очередь от вещественного состава концентрата.

Цианид натрия — эффективный подавитель халькопирита и теннантита — для подавления халькозина и ковеллина неприменим. Сульфит натрия в сочетании с железным купоросом используется для подавления галенита, если медь представлена халькопиритом; присутствие вторичных минералов меди (борнит и халькозин) нарушает разделение. Сернистая кислота в комбинации с бихроматом или крахмалом подавляет флотацию галенита в основном при наличии в руде халькопирита, в меньшей степени — халькозина.

Сернистый газ практически не влияет на флотацию сульфидов меди (халькопирит, халькозин, борнит) и существенно влияет на флотацию галенита, сфалерита и пирита. Сфалерит, активированный ионами меди, депрессируется SO_2 в присутствии ионов цинка или кальция. Пирит и затронутый окислением галенит подавляются одним SO_2. Селективность флотации при использовании SO_2 регулируется температурой пульпы; при разделении коллективного концентрата, содержащего галенит и халькопирит, галенит селективно депрессируется кондиционированием пульпы при 70 °С.

Цинковые минералы, содержащиеся в медно-свинцовом концентрате, при цианистом разделении переходят в медный концентрат, при сернистокислом или сульфитном — в свинцовый. В случае повышенного содержания цинка в медно-свинцовом концентрате может возникнуть необходимость в применении операции обесцинкования соответствующего концентрата (влияет на выбор способа разделения медно-свинцового концентрата). Рекомендуемый режим обесцинкования черновых свинцовых концентратов (хвостов медного цикла): обработка пульпы при подогреве до 20 °С — 25 °С медным купоросом (0,7 кг/т концентрата) и флотация цинка с одной перечисткой; реагенты; в основную флотацию — бутиловый ксантогенат (90 г/т концентрата) и бутиловый аэрофлот, в перечистку — известь (до pH 11–12). Свинцово-цинковый промпро-

дукт рекомендуется обрабатывать сернистым натрием и активированным углем и возвращать в сгуститель коллективного медно-свинцово-цинково-пиритного концентрата (отмывка реагентов).

Практически при выборе метода разделения руководствуются соотношением содержаний меди и свинца в руде (и концентрате). Рекомендуется флотировать минерал, находящийся в меньшем количестве в руде (для медно-свинцово-цинковых руд — обычно медные минералы).

Галенит обычно депрессируют при соотношении свинца и меди в концентрате более 1. Галенит также подавляют в случае присутствия в руде халькозина и ковеллина в промышленных количествах (вторичные сульфиды меди не подавляются цианидом) и при его окислении. Подавители галенита — бихромат натрия, диоксид серы и крахмал в различных комбинациях, также сочетание 1:1 бихромата натрия и силиката натрия. Для усиления подавления галенита в промышленных условиях используют углекислый газ. Перспективно подавление галенита цинковым купоросом, сернистым натрием и углекислым газом (последовательная обработка пульпы каждым реагентом). Удовлетворительные результаты обеспечивает сульфатный метод разделения галенита и халькопирита: обработка коллективного концентрата в течение 5 мин серной кислотой при подогреве пульпы до 30 °С (сульфатизация галенита) и флотация халькопирита ксантогенатом; возможно применение сочетания сульфата железа (1,8 кг/т), тиосульфата натрия (1,8 кг/т), сульфата цинка (1,5 кг/т).

При близком исходном содержании меди и свинца более эффективна реализация схемы с флотацией галенита из коллективного концентрата с подавлением медных минералов цианистыми солями (цианидом или цинк-цианидным комплексом). При использовании в качестве подавителей цианида или цианплава возрастают потери золота (до 15 % — 20 %) за счет его растворения. Расход цианида натрия можно снизить тепловым кондиционированием пульпы перед разделением медно-свинцового концентрата (нагрев до 85 °С — 90 °С и последующее охлаждение до 25 °С — 30 °С); одновременно сокращается расход сернистого натрия и активированного угля.

Потери золота уменьшаются, если в качестве подавителя используют комплекс цианида цинка. Оптимальный режим пульпоподготовки перед разделением: перемешивание коллективного концентрата в течение 3 мин с сернистым натрием, активированным углем, цинковым купоросом и цианидом (цинковый купорос дозируют до подачи цианида).

При повышенном (более 5 %) содержании свинца, извлекающегося в медный концентрат в процессе медной флотации, рекомендуется обессвинцевание медных концентратов (наличие свинца в медном концентрате осложняет металлургический передел и приводит к повышенным потерям меди с отвальными шлаками). При обессвинцевании медных концентратов может быть использована естественная флотируемость свинцовых минералов. Реагенты операции обессвинцевания: сернистый натрий и Т-66. Для разделения обогащенного свинцом медного концентрата возможно использование железосинеродистой соли (подавление сульфидов меди) с получением свинцово-медного продукта марки ПСМ (содержание свинца — около 20 %, меди — около 20 %).

При больших потерях меди и свинца в разноименных концентратах (тонковкрапленные руды, содержащие теннантит, халькопирит, ковеллин и др. сульфиды меди) коллективный концентрат рекомендуется направлять на медную флотацию с добавле-

нием SO_2, извести и активированного угля; хвосты медной флотации после доизмельчения — на черновую свинцовую флотацию с добавлением соды, цианида и активированного угля; черновой свинцовый концентрат следует обезмеживать (флотация ковеллина) при 65 °С — 70 °С в присутствии углекислого газа (5 кг/т), активированного угля, бихромата натрия и аэрофлота 208 с получением готового свинцового концентрата в виде камерного продукта (пенный продукт присоединяется к готовому медному концентрату).

При флотационном разделении медно-свинцовых концентратов может проявляться отрицательное влияние неселективной флокуляции частицы — 30 мкм. Рекомендуется применение диспергатора Диспекс 40 (побочного действия на селективность флотации сульфидов не оказывает). Режим разделения медно-свинцового концентрата: расход диспергатора 20 г/т, время перемешивания 3 мин, подавление медных минералов цинковым купоросом (875 г/т) и цианидом натрия (750 г/т), флотация галенита без подачи собирателя в присутствии пенообразователя метилизобутилкарбинола (2 г/т).

Сфалерит и пирит извлекают из хвостов коллективной медно-свинцовой флотации по двум схемам: коллективная флотация цинковых минералов и пирита с дальнейшим разделением полученного концентрата и прямая селективная флотация сфалерита и пирита. Выбор схемы определяется сравнительной флотоактивностью цинковых минералов и пирита и их содержанием в руде.

Коллективную цинково-пиритную флотацию из хвостов медно-свинцовой проводят с применением ксантогенатов, аэрофлотов, медного купороса (50–500 г/т), также соды и иногда извести (до 2 кг/т). Из цинково-пиритного концентрата всегда флотируют сфалерит, добавляя известь (0,5–3 кг/т) и медный купорос.

Отделение сфалерита флотацией от пирита и пустой породы хвостов медно-свинцового цикла проводят с добавлением извести и медного купороса (иногда также цианида). Последующее извлечение пирита из хвостов цинковой флотации возможно при условии ликвидации влияния извести. Это достигается сгущением пульпы со сбросом слива и разбавлением песков водой перед флотацией или понижением pH пульпы с помощью кислоты; иногда для активации пирита используют соду (15–400 г/т).

Возможно получение пиритного концентрата в виде камерного продукта.

2.4.8 Свинцово-цинковые руды

Наиболее распространена технология последовательной селективной флотации минералов свинца и цинка. Существенную часть свинцово-цинковых руд перед флотацией обогащают гравитационными методами. Это способствует снижению расходов флотореагентов. Коллективную флотацию с последующим разделением концентрата применяют редко (преимущественно при переработке руд с кварцево-карбонатной и полевошпатовой породой). Руду измельчают до 70 % — 0,074 мм, режим коллективной флотации pH 7–7,5 (серная кислота), 8,5–9 (сода) или 11 (известь), изопропиловый (165 г/т) или бутиловый (100 г/т) ксантогенаты, этиловый ксантогенат (25 г/т) и минерек 201 (30 г/т), метилизобутилкарбинол (30 г/т), медный купорос, сернистый натрий, жидкое стекло. Коллективный концентрат доизмельчают до 95 % — 0,074 мм и флотируют галенит при pH 9–12 4 с подавлением сфалерита цианидом натрия и сульфатом цинка

(отдельно 70–150 г/т и совместно 100–300 г/т); при необходимости из хвостов флотируют сфалерит [53], [57], [59], [62]–[66].

Свинцово-цинковые руды флотируют бутиловым ксантогенатом, аэрофлотами (31, 211, 242 и этиловый), низшими ксантогенатами (этиловый и изопропиловый). Средний расход аэрофлотов 35 г/т, ксантогенатов 30–60 г/т. Аэрофлоты применяют как в свинцовом, так и цинковом циклах. Сочетания собирателей в одном и том же цикле селективной флотации используют редко (эффективен этиловый ксантогенат в основной коллективной флотации, изоамиловый ксантогенат — в контрольной), чаще практикуется применение разноименных собирателей в свинцовом и цинковом циклах (например, аэрофлот и ксантогенат). Для серебросодержащих руд перспективно применение реагента МИГ-4Э.

Из пенообразователей наиболее распространены Аэрофрос 77, метилизобутилкарбинол, Доуфрос, гексиловый спирт, диметилфталат (Д-3), сосновое масло, терпineол, крезиловая кислота, крезол. К синтетическим пенообразователям для улучшения качества пены добавляется древесный (15–20 г/т) или каменноугольный креозот. Обладает способностью образовывать вязкие пены, в результате несколько повышается извлечение свинцовых минералов (особенно для руд, затронутых окислением). При использовании в качестве собирателей аэрофлотов добавка самостоятельного пенообразователя часто не требуется.

Регулятор среды при свинцовой флотации — сода (50–1400 г/т) или известь (100–1000 г/т). Расход извести должен строго контролироваться во избежание подавления галенита (также золота). Добавление активированного угля в перечистную свинцовую флотацию способствует эффективной десорбции избытка собирателя и пенообразователя, улучшает качество концентрата.

В промышленной практике сфалерит и пирит в свинцовом цикле подавляют следующими реагентами и их сочетаниями: цианид натрия; Экоф Р-82 и цианид натрия; цианид натрия и цинковый купорос; сульфит натрия и цинковый купорос; цинковый купорос. Наиболее широко используют цианид натрия (до 150 г/т) и сульфат цинка (до 200 г/т) отдельно и совместно. Перспективно применение перманганата калия (взамен цианида натрия), $FeSO_4$ в сочетании с NaCN при их соотношении 2:1 (взамен цинкового купороса и цианида натрия).

Для повышения извлечения благородных металлов (в ассоциациях и сростках с рудными минералами) при селективной флотации свинцово-цинковых руд рекомендуется совместная подача бутилового аэрофлота и перекиси водорода в основную флотацию.

В цинковом цикле для активации сфалерита применяют медный купорос (50–1000 г/т); пульпу перемешивают с медным купоросом перед флотацией от нескольких минут до 1 ч. Подавитель пирита — известь (pH 8–10). Оптимальную точку подачи медного купороса устанавливают опытным путем (до подачи извести, после подачи извести, совместно с известью). Сфалерит флотируют при pH 10–12. Собиратели в цинковом цикле — изопропиловый, этиловый, изобутиловый и амиловый ксантогенаты, иногда в сочетании с дитиофосфатами.

По обогатимости методом селективной флотации в порядке возрастания трудности разделения все свинцово-цинковые руды условно делят на четыре класса:

- сульфидные руды;
- окисленные руды в кислой породе;

- окисленные руды в основной породе;

- руды, содержащие примеси вторичных минералов меди.

Для сульфидных свинцово-цинковых руд характер вмещающей породы не имеет большого значения.

Наиболее просты для обогащения сульфидные свинцово-цинковые руды, не содержащие сульфидов железа. В этих рудах сфалерит неактивирован; селективная флотация может проводиться без подавителей или при низком расходе цианида натрия (несколько г/т). В качестве собирателя обычно используют этиловый ксантогенат (15–50 г/т), реже аэрофлот. Пенообразователи — метилизобутилкарбинол и крезиловая кислота (свинцовый цикл), сосновое масло и крезол (цинковый цикл). Расход медного купороса 300–500 г/т. Добавка щелочи обычно не требуется (ни в свинцовом, ни в цинковом цикле).

Сульфидные свинцово-цинковые руды, содержащие пирит или другие сульфиды железа, встречаются наиболее часто.

Содержание железа в рудах может колебаться в широких пределах (обычно 2 % — 7 %, в отдельных случаях 15 % — 20 %). В результате возрастания содержания сульфидов железа увеличивается расход подавителей и несколько уменьшается селективность разделения минералов свинца и цинка. Из регуляторов среды на обогатительных фабриках применяют известь и едкий натр (дозируют в измельчение), также соду. В цикле свинцовой флотации pH составляет 8–11. Расход цианида натрия в практике редко превышает 120 г/т (обычно 30–80 г/т); иногда цианид натрия применяют в сочетании с цинковым купоросом. Хорошими подавителями для руд с высоким содержанием сульфидов железа могут быть сульфит и бисульфит натрия. Расход медного купороса для активации сфалерита — 200–350 г/т (до 550 г/т). Из собирателей наиболее распространены ксантогенаты (этиловый и изопропиловый), аэрофлоты 25 и 242, диэтилдитиокарбамат натрия. Аэрофлоты часто применяют в свинцовом цикле.

При флотации сульфидных свинцово-цинковых руд галенит в свинцовом цикле извлекают достаточно полно (получающийся цинковый концентрат содержит мало свинца). Возможно обесцинкование свинцового концентрата. Расход реагентов при обесцинковании, г/т; бихромат натрия 30; медный купорос 130; известь 175; изопропиловый ксантогенат 5.

При повышенном содержании в руде мышьяка (более 0,5 %) рекомендуется для подавления арсенопирита при ксантогенатной флотации пирита использовать известь (pH >8,5) и перманганат калия (300 г/т).

При флотации окисленных свинцово-цинковых руд в кислой породе для нейтрализации кислотности и подавления сульфидов железа дозируют в измельчение кальцинированную соду или известь. Преимущество кальцинированной соды — предотвращение активации сфалерита солями свинца.

В случае слабокислых руд хорошие результаты дает аэрофлот 31 (дозируют в измельчение); ксантогенат не применяют или используют при небольших расходах. Хорошие подавители для слабокислых руд — сульфиты и бисульфиты (в отличие от цианида натрия сохраняют депрессирующее действие на пирит в кислой среде). Цианид часто более эффективен в перечистных операциях, а не в основной флотации. Для отделения галенита от сфалерита и пирита в ряде случаев эффективно сочетание цианида натрия с солью Экоф Р-82.

В сильнокислых рудах (высокая кислотность характерна для старых отвалов) сульфид свинца частично превращается в сульфат и флотируется с трудом. Содержание растворимых солей в руде может достигать нескольких килограммов на 1 т (pH 4–5). При наличии в пульпе кислоты и $FeSO_4$ сульфидизация невозможна. Если содержание растворимых солей в сильнокислой руде не слишком высоко, руду перед селективной флотацией следует промыть или обесшламить. Если промывка затруднена, рекомендуется схема коллективной флотации в кислой среде в присутствии всех растворимых солей; в качестве собирателя можно использовать аэрофлот или минерек. Пирит частично можно депрессировать сульфитами. Разделение концентрата затруднено.

Окисленные свинцово-цинковые руды в основной (обычно кальцит-барит-доломитовой) породе характеризуются трудностью разделения минералов свинца и цинка. Руды содержат галенит, сфалерит и церуссит, иногда смитсонит и каламин. При обогащении руд этого типа применяют схему, по которой галенит флотируют совместно с церусситом, затем — сфалерит (иногда смитсонит и каламин).

Возможно применение технологической схемы последовательной флотации в порядке галенит — сфалерит — церуссит. Выбор схемы флотации может зависеть от соотношения минералов: при малой доле церуссита целесообразно флотировать его совместно с галенитом, в противном случае предпочтительнее вначале флотировать сульфиды. При флотации сфалерита перед флотацией оксидов свинца предотвращается вторичное подавление сфалерита, сокращается расход реагентов, облегчается контроль реагентного режима.

В качестве сульфидизатора окисленных минералов свинца применяют сернистый натрий (0,2–1,7 кг/т). Сульфидизацию рекомендуется проводить в присутствии жидкого стекла. Хорошие результаты дает дробная подача сульфида натрия и ксантогената. Эффективный собиратель сульфидизированных свинцовых минералов — циклогексааминный аэрофлот. В качестве подавителя сфалерита используют один цианид либо цианид совместно с цинковым купоросом или реагентом Р-82. В свинцовом цикле pH 7–9,5, в сульфидном цинковом pH 8–9,5. Расход медного купороса для активации сфалерита — до 1 кг/т. Для извлечения окисленных минералов цинка без предварительного обесшламливания рекомендуется дозировка гексаметафосфата натрия (предотвращение вредного влияния шламов и растворимых солей), силиката натрия (диспергирование шламов и подавление силикатных минералов пустой породы), эмульсии Октадекаамина и сульфида натрия в соотношении 1:50 (повышение собирательной способности и селективности амина по отношению к оксидам цинка).

Перспективен комбинированный метод переработки бедных сульфидно-окисленных свинцово-цинковых руд: предварительная термохимическая обработка при 350 °С — 500 °С в атмосфере сернистых паров, образующихся при диссоциации элементарной серы или пирита, и ксантогенатная флотация (по аналогии с природными сульфидными минералами).

При флотации свинцово-цинковых руд, содержащих примеси вторичных минералов меди (малахит, азурит, халькозин, ковеллин), возникают трудности вследствие возможной активации сфалерита солями меди. Для удовлетворительного подавления сфалерита в пульпе необходим избыток свободных ионов цианида; рекомендуется также подача сульфида натрия (или сульфита натрия). Иногда лучшие результаты дает дробная подача цианида.

2.4.9 Свинцовые руды

Чисто свинцовые руды, не содержащие других тяжелых цветных металлов, встречаются относительно редко. Основные минералы свинца в руде — галенит, церуссит, англезит [53, 57, 59, 62–66].

Эффективные собиратели галенита (одновременно и пенообразователи) — аэрофлоты 25 и 31 (30–60 г/т), различные ксантогенаты. Для флотации галенита с измененной поверхностью рекомендуется применение меркаптобензотиазола (Аэро 404). Пенообразователи — крезиловая кислота, сосновое масло и др.

Окисленные минералы свинца флотируют ксантогенатами после предварительной сульфидизации или собирателями типа меркаптобензотиазола без предварительной сульфидизации; меркаптобензотиазолы наиболее эффективны в сочетании с фосфатами.

При относительно высоком содержании в руде окисленного свинца обычно вначале флотируют сульфиды.

При флотации окисленных свинцовых руд улучшению показателей процесса способствует осаждение из фабричных вод солей — кальция, железа и цинка (с помощью соды); добавление медного купороса после сульфидизации с целью активации сульфидизированных свинцовых минералов и связывания избытка сернистого натрия; применение сочетания собирателей — аэрофлотов, ксантогенатов, меркаптобензотиазолов.

2.4.10 Титановые руды

Основные титановые минералы — ильменит и рутил. Наибольшее промышленное значение в мировой добыче титана имеют россыпные месторождения, из последних — прибрежно-морские россыпи (главный источник добычи рутила); помимо ильменита и рутила содержат циркон, монацит, магнетит, гранат и др. [53], [57], [59], [62–66].

Из коренных месторождений в промышленном отношении наиболее важны титаномагнетитовые (помимо титана и железа содержат ванадий). Содержание диоксида титана в рудах — 5 % — 15 %.

Обогащают россыпи в два приема — вначале преимущественно гравитационными методами (винтовые сепараторы, струйные и конусные концентраторы и др.) выделяют все тяжелые минералы в черновой коллективный концентрат, затем производят его доводку, применяя магнитную или электростатическую сепарацию, гидравлическую или пневматическую концентрацию на столах; для разделения тонкозернистых коллективных концентратов используют флотацию.

Флотационное разделение мелкозернистых коллективных концентратов, полученных из россыпей, осуществляют по трем схемам.

Флотация циркона с подавлением рутила и ильменита:

а) жидким стеклом или крахмалом в щелочной среде; собиратель циркона — мылонафт. Из хвостов цирконового цикла с добавлением серной кислоты до pH 7 флотируют рутил (ильменит);

б) газообразным азотом; собиратель циркона — мылонафт при pH 8–9;

в) серной кислотой при pH 1,5–2 после обработки коллективного концентрата 0,5%-ным раствором мыл насыщенных карбоновых кислот при pH 9 и промывки водой.

Флотация минералов титана — рутила и ильменита — талловым маслом с керосином с подавлением циркона и минералов породы кремнефтористым натрием в сернокислой среде.

Флотация циркона и рутила катионным собирателем ИМ-11 с подавлением ильменита щавелевой кислотой; перемешивание коллективного концентрата с реагентами осуществляют без доступа воздуха. Рутило-цирконовый концентрат разделяют с подавлением рутила серной кислотой при интенсивной аэрации пульпы (циркон флотируют при pH 2).

Применение флотации возможно при первичном обогащении песков. Целесообразна схема коллективной флотации всех ценных минералов из россыпей после их дешламации. Коллективную флотацию проводят олеиновой кислотой и керосином при pH 5,9–6,4; подавитель породы — кремнефтористый натрий (150–500 г/т).

Из коллективных флотационных концентратов без добавления собирателя флотируют минералы титана при pH 3,8–4,8, подавляя циркон кремнефтористым натрием при больших расходах (1,5–2 кг/т).

Титаномагнетитовые руды обогащают комбинированными методами — электромагнитной сепарацией (отделение магнетита от ильменита и пустой породы, также ильменита от пустой породы), концентрацией на столах (выделение мелковкрапленного ильменита), флотацией (извлечение тонковкрапленного ильменита карбоновыми кислотами в слабокислой среде при подавлении породы фтористым или кремнефтористым натрием с добавлением серной кислоты). Рекомендуется обесшламливание пульпы перед флотацией. Полезна предварительная обработка ильменита и рутила серной кислотой. Регуляторы среды — едкий натр, сода (pH 6–8); при pH 10,5 и выше флотация ильменита и рутила прекращается. Подавитель рутила — соляная кислота. Для повышения селективности флотации рутила рекомендуется использовать сочетание карбоновых кислот с аминами. При флотации рутила из железистых руд перспективно применение при pH 1–2,5 в качестве собирателя раствора *N*-бензил-*N*-фенилгидроксиламина в этиловом спирте.

Титановые концентраты содержат 40 % — 45 % TiO_2 при извлечении 60 % — 70 %.

В случае тонкого взаимного прорастания ильменита и магнетита (тонкодисперсные эмульсионные включения ильменита или оксида титана в магнетите) выделение железного и титанового концентратов методами обогащения невозможно. Такие руды обогащают по простым магнитно-гравитационным схемам с последующим пирометаллургическим разделением.

2.4.11 Вольфрамовые руды

Основные минералы вольфрама — шеелит и вольфрамит, меньшее промышленное значение имеют ферберит и побнерит. Главные спутники — минералы молибдена, олова, меди, висмута, кварц, кальцит, флюорит, топаз, апатит и др. Содержание триоксида вольфрама в рудах — от 0,08 % до 10 % (преимущественно 0,2 % — 1,0 %) [53], [57], [59], [62]–[66].

Основной метод обогащения побнеритовых и ферберитовых руд — гравитация. Шеелитовые и вольфрамитовые руды обогащают гравитацией и флотацией (тонковкрапленные шеелитовые руды — преимущественно флотацией). Комплексные шее-

литсодержащие руды обогащают комбинированными гравитационно-флотационными методами с применением в доводочных операциях флотогравитации, магнитной и электростатической сепарации.

Рекомендуемые собиратели шеелита — олеиновая кислота, олеат натрия и их заменители (нафтеновые кислоты, мылонафт, окисленный петролатум, окисленный рисайкл, хлопковое мыло, соапсток, дистиллированная жирная кислота кореандрового масла, недистиллированная и дистиллированная жирные кислоты кашалотового жира, реагент ОРСО, эластол, R-708, R-710, R-765, S-2043, талловое масло и фракция его разгонки, содержащая 3 % канифольных кислот), катионные собиратели (например, додециламин), алкилсульфонаты, собиратель LRM (состоит из двух различных анионоосновных окисленных собирателей на основе ненасыщенной жирной кислоты и минерального масла, смешанных до слабощелочной реакции). Эффективно сочетание собирателей — смесь олеиновой, линолевой кислот и таллового масла. Жирнокислотные собиратели рекомендуется дозировать во флотацию в виде эмульсий, стабилизированных аэрозолями ОТ или 18.

Эффективные пенообразователи при флотации шеелитовых руд — сосновое масло, крезол, терпинеол, высшие спирты.

Для подавления силикатных и кальциевых минералов при флотации шеелита рекомендуются карбонаты щелочных металлов (до 7 кг/т руды), жидкое стекло (до 5 кг/т), таннин, палкотан и палконат (экстракты из калифорнийского эвкалипта).

Шеелит рекомендуется флотировать при pH 9–10,8 (предпочтительно при pH 9,5–10).

Эффективные собиратели вольфрамита — карбоновые кислоты и их мыла, R-710, R-765, R-825, купферон, хелатообразующие реагенты (а-нитрозо-|3-нафтол и этот же реагент в сочетании с аполярными маслами, алкилгидроксамовые кислоты, оксим в сочетании с аполярными маслами), толуоларсоновая и бензоэтиленфосфиновая кислоты, медиалан (дополнительный собиратель), амины в сочетании со щавелевой кислотой (с добавками в пульпу H_2O_2).

Пенообразователи вольфрамита — высшие алифатические спирты, крезол, ОПСБ.

Для подавления пустой породы при флотации вольфрамита используют жидкое стекло (при малых расходах), кремнефтористый натрий, соду, бихромат, декстрин и др.

Вольфрамит рекомендуется флотировать при pH 10 карбоновыми кислотами и мылами и при pH 6,5–8,5 хелатообразующими собирателями.

При флотации шеелитовых руд перед вольфрамовой флотацией целесообразно удалить сульфиды (ксантогенатная флотация). При разделении сульфидного концентрата в случае оборотного водоснабжения рекомендуется безызвестковая технология медной флотации (предотвращение образования в пульпе токсичных арсенатов кальция за счет растворения минералов мышьяка). Рекомендуемый режим: обработка коллективного сульфидного концентрата активированным углем и натриевой двузамещенной солью фосфорной кислоты (подавление пирротина). Концентрат основной вольфрамовой флотации рекомендуется подвергать одной — трем перечисткам без реагентов или с добавкой жидкого стекла. Для удаления из шеелитовых концентратов фосфора возможна обработка концентрата азотной или соляной кислотой.

Черновой вольфрамовый концентрат для подавления кальциевых минералов (кальцит, флюорит и др.) рекомендуется подвергать доводке — пропарке в течение 30–

60 мин в растворе жидкого стекла (3 % — 4 %) при температуре 80 °С — 85 °С с последующей флотацией (процесс Петрова). Пропарку следует проводить в двух-трех последовательно установленных чанах. После пропарки пульпу разбавляют холодной водой до 25 °С — 30 °С и проводят вольфрамовую флотацию (основную, контрольную и одну-две перечистки). Концентрат контрольной флотации цикла доводки рекомендуется направлять на сгущение и пропарку совместно с черновым концентратом основного цикла. При высоком содержании в руде флюорита полученный концентрат целесообразно подвергать вторичной пропарке с жидким стеклом с дальнейшей доводкой в отдельном цикле, а хвосты этого цикла подавать на гидрометаллургический передел. Для удаления барита из шеелитового концентрата проводится флотация алкилсульфатом в кислой среде (после пропарки в растворе жидкого стекла, перечистки и выщелачивания в растворе соляной кислоты).

Селективность флотации шеелита зависит от соотношения содержаний кальцита и шеелита в руде (практически это соотношение изменяется от 0,4 до 145). При соотношении кальцит:шеелит = 1 ч-5 руда легкообогатима, и получение кондиционных вольфрамовых концентратов (не менее 55 % WO_3) сложностей не представляет. При соотношении кальцит: шеелит >15 получение вольфрамовых концентратов с содержанием WO_3 более 35 % затруднено.

Для повышения селективности флотации шеелита при высоком соотношении содержаний в руде кальцита и шеелита рекомендуется:

1) применение селективного собирателя шеелита — реагента LRM (60–80 г/т), который вводят в пульпу после ее обработки содой и жидким стеклом; при наличии в руде барита в качестве подавителей целесообразно использовать крахмал и сульфатные щелоки;

2) применение селективного подавителя кальцита — реагента состава, % по массе: натриевое жидкое стекло 87,4; $FeSO_4$ 6,3; $CaSO_4$ 6,3; подавитель (2,3 кг/т) дозируется перед подачей собирателя и в комбинации с собирателем LRM обеспечивает извлечение вольфрама на 93,5 % при степени концентрации $W0_3$ 522.

Рекомендуемые режимы наиболее эффективны при невысоком (порядка 0,1 %) абсолютном содержании в руде WO_3.

Получение богатых (более 70 % WO_3) шеелитовых концентратов возможно с применением реагентных режимов, включающих последовательную обработку пульпы (20 % — 40 % твердого) карбонатами щелочных металлов (2,2–6,8 кг/т руды) при pH 10–11 для подавления силикатных минералов; цианидами щелочных металлов и едким натром при pH 10–11 для депрессии сульфидов; жидким стеклом (1,4–4,5 кг/т) для подавления кальциевых минералов пустой породы; собирателем жирнокислотного типа (предпочтительно смесью олеиновой, линолевой кислот и таллового масла, 0,02–0,12 кг/т). После интенсивного перемешивания (разрушение флокул шеелита) и добавления пенообразователя шеелит флотируют при pH 10,5–10,8.

При флотации вольфрамитовых руд и продуктов их обогащения (шламы, хвосты гравитации и др.) перед вольфрамовой флотацией целесообразно удалить сульфиды. Эффективна ксантогенатная флотация сульфидов с применением в качестве подавителя жидкого стекла, кремнефтористого натрия и соды; в случае окисленных руд рекомендуется добавка сульфата меди в качестве активатора (при подкислении пульпы). Наиболее затруднено отделение вольфрамита от флюорита, оксидов железа, топаза и слюд.

При флотации относительно простых вольфрамитовых руд в качестве собирателя возможно использование карбоновых кислот, например олеиновой, и их солей. Основная вольфрамовая флотация проводится при pH 7–10. В черновой концентрат наряду с вольфрамитом извлекаются флюорит, апатит, частично слюды, топаз, кальцит, оксиды железа и остатки сульфидов. Перечистные операции рекомендуется проводить в нейтральной или слабощелочной среде с добавками нового собирателя — толуоларсоновой или бензоэтиленфосфиновой кислоты, либо в слабокислой среде (реагенты-регуляторы — серная, щавелевая или плавиковая кислота). В процессе перечисток из чернового концентрата можно удалить кварц, полевой шпат, частично слюды и хлорит. Для эффективного удаления из концентрата основной флотации кварца, полевого шпата и флюорита перед перечистками рекомендуется его пропарка с кремнефтористым натрием при 80 °С — 85 °С.

При переработке труднообогатимых вольфрамитовых руд (например, содержащих фосфаты) в качестве основного собирателя рекомендуется использовать толуоларсоновую или бензоэтиленфосфиновую кислоту, в качестве дополнительного собирателя — медилан. Из реагентов-регуляторов эффективными являются кремнефтористый натрий и серная кислота (pH 2–4). Возможна последовательная анионная и катионная флотация с использованием в качестве регулятора крахмала.

При флотации вольфрамитовых продуктов рекомендуется использовать собиратель ИМ-50. В случае силикатной породы основная и перечистная флотации проводятся при pH 8–9, при наличии флюорита и эпидота — при pH 6–6,5. Для доводки полученные концентраты целесообразно перефлотировать в сильнокислой среде (pH<1,5) с добавками ИМ-50. Из продуктов, содержащих 0,1 % — 0,4 % WO_3, возможно получение концентрата с содержанием 30 % — 50 % WO_3 (при извлечении 65 % — 75 %).

2.4.12 Оловянные руды

Наиболее важный в промышленном отношении оловосодержащий минерал — касситерит, меньшее значение имеет станнин. Касситерит различных месторождений характеризуется неодинаковой флотоактивностью [53], [57], [59], [62]–[66].

При флотационном получении оловянных концентратов рекомендуются тщательное обесшламливание питания флотации, предварительное удаление сульфидов, промывка глинистых руд. Собиратели касситерита — реагенты жирнокислотного типа — олеиновая кислота, талловое масло, жирнокислотная фракция таллового масла, окисленный рисайкл и др.; более селективны арсоновые и фосфоновые кислоты, сульфосукцинаматы. Технологический недостаток — чувствительны к поливалентным катионам, плохо флотируют касситерит крупностью +50 мкм.

Эффективный собиратель — алкандикарбоновые кислоты (оптимальный pH 4–4,5), флотируют касситерит крупностью 100 мкм. Технологический недостаток — малоселективны в присутствии топаза; селективность повышается при использовании как подавителя топаза аминонафтолсульфоновых кислот (например, 1-амино-8-нафтол-3,6-дисульфоновой кислоты).

Селективный собиратель касситерита в присутствии флюорита — ацилированные аминокислоты (собиратель ААК). Он наиболее эффективен в перечистных операциях.

Дополнительные собиратели — аполярные масла. Селективные флокулянты тонких частиц касситерита — алифатические жирные изоспирты фракции C_2-C_6, катионный флокулянт ППС, реагент ИМ-50 в сочетании с аспаралом-Ф (возможна их комбинация с изоспиртами).

Повышению показателей флотации касситерита из шламов способствует интенсивное кондиционирование пульпы с реагентами (продолжительность до 50 мин).

Подавители касситерита — ализариновые красители, мука сорго; касситерит некоторых месторождений подавляется жидким стеклом.

Наиболее затруднена селективная флотация касситерита из турмалинсодержащих руд и продуктов. Эффективные подавители турмалина при флотации касситерита — жидкое стекло (особенно в сочетании с сернокислым алюминием), гексаметафосфат натрия, кремнефтористый натрий (один и в сочетании с пирогаллолом), сернокислая среда (pH 2,8–4,8).

Подавитель железосодержащих минералов при флотации касситерита — щавелевая кислота; подавитель кальцита — карбонилметилцеллюлоза натрия.

Богатые оловосодержащие руды (1,3 % — 1,9 % Sn) обогащаются по двухстадиальной схеме флотаций (после обесшламливания по классу 3 мкм):

1) флотация пустой породы при pH 6 с дозировкой 150 г/т собирателя Катафлот КРЛ (натриевая соль алкиламинопропионовой кислоты) и пенообразователя метилизобутилкарбинола;

2) флотация касситерита при pH 2,4 с дозировкой 900 г/т собирателя сульфосукцинаматного типа (Катафлот КСТ), 100 г/т кремнефтористого натрия, 200 г/т силиката натрия и метилизобутилкарбинола. Конечные концентраты содержат 11 % — 18 % Sn при извлечении 77 % — 85 %.

Руды со средним содержанием олова (0,5 % — 0,6 % Sn) обогащаются по одностадиальной схеме флотации (после обесшламливания хвостов сульфидной флотации) с доводкой оловянного концентрата:

1) флотация касситерита при pH 7 олеиновой кислотой (200 г/т) с добавлением жидкого стекла (450 г/т);

2) термическая обработка перечищенного концентрата при 300 °C — 325 °C в течение 30 мин (десорбция собирателя) и обратная флотация силикатных минералов при pH 11 катионным собирателем (например, додециламмонийхлоридом, 50 г/т) в известковой среде; подавитель касситерита — мука сорго (5–50 г/т). Конечные концентраты содержат 40 % — 60 % Sn при извлечении 60 % — 75 %.

Относительно бедные (0,2 % — 0,3 % Sn), тонко вкрапленные руды (преобладающая крупность зерен SnO_2-0,1 мм) с кварцево-полевошпатово-слюдистой породой, особенно при повышенном (более 10 %) содержании топаза, при наличии глинистых и железистых (гематит, лимонит) и других минералов, обогащаются по комбинированной схеме: гравитационная сепарация крупного (−0,6 мм) касситерита (обогащение надрешетного продукта грохочения руды после измельчения в стержневой мельнице) и флотация остального касситеритсодержащего материала. Эффективна раздельная флотация песковой и шламовой фракции касситерита (оба цикла при необходимости включают стадию сульфидной флотации в голове процесса). Схема пескового и шламового цикла — основная флотация, контрольная и три перечистки. Собиратель касситерита — стиренфосфоновая кислота (до 200 г/т), пенообразователь — октандиол (150 г/т), модификатор — кремнефтористый натрий (300 г/т). Возможно получение флотацион-

ных концентратов с содержанием 8 % Sn (пригодны для фьюминг-процесса) при извлечении 50 %. Гравитационный концентрат содержит 40 % Sn при извлечении до 20 %.

Из бедных руд (0,1 % — 0,15 % Sn) с кварцево-хлорито-серицитовой породой флотируют касситерит при pH 7–7,4 собирателем жирнокислотного типа (до 0,5 кг/т) в присутствии ксиленола (40–75 г/т) и жидкого стекла (75–150 г/т). Конечный концентрат содержит 8 % — 10 % Sn при извлечении 60 % — 65 %.

При флотации касситерита (0,6 % — 0,7 % Sn) из хвостов гравитационного обогащения рекомендуется предварительное кондиционирование пульпы с толиларсоновой кислотой (собиратель касситерита) и карбонилметилцеллюлозой натрия (подавитель кальцита). Конечный концентрат содержит 25 % — 30 % Sn при извлечении 90 %.

Шламы гравитационного обогащения (сливы механических и гидравлических классификаторов) обезвоживают и проводят последовательную флотацию сульфидов (бутиловый ксантогенат, Т-66) и касситерита [pH 5,2–5,6, реагенты: серная кислота, Аспарал-Ф (10–15 г/т), Т-66 (20–40 г/т)]. Конечный концентрат содержит до 30 % Sn при извлечении 83 %.

При переработке оловянных концентратов (на доводочных фабриках рекомендуется раздельное обогащение песковой (магнитная сепарация и флотогравитация) и шламовой (ксантогенатная флотация) фракций с получением богатого (50 % — 68 % Sn) концентрата флотогравитации и бедного (10 % — 15 % Sn) флотационного концентрата в виде камерного продукта. Промпродукты флотогравитации рекомендуется направлять в шламовый цикл (в операцию сгущения шламов перед флотацией). Реагенты — ксантогенат, аполярное масло, ОПСБ, серная кислота. Суммарное извлечение олова — до 98 %. Кроме того, возможна флотация касситерита из хвостов шламовых концентрационных столов. Реагентный режим — серная кислота в основной флотации (pH 3,9–4,3), собиратель — ОР-ЮО (5–8 кг/т), пенообразователь — сосновое масло (100–120 г/т). Концентрат содержит 8 % — 15 % Sn.

2.4.13 Бокситы

Бокситы представляют собой смесь гидраргиллита ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$), диаспора и бемита (разновидности $Al_2O_3 \cdot H_2O$) с каолинитом, кварцем, минералами железа (лимонитом, гематитом, сидеритом, пиритом), титана (ильменитом, рутилом). Обогащение их позволяет улучшить показатели химического и металлургического переделов и за счет вовлечения в эксплуатацию некондиционных бокситов расширить сырьевую базу алюминиевой промышленности (Кузнецов В. П. и др.). Бокситовые концентраты, поступающие на производство глинозема и глиноземного цемента, должны содержать не менее 28 % — 30 % Al_2O_3 при отношении Al_2O_3:Si O_2 = 4:5,6, а предназначенные для производства электрокорунда — не менее 49 % — 52 % Al_2O_3 при отношении Al_2O_3:SiO_2 = (6–15):1 [53], [57], [59], [62]– [66], [72].

Наиболее эффективным собирателем гидратированных оксидов алюминия является олеиновая кислота (0,4–0,6 кг/т). На практике часто пользуются ее смесью с талловым и машинным маслом (или керосином). Обязательные условия при флотации — снижение содержания растворимых солей (кальция, магния, железа, алюминия) и диспергирование пульпы. Для этой цели используют соду, едкий натр, сернистый натрий, фосфатные соединения (метафосфат, гексаметафосфат, пирофосфаг натрия),

жидкое стекло и крахмал, оказывающие одновременно и депрессирующее действие на минералы породы.

Предварительное введение в пульпу реагента ОП-7 способствует резкому уменьшению расхода собирателя и усиливает депрессию глинистых шламов. Оптимальное значение pH 7,5–9,5. Более высокие значения pH пульпы создаются при высоком содержании в руде каолинита.

При кондиционировании бокситов из них удаляют пиритную среду сульфгидрильными собирателями, органические примеси — аполярным собирателем, карбонаты железа — жирными кислотами. При обогащении бокситов возможно попутное получение ряда продуктов: каолинитового, железорудного, титанового, пиритного с промышленным содержанием в них металлов или элементов, т. е. комплексное использование сырья.

2.5 Сточные воды обогатительных фабрик, их очистка и использование при обогащении руд

2.5.1 Сточные воды обогатительных фабрик

2.5.1.1 Общие сведения

Сточные воды обогатительных фабрик содержат твердые частицы различной крупности, а также растворенные и диспергированные в воде вещества. Основными источниками загрязнения сточных вод являются органические и неорганические флотационные реагенты, а также продукты их взаимодействия с компонентами руды [73-76].

Радикальное решение проблемы охраны водоемов от загрязнения сточными водами обогатительных фабрик — организация оборотного водоснабжения, при котором сточные воды, полученные при обогащении руды, не сбрасываются на рельеф местности, а возвращаются для повторного использования естественной ее убыли (испарение в хвостохранилище, убыль влаги с продуктами обогащения), а также при ограниченном расходе для проведения некоторых перечистных операций.

Загрязнение сточных вод заметно снижается при замене в процессах обогащения особо токсичных (цианиды) и трудноудаляемых (крезол, фенол, пиридин) веществ. Важное значение имеет создание условий, предотвращающих попадание в сточные воды масел, применяемых для смазки мельниц и другого оборудования.

2.5.1.2 Условия сброса сточных вод в водные водоемы

Сточные воды запрещается сбрасывать в водные объекты при следующих условиях:

1) если при рациональной технологии эти воды могут быть использованы в системах оборотного водоснабжения;

2) если сточная вода содержит ценные отходы, которые могут быть утилизированы на данном или других предприятиях;

3) если в сточной воде содержатся вредные вещества, для которых не установлены предельно допустимые концентрации (ПДК).

Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов в пунктах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования и к составу и свойствам воды водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей, приведены в таблицах 2.11 и 2.12.

Таблица 2.11 — Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов у пунктов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

Наименование показателя	Категория водопользования	
	для централизованного или нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий	для купания, спорта и отдыха населения, а также для водоемов в черте населенных пунктов
Взвешенные вещества	Содержание взвешенных веществ не должно увеличиваться больше чем на:	
	0,25 мг/л	0,75 мг/л
	Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/л природных минеральных веществ, допускается увеличение содержания взвешенных веществ в воде в пределах 5 %. Взвеси со скоростью выпадения более 0,4 мм/с для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются	
Плавающие примеси (вещества)	На поверхности водоема не должны обнаруживаться плавающие, пленки, пятна минеральных масел и скопление других примесей	
Запахи, привкусы	Вода не должна приобретать запахи и привкусы интенсивностью более двух баллов, обнаруживаемые:	
	непосредственно или при последующем хлорировании	непосредственно
	Вода не должна сообщать посторонних запахов или привкусов мясу рыб	
Окраска	Не должна обнаруживаться в столбике:	
	20 см	10 см
Температура	Летняя температура воды в результате спуска сточных вод не должна превышать более чем на 3 °С по сравнению со среднемесячной температурой воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет	
Реакция	Не должна выходить за пределы 6,5–8,5 pH	
Минеральный состав	Не должен превышать по сухому остатку 1000 мг/л, в том числе хлоридов 350 мг/л и сульфатов 500 мг/л	Нормируется по приведенному выше показателю «привкусы»
Растворенный кислород	Не должен быть менее 4 мг/л в любой период года в пробе, отобранной до 12 ч дня	
Биохимическая потребность в кислороде (БПК)	Полная потребность воды в кислороде при 20 °С не должна превышать:	
	3 мг/л	1 6 мг/л

Окончание таблицы 2.11

Наименование показателя	Категория водопользования	
	для централизованного или нецентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий	для купания, спорта и отдыха населения, а также для водоемов в черте населенных пунктов
Возбудители заболеваний	Вода не должна содержать возбудителей заболеваний. Сточные воды, содержащие возбудители заболеваний, должны подвергаться обеззараживанию после предварительной очистки	
Ядовитые вещества	Не должны содержаться в концентрациях, могущих оказать прямо или косвенно вредное действие на организм и здоровье населения	

Таблица 2.12 — Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей

Наименование показателя	Категория водопользования	
	Водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к кислороду	Водные объекты, используемые для всех других рыбохозяйственных целей
Взвешенные вещества	Содержание взвешенных веществ, по сравнению с природными, не должно увеличиваться более чем на:	
	0,25 мг/л	0,75 мг/л
	Для водоемов, содержащих в межень более 30 мг/л природных минеральных веществ, допускается увеличение содержания их в воде в пределах 5 %. Взвеси со скоростью выпадения более 0,4 мм/с для проточных водоемов и более 0,2 мм/с для водохранилищ к спуску запрещаются	
Плавающие примеси (вещества)	На поверхности водоема не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и других примесей	
Окраска, запахи и привкусы	Вода не должна приобретать посторонних запахов, привкусов и окраски и сообщать их мясу рыб	
Температура	Температура воды не должна повышаться по сравнению с естественной температурой водоема более чем на 5 °С с общим повышением температуры не более чем до 20 °С летом и 5 °С — зимой для водоемов, в которых обитают холодноводные рыбы (лососевые и сиговые) и более чем до 28 °С летом и 8 °С зимой — для остальных водоемов. На местах нерестилищ налима запрещается повышать температуру воды зимой более чем до 2 °С	
Реакция	Не должна выходить за пределы 6,5–8,5 pH	
Растворенный кислород	В зимний (подледный) период не должен быть ниже:	
	6 мг/л	4 мг/л

Окончание таблицы 2.12

Наименование показателя	Категория водопользования	
	Водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к кислороду	Водные объекты, используемые для всех других рыбохозяйственных целей
Ядовитые вещества	Не должны содержаться в концентрациях, могущих оказать прямое или косвенное вредное воздействие на рыб и водные организмы, служащие кормовой базой для рыб	

В таблицах 2.13 и 2.14 указаны предельно допустимые концентрации в воде водных объектов некоторых вредных веществ (применительно к сточным водам обогатительных фабрик).

Таблица 2.13 — Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

Компонент	Лимитирующий показатель вредности	Предельно допустимая концентрация, мг/л
Бензол	Санитарно-токсикологический	0,5
Бериллий	То же	0,0002
Ванадий	»	0,1
Висмут	»	0,1
Вольфрам	»	0,05
Гептиловый спирт	»	0,005
Кадмий	»	0,001
Кобальт	»	0,1
Крезол	»	0,004
Метанол	»	3,0
Молибден	»	0,25
Мышьяк	»	0,01
3-нафтол	»	0,4
Никель	»	0,02
Нитраты (по азоту)	»	45,0
Ниобий	»	0,01
Нониловый спирт	»	0,01
Пиридин	»	0,2
Роданиды	»	0,1
Ртуть	»	0,0005
Свинец	»	0,01
Селен	»	0,01
Стронций	»	7,0
Сурьма	»	0,05
Теллур	»	0,01

Продолжение таблицы 2.13

Компонент	Лимитирующий показатель вредности	Предельно допустимая концентрация, мг/л
Ферроцианиды	»	1,25
Фтор	»	1,5
Цианиды	»	0,1
Циклогексанол	»	0,5
Циклогексанон	»	0,2
Аммиак (по азоту)	Общесанитарный	2,0
Изобутиловый спирт	То же	1,0
Синтетические жирные кислоты (C_5 — C_{20})	»	В пределах, допустимых расчетом на содержание органических веществ в воде водоемов, и по показателям БПК и растворенного кислорода
Сульфиды	»	Отсутствие
Титан	»	0,1
Хлор активный	»	Отсутствие
Цинк	»	1,0
Аллиловый спирт	Органолептический	
Амины жирного ряда	То же	
C_7 — C_9	»	0,1
C_{10} — C_{16}	»	0,1
C_{16} — C_{20}	Органолептический	0,04
Барий	То же	4,0
Бутиловый спирт	»	1,0
Дитиофосфат крезиловый	»	0,001
Изопропиловый спирт	»	0,25
Керосин	»	0,1
Ксантогенат бутиловый	»	0,001
Ксилол	»	0,05
Медь	»	1,0
Нафтеновые кислоты	»	0,3
α-нафтол	»	0,1
Нефть многосернистая	»	0,1
Нефть простая	»	0,3
Пропиловый спирт	»	0,25
Сапонин	»	0,2
Сероуглерод	»	1,0
Толуол	»	0,5
Фенол	»	0,001
Хром	»	0,1

Окончание таблицы 2.13

Компонент	Лимитирующий показатель вредности	Предельно допустимая концентрация, мг/л
Поверхностно-активные вещества (ПАВ):		
Алкилбензосульфонаты (АБС)	»	0,5
Алкилсульфонаты	»	0,5
Алкилсульфаты	»	0,5
Динатриевая соль моноалкилсульфоянтарной кислоты (ДНС)	»	0,5
Флотационные реагенты:		
АНП-2	»	0,4
АПН	»	0,05
ОП-7	»	0,4
ОП-10	»	1,5
ОПС-Б	Общесанитарный	2,0
ОПС-М	Санитарно-токсикологический	0,5
Т-66	То же	0,2
Гидролизованный бутиловый аэрофлот	Органолептический	0,001
Флокулянты:		
ВА-2 (полистирольный)	Санитарно-токсикологический	0,5
ВА-2-Т (поливинилтолуольный)	То же	0,5
ВА-102	»	2,0
ВА-212	»	2,0
Полиакриламид	»	2,0
* Требование не относится к остаточному хлору, содержащемуся в очищенных сточных водах.		

Таблица 2.14 — Предельно допустимые концентрации некоторых вредных веществ в воде водных объектов, используемых для рыбохозяйственных целей

Компонент	Лимитирующий показатель вредности	Предельно допустимая концентрация, мг/л
Аммиак	Токсикологический	0,05
Бензол	»	0,5
Бутиловый спирт	»	0,03
Кадмий	»	0,005
Кобальт	»	0,01
Ксантогенат бутиловый	»	0,03
О-крезол	»	0,003

Окончание таблицы 2.14

Компонент	Лимитирующий показатель вредности	Предельно допустимая концентрация, мг/л
Магний	»	40,0
Медь	»	0,001
Никель	»	0,01
ОП-7	»	0,3
ОП-10	»	0,5
Пиридин	»	0,01
Свинец	»	0,006
Хлор свободный	»	
Цинк	»	0,01
Цианиды	»	0,05
Толуол	»	0,5
Нефть, нефтепродукты	Рыбохозяйственный	0,05
Фенолы	»	0,001

2.5.1.3 Характеристика сточных вод обогатительных фабрик

Образующиеся на обогатительных фабриках производственные сточные воды могут быть разделены на две основные неравные группы: хвосты в виде пульпы и различные сливы, в том числе сливы сгустителей концентратов.

Хвосты составляют подавляющую часть (60 % — 90 %) общего объема всех сточных вод фабрики. В них концентрируются нерудные компоненты в виде твердых частиц различной крупности. Содержание твердого в хвостах составляет 20 % — 40 %.

Сливы сгустителей представляют собой разжиженные пульпы и содержат растворенные и диспергированные вещества.

В таблице 2.15 приведены средние данные по содержанию основных металлов и анионов в сточных водах обогатительных фабрик цветной металлургии.

Таблица 2.15 — Химический состав сточных вод обогатительных фабрик (средние данные)

Сточная вода	pH	Содержание, мг/л										
		Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Pb^{2+}	Fe	Cl^{1-}	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	CN^{1-}
Полиметаллические (медно-свинцово-цинковые) руды												
Слив сгустителя концентрата:												
- медного	9,6	435	220	30	18	1,5	1,1	0,17	330	120	213	160
- свинцового	9,3	280	92	11	8	1,4	3,2	0,30	145	210	121	110
- цинкового	10,4	156	140	7	2	2,7	1,1	0,30	38	215	140	38
Хвосты	9,9	100	104	8	4	2,0	0,6	0,70	80	400	150	110
Слив хвостохранилища	8,5	150	100	15	0,5	0,8	0,1	0,30	75	410	160	5

Окончание таблицы 2.15

Сточная вода	pH	Содержание, мг/л										
		Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Pb^{2+}	Fe	Cl^{1-}	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	CN^{1-}
Полиметаллические баритсодержащие руды												
Слив сгустителя концентрата:												
- медного	10,2	—	32	15	47	3,4	0,1	—	277	—	100	200
- свинцового	8,8 12,2	14	74	21	9	8,0	1,2	0,34	21	127	58	64
- цинкового		—	173	196	1	9,5	3,3	0,8	57	293	50	4
- баритового	8,7	31	82	55	0,5	1,2	0,4	0,25	34	330	51	1,5
Хвосты	9,7	24	84	75	5,6	6,1	1,5	0,7	38	339	3	10
Слив хвосто-хранилища	9,0	30	80	70	0,7	0,5	0,3	0,2	40	400	7	5

Важной характеристикой сточных вод является величина pH, которая колеблется в пределах от 8 до 12. Содержание ионов кальция и магния обусловливает жесткость сточных вод. Концентрация ионов тяжелых металлов (часто в виде цианистых комплексов) сравнительно невелика. Однако она значительно превосходит ПДК. Суммарное содержание сульфатов и хлоридов составляет около 1 г/л.

При правильном ведении процесса обогащения такие флотационные реагенты, как ксантогенаты, дитиофосфаты, вспениватель Т-66 и т. п., содержатся в сточных водах в количестве около 1 мг/л.

Хвостовая пульпа, отдельно или в смеси с другими сливами, поступает в хвостохранилище.

Хвостохранилище представляет собой гидротехническое сооружение в виде большой открытой чаши. Здесь под действием силы тяжести твердые частицы оседают — происходит укладка хвостов. Жидкая фаза хвостовой пульпы — слив непрерывно вытекает из хвостохранилища и используется в качестве оборотной (повторно используемой) воды, а когда это невозможно, частично сбрасывается на рельеф с соблюдением санитарно-гигиенических требований.

В хвостохранилище под воздействием биологических и атмосферных факторов протекают сложные химические процессы, влияющие на состав жидкой фазы сточных вод: существенно снижается pH (с 11–12 до 7–8, а иногда и ниже), уменьшается содержание тяжелых металлов, сульфидов, цианидов, ксантогенатов, дитиофосфатов, снижается окисляемость. Соединения тяжелых металлов переходят в осадок. Сульфиды окисляются до сульфатов или до промежуточных соединений. Концентрация цианидов снижается благодаря аэрации воздухом, а также биохимическому окислению с последующим гидролизом. Ксантогенаты и дитиофосфаты окисляются растворенным в воде кислородом [47].

В таблице 2.16 приведен состав сточных вод до и после хвостохранилища на нескольких обогатительных фабриках, перерабатывающих полиметаллические руды.

Таблица 2.16 — Изменение состава сточных вод в хвостохранилищах обогатительных фабрик

Сточная вода	pH	Содержание, мг/л					
		Окисляемость, мг О/л	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Pb^{2+}	CN-	ксантогенатов
Свинцово-цинковые руды							
Общая, поступающая в хвостохранилище	11,0	38	—	0,42	0,08	2,8	1,3
Слив хвостохранилища	8,7	7	—	0,23	0,01	Отс.	0,1
Общая, поступающая в хвостохранилище	11,5	38	0,3	0,3	0,02	2,0	0,3
Слив хвостохранилища	7,6	22	Отс.	0,06	Отс.	0,03	Отс.
Общая, поступающая в хвостохранилище	11,8	77	0,1	0,18	0,09	Отс.	8,0
Слив хвостохранилища	8,3	43	0,1	—	—	—	—
Свинцово-цинково-баритные руды							
Хвосты	8,7	67	10,0	11,6	Отс.	—	—
Слив хвостохранилища	7,0	31	4,0	0,47	Отс.	—	—
Хвосты	10,8	31	1,2	0,7	1,5	4,8	—
Слив хвостохранилища	8,4	20	0,02	0,1	0,08	2,3	—

2.5.2 Очистка сточных вод

2.5.2.1 Очистка сточных вод от грубодисперсных веществ - осветление

Хвостовая пульпа содержит до 40 % твердых частиц, которые осаждаются в хвостохранилище.

При отстаивании в хвостохранилище поведение твердых частиц зависит от степени их дисперсности, температуры, pH среды и состава жидкой фазы. Хвостовая пульпа, полученная при флотации с применением извести в сильнощелочной среде (pH 10–12), обычно осветляется в хвостохранилище быстро и хорошо. Хуже осветляется хвостовая пульпа, полученная при флотации в среде, близкой к нейтральной. Применение в качестве реагента жидкого стекла (в частности, при пропарке концентратов), как правило, приводит к образованию в пульпе коллоидных частиц, ухудшающих ее осветление.

Для определения степени осветления хвостовой пульпы исследуют кинетику оседания твердой фазы. Для этого измеряют объем осадка, выпавшего в течение за-

данного времени в пробе известного объема (определение по объему). Можно также находить массовые количества оседающих веществ по разности между содержанием их в пробе до и после ее отстаивания (определение по массе).

При медленном отстаивании хвостовой пульпы применяют коагулянты, ускоряющие оседание тонких частиц и способствующие также уплотнению выпадающего осадка.

В отечественной практике в качестве коагулянта на обогатительных фабриках используют главным образом известь. Расход ее зависит от состава сточных вод и колеблется от 0,05 до 1 кг активной CaO на 1 $м^3$ хвостовой пульпы.

При осветлении сточных вод и их очистке на обогатительных фабриках кроме извести используют следующие реагенты:

1) сульфат железа $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ — железный купорос (I и II сорта, ГОСТ 6981—75);

2) сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3$ $18H_2O$ в виде сернокислого глинозема (ГОСТ 5155—74), содержащего 9 % Al_2O_3 или в виде очищенного (14 % — 16 % Al_2O_3) технического сернокислого алюминия (ГОСТ 12966—75).

Известь, сульфаты железа и алюминия, наряду с коагулированием твердых частиц, снижают содержание в сточных водах некоторых вредных веществ, в частности жирных кислот.

Осветлению сточных вод могут способствовать флокулянты: полиакриламид, ПАНГ (гидролизованный полиакрилонитрил), высокомолекулярные полимеры типа КОДТ и др.

2.5.2.2 Химическая очистка сточных вод

Наибольшее распространение на обогатительных фабриках получили реагентные методы очистки, связанные с применением гашеной извести, известняка, хлорной извести, гипохлорита кальция, жидкого хлора, железного купороса и других химических веществ.

Очистка от ионов тяжелых металлов (меди, никеля, цинка, свинца, кадмия) может быть осуществлена осаждением их в виде труднорастворимых в воде соединений.

Лучшим реагентом для осаждения ионов меди является известь III сорта, содержащая наряду с CaO и $CaCO_3$ (недожог).

При осаждении ионов никеля известью III сорта для более полного коагулирования образующегося осадка необходимо добавлять соль трехвалентного железа (например, хлорное железо). Для очистки сточной воды, содержащей 25 мг/л никеля и имеющей pH около 6, оптимальный расход составляет: извести при пересчете на активную CaO 100 мг/л и трехвалентного железа 25 мг/л.

Сточные воды, содержащие ионы цинка, также можно очищать известью. Лучшее осаждение происходит при pH 8–9.

Очистку от ионов свинца обычно осуществляют известняком или необожженным доломитом. Однако если в сточной воде присутствуют также ионы меди и цинка, для совместной их очистки предпочтительнее пользоваться известью III сорта (pH 8–9).

Очистка от ионов кадмия может быть осуществлена также известью (pH около 9).

Ценное свойство извести — способность переводить олеиновую кислоту, талловое масло и другие жирные кислоты (применяемые обычно в омыленном виде) в труднорастворимые кальциевые соли, выпадающие в осадок. При этом, например, содержание таллового масла снижается до 3–5 мг/л. Химическая очистка известью может быть совмещена с операцией осветления. Наличие твердой фазы способствует лучшему осаждению тяжелых металлов.

Очистка от цианидов и роданидов на обогатительных фабриках проводится в основном реагентными методами. В сточных водах обогатительных фабрик могут в основном находиться простые растворимые цианиды — ионы CN^{1-}, простые нерастворимые, цианиды меди CuCN, комплексные растворимые цианиды меди и цинка, преимущественно в виде анионов $[Cu(CN)_3]^{2-}$ и $[Zn(CN)_4]^{2-}$.

Практически в сточных водах обогатительных фабрик все возможные формы ионов тяжелых металлов и цианидов одновременно не присутствуют. При избытке свободного цианида (наиболее распространенный случай) свободные катионы меди или цинка отсутствуют, так как в этом случае металлы связаны в виде анионных комплексов. При избытке катионов меди или цинка свободные цианиды отсутствуют.

В качестве реагента для очистки сточных вод от цианидов в основном используется хлорная известь $CaOCl_2$. Возможно также использование гипохлорита кальция или специально приготовленного (например, электролизом) гипохлорита натрия NaOCl. В последнее время применяется жидкий хлор.

В результате очистки хлорной известью, гипохлоритом натрия или жидким хлором цианиды полностью разрушаются, а тяжелые металлы осаждаются в виде труднорастворимых соединений.

Сточные воды очищают от цианидов с применением:

1) озона в качестве окислителя;

2) ионного обмена с высокоосновным анионитом АВ-17;

3) метода отгонки для очистки сточных вод с высоким содержанием цианидов;

4) электрохимического метода с анодами из графита или магнетита;

5) сульфата двухвалентного железа.

Роданиды CNS^{1-}, так же как и цианиды, окисляются активным хлором:

$$CNS^{1-} + 4ClO^{1-} + 2OH^{1-} \rightarrow CNO^{1-} + SO_4^{2-} + 4Cl^{1-} + H_2O.$$

Окисление роданидов осуществляют известью при pH 10–12.

Очистка от ксантогенатов, дитиофосфатов, сульфидов достигается с помощью активного хлора.

Дитиофосфаты (аэрофлоты) окисляются активным хлором с образованием ортофосфорной кислоты. Фенол и крезол окисляются активным хлором значительно хуже.

Очистку от больших количеств кислородсодержащих соединений мышьяка проводят осаждением его в виде труднорастворимых солей. Практически пользуются известью при массовом соотношении $CaO:As_2O_3 = 1:1$. Более полному выделению мышьяка способствует соосаждение с гидроксидами присутствующих в воде тяжелых металлов, в частности железа. Эффективность очистки может быть повышена предварительным окислением трехвалентного мышьяка до пятивалентного пиролюзитом.

Очистку солями трехвалентного железа проводят при массовом соотношении Fe:As = 5:1 в случае арсенат-ионов и 10–15:1 в случае арсенит-ионов. Содержание пя-

тивалентного мышьяка в воде снижается до предельно допустимой концентрации (0,05 мг/л), а степень очистки от трехвалентного мышьяка не превышает 93 % — 94 %.

Мышьяк, находящийся в воде в форме анионов тиосолей, удаляют с помощью железного купороса или сульфида железа.

Разработан комбинированный сульфидно-купоросный метод очистки сточных вод от мышьяка.

В результате очистки сточных вод методами осаждения получаются мышьяксодержащие отходы. Переработка их с целью утилизации мышьяка считается экономически нецелесообразной. Приемлемый способ складирования этих отходов — захоронение в специальных контейнерах.

При очистке от фтора предусматривается снижение содержания фтора до 10 мг/л при обработке сточной воды гашеной известью (в виде известкового молока). Глубокая очистка от фтора достигается применением смеси, состоящей из сульфата алюминия и гашеной извести.

Концентрация нефтепродуктов в сточных водах обычно составляет около 10 мг/л. Очистка от нефтепродуктов механическим отстаиванием в так называемых нефтеловушках или фильтрованием через кварцевые фильтры, а также флотационные методы в этом случае неприемлемы, так как они предназначены для относительно неглубокой очистки от нефтепродуктов ограниченных объемов воды.

Биохимическая очистка позволяет снизить содержание нефтепродуктов лишь до 5–10 мг/л. Использование озона для глубокой очистки от нефтепродуктов — неэффективно.

Известные механические, химические и биохимические методы очистки сточных вод обогатительных фабрик в тех случаях, когда требуется весьма глубокая очистка от нефтепродуктов, оказываются практически непригодными. Задача эффективной и экономичной глубокой очистки больших объемов сточных вод обогатительных фабрик от нефтепродуктов остается пока нерешенной.

2.5.3 Использование сточных вод в процессах обогащения (оборотное водоснабжение)

2.5.3.1 Схемы оборотного водоснабжения

При переработке монометаллической руды схема оборотного водоснабжения относительно проста — все осветленные воды из хвостохранилища и от обезвоживания концентрата возвращаются в процесс обогащения.

Оборотное водоснабжение может быть организовано также при переработке полиметаллических руд.

В случае прямой селективной флотации применима поцикловая схема оборотного водоснабжения, при которой вода данного цикла полностью возвращается в тот же цикл непосредственно или после промежуточной очистки от мешающих веществ.

В случае коллективно-селективной флотации возможны различные схемы оборотного водоснабжения. Например, при флотационном обогащении свинцово-цинковой руды хвосты коллективной флотации направляются в хвостохранилище. Слив хвостохранилища как оборотная вода возвращается в цикл коллективной флотации. Сливы сгустителей товарных концентратов возвращаются в свои циклы, при необходимости

проходя очистку от мешающих примесей (в частности, от цианидов) химическими методами либо путем длительного выдерживания в открытых емкостях.

2.5.3.2 Подготовка сточных вод для использования их в обороте — кондиционирование

При оборотном водоснабжении используемые в обороте сточные воды не должны содержать веществ, ухудшающих технологические показатели обогащения.

Влияние различных веществ (примесей) в оборотной воде на процессы обогащения руд описано в литературе [10]. Деление примесей на «индифферентные» и «специфически действующие» носит условный характер. В зависимости от состава руды и применяемой технологии обогащения некоторые «индифферентные» вещества (например, Cl^{1-}) оказываются «специфически действующими». Поэтому в каждом конкретном случае следует проводить испытания на оборотной воде различного состава.

Если окажется, что сточные воды не могут быть использованы без очистки, устанавливают, какие вещества необходимо удалить и какая при этом требуется глубина очистки.

В возвращаемой в операцию флотации воде допускается минимальное количество твердых частиц (0,2–0,3 г/л). Особенно вредны тонкодисперсные частицы — шламы. Поэтому из хвостовой пульпы необходимо обязательно выделять твердые примеси естественным отстаиванием либо с помощью коагулянтов.

Особое внимание следует уделять величине pH воды после добавления коагулянтов. Часто после осветления известью pH воды повышается настолько, что перед направлением в оборот ее необходимо подкислить. Если для коагуляции применять смесь извести и сульфатов железа или алюминия pH воды остается в установленных пределах.

В некоторых случаях в оборотной воде нежелательно даже сравнительно небольшое содержание ионов кальция. Тогда в качестве коагулянта предпочтительнее пользоваться не известью, а другими реагентами, например сульфатом железа или алюминия.

Если в очищенной сточной воде содержание жирных кислот составляет не более 1 мг/л, такая вода может быть направлена в начало технологической схемы (в операцию сульфидной флотации).

При оборотном водоснабжении подбирают коагулянты с таким расчетом, чтобы они при минимально возможном расходе обеспечивали хорошее осветление воды и одновременно не ухудшали показатели обогащения руды.

Сточные воды с высокой концентрацией вредных веществ (прежде всего сливы сгустителей концентратов, получаемых по цианидной технологии), как правило, подвергают локальной химической очистке. Объем этих сточных вод относительно невелик. Из них удаляют цианиды наиболее распространенным методом окисления активным хлором.

При относительно невысокой концентрации цианидов и других окисляемых веществ (например, ксантогенатов и дитиофосфатов) химическая очистка может быть заменена длительным (около 20 сут) выдерживанием сточной воды в открытом прудке-отстойнике. Если сточная вода возвращается в процесс, минуя хвостохранилище, выдерживание в прудке-отстойнике служит дополнительной операцией для доочистки от

цианидов (и других окисляемых веществ), а также для дехлорирования оборотной воды.

Иногда флотации вредит повышенная концентрация в оборотной воде хлорионов, образующихся при очистке активным хлором. В этом случае приходится отказываться от хлорирования и пользоваться другими окислителями. Возможно применение сорбционной очистки методом ионного обмена. При высоком содержании цианидов целесообразно применение метода отгонки.

Если в технологической схеме обогащения имеется операция десорбции реагентов с применением сульфида натрия, необходимо предусмотреть очистку оборотной воды от сульфидов. Может быть использован метод отгонки, применяемый для выделения цианидов.

В оборотной воде обычно содержатся сульфаты и хлориды натрия и калия. Расчетами установлено, что опасность бесконечного накопления этих солей необоснованна. Накопление солей в воде ограничено и после определенного числа циклов оборота воды становится стабильным. Устанавливающаяся в результате длительной работы фабрики концентрация солей, как показала практика, не ухудшает показателей обогащения.

Эксплуатация систем оборотного водоснабжения на обогатительных фабриках с высокой гидратной кальциевой щелочностью оборотной воды сопровождается зарастанием трубопроводов отложениями карбоната кальция. Это происходит особенно сильно в зимнее время года, когда вследствие закрытия зеркала хвостохранилища льдом затрудняется контакт с углекислотой воздуха и увеличивается содержание в оборотной воде оксида кальция. Интенсивность образования отложений на внутренней поверхности труб снижается (более чем в 15 раз), если оборотная вода обработана поликомплексоном с аминометилфосфоновыми группами.

Раздел 3. Текущие уровни эмиссий в окружающую среду

3.1 Воздействие на окружающую среду при добыче руд

3.1.1 Пылегазовыделение при разработке месторождений открытым способом

Уровень воздействия на окружающую среду при разработке месторождений открытым способом существенно зависит от применяемой техники и технологии ведения горных работ. Ухудшение состояния окружающей среды при ведении открытых горных работ связано с неуклонным увеличением глубины карьеров. Добыча руд в глубоких карьерах создает исключительно сложную экологическую техногенную нагрузку на окружающую среду [77]–[88].

Ориентация технологии открытых горных работ на применение высокопроизводительных буровых, погрузочных, транспортных средств, а также использование при массовых взрывах больших количеств взрывчатых веществ (ВВ) приводят к увеличению выбросов в атмосферный воздух вредных веществ.

В рудных карьерах источники выделения вредностей носят неорганизованный и нестационарный характер. Ими являются: массовые взрывы, производящиеся в пределах размещения технологического оборудования — буровых станков, экскаваторов,

дробилок; локальные источники — хвостохранилища, склады, отвалы; пылевыделения с поверхности дорог, железнодорожных вагонов и т. п. Значительным пылевыделением сопровождается транспортировка горной массы в карьерах, особенно велико оно при использовании автомобилей (см. таблицу 3.1).

Таблица 3.1 — Параметры запыленности воздуха при проведении горных работ

ТехнологичТехнологический процесс	Расстояние от источника пылеобразования, м	Метеопараметры			Запыленностьво-Запыленность воздуха, мг/м^3
		Скорость, м/с	Температура, °С	Относительная влажность, %	
Бурение скважин	5	1,1	-37	-	1027
	8	1,1	-36	-	421
	12	1,1	-37	-	298
	5	1,2	26	27	224
	8	1,2	26	27	123
	12	1,2	26	27	104
Погрузка горной массы	3	1,5	-34	75	342
	12	1,5	-34	75	161
	20	1,5	-34	75	96
	5	1,35	16	51	2,7
	20	1,95	16	63	4,0
Погрузка руды	3	1,4	-34	75	886
	8	1,4	-34	75	801
	20	1,4	-34	75	501
	5	0,62	27	29	50
	10	0,62	26	32	40
	20	1,2	26	31	21
Транспорт горной массы	3	1,0	-52	20	52
	12	1,5	31	46	200

Источники пылевыделений и концентрация вредностей при различных технологических процессах в карьерах в зависимости от эффективности способов пылегазоподавления характеризуются следующими величинами. При бурении скважин станками шарошечного бурения количество пыли, поступающей в атмосферу, составляет 3–200 г/м^3, станками термического бурения — от 2 до 170 г/м^3, а концентрация в воздухе вредных газов при пересчете на условную окись углерода достигает 10 %.

При разработке месторождений открытым способом на долю взрывных работ и экскавацию горной массы в сумме приходится 60 % — 80 % от общего количества частиц пыли, поступающих в атмосферу карьеров. Наиболее неблагоприятными по признаку выхода пыли являются буровзрывные работы: при бурении выделяется в атмосферу 50 % — 60 % общего объема пыли, при взрывных работах — 30 % — 40 % и лишь порядка 10 % приходится на все остальные горные процессы (погрузка

и т. д.). Выбросы пыли при проведении буровзрывных работ в карьере представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 — Выбросы пыли при проведении буровзрывных работ в карьере

Источник выброса пыли	Максимально-разовый выброс одной единицы техники для одного массового взрыва, г/с
Пыление при бурении скважин	326,54
Выбросы пыли при проведении взрывных работ	8485,01

Для погрузки горной массы используются экскаваторы ЭКГ. Перевозка горной руды на фабрику и вскрышных пород в отвалы производится автосамосвалами. Для работ в отвалах используются бульдозеры. Эксплуатируемые участки дороги имеют щебеночное и грунтовое покрытие. Выбросы пыли при выемочно-погрузочных работах и транспортировании горной массы представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 — Выбросы пыли при открытом способе разработки мсторождения

Источник выброса пыли	Максимально-разовый выброс для одной единицы техники, г/с
Взрывные работы	2466,7
Погрузочно-разгрузочные работы	12,4
Транспортирование горной массы	14,9
Пыление при работе экскаваторов:	5,12
	3,78
Пыление при работе бульдозеров:	0,95
	1,02
	0,25
Пыление во время движения самосвала:	266,84
- дороги	2,02
- кузова	2,02

Пыль размером 100 мкм поднимается с места пылеобразования и переносится на расстояние 500–2000 м при скорости ветра около 5 м/с и на расстояние более 2000–4000 м при скорости ветра около 9 м/с. При этом мелкодисперсная пыль загрязняет воздух в течение недель и даже месяцев. Пылевыделение основных источников на отвалах и открытых складах представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 — Выбросы пыли от источников на насыпных техногенных массивах

Источник выброса пыли	Максимально-разовый выброс для одной единицы техники, г/с
Пыление поверхности свежеотсыпанной части отвала	143,00

Источник выброса пыли	Максимально-разовый выброс для одной единицы техники, г/с
Пыление поверхности, использование которой прекращено менее трех лет назад	1401,40
Пыление неиспользуемой части отвала	910
Пыление при работе бульдозера	0,82
Пыление дороги во время движения автосамосвалов	74,88
Пыление кузова во время движения автосамосвалов	2,02

Степень загрязнения атмосферного воздуха в карьере и прилегающей к нему территории во многом определяется характеристиками пылевого облака, формирующегося в результате взрыва, скоростью выпадения пылевых частиц при заданной скорости сноса пылевого облака.

При открытой добыче руд, дробление скальных пород при помощи взрывов сопровождается образованием пыли в количестве 45–110 г/т руды, а ее дальнейшая переработка в карьере связана с дополнительным выделением пыли в количествах 50–150 г/т. Однако выделенная пыль при технологических процессах погрузки и транспортировки горной массы являются источниками, более рассредоточенными по площади в карьере и на протяжении времени между двумя массовыми взрывами (период две-три недели). При проведении массового взрыва практически то же количество пыли вместе с пылегазовым облаком уносится из карьера в течение нескольких минут полосой около полутора-двух сотен метров. Все это приводит к тому, что вредные примеси в пылегазовых облаках после массовых взрывов акцентировано проявляют себя в более короткий период времени, как при загрязнениях воздушной среды, так и земельных ресурсов. В зависимости от количества взрываемого ВВ и типа горных пород, поверхностная плотность осевшей пыли, г/м^2, изменяется в довольно широких пределах, однако по мере удаления от блока ее значение убывает (см. таблицу 3.5).

Таблица 3.5 — Значение поверхностной плотности осевшей пыли в следе пылегазового облака в карьере и за его пределами

Масса ВВ (130 т)						
Расстояние от блока, м	50	100	250	500	800	1200
Поверхностная плотность, г/м^2	670	312	66	31,8	16,7	4,0
Масса ВВ (76 т)						
Расстояние от блока, м	50	100	200	300	400	600
Поверхностная плотность, г/м^2	310	160	41	30,6	28,0	26,4

На границе санитарно-защитных зон карьера поверхностная плотность осевшей пыли в сотни раз меньше от ее первоначальной плотности и достигает в зависимости

от количества ВВ, типа и влажности пород значений 4–20 г/м^2, продолжая уменьшаться по мере удаления от места взрыва.

При массовых взрывах в атмосферу выделяется 0,03–0,18 кг/м^3 пыли, количество пыли в продуктах детонации — до 2 г/м^3, вредных газов в пересчете на условную окись углерода — до 0,3 %.

При ведении выемочно-погрузочных работ концентрация пыли в кабинах экскаваторов изменяется в зависимости от влажности горной массы в пределах 20–200 мг/м^3. При транспортировании горной массы запыленность воздуха в кабинах транспортных средств находится в пределах 3–25 мг/м^3, а на автодорогах — от 10 до 100 мг/м^3. В выхлопах карьерных автосамосвалов при отсутствии нейтрализаторов содержится: окиси углерода — 10 %, окиси азота — 0,5 %, альдегидов — 1,0 %, углеводородных газов — 1,0 %, сажи — 1,0 %.

При дроблении горной массы концентрация пыли в кабинах дробильных агрегатов составляет 3–75 мг/м^3. При применении средств обеспыливания воздуха количество пылевыделений снижается до 5 мг/м^3. При подъеме пыли с поверхности отвалов ее концентрация достигает 300–500 мг/м^3.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) по пыли достигается при рассеивании пылегазового облака в карьерах на расстоянии 2,5–8 км от места взрыва. Распространение пылегазового облака на 2,5–3,5 км отмечено при неустойчивом состоянии атмосферы. Наибольшая дальность рассеивания продуктов детонации при массовых взрывах в карьерах достигает 8 км, при штилевой погоде дальность их распространения не превышает 4,5 км.

Быстрое развитие открытых горных разработок стало возможным в связи с освоением промышленностью производства современных большегрузных автосамосвалов, тепловозов, мощных колесных скреперов, тракторов и других транспортных средств с дизельными двигателями. Однако известно, что при работе дизельных машин в атмосферу выделяется большое количество (свыше 1000) вредных компонентов: окислов углерода, окислов азота, углеводородов, альдегидов, анилина, ацетилена, сажи и т. п.

В продуктах выхлопа дизеля содержатся канцерогенные вещества: бензопирен, кротоновый альдегид, анилин и др. Присутствие сажи в выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания (ДВС) приводит к образованию в карьерах смогов, которые активно адсорбируют канцерогенные вещества. В отсутствие проветривания такая атмосфера является чрезвычайно опасной для работающих в карьере. Загазованность воздуха в карьерах наиболее высока (до 0,05 % в пересчете на условное CO) при штилевой погоде и может быть опасной для здоровья, если не будут осуществляться мероприятия по ее снижению. К ним относятся: локальное проветривание застойных участков карьера, применение для газоподавления водовоздушной смеси, включая активную смесь, и т. д. Важное значение для снижения токсичности отработанных газов имеет выбор типа двигателя и камеры сгорания, которые конструктивно могут быть выполнены совместно или раздельно. Применение таких двигателей позволяет снизить в 2 раза выделение в атмосферу окислов азота. Турбонадув в 4–5 раз снижает выделение дизельным двигателем сажи, а также уменьшает выделение окиси углерода и альдегидов. В зарубежной практике подавляющее большинство автосамосвалов оборудованы дизельными двигателями с воздушным охлаждением, что способствует более полному сгоранию топлива и, благодаря этому, снижению выбросов вредных веществ

выхлопа в рудничную атмосферу. Рециркуляция до 30 % объема отработанных газов и их обратная подача в коллекторы двигателя дают возможность уменьшить выбросы вредных компонентов выхлопа в атмосферу до 25 %.

3.1.2 Пылегазовыделение при подземной разработке месторождений

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха пылью и вредными газами при подземной разработке руд являются выбросы вентиляторов главного проветривания при нормальном режиме работы шахт и особенно после массовых взрывов, а также неорганизованные выбросы пыли при складировании руды и погрузке ее в авто- и железнодорожный транспорт.

Подземная разработка месторождений сопровождается значительным загрязнением атмосферного воздуха. Основными источниками загрязнения являются газопылевые выбросы из подземных горных выработок, газопылевые выделения из породных отвалов и складов полезных ископаемых (см. таблицу 3.6).

Таблица 3.6 — Параметры запыленности воздуха при проведении горных работ

Технологический процесс	Расстояние от источника пылеобразования, м	Метеопараметры			Запыленность воздуха, мг/м^3
		Скорость, м/с	Температура, °С	Относительная влажность, %	
Бурение скважин	5	1,1	-37	-	1027
	8	1,1	-36	-	421
	12	1,1	-37	-	298
	5	1,2	26	27	224
	8	1,2	26	27	123
	12	1,2	26	27	104
Погрузка горной массы	3	1,5	-34	75	342
	12	1,5	-34	75	161
	20	1,5	-34	75	96
	5	1,35	16	51	2,7
	20	1,95	16	63	4,0
Погрузка руды	3	1,4	-34	75	886
	8	1,4	-34	75	801
	20	1,4	-34	75	501
	5	0,62	27	29	50
	10	0,62	26	32	40
	20	1,2	26	31	21
Транспорт горной массы	3	1,0	-52	20	52
	12	1,5	31	46	200

В данном случае под выбросом понимается поступление в атмосферу из подземных горных выработок рудничного (шахтного) воздуха; масса этого воздуха может быть весьма значительной, а концентрации в нем загрязняющих веществ обычно не столь велики. Рудничный воздух представляет собой смесь атмосферного воздуха

с различными газообразными примесями, выделяемыми из пород, полезных ископаемых или шахтных вод (например, CH_4, CO_2, H_2, N_2, H_2S и др.), а также образуемыми при взрывных работах и в ряде других процессов (CO_2, CO, SO_2, H_2S, NO_2 и др.).

Состав воздуха, поступающего в подземные горные выработки, по мере продвижения изменяется в результате:

1) действия окислительных процессов (CO_2, CO, SO_2, NO_2 и др.);

2) выделения газов из разрушаемых пород (CH_4);

3) ведения взрывных работ (CO_2, CO, SO_2, H_2S, NO_x и др.);

4) процессов дробления горных пород (пыль);

5) пожаров, взрывов метана и пыли (CO_2, CO, SO_2, H_2S, NO_2);

6) гниения органических веществ, разложения водой сернистого колчедана (H_2S и др.).

При подземной разработке рудных месторождений газовая составляющая выбросов преимущественно представлена газообразными продуктами, выделяющимися при взрывах, производимых при массовой отбойке полезных ископаемых. После массовых взрывов резко увеличивается и содержание пыли в выдаваемом на поверхность рудничном воздухе.

Запыленность исходящего из шахт воздуха при нормальных режимах находится в пределах от 0,2 до 0,5 мг/м^3 вследствие того, что воздуховыдающие стволы при наличии в них капельного потока воды являются хорошими естественными фильтрами. При прохождении воздуха по воздуховыдающим стволам его метеорологические параметры изменяются. При движении по стволам воздуха со 100%-ной относительной влажностью влага конденсируется на тонкодисперсной пыли. Наиболее активное укрупнение пыли происходит на первых 100 м подъема воздуха в вентиляционных стволах, где диаметр пылинок достигает 10 мкм и более. На уровне вентиляционного канала количество конденсата составляет 1,5–2,0 г/м^3. Указанные процессы способствуют оседанию пыли на стенках подземных выработок.

Мощным источником образования пыли и вредных газов в шахтах являются взрывные работы. Концентрация пыли в воздухе при детонации зарядов ВВ в подземных выработках достигает 1500 мг/м^3, а в отдельных случаях и более. Газовыделение отдельных типов ВВ в шахтах находится в пределах 20–80 л условной окиси CO с 1 кг ВВ.

Процесс выделения вредных газов включает мгновенные выбросы их в рудничный воздух при взрыве, а также постепенное выделение из взорванной горной массы, в которой находится около 50 % — 60 % общего объема продуктов детонации. Исследования динамики выбросов вредных газов и пыли при производстве массовых взрывов свидетельствуют о ее нестационарном характере. Количество вредных газов и пыли в главных вентиляторных установках (ГВУ) возрастает в течение первых 15–20 мин после начала взрыва, а затем их концентрация снижается до уровня нормального режима работы шахты. В связи с высокой относительной влажностью рудничного воздуха и конденсацией водяных паров в воздухоподающих стволах часть оксидов азота — продуктов детонации ВВ — поглощается водой с образованием слабых азотной и азотистой кислот, что существенно снижает уровень выбросов азотной группы окислов в атмосферу. Учитывая, что окись углерода является устойчивым газом в реакциях с другими компонентами, общее ее количество, выбрасываемое в атмосферу, равно первоначально образующемуся при детонации зарядов ВВ.

Концентрация вредных газов и пыли в выбросах по обводненным глубоким вентиляционным стволам обычно не превышает ПДК. Повышенный уровень выбросов в шахтную атмосферу пыли и вредных газов наблюдается непродолжительное время, только после момента производства массовых взрывов, а количество выбрасываемых вредных веществ за этот период не превышает 20 % общего количества выделяющихся вредностей в шахтах.

При разгрузке скипов в приемные бункера на поверхности шахт, дроблении руды, ее сортировке и транспортировке в штабели на открытых складах, загрузке в железнодорожные вагоны происходит интенсивное пылевыделение в атмосферу. Интенсивность поступления пыли в окружающую среду при выполнении этих операций (0,01–0,08 мг/с) зависит от количества перерабатываемой руды, метеорологических условий, а также от применяемых средств борьбы с пылью.

По интенсивности пылевыделений в окружающую среду источники пылевыделений на промплощадках шахт можно разделить на две группы: источники с предварительной очисткой выбрасываемого в атмосферу запыленного воздуха; источники пылевыделений без очистки (неорганизованные).

К первой группе относятся конвейерный тракт подачи руды в надштабельную галерею склада и дробильно-сортировочный комплекс (при наличии). Все технологические операции выполняются в защищенных от ветра помещениях, а основные места пылевыделений укрыты аспирационными установками с очисткой аспирационного воздуха при помощи фильтров.

Ко второй группе относятся открытые склады руды, на которых все выполняемые процессы сопровождаются активным пылевыделением в окружающую среду.

В открытые склады руда поступает по ленточным конвейерам с надштабельных галерей, расположенных на высоте 20 м от поверхности склада. При свободном падении руды значительное количество пыли взметывается и попадает в окружающую среду, загрязняя воздух до концентраций, превышающих ПДК.

3.1.3 Шум и вибрация при открытой и подземной разработке

Уровни звука, дБА, и вибрационной скорости, дБ, практически при всех технологических процессах открытых и подземных горных работ, эксплуатации буровых и погрузочно-доставочных машин, хоть и незначительно, но превышают допустимые санитарные уровни. Фактические уровни вибрационной скорости локальной и общей вибрации при работе горных машин и механизмов на карьерах находятся в пределах 65–108 дБ, а на рудных шахтах — от 70 до 112 дБ, что на 10–15 дБ превышает допустимые санитарные уровни виброскорости для отдельных активных полос вибрации.

Главной причиной этого является неудовлетворяющее требованиям ГОСТ по уровням шума и вибрациям выпускаемое оборудование для открытых и подземных горных работ.

3.1.4 Сравнение открытых и подземных разработок

Согласно приведенным в таблицах 3.7 и 3.8 данным, удельная интенсивность газовыделения на открытых горных работах в пересчете на 1 $м^3$ скальной горной массы составляет $3{,}3 \cdot 10^{-2}$ $м^3/м^3$, а на подземных — $1{,}05 \cdot 10^{-4}$ $м^3/м^3$ условной окиси углерода (более чем в 300 раз ниже). Причиной этого являются активные окислительные про-

цессы, протекающие между продуктами детонации (CO, NO_2) и влагой, содержащейся в рудничном воздухе, как минимум в количестве 85 % — 90 %. В связи с локализацией продуктов детонации и термической диссоциацией воды, находящейся в подземных выработках, часть CO и часть NO_2 окисляются до своих высших окислов и затем поглощаются водой, т. е. переходят в слабые угольную и азотную кислоты. На открытых же горных разработках, в связи с мгновенным расширением взрывных газов и быстрым падением их температуры, активность окислительных процессов существенно ниже. Относительная влажность воздуха в карьерах всегда меньше, чем в шахтах, поэтому снижается количество окислителя (гидроксильные группы), поступающего в рудничный воздух за счет термической диссоциации воды. Около 50 % продуктов взрыва выдаются вентиляторами и адсорбируются горной массой, а потому длительное время находятся в подземных выработках, создавая дополнительные благоприятные условия для их нейтрализации.

Таблица 3.7 — Сравнительные характеристики по экологии открытых и подземных горных работ (газовый фактор) [77-81].

Источники выделения вредных газов на открытых работах	Концентрация вредных газов, % объема горной массы	Удельная интенсивность газовыделения, $м^3/м^3$	Источники выделения вредных газов на подземных работах	Концентрация вредных газов, % объема	Интенсивность газовыделения в атмосферу, $м^3/м^3$
Бурение взрывных скважин станками термического бурения:			Выделение вредных газов при взрывных работах на подготовительных и вскрываемых горизонтах:		
- окись углерода	0,12–0,15		- окись углерода	0,2–0,35	
- двуокись азота	0,12–0,15	$1{,}04 \cdot 10^{-6}$ усл. CO	- окислы азота	0,02–0,04	
- акреолин	0,001–0,0001		- условное CO		$0{,}35 \cdot 10^{-5}$
- водород	0,15–0,20				
- двуокись углерода	4–8				
Массовые взрывы в карьерах:			Массовые взрывы в шахтах:		
- окись углерода	0,003–0,089	До 0,033 усл. CO	- окись углерода	1,0–3,0	
- двуокись азота	0,03–0,04		- окислы азота	0,9–1,5	
- акреолин			- условное CO		$6{,}7 \cdot 10^{-5}$

Окончание таблицы 3.7

Источники выделения вредных газов на открытых работах	Концентрация вредных газов, % объема горной массы	Удельная интенсивность газовыделения, $м^3/м^3$	Источники выделения вредных газов на подземных работах	Концентрация вредных газов, % объема	Интенсивность газовыделения в атмосферу, $м^3/м^3$
Взорванная горная масса:			Взорванная горная масса:		
- окись углерода	0,005–0,008		- окись углерода	0,03–0,15	$3,9 \cdot 10^{-5}$
- двуокись азота	0,001–0,009	До $3,5 \cdot 10^{-6}$ усл. CO	- условное CO		
Природные газы, локализованные в массиве горных пород:			Природные газы:		
- метан	0,05–0,1		- метан	0,05–0,1	
- водород	0,1–0,5		- водород	0,1–0,5	
- сернистый газ (в том числе от двигателей внутреннего сгорания карьерного автотранспорта)	0,0005		- сернистый газ	0,0005	
Итого условное CO		$3,3 \cdot 10^{-2}$			$1,05 \cdot 10^{-4}$

Таблица 3.8 — Сравнительные характеристики по экологии открытых и подземных горных работ (пылевой фактор)

Открытые горные разработки				Подземные рудники			
Технологические процессы	Запыленность воздуха, мг/м^3	Интенсивность пылевыделения, г/с	Удельная интенсивность пылевыделения в атмосферу, г/м^3	Технологические процессы	Запыленность воздуха, мг/м^3	Интенсивность пылевыделения, г/с	Удельная интенсивность пылевыделения в атмосферу, г/м^3
Вскрышные работы и отвалообразование с применением роторно-конвейерных комплексов	18,2–147	0,0025–0,0071	0,0046–0,013	Бурение шпуров при проходке подземных выработок	2–50	0,001–0,05	0,0005
Узлы перегрузки горной массы на экскаваторе, конвейерах, отвалообразователе	1–712	0,00015–0,0055	0,00027–0,01	Взрывание шпуровых зарядов ВВ при проведении подземных выработок	1000–1500	0,008–0,012	0,0005
Отвалообразование с разгрузкой автосамосвалов	1,7–11	0,0023–0,202	0,0066–0,3	Транспортировка пустых пород из проходческих забоев в отвалы	1–3	0,0001	0,0003
Бурение взрывных скважин	869–2422	0,054–60,2	356–110370	Бурение взрывных скважин	3–5	0,0002–0,007	0,0003

Окончание таблицы 3.8

Открытые горные разработки				Подземные рудники			
Технологические процессы	Запыленность воздуха, мг/м^3	Интенсивность пылевыделения, г/с	Удельная интенсивность пылевыделения в атмосферу, г/м^3	Технологические процессы	Запыленность воздуха, мг/м^3	Интенсивность пылевыделения, г/с	Удельная интенсивность пылевыделения в атмосферу, г/м^3
Выемочно-погрузочные работы по схеме «экскаватор — автосамосвал»	2,9–100	0,5–0,8	11,5–15,1	Массовые взрывы в очистных блоках	1000–3000	0,01–0,08	0,0006
Транспортировка горной массы автосамосвалами	9,5–720	4,7–7,8	586–980	Разгрузка скипов в приемные бункеры	1000–2000	0,01–0,08	12–15
Разгрузка автосамосвалов или железнодорожных вагонов в приемную воронку дробилки	6–8	2,7–3,6	25–30	Дробление, сортировка и складирование руды	500–700	0,03–0,1	13–15
Массовый взрыв	1000–2000	0,015–0,021	0,03–0,18	Погрузка руды в железнодорожные вагоны	6–8	2,5	30–35

В рудных шахтах и карьерах отмечены многочисленные случаи выделения природных газов, сероводорода, углекислого и сернистого газа. Причем, если H_2S, SO_2 и CO_2, учитывая их высокую растворимость, в шахтах практически полностью поглощаются водой и в атмосферный воздух не выбрасываются, то на карьерах они поступают в атмосферу. Обводненные выработки шахтной вентиляционной сети являются хоро-

шими естественными фильтрами, поэтому и пылевые выбросы в атмосферу незначительны: удельная интенсивность пылевыделений в воздушный бассейн на открытых разработках достигает 111 695 г/м^3, а на подземных — до 66 г/м^3, т. е. на несколько порядков ниже благодаря коагуляции и налипанию рудничной пыли на мокрую поверхность подземных выработок и последующему смыву ее водой. Особенно активно протекают процессы коагуляции и смыва пыли с поверхности выработок в восстающих и вентиляционно-выдающих стволах.

Оценивая уровни звукового давления и вибрационной скорости технологического оборудования, следует отметить, что общий уровень заболеваемости горнорабочих тугоухостью и вибрационной болезнью на открытых горных работах существенно выше, чем на подземных.

3.1.5 Сбросы в водные объекты при добыче руд

Спецификой технологического процесса добычи колчеданных руд является образование жидких отходов — кислых дебалансных загрязненных вод: дренажных и инфильтрационных (в западной литературе называемых acid mine drainage (AMD)). Воды являются основными поставщиками тяжелых металлов в окружающую среду (например, экологический ущерб от сброса AMD в поверхностные водотоки бассейна р. Урал оценивается в несколько десятков миллиардов рублей в год). Помимо расходов на возмещение экологического ущерба предприятия несут убытки из-за потери со сбросом части ценных компонентов [82]–[113].

По месту и процессам образования техногенные воды горных предприятий можно разделить на следующие группы:

1) технологические сточные воды горного передела — карьерный водоотлив, шахтный (рудничный) водоотлив, дренажные воды;

2) подотвальные воды — из-под отвалов пустой породы и забалансовых руд, из-под отвалов отходов обогащения и металлургии, с площадок складирования сырья;

3) воды, продуцированные атмосферными осадками, — дождевые с промплощадок (ливневые), от таяния снега с промплощадок (талые).

Карьерные воды — это смесь ливневых, талых и поверхностных вод, попадающих непосредственно в выработанное пространство карьера, а также подземных вод, поступающих в подземную дренажную систему или на откосы и дно карьера.

По системе внутрикарьерных водоотводных канав и трубопроводов (при открытом водоотливе) или по специальным дренажно-водоприемным выработкам и скважинам (при подземном водоотливе) отводятся в главные водосборники и затем откачиваются водоотливными установками на поверхность. В таблице 3.9 приведены характеристики карьерных вод некоторых предприятий медно-цинкового комплекса Урала [114].

Качественный состав карьерных сточных вод на каждом из карьеров специфичен и зависит от условий формирования, климатических факторов, способа отработки в границах определенного карьерного поля.

Приоритетным загрязняющим компонентом карьерных вод, направляемых с территорий карьеров в водоемы, являются взвешенные минеральные, глинистые и пылевидные частицы. В макрокомпонентном анионном составе преобладают сульфаты, в микрокомпонентном составе характерными доминантами являются медь, цинк, железо.

Объемы стоков карьеров достаточно масштабны (см. таблицу 3.10), чаще всего они загрязнены несколькими загрязнителями и из-за больших объемов сильно влияют на экосистему, кардинально снижая качество окружающей среды.

.

Таблица 3.9 — Характеристика карьерных вод [114]

№ п/п	Название характеристики (компонента)	Единицы измерения	Значение характеристики (содержание)					
			Западное-Озерное	Камаганский карьер	Учалинский карьер	Молодежное месторождение	Тарньерское месторождение	Шемурское месторождение
1	pHpH		7,4	6,00	4,7–7,15	5,8	3,29–7,1	3,61–4,14
2	Взвешенные вещества	мг/дм^3	68,4	25,500	275,0	н/д	5,6–129	16,3–54,2
3	Сухой остаток	мг/дм^3	2278	303,00	2660,0	400,0	489,6–2712,5	685,8–3056,4
4	Сульфаты	мг/дм^3	1249,6	111,38	1532,4	н/д	167,9–2056,9	587,6–1059,4
5	Хлориды	мг/дм^3	56,7	49,63	115,8	42,6	1,6–80,1	6,91–33,9
6	Медь	мг/дм^3	0,85	0,014	67,0	0,38	0,018–5,32	30,12–64,4
7	Цинк	мг/дм^3	27,19	1,611	189,0	10,8	0,357–37,4	1,8–5,2
8	Железо общее	мг/дм^3	5,29	0,067	240	н/д	0,171–100,1	23,0–124,5
9	Кальций	ммоль-экв/дм^3	118	2,40	20,0	н/д	5,5–15,3	1,5–15,4
10	Мышьяк	мг/дм^3	н/д	н/д	н/д	н/д	Менее 0,002	Менее 0,002

Таблица 3.10 — Потери цветных металлов с техногенными водами [114]

Предприятие	Наименованиепотока	Объем, м^3/ч	Концентрация, г/м^3		Средние значения концентраций, г/м^3		Масса металла в потоке, т/год	
			Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
Медногорский МСК	Сток брикетной фабрики	150	10–65	1–30	37,50	15,50	49,41	20,42
	Подотвальные воды	3	40–1100	20–3500	570,00	1760,00	14,98	46,25
	Объединенный поток шахтных и подотвальных вод месторождения «Учалинское»	625	7,7–495	67,1–953,2	250,00	510,00	1368,75	2792,25

Предприятие	Наименованиепотока	Объем, $м^3/ч$	Концентрация, $г/м^3$		Средние значения концентраций, $г/м^3$		Масса металла в потоке, т/год	
			Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn
	Кислый пруд	250	0,01–2,2	4,2–25,1	1,11	14,65	2,42	32,08
Учалинский ГОК	Вода карьера «Объединенный»	50	0,01–0,25	0,1–1,97	0,13	1,04	0,06	0,45
	Карьерные воды м-я «Молодёжное»	176	0,38-33,0	4,5 -78,0	17,0	41,0	26,2	63,2
	Шахтные воды м-я «Сибайское»	359	0,042-0,65	0,227-2.35	0,35		1,09	4,05
	Подотвальные воды цинксодержащие	109	18-350,0	68,1-985,0	184,00	527	100,80	503,2
	Карьерные воды месторождения «Камаган»	46	0,014–0,059	0,11–1,91	0,04	1,01	0,01	0,41
Гайский ГОК	Кислая рудничная вода месторождения «Гайское»	156	219,00	160,00	219,00	160,00	300,04	219,21
	Подотвальные воды	89	220–760	415–420	490,00	417,50	382,02	325,50
	Карьерные воды месторождения «Осеннее»	200	0,05–0,19	0,05–0,19	0,12	0,12	0,21	0,21
	Карьерные воды месторождения «Летнее»	54	0,63	1,14	0,63	1,14	0,30	0,54
	Подотвальные воды месторождения «Летнее»	17	6,00	4,70	6,00	4,70	0,89	0,70
Бурибаевский ГОК	Подотвальные	4	284,30	125,00	284,30	125,00	6,02	2,65
Итого							2227,59	3639,51

Шахтные воды — воды, поступающие в подземные горные выработки из подрабатываемых водоносных горизонтов, поверхностных водотоков (водоемов) и дренажных выработок. Эти воды оказывают отрицательное влияние на технику и технологию ведения горных работ и ухудшают качество добываемого полезного ископаемого [114]. Проникают в выработанное подземное пространство и проходят через водоотливное хозяйство шахты.

Шахтные воды характеризуются значительными расходами — до 359 м/ч^3, широким диапазоном pH среды — от сильнокислого до слабощелочного с минерализацией от 0,5 до 4 г/дм^3. По степени минерализации шахтные воды относятся к категории слабосолоноватых.

В макрокомпонентом анионном составе преобладают сульфаты в мезо- и микрокомпонентом катионном составах, характерными доминантами являются медь, цинк, железо.

В таблице 3.11 приведены характеристики шахтных вод предприятий медно-цинкового комплекса Урала

Таблица 3.11 — Характеристика шахтных вод [114]

№ п/п	Наименование характеристики (компонента)	Единицы измерения	Значение характеристики (содержание основных компонентов)					
			Березовское РУ		БГОК	ГГОК	Сибайский рудник	Узельгинский рудник
			ш. «Южная»	ш. «Северная»				
1	pH		7,8	8,2	3,5–6,1	1,9–7,1	8,1	4–7,9
2	Взвешенные вещества	мг/дм^3	21,9	16,9	н/д	56,6	20,6	32–37551
3	Сухой остаток	мг/дм^3	711,0	595,0	2277,1–3860,0	4025,0	1257,0	2242–10210
4	Сульфаты	мг/дм^3	342	190	745–1818,0	1916,0–34770	606,8	1176,6–5963,3
5	Хлориды	мг/дм^3	44,0	50,2	327,5–709,0	376,4–1164,0	54,2	102–340
6	Медь	мг/дм^3	0,52	0,001	3,15–16,0	0,369–1920	0,042	0,07–46,1
7	Цинк	мг/дм^3	0,120	0,01	3,50–18,0	0,075–0,3	0,227	8,89–322,2
8	Железо общее	мг/дм^3	6,6	1,4	1,43–37,5	0,067–10080	0,436	0,2–438
9	Кальций	мг/дм^3	96,93	180	н/д	29,04–32,4	5,4	338,7–691,3
	Класс загрязненности		Экстремально грязная	Очень грязная	Экстремально грязная	Экстремально грязная	Экстремально грязная	Экстремально грязная

Содержание меди и цинка колеблется в широких пределах (см. таблицу 3.11) от значений соответствующих ПДК для рыбохозяйственных водоемов (Березовское) до десятков мг/дм^3 (Бурибаевский ГОК). Концентрация цветных металлов в шахтных водах превышает ПДК в сотни, тысячи раз, и с этими потоками теряется значительное количество металлов. Содержание меди колеблется в пределах от 0,001 ($ПДК_{рыбхоз}$) (месторождение «Березовское») до 1920 мг/дм^3 (Гайский ГОК).

При ежегодном сбросе Бурибаевским ГОКом шахтныхвод в объеме 56,6 тыс. м в реку поступает примерно 0,1 т меди, 0,35 т цинка, 0,1 т железа, 360 т сульфатов, 238 т хлоридов [114].

Воды, продуцированные атмосферными осадками, являются наиболее опасными для окружающей среды. Талые и ливневые сточные воды с промплощадок отличает спонтанность образования и самопроизвольное стекание с территории в природные водотоки. Локализация таких потоков может быть осуществлена лишь частично. Концентрации металлов в подобных водах превышают $ПДК_{рыбхоз}$ в несколько десятков раз. Концентрация меди и цинка в этих водах превышает $ПДК_{рыбхоз}$ в десятки и даже тысячи раз и достигает 600 и 900 мг/дм^3 (Сибай) и даже нескольких граммов в литре (Северный медно-цинковый рудник (СЦМР)) (см. таблицу 3.12).

При наличии промливневой канализации на предприятиях талые и ливневые сточные воды отводятся по коллектору на очистные сооружения.

Подотвальные воды — это воды, состав которых обусловлен циклическими процессами осаждения и растворения минеральных фаз в результате инфильтрации через тело отвала (твердые заскладированные отходы и забалансовые руды) атмосферных осадков.

.

Таблица 3.12 — Показатели качества подотвальных вод горных предприятий [114]

№ п/п	Название характеристики (компонента)	Единица измерения	Значение характеристики (содержание)					
			СФ УГОК	УГОК	БГОК	ГГОК	ОАО «Святогор» СМЦР	
			Сибайское и Камаганское месторождения	Учалинское месторождение	Маканское месторождение	Гайское месторождение	Тарньерское месторождение	Шемурское месторождение
1	Сухой остаток	мг/дм^3	н/д	40250	35794,0	10000,0–25000,0		
2	Сульфаты	мг/дм^3	10793,4	19917	18069,0	2463,7–7033,9	69645,0–67912,0	49340,0–127362,0
3	Хлориды	мг/дм^3	1773,0	86,8	106,4	82,4–582,6	425	993
4	Медь	мг/дм^3	350,0	234,7	382,0	219,23–248,01	402,5–2082	626,4–2900
5	Цинк	мг/дм^3	600,0	985	159,5	160,41–163,56	2156,0–8680,0	43,12–300
6	Железо	мг/дм^3	373,7	722	849,0	216,270–785,1	5459,0–9334,0	3126,0–1545,0
7	pH	мг/дм^3	3,3	3,3	1,75	2,64	2,21–2,94	1,9–2,4
8	Жесткость	моль-экв/дм^3	288,0	184,8	356,6	38,4–44,02	796–1000	260–298

Подотвальные воды своим составом генетически связаны с заскладированными в отвалах материалами. Металльная нагрузка обусловлена скоростью окисления материала, определяемого соотношением площадей катодных (пирит и халькопирит) и анодных (сфалерит и галенит) участков на поверхности сульфидных минералов. Формирование кислых вод с высокой тяжелометалльной нагрузкой целиком обусловлено процессами химико-бактериального окисления сульфидов в отходах добычи и обогащения руд.

Потенциальную экологическую опасность по содержанию железа и отчасти цинка представляют отвалы, сложенные исключительно сульфидсодержащими породами, забалансовыми рудами, а также безбуферными метасоматитами кварцсерицитового состава, где пирит является кислотопродуцирующим минералом и источником тяжелых металлов. Особую экологическую опасность представляют сульфидсодержащие брекчии, текстурно-структурные особенности которых способствуют переходу в раствор Fe и Zn.

В таблице 3.13 приведена общая характеристика карьерных, шахтных и подотвальных вод горных предприятий Урала, а в таблице 3.14 — сравнение концентраций металлов в них с кларком для вод, образованных в зоне гипергенеза.

Таблица 3.13 — Общая характеристика техногенных вод горных предприятий Южного Урала [114]

Показатель	АО «Учалинский ГОК»			Сибайский филиал ОАО «УГОК»	Сибайский филиал ОАО «УГОК»			ОАО «Бурибайский ГОК»
	Подотвальные воды	Шахтные воды Учалинского месторождения	Отстойный пруд	Подотвальные воды	Шахтные воды Сибайского рудника	Воды Камаганского карьера	Промливневые воды	Подотвальные воды Маканского месторождения
Сухой ост., мг/дм^3	28852	7400	4908	н/д	1257,0	303,00	2431,0	35794,0
Сульфаты, мг/дм^3	12573,6	4630	2082	10793,4	606,8	111,38	167,9	18069,0
Хлориды, мг/дм^3	86,8	296	215,0	1773,0	54,2	49,63	651,9	106,4
Медь, мг/дм^3	119,7	67,0	0,3	350,0	0,042	0,014	0,029	382,0
Цинк, мг/дм^3	68,1-985	406	2,6	600,0	0,227	1,611	0,842	159,5
Железо, мг/дм^3	168,0	388	0,54	373,7	0,436	0,067	0,083	849,0
pH	3,3	4,7	7,5	3,3	8,1	6,00	7,700	1,75
Жесткость, мг-экв/дм^3	184,8	24,1	н/д	288,0	7,3	5,00	15,90	н/д
$C_{Cu(II)}/C_{Zn(II)}$	0,68	0,354	0,115	0,58	0,18	0,22	0,034	2,4

Таблица 3.14 — Сравнение концентраций металлов с кларком для техногенных вод [114]

Название характеристики (компонента)	Единица измерения	Кларк, мг/дм^3		Концентрация, С, мг/дм^3 (числитель) Кларковая концентрация, С/$К_{гг}$ (знаменатель)					
		в поверхностных водах, $К_{пв}$	в подземных водах зоны гипергенеза, $К_{гг}$	Карьерные		Шахтные		Подотвальные	
				min	max	min	max	min	max
pH	ед. pH	-	-	3,87	7,15	3,5	8,2	1,75	3,3
Взвешенные вещества	мг/дм^3	-	-	25,5	275,6	16,9	56,6	43,4	348,5
Сухой остаток	мг/дм^3	-	-	303	2660,7	595,5	4025	10000	35794
Сульфаты	мг/дм^3	8,25	76,6	111,38	1532,4	190	34770	2463,7	85364,2
				1,45	20,01	2,48	453,92	32,16	1114,42
Хлориды	мг/дм^3	5,75	59,7	18,17	115,8	44,12	1164	82,4	1773
				0,30	1,94	0,74	19,50	1,38	29,70
Медь	мг/дм^3	0,007	0,0558	0,014	67,4	0,001	1920	219,23	1308,4
				0,25	1207,89	0,02	34408,60	3928,85	23448,03
Цинк	мг/дм^3	0,02	0,0414	1,611	189,7	0,01	18	116,04	4818,9
				38,91	4582,13	0,24	434,78	2802,90	116398,55
Железо общее	мг/дм^3	0,04	0,481	0,067	240,3	0,067	10080	216,27	6920
				0,14	499,58	0,14	20956,34	449,63	14386,69
Жесткость	моль экв/дм^3	—	—	2,4	20,9	4,85	32,4	38,4	356,6

Концентрации металлов не во всех потоках превышают кларк, но могут превышать и в десятки тысяч раз. Большинство потоков являются металлоносными, а часть потоков имеют высокую тяжелометалльную нагрузку — более 10 мг/дм^3 по каждому из тяжелых металлов.

Все характеристики вод определяются природными и искусственными факторами. Природные факторы включают:

а) климатические (количество выпадающих атмосферных осадков);

б) геоморфологические (рельеф местности, степень обнаженности коренных пород, наличие многолетней мерзлоты, поверхностных текущих вод и др.);

в) гидрогеологические (количество водоносных горизонтов, их мощность, напоры, гидравлическая связь с поверхностными водами, изменение водопроницаемости пород с глубиной и др.);

г) геологические (литологический состав вмещающих рудные минералы пород, структурные особенности, тектоническая нарушенность);

К числу искусственных факторов относятся:

а) способ и системы разработки;

б) схемы водоотведения рудничных вод;

в) используемые технологии очистки вод и утилизации шламов.

Гидрологические и технологические характеристики по рудникам Южного Урала приведены в таблице 3.15.

Таблица 3.15 — Гидрологические и технологические характеристики техногенных вод [114]

Месторождение	Запасы, тыс. т	Глубина залегания		Глубина активной циркуляции, м	Глубина карьера (шахты), м	Тип вод по условиям циркуляции	Коэффициент фильтрации, м/сут	Водоприток, $м^3/ч$	Способ разработки	Система разработки	Производительность, тыс. т	Концентрация металлов Cu/Zn/Fe в рудничных водах, $мг/дм^3$
		нач.	кон.									
Учалинский рудный район												
Учалинское	77449	350	Более 600	250	352	Порово-трещинные, трещинные, трещинно-жильные	0,14–0,58	243,5	Комбинированный	Камерно-целиковая с закладкой выработанного пространства	3500 1400	67,0/189,0/240
Верхнеуральский рудный район												
Узельгинское	30989	130	1600	202	771	Пластово-трещинные, трещинно-жильные пластовые	Изменяются по глубине от 0,005 до 0,074	280–350	Подземный	Этажно-камерная, камерно-целиковая, горизонтальные слои с закладкой	2200	0,07–46,1/8,89–322,2/0,2–438

Продолжение таблицы 3.15

Месторождение	Запасы, тыс. т	Глубина залегания		Глубина активной циркуляции, м	Глубина карьера (шахты), м	Тип вод по условиям циркуляции	Коэффициент фильтрации, м/сут	Водоприток, $м^3/ч$	Способ разработки	Система разработки	Производительность, тыс. т	Концентрация металлов Cu/Zn/Fe в рудничных водах, $мг/дм^3$
		нач.	кон.									
Молодежное	15909	70	480	175	260	Трещинные, трещинно-жильные	Известняки — 4,5, порфиры, туфы, базальты — 0,02–0,026. Рыхлые отложения — 0,0067–0,257	60	Комбинированный	Этажно-камерная, камерная с доставкой руды силой взрыва и закладкой	400	0,38/10,8/ н/д
Александринское	6242,4	30	300	н/д	80	Грунтовые воды	Нд	112	Подземный	С обрушением руды и пород	400	0,18/2,4/4,7

Продолжение таблицы 3.15

Месторождение	Запасы, тыс. т	Глубина залегания		Глубина активной циркуляции, м	Глубина карьера (шахты), м	Тип вод по условиям циркуляции	Коэффициент фильтрации, м/сут	Водоприток, $м^3/ч$	Способ разработки	Система разработки	Производительность, тыс. т	Концентрация металлов Cu/Zn/Fe в рудничных водах, $мг/дм^3$
		нач.	кон.									
Баймакский и Сибайский рудные районы												
Нижняя залежь Сибайского месторождения	6419,4	300 – 400	750	124	525	Трещинные, трещинно-жильные	Изменяются по глубине от 0,018 до 0,05	359,5	Подземный	Поэтажное обрушение с торцевым выпуском	400	54,2/0,042/0,227
Камаганское		До 250	135	105	150	Трещинные, трещинно-жильные	Изменяются по глубине от 0,055 до 0,14	230	Открытый	С углубкой карьера	300	0,014/1,611/0,067
Бурибаевский рудный район												
Октябрьское	9700	50	542	н/д	н/д	Грунтово-поровые, трещинные	н/д	176	Подземный	Этажно-камерная с закладкой	218	16,0/18,0/37,5
Гайский рудный район												

Окончание таблицы 3.15

Месторождение	Запасы, тыс. т	Глубина залегания		Глубина активной циркуляции, м	Глубина карьера (шахты), м	Тип вод по условиям циркуляции	Коэффициент фильтрации, м/сут	Водоприток, $м^3/ч$	Способ разработки	Система разработки	Производительность, тыс. т	Концентрация металлов Cu/Zn/Fe в рудничных водах, $мг/дм^3$
		нач.	кон.									
Гайское	327000	100	1750	170	1532	Трещиногрунтовые воды	Изменяются по глубине от 1,3 до 0,24	310	Комбинированный	Этажно-камерная с закладкой	3800	0,369–1920/0,075–0,3/0,067–10080
Летнее	1200	н/д	н/д	141	140	Грунтово поровые, грунтово-трещинные, трещинно-жильные	0,19–0,2	54	Открытый	С углубкой карьера	200	5/1,2/2,5

Объем образующихся техногенных вод при сопоставимых производительностях рудников больше при подземной отработке месторождения. Зависимости между качеством вод и представленными гидрологическими и технологическими характеристиками не наблюдается. Качество вод зависит от совокупности характеристик.

К формированию агрессивных окислительных вод и переходу в раствор элементов, входящих в состав сульфидов полиметаллов и породообразующих минералов, приводит присутствие коломорфного пирита.

В зоне влияния горных выработок и техногенных образований образуются аномально кислые сульфатные воды, характеризующиеся увеличением концентраций халькофильных элементов самих окисляющихся сульфидов, (к ним относятся Fe, Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Ni, As, Mo, Se, Te) и элементов, переходящих в агрессивные кислые воды из пород: Al, Be, Si, Sc, Ga, Nb, Li, Cs и др.

В подотвальных водах ионорастворенная медь преимущественно находится в форме негидратированного иона Cu^{2+}, а цинк в форме Zn^{2+}. Доля меди в форме [CuOH+] возрастает в рудничных водах и её содержание сравнивается с содержанием меди в форме Cu^{2+} (таблица 3.16).

Таблица 3.16 — Распределение металлов в техногенных водах между ионной и взвешенной формами [114]

Наименование потока	pHpH	Eh, mV	Концентрация ионорастворенного металла, мг/дм (I)			Процентное соотношение металлов в растворенной (I) и во взвешенной (II) формах, %					
			Cu_{2+}	Zn_{2+}	$Fe_{общ}$	медьМедь		цинкЦинк		железоЖелезо общее	
						(I)	(II)	(I)	(II)	(I)	(II)
Подотвальные воды УГОК	3,32	434	69,01	170,47	288,00	94,65	5,35	99,48	0,52	36,20	63,80
Шахтные воды УГОК	3,57	256	12,00	142,50	117,60	93,17	6,83	98,91	1,09	45,15	54,85
Шахтные воды УГОК	6,20	157	29,30	103,00	19,20	91,55	8,45	97,12	2,85	47,26	52,74
Подотвальные воды месторождения «Тарньерское»	2,7	498	920,7	7956,5	8904,69	96,25	3,75	99,23	0,77	58,22	41,78
Подотвальные воды месторождения «Шемурское»	2,24	520	2091	8600	16512,83	98,17	1,83	99,23	0,77	64,3	35,7
Карьерные воды месторождения «Шемурское»	3,37	214	34,4	37,2	172,6	92,4	7,6	99,23	0,77	52,26	47,74

В таблице 3.17 приведен диапазон содержаний основных компонентов катионного и анионного составов и pH, как обобщенная характеристика рудничных и подотвальных вод горных предприятий Южного Урала.

Таблица 3.17 — Обобщенная характеристика рудничных и подотвальных вод горных предприятий Южного Урала [114]

Название характеристики (компонента)	Единицы измерения	Техногенные воды горных предприятий					
		Карьерные		Шахтные		Подотвальные	
		min	max	min	max	Min	max
pH	ед. pH	3,87	7,15	3,5	8,2	1,75	3,3
Взвешенные вещества	мг/дм^3	25,5	275,6	16,9	56,6	43,4	348,5
Сухой остаток	мг/дм^3	303,0	2660,7	595,5	4025,0	10000,0	35794,0
Сульфаты	мг/дм^3	111,38	1532,4	190,0	34770,0	2463,7	85364,2
Хлориды	мг/дм^3	18,17	115,8	44,12	1164,0	82,4	1773,0
Медь	мг/дм^3	0,014	67,4	0,001	1920,0	219,23	1308,4
Цинк	мг/дм^3	1,611	189,7	0,01	18,0	116,04	4818,9
Железо общее	мг/дм^3	0,067	240,3	0,067	10080,0	216,27	6920,0
Жесткость	мг-экв/дм^3	2,4	20,9	4,85	32,4	38,4	356,6

Из анализа геоэкологической обстановки в районах горнодобывающих предприятий следует, что формирующиеся рудничные и подотвальные воды представляют огромную экологическую опасность, поскольку загрязнены тяжелыми металлами, которые не ассимилируются биотой природных водоемов. Техногенные воды при отсутствии притока поверхностных и подземных вод с водосборных территорий в реки-водоприемники подлежат очистке до норм, которые приближаются к нормам ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения.

3.1.6 Воздействие при ликвидации

С прекращением деятельности горнодобывающего предприятия прекращается воздействие его на окружающую среду, в том числе:

1) изъятие полезных ископаемых из недр;

2) изъятие и нарушение земель;

3) выбросы загрязняющих веществ в атмосферу;

4) откачка и сброс сточных вод в гидросферу;

5) размещение вскрышной породы и отходов обогащения;

6) шум и вибрация от буровзрывных и других работ.

С этого времени проявляются последствия предыдущих стадий освоения месторождения:

1) при прекращении водоотлива поднимается уровень грунтовых вод;

2) выщелачивание химических компонентов, вымывание их из отвалов и миграция в водоносные горизонты;

3) поступление в атмосферу метана, продуктов сгорания углей и пород в отвалах;

4) активизация провалов, оседаний, оползней, промоин, эрозий, смыва, заболачивания;

5) вывод из пользования нарушенных земель.

Основные виды работ при ликвидации горных предприятий, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду:

1) консервация и ликвидация горных выработок;

2) демонтаж зданий и сооружений;

3) тушение хранилищ хвостов добычи и обогащения;

4) рекультивация нарушенных земель;

5) эксплуатация техники и оборудования.

При ликвидации возможно загрязнение атмосферного воздуха твердыми и газообразными веществами, размещение отходов от демонтажа зданий и сооружений, образование загрязненного поверхностного стока производственных вод в водные объекты.

Основные эмиссии этапа ликвидации:

1) выбросы газообразных и твердых загрязняющих веществ;

2) химизация среды за счет природного выщелачивания;

3) сбросы загрязненных вод;

4) размещение строительных отходов от демонтажа зданий и сооружений;

5) шум, вибрация, электромагнитное излучение.

3.1.7 Воздействие при рекультивации

Рекультивация имеет целью восстановление земель, нарушенных в процессе добычи и обогащения полезных ископаемых.

Основные виды работ, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду:

1) планировка, снятие, транспортирование и распределение почв и плодородных пород;

2) агротехнические и фитомелиоративные мероприятия по восстановлению плодородия;

3) эксплуатация техники и оборудования.

При выполнении рекультивационных работ возможно загрязнение атмосферного воздуха твердыми и газообразными веществами, переуплотнение и загрязнение почвы и грунтов в результате применения техники. Возможно самовозгорание углеродсодержащих пород и выброс в атмосферу газов и сажи. Может быть опасным физико-химическое воздействие при внесении минеральных и органических удобрений, а также привнесение нежелательных для среды видов флоры и фауны.

3.2 Обогащение руд цветных металлов

3.2.1 Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ

Источниками пылеобразования при обогащении руд являются:

1) дробильно-сортировочный блок с усреднительным складом и узлами перегрузки руды, организованные на открытой площадке. При использовании закрытых по-

мещений (павильонов) выбросы пыли происходят из системы аспирации (удаления пыли). Измельчение дробленых руд производят в водной среде без пылевой нагрузки на окружающую среду;

2) площадка для приготовления растворов реагентов, на которой образующиеся газы могут быть ядовитыми и легковоспламеняемыми, иметь неприятный запах (например, сероводород при растворении сернистого натрия и сульфгидрильных собирателей). Изготовление негашеной извести сопровождается выбросами углекислого газа, а гашеной — тепла и водяного пара.

3) процессы обогащения с использованием химических реагентов, в том числе требующие нагрева пульпы, что сопровождается выбросом газов — оксидов азота, углекислого газа, диоксида серы;

4) процессы кислотного и бактериального выщелачивания руд с выбросом в атмосферу углекислого газа и сероводорода;

5) процесс регенерации керамических фильтрующих поверхностей азотной кислотой, взаимодействующей с сульфидными минералами с образованием диоксида азота — ядовитого газа, оказывающего вредное влияние на окружающую среду и на здоровье человека;

6) сушка концентратов в нагреваемом мазутом барабане с выбросом дыма, пыли и диоксида серы;

7) склады товарных концентратов, узлы заполнения тары при отгрузке потребителю. При складировании, погрузке и транспортировке концентратов выбросы пыли дополняются выхлопными газами транспортных средств. При складировании концентратов в закрытых хранилищах выбросы ограничиваются выхлопными газами транспортных средств при погрузке и перевозке;

8) хвостохранилище может вызывать пылевые выбросы, загрязнение водоемов и распространять неприятный запах.

Под пылью подразумевают твердые частицы размером менее 0,1–0,5 мм. Под промышленной пылью понимают дисперсные системы, состоящие из тонких твердых частиц и воздуха (аэрозоль).

Пыль подразделяют на ядовитую и неядовитую. К первой группе относится пыль свинцовых руд, мышьяковая, ртутная, радиоактивная пыль урана, тория, теллура, асбеста и т. д., ко второй группе — пыль, содержащая свободную SiO_2 в ее кристаллической модификации (кварц, кристобалит, тридимит и др.). Дисперсный состав пыли зависит от ее вида, минералогического состава исходного материала и технологических процессов, выделяющих пыль. В таблице 3.18 приведен дисперсный состав пыли, взятой из воздуха в местах пересыпки руды из дробилки на конвейер.

Таблица 3.18 — Дисперсный состав пыли в воздухе на месте пересыпки руды из дробилки на конвейер

Количество пыли, мг/м^3	Число частиц пыли в 1 см^3 воздуха	Размер частиц, мкм			
		Содержание фракции, %			
		<1,2	1,2–4,8	4,8–9,6	>9,0
1138	36475	80,1	18,7	1,0	0,2
—	15120	76,3	23,4	0,3	Не обнаружено
979	17065	78,4	19,6	2,0	

Запыленность воздуха около работающего оборудования различна и зависит от свойств перерабатываемого сырья, его влажности, герметичности кожухов и укрытий оборудования, наличия местной аспирации и др. Запыленность воздуха при грохочении колеблется: от 20 до 150 мг/м^3. При отсутствии укрытий грохотов запыленность воздуха достигает 800–1000 мг/м^3, а с укрытиями — снижается в 5–10 раз. Большое количество пыли выделяется при работе вибрационных грохотов. При дроблении полезных ископаемых также происходит сильное пылевыделение. Особенно это относится к молотковым дробилкам, при работе которых внутри кожуха создается избыточное давление, равное 2–3 кг/м^2. При работе шаровых и стержневых мельниц, если измельчение происходит в сухом виде, также образуется большое количество пыли. Конусные и валковые дробилки работают с меньшим пылеобразованием. На ленточных конвейерах больше всего выделяется пыли в хвостовой и головной частях. Особенно сильное пылевыделение происходит в местах перепадов ископаемых. Таким образом, основными причинами образования пыли являются дробление и измельчение в процессе добычи минерального сырья, а также технологической обработки и транспортирования. Появление пыли в воздухе обусловливается работой технологического и транспортного оборудования и уборкой пыли.

В силу того, что хвостохранилища имеют большую открытую поверхность (десятки и сотни тысяч квадратных метров), сложенную мелкодисперсным пылящим материалом с различной крупностью частиц (пески, илы), оно является мощным приземным источником неорганизованного поступления загрязняющих веществ в атмосферу в результате:

1) загрязнения атмосферного воздуха за счет пыления;

2) загрязнения земель через ветровой унос пыли.

Пылению способствуют: расположенный выше уровня земли пляж хвостохранилища большой площади, сухая и ветреная погода, сухие борта ограждающих дамб и участки между дамбой обвалования и урезом воды пруда-отстойника. Запах (например, сероводорода) может исходить от возможных химических и биологических реакций, происходящих в пруде-отстойнике.

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха хвостохранилищ являются высохшие поверхности пляжей, намытых из несвязных грунтов и открытые поверхности ограждающих сооружений (гребни и откосы дамб и плотин) [41]. Наибольшую опасность представляют хвостохранилища, находящиеся в стадии наращивания. Опыт эксплуатации показывает, что обеспечить подводную укладку хвостов по всей площади хвостохранилища практически не удается. Поэтому даже в наливных хвостохранилищах по периферии образуются надводные пляжи, которые в сухую и ветреную погоду являются постоянными источниками пыли [79].

Поднимающаяся с поверхности пыль не только отрицательно влияет на санитарно-гигиенические условия жилых массивов и промышленныхпредприятий, но и на состояние окружающих сельскохозяйственных угодий, которые засоряются пылевидными материалами.

3.2.2Сбросы загрязняющих веществ в водные объекты

3.2.2.1 Общие положения

Источниками загрязнения водных объектов при обогащении являются отходы обогащения руд, складируемые в хвостохранилищах, жидкая фаза которых содержит химические вещества — флотационные реагенты, использованные при разделении минералов [89]–[114].

Уровень воды в хвостохранилище регулируют путем удаления воды (слива) из пруда через водосбросный колодец. Слив обычно направляют в отстойник, из которого воду после кондиционирования возвращают в оборот (при наличии оборотного водоснабжения) или очищают и сбрасывают в водоем или на рельеф местности.

Кроме планового регулируемого сброса сточных вод, через дамбу хвостохранилища может просачиваться инфильтрат. Для его сбора существует обводной канал, из которого воду возвращают в хвостохранилище или сбрасывают в водоем, если по своему качеству она пригодна для этого. Инфильтрация возможна в подземные воды через дно хвостохранилища, если оно не уплотнено искусственными противофильтрационными материалами (например, полимерное пленочное покрытие, бентонит, глиняный замок и т. п.), а грунт основания хвостохранилища является водопроницаемым.

Закисление вод и их загрязнение тяжелыми металлами негативно влияют на водные организмы, а также на хозяйственное и рекреационное использование вод.

Производственная деятельность обогатительной фабрики может быть причиной ухудшения состояния водных объектов и почв в результате утечки горюче-смазочных материалов с мест их хранения и при эксплуатации технологического оборудования.

3.2.2.2 Характеристика техногенных вод

По источникам и процессам обогащения техногенные воды можно разделить на следующие группы:

1) сточные воды основных технологических процессов обогащения — жидкая фаза концентратов и отвальных хвостов;

2) сточные воды вспомогательных технологических процессов обогащения — сливы сгустителей и водяной пар сушильных барабанов;

3) сточные воды процессов гидрообеспыливания, газоочитски и др.;

4) сточные воды от смыва полов и стен;

5) слив хвостохранилища;

6) сточные воды узла приготовления растворов химических реагентов;

7) сточные воды, образующиеся на территории промышленной площадки как результат инфильтрации атмосферных осадков (ливневые и талые воды с открытых промплощадок усреднения и складирования руд).

Колчеданные медно-цинково-пиритные руды (размещенные в основном на Южном Урале) являются наиболее труднообогатимыми. Для выделения из них товарных концентратов цветных металлов применяют сложные технологические схемы и большой набор флотационных реагентов. Причем удельный расход флотореагентов — главного источника загрязнения сточных вод — значительно превышает расход аналогичных химических веществ, используемых при обогащении, например, Cu-Ni- или Cu-Mo-руд. В результате сточные воды ОФ, перерабатывающих колчеданные руды цветных металлов, по своим химическим свойствам, концентрации металлов, макро- и микрокомпонентам значительно отличаются от вод природных водоемов — рек и озер [11], [14], [15].

Экологический ущерб от сточных вод определяется их попаданием в подземные и поверхностные воды.

Характеристика водной составляющей отвальных хвостов и техногенных вод горных предприятий Южного Урала приведены в таблицах 3.19, 3.20.

Использование сточных вод со сложным химическим составом в замкнутом водообороте через хвостохранилище сдерживается необходимостью:

1) очистки оборотных вод от индифферентных примесей;

2) очистки оборотных вод от специфически действующих ионов;

3) кондиционирования оборотных вод по содержанию органических примесей;

4) удаления растворенных газов;

5) кондиционирования ионного состава вод в хвостохранилище;

6) очисткой от твердых взвесей;

7) снижения сульфатной минерализации, приводящей к отложению гипса на оборудовании.

Таблица 3.19 — Характеристика водной составляющей отвальных хвостов [114]

№ п/п	Название характеристики, компонента	Единица измерения	Значение характеристики (содержание)			
			Александринская ОФ	Учалинской ОФ	Гайский ГОК	СФ УГОК
1	Водородный показатель pH		11,65–11,787	10,0–12,1	8,8–11,0	8,15–11,65
2	Взвешенные вещества	мг/дм^3	13–17	25,7–96,9	70	
3	Сухой остаток при t = 105 °C	мг/дм^3	944–1130	4242–6208	4423	29700–3422
4	Химическое потребление кислорода (ХПК)	мг/дм^3	н/д	236,7–345,0	н/д	н/д
5	Биологическое потребление кислорода (БПК)	мг/дм^3	н/д	128,0–312,5	н/д	н/д
6	Жесткость общая	ммоль-экв/дм^3	13,5–14,9	38,5–50,4	36,1	20,4–34,0
7	Нефтепродукты	мг/дм^3	0,03–0,07	0,0–0,07	0,58	
8	Хлориды	мг/дм^3	412,6–494,2	82,4–9100,3	49,5–251	187,8–205,6
9	Сульфаты	мг/дм^3	1620–1800	1727,9–2551,9	1845,1–2023,2	1106,6–1535,6
10	Азот аммонийный	мг/дм^3	0,09–0,19	0,22	н/д	н/д
11	Железо общее	мг/дм^3	0,13–0,25	0,1–3,19	0,45	0,26–0,158
12	Cu	мг/дм^3	0,014–0,024	0,011–0,099	0,16–0,0044	0,025–0,095
13	Zn	мг/дм^3	0,2–0,06	0,016–12,613	0,063–0,00	0,34–0,35
14	Kx	мг/дм^3	н/д	0,025–0,353	0,036	
15	Mn	мг/дм^3	<0,05	н/д	0,002	0,049–0,018

Таблица 3.20 — Техногенные воды горных предприятий Южного Урала [114]

Показатель	АО «Учалинский ГОК»			Сибайский филиал АО «УГОК»		ОАО «Бурибайский ГОК»	
	Отвальные хвосты обогатительной фабрики	Отстойный пруд	Дренаж хвостохранилища	Слив медного сгустителя	Промливневые воды	Слив медного сгустителя	Хвостохранилище Бурибаевского РУ
Сухой остаток, мг/дм^3	5225	2142,0	7248	872,0	2431,0	800,0	н/д
Сульфаты, мг/дм^3	1582,2	1130,0	4124,2	149,0	167,9	226,0	1004,0
Хлориды, мг/дм^3	105,3	215,0	84,2	355,0	651,9	3,5	1857,6
Медь, мг/дм^3	0,013	0,3	20,6	15,0	0,029	11,42	491,67
Цинк, мг/дм^3	2,2	2,6	172,6	2,08	0,842	1,17	73,6
Железо, мг/дм^3	н/д	0,1	53,5	4,2	0,083	0,64	112
pH	11,5	7,5	3,3	11,4	7,700	10,9	2,8
Жесткость, мг-экв/дм^3	н/д	н/д	47,4	318,0	15,90	н/д	н/д
$C_{Cu(II)}/C_{Zn(II)}$	0,005	0,115	0,12	7,8	0,034	9,76	6,4

Источником водоснабжения Гайской ОФ являются оборотная вода из хвостохранилища, свежая вода из артезианских скважин и шахтная вода. Кроме того, на фабрике существует внутренний водооборот: условные чистые стоки главного корпуса, дробильного отделения и слив медного сгустителя используются в обороте, минуя хвостохранилище.

Хвостохранилище Гайской ОФ расположено в 1,5 км от фабрики в логу, суженная часть которого перегорожена дамбой. Хвосты фабрики самотеком транспортируются до насосной станции, оттуда подаются в хвостохранилище. Чаша хвостохранилища распределительной дамбой разделена на две части, предназначенные для раздельной укладки пиритных и беспиритных хвостов. Обе части хвостохранилища имеют самостоятельные сливные сооружения (колодцы и коллекторы). Осветленная вода по коллекторам поступает в сборный резервуар насосной станции оборотного водоснабжения. Дренирующие через дамбу хвостохранилища воды улавливаются специальными устройствами и отводятся в тот же резервуар оборотной воды.

В систему оборотного водоснабжения входят сборный резервуар оборотной воды, насосная станция, трубопроводы от насосной станции до водонапорной башни и далее до разводящего водопровода в главном корпусе.

Шахтные воды имеют высокое содержание растворенной меди (до 360 мг/л). Они поступают на станцию очистки, где медь извлекается цементацией. Извлечение меди достигает 90%. Хвосты после цементации поступают в отстойник кислых вод, оттуда кислые воды идут в хвостохранилище для нейтрализации щелочных стоков Гайской ОФ.

На фабрике используется 60 % оборотной, 10 % — 15 % шахтной и около 30 % свежей воды.

Часть слива хвостохранилища сбрасывается во внутренний отстойный пруд и после дополнительного отстаивания и естественной очистки направляется в р. Ташкут.

Оборотная вода фабрики характеризуется высоким содержанием растворимых солей (по сухому остатку 4554 мг/л). Это главным образом сульфат (2553 мг/л) и хлорионы (498 мг/л). Содержание кальция составляет 760 мг/л, что превышает предел растворимости сульфата кальция. Ксантогенат в оборотной воде отсутствует, это дает основание полагать, что в отстойном пруду хвостохранилища воды выдерживаются достаточное время для полного разложения этого реагента. Шахтные воды даже после цементации имеют высокое содержание растворимых солей (22 382 мг/л), в том числе ионов тяжелых металлов, мг/л: Cu — 32, Zn — 558, Fe — 3827 при pH 2.

Смешение шахтных вод со стоками фабрики для нейтрализации позволяет, с одной стороны, снизить pH оборотной воды, подаваемой на ОФ, с другой — очистить шахтные воды от ионов тяжелых металлов.

Количественное распределение стоков и содержание примесей в них зависит от технологической схемы обогащения, состава и типа перерабатываемых руд. Распределение примесей в стоках обогатительных фабрик, перерабатывающих полиметаллические руды, приведено в таблице 3.21.

Таблица 3.21 — Распределение стоков и примесей в них на фабриках, перерабатывающих полиметаллические руды, %

Стоки	Доля в общем потоке	Твердые взвеси и коллоиды	Индиф-ферентные ионы	Специфически действующие ионы	Органические соединения
Хвосты флотации	79–85	95–99	78–96	4–10	40–60
Сливы сгустителей	3–20	3	3–20	90–96	40–60
Прочие воды	1–2	2	1–2	0	0

На Кличкинской ОФ перерабатывают свинцово-цинковые руды. Обогащение ведется по схеме прямой селективной флотации с получением свинцового и цинкового концентратов. Применяются реагенты: цианид, цинковый купорос, ксантогенат, известь, медный купорос, вспениватель Т-66.

Источником водоснабжения фабрики является вода из скважин.

Сточные воды фабрики состоят из хвостов фабрики и сливов сгустителей. Количество последних составляет 2 % — 3 %.

Составы всех стоков фабрики существенно не отличаются друг от друга: общая минерализация даже слива хвостохранилища приближается к промышленным водам из водоисточников. Кроме того, за время нахождения стоков в хвостохранилище концентрация отдельных примесей значительно снижается, например цианида на 40 % — 50 %, меди на 60 %, цинка на 40 % — 60 %.

Сложность в использовании слива хвостохранилища в качестве оборотной воды связана с накоплением вспенивателя. В свинцовом цикле флотации наблюдалось значительное пенообразование без дополнительной подачи вспенивателя в процесс. Цинковый цикл — при соответствующей корректировке реагентного режима не нарушался.

С целью разработки схемы кондиционирования воды были проверены следующие методы очистки от вспенивателя: окисление хлором и аэрацией, адсорбция активированным углем. Наиболее эффективным оказался метод адсорбции активированным углем при подаче его в перечистные операции свинцовой флотации.

Остаточная концентрация вспенивателя Т-66 в оборотной воде так велика, что при работе на оборотной воде даже при расходе угля 1000 г/т руды наблюдалось обильное пенообразование, при этом качество концентрата резко падало (содержание свинца в свинцовом концентрате снизилось с 50 % до 5,8 %).

Без снижения технологических показателей обогащения в свинцовом цикле возможно использовать 30 % оборотной воды, а цинковая флотация удовлетворительно проходит и при 100%-ном обороте воды.

Если в процесс подавать 150–200 г/т активированного угля, количество оборотной воды можно довести до 70 %.

Источником водоснабжения Центральной ОФ Дальневосточного ГОКа являются р. Тетюхе и Нежданкинское водохранилище, находящееся на р. Нежданке (приток р. Тетюхе).

На фабрике сливы сгустителей концентратов направляются в собственные циклы флотации, что снижает общий расход воды на 3 % — 5 %. Содержание в сливе хвостохранилища практически всех примесей значительно выше, чем в свежей воде. Содержание роданидов увеличивается практически на 3, меди — на 0,55 мг/л, увеличи-

вается содержание кальция и магния, сульфат-ионов. Окисляемость повышается с 3,13 до 8,8 мг O_2/л. Количество растворенного кислорода снижается с 10,6 до 7,1 мг/л, обнаруживаются нефтепродукты и ксантогенаты, увеличивается pH стоков.

Источником водоснабжения Мизурской ОФ, перерабатывающей свинцово-цинковые руды, является р. Бад (правый приток р. Ардон). Вода на фабрику поступает самотеком.

Слив коллектора хвостохранилища, сбрасываемый в реку Сулар-Дон (приток р. Ардон), содержит, мг/л: цианидов — 8,2, свинца — 3,25, цинка — 0,5, что значительно превышает предельно допустимые санитарные нормы.

Использование шахтных вод и сливов сгустителей в собственном цикле (70 % оборотной воды) позволяет удержать технологические показатели обогащения практически на уровне показателей, полученных на свежей воде.

При обогащении норильских медно-никелевых руд в хвостохранилище «Лебяжье» поступают технологические стоки с хвостами переработки руд Норильской и Талнахской обогатительных фабрик, сливы сгустителей концентрата, вода с очистных сооружений Медного завода и естественный паводок. Основными загрязнителями стока являются органические флотореагенты, применяемые при обогащении руды, а также тяжелые металлы. Состав стоков, направляемых в хвостохранилище «Лебяжье», в чаше пруда доочистки стоков приведен в таблице 3.22.

Таблица 3.22 — Сточные при обогащении норильских медно-никелевых руд (х/х «Лебяжье»), мг/л *

Наименование	Единица измерения	Значение
Взвешенные вещества	мг/дм^3	36
Сухой остаток	мг/дм^3	5639
Сульфаты	мг/дм^3	3427
Хлориды	мг/дм^3	512
Железо общее	мг/дм^3	5
Никель	мг/дм^3	0,26
Натрий	мг/дм^3	1313
Свинец	мг/дм^3	0,021
Бутилксантогенат	мг/дм^3	3,494
Дибутилдитиофосфат	мг/дм^3	2,101
БПК полное	мг/дм^3	6
ХПК	мг/дм^3	30
* Техническое задание на выполнение ОТР по теме: «Разработка технологии очистки сточных вод по выпуску № 26 Норильской обогатительной фабрики», 2016		

Оборотная вода с х/х «Лебяжье» в настоящее время используется на основной площадке Норильской ОФ в технологическом процессе. Требования к качеству регламентированы стандартом предприятия (таблица 3.23).

Таблица 3.23. — Требования к составу стоков при флотации медно-никелевых руд *

Наименование компонента	Единицы измерения	х/х «Лебяжье»
		СТП 44577806.14.52–2–34–2009
pH	ед.	От 6,5 до 10 включ.
Плотность	г/см^3	Не более 1,002
Щелочность: свободная	мг-экв/дм^3	Не более 1,5
Общая	мг-экв/дм^3	Не более 3,5
Сухой остаток	г/дм^3	Не более 8,5
Остаток после прокаливания	г/дм^3	Не более 7,5
Содержание ионов кальция	г/дм^3	Н более 0,7
Содержание ионов магния	мг/дм^3	Не более 50
Содержание хлорид-иона	г/дм^3	Не более 0,75
Содержание тиосульфат-иона	г/дм^3	От 0,3 до 0,6 включ.
Содержание сульфат-иона	г/дм^3	От 2,4 до 3,8 включ.
Содержание орг. соединений (нефтепродукты)	мг/дм^3	Не более 8,0
Содержание бутилового ксантогената калия	мг/дм^3	Не более 1,5
Содержание бутилового аэрофлота	мг/дм^3	Не более 2,5
Содержание вспенивателя (Т-92)	мг/дм^3	Не более 3,0
Содержание ДМДК	мг/дм^3	Не более 1,5
Содержание взвешенных частиц	г/дм^3	Не более 0,5
* Техническое задание на выполнение ОТР по теме: «Разработка технологии очистки сточных вод по выпуску № 26 Норильской обогатительной фабрики», 2016.		

Загрязняющие вещества можно разделить на следующие группы:

1) растворенные неорганические вещества, определяющие повышенное солесодержание воды (сульфаты, хлориды и пр.);

2) специфические органические загрязняющие вещества (бутилксантогенат, дибутилдитиофосфат);

3) тяжелые металлы (никель, свинец, железо).

Для сброса воды в приемник культурно-бытового назначения необходимо снизить солесодержание стоков с 5,6 до 1 г/л с применением, например, обратного осмоса, ионного обмена, электродиализа, выпаривания. Данные методы обессоливания позволяют также снизить содержание тяжелых металлов в воде.

Снижение концентрации специфических органических загрязнителей в сточных водах можно обеспечить различными методами очистки: химическими (окисление реагентами), физическими (отделение на обратноосмотической мембране) и физико-химическими (окисление (перекисью водорода) с физической активацией процесса УФ-облучением, коагуляция, сорбция).

3.2.3 Размещение отходов обогащения руд

Горнодобывающая промышленность России является главным источником образования промышленных твердых отходов в стране. Оценки количества образующихся и накопленных твердых отходов в горнодобывающей промышленности, их доли в общем количестве ПТО в различных источниках не совпадают и колеблются в значительных пределах [115]. По мнению разных авторов, в России ежегодно образуется от 2,45 до 4,76 млрд. т. отходов добычи и обогащения, а в отвалах и хранилищах горнодобывающей отрасли страны накоплен 1 млрд. т твердых отходов. Считается, что в этой отрасли образуется и накапливается 85 % — 90 % всех промышленных твердых отходов страны [115].

Эти сведения не совпадают с сообщениями Саймона Пау — руководителя группы проекта «Поддержка деятельности в области обращения с отходами в России» в рамках программы «Тасис», финансируемой Европейским союзом и проведенной с целью оказания содействия Министерству природных ресурсов России в постепенном создании комплексной системы обращения с отходами. По мнению С. Пау, годовой объем образования отходов в России составляет 7 млрд. т, из которых 2 млрд. т (29 %) используются повторно и/или перерабатываются. [115]. Эти данные совпадают со сведениями В. Ф. Протасова [116], что неслучайно, так как В. Ф. Протасов использует данные, характеризующие максимально возможные объемы образования твердых отходов в России.

Отходы горно-обогатительного производства негативно воздействуют на окружающую среду и обусловливают существенные затраты, связанные с содержанием хвостохранилищ, требуют изъятия из хозяйственного оборота значительных земельных площадей, необходимых для ведения горных работ, на удаление и хранение отходов затрачивается в среднем от 5 % до 8 % стоимости производимой продукции.

Отходы обогащения колчеданных руд цветных металлов нецелесообразно вторично использоваться в качестве строительных материалов, поскольку они содержат металлы и сернистые соединения, со временем ослабляющие прочность конструкций.

Расположенные вблизи урбанизированных территорий отходы обогащения приводят к серьезному ухудшению состояния окружающей среды, что отрицательным образом сказывается на социально-экономической и санитарно-эпидемиологической обстановке в регионе.

Наибольшее количество отходов накоплено в регионах с развитой горнодобывающей и металлургической промышленностью (Урал, Приморский край, Мурманская, Белгородская, Кемеровская, Тульская области). Ежегодно их накопление на промплощадках предприятий цветной металлургии составляет 374 млн т. Только на территории Свердловской области на 188 техногенно-минеральных объектах складировано свыше $8{,}5 \cdot 10^9$ т отходов добычи и переработки различных полезных ископаемых, в том числе $1{,}7 \cdot 10^9$ т отходов обогащения руд, из которых только 10 % вовлекается в последующее производство.

В хвостах обогащения полиметаллических руд теряется, % отн.: 31,64–80,36 Mo; 6,36–18,57 Cd; 14,64–81,48 In; 67,78- 97,87 Ga; 69,37–92,48 Ge; 51,09–95,88 Tl; 18,67–80,29 Sb; 22,93–57,38 Se; 52,25–94,09 Te; 71,75–93,66 Re; 39,88–83,58 Bi; 58,01–78,27 Hg. В случае организации пиритной флотации можно значительно повысить извлечение Se (от 10 % до 47 %), Te (от 5 % до 22 %) и в той или иной степени (от 5 % до 15 %) извлечение ряда других компонентов (In, Tl, Bi и др.).

При обогащении медных руд извлечение Mo, Cd, Sb, Se, Te, Re колеблется в достаточно широком диапазоне значений. Практически полностью остаются в хвостах флотации In, Ga, Ge, Tl, Bi, Hg. В хвостах обогащения медных руд теряется, % отн.: 28,72–92,59 Mo; 22,54–92,08 Cd; 79,09–97,31 In; 81,42–99,54 Ga; 92,08- 98,44 Ge; 92,08–98,35 Tl; 56,49–96,88 Sb; 6,28–49,33 S; 43,43–99,54 Se; 73,24–97,00 Te; 47,88–96,18 Re; 89,59- 97,15 Bi; 89,44–99,9 Hg.

Хвосты обогащения состоят в основном из содержащихся в руде породообразующих минералов и рудных минералов в виде сростков сульфидов меди, свинца, цинка и железа. Они складируются в хвостохранилища для хранения. В хвостохранилище сростки сульфидов подвергаются выветриванию и выщелачиванию. Причем эти процессы в хвостохранилище из-за мелкого размера частиц отходов идут более интенсивно, чем во вскрышной породе, не подвергнутой вскрытию измельчением и обработке химическими реагентами.

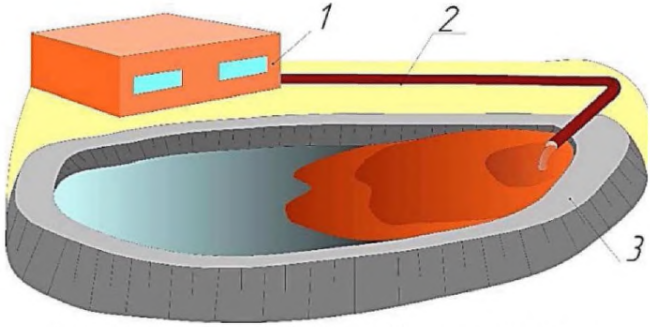
Экологическая ситуация, обусловленная добычей минерального сырья и размещением отходов более чем на 25 % территории Уральского экономического района, оценивается как кризисная. Несколько меньше площади таких земель в Южном Приморье, Ханты-Мансийском АО, Тюменской области, Красноярском крае и других районах интенсивной добычи и переработки полезных ископаемых. В значительной мере с отходами связана оценка состояния водных ресурсов как «грязное» и «очень грязное» таких рек, как Лена, Амур, Обь, Алдан, в бассейнах которых нарушенные и загрязненные территории занимают более 10 %.

Накопленные отходы, представляя экологическую опасность, тем не менее несут в себе значительную ресурсную ценность: среднее содержание меди в хвостохранилищах составляет 0,37 %, цинка — 0,39 %, серы — 21,9 %. Это зачастую выше бортового их содержания на многих, вновь вовлекаемых в разработку месторождений. В соответствии с программой переработки техногенных образований Свердловской области, утилизировано более $44 \cdot 10^6$ т различных отходов, в том числе $26{,}2 \cdot 10^6$ т отходов добычи и обогащения руд с реализацией продукции на сумму свыше $13 \cdot 10^9$ руб.

Отходы обогащения руд характеризуются измененными физико-механическими и физико-химическими свойствами минералов, представлены агрессивной пульпой, насыщенной флотационными реагентами и имеющей pH среды 10–11, с процентным содержанием твердого в среднем 20 %.

Отходы переработки также размещают как на поверхности, так и в недрах Земли.

Складирование текущих отходов переработки наиболее труднообогатимых медноколчеданных руд, имеющих 4 класс опасности, осуществляют без предварительной подготовки в специально построенные поверхностные емкости — хвостохранилища. Классическим является складирование в хвостохранилища намывного типа. Заключается в перекачивании хвостовой пульпы по трубопроводам на специально подготовленную площадку, огражденную дамбой, — хвостохранилище. Способ отличается наименьшей стоимостью складирования, но требует строительства дамбы, способной выдержать напор отходов (см. рисунок 3.1).



1 — обогатительная фабрика; 2 — пульпопровод;
3 — дамба наливного хвостохранилища

Рисунок 3.1 — Укрупненная технологическая схема складирования хвостов обогащения в хранилища намывного типа

Гидравлический способ размещения текущих хвостов переработки руд без предварительной подготовки в емкость хвостохранилища, расположенного в непосредственной расчетной близости от обогатительной фабрики (ОФ) и карьера, наиболее распространен в отечественной и мировой практике работы обогатительных производств. Это объясняется тем, что данная технология:

1) проста в исполнении и менее затратна в плане механизации;

2) достаточно отработана и имеются апробированные многолетним опытом решения по формированию и эксплуатации хвостохранилищ различного типа. Так, например, осуществляется складирование отходов на Учалинском, Сибайском, Бурибаевском ГОКах, а также на обогатительных фабриках Канады, США, Японии, Австрии и др.

3) позволяет обеспечить отстой технологических вод и их возврат в оборотную сеть водоснабжения обогатительной фабрики (ОФ).

Основным недостатком такого способа размещения отходов является повышенная экологическая опасность эксплуатации поверхностных хвостохранилищ, так как при их формировании и функционировании происходит загрязнение воздуха, подземных и поверхностных вод, почвенного покрова на обширных территориях. На долю пылящих поверхностей сухих намывных пляжей, откосов дамб и плотин приходится 54 % от общего количества выбросов горного предприятия. Приконтурные пляжи мелкодисперсного песка являются мощным источником пыли, которая в жаркое и сухое время года переносится воздушными потоками при скорости более 2 м/сна окружающие территории, оседая в городах, полях и на сельскохозяйственных угодьях. Пылевые потоки загрязняют плодородную почву металлами и ухудшают экологическое состояние воздушного бассейна в горнодобывающем регионе. Поэтому проблема предотвращения пыления хвостохранилищ требует эффективных технических решений.

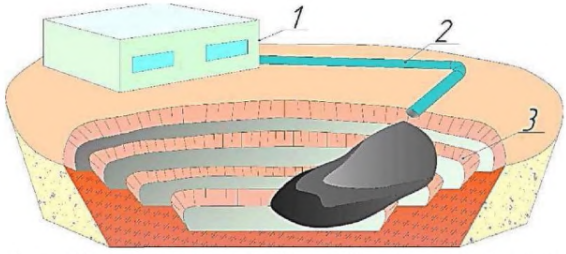
Частичным решением проблемы пыления является использование технологии наливных хвостохранилищ, когда вся площадь хвостохранилища покрыта водой. Однако реализация такой технологии требует значительного водного ресурса, что само по

себе наносит экологический ущерб подземной водной среде и к тому же требует весомых материальных средств на реализацию.

Из оценки негативных факторов размещения обводненных хвостов на поверхности следует, что организация хвостового хозяйства на горнодобывающих предприятиях связана со значительными затратами на постоянное наращивание дамб хвостохранилищ. Кроме того, поверхностное складирование огромных объемов агрессивного техногенного сырья, содержащего тяжелые металлы, влечет уничтожение естественной природной среды региона, как на отчужденной под хвостохранилище территории, так и на прилегающем почвенном покрове и в водных системах. Весьма высоко негативное влияние таких образований на экологическую обстановку урбанизированных районов и здоровье населения. Значительна вероятность возникновения нестабильной гидротехнической ситуации в регионе добычи и угрозы прорыва дамб. Оценить весь масштаб воздействия весьма сложно. Существующие методики нормирования допустимых концентраций загрязняющих веществ в сбросах и выбросах хвостохранилищ не учитывают всех совокупных факторов, влияющих на условия жизнедеятельности в регионах добычи и переработки минерального сырья.

С ужесточением экологических платежей за складирование отходов, в сумме составляющую до 15 % затрат на добычу и переработку руд, для предприятий особо актуальным стал вопрос размещения пород вскрыши, от проходки горных выработок, тонкодисперсных отходов обогащения руд в выработанном пространстве недр.

На отечественных и зарубежных предприятиях (Высокогорском, Гайском и других ГОКах) применяют технологию размещения (намыва) отходов обогащения руд без предварительной подготовки в отработанных пространствах карьеров под защитой возведенного искусственного массива. В этом случае карьер выполняет роль поверхностного хвостохранилища (см. рисунок 3.2).



1 — обогатительная фабрика; 2 — пульпопровод;
3 — выработанное карьерное пространство

Рисунок 3.2— Укрупненная технологическая схема утилизации отходов переработки руд в выработанном пространстве карьера

Недостатками этого варианта утилизации являются:

1) низкая производительность по твердому;

2) возможность залпового прорыва пульпы в подземные горные выработки;

3) огромные затраты на возведение барьерного целика и гидроизолирующих перемычек, а также на откачку воды;

4) экологические проблемы — испарение воды, насыщенной реагентами, с поверхности хранилища, гипергенез и техногенез отходов переработки, ведущие за собой потери ценных компонентов.

По современным оценкам, на Южном Урале площади по отводу земли под хвостохранилища занимают более 503,7 га и имеют устойчивую тенденцию к увеличению, при ежегодном приросте текущих отходов до 15 млн т хвостов (см. таблицу 3.24).

Таблица 3.24 — Характеристики хвостохранилищ обогатительных фабрик Урала [81]

Наименование показателя	Сибайская ОФ		Учалинская ОФ	Бурибайская ОФ	Гайская ОФ
	новое	старое			
Площадь по отводу земли, га	146,2	23,5	113	31	190
Период эксплуатации, лет	1966–2005	1959–1966	1969–2010	1942–1970, 1971-наст. вр	-
Ориентировочные запасы, млн т.	14	4,5	40,8	5,5	40
Содержание основных элементов, %					
Медь	0,2	0,24	0,22	0,45	0,3
Цинк	0,25	0,43	0,63	0,21	0,23

Хвостохранилища являются объектами повышенной экологической опасности. Совокупность негативных явлений, влияющих на экологическое состояние среды, проявляется в следующих факторах: загрязненность воздушного бассейна (с поверхности площадью 1000 га порыв ветра может снести около 60 000 м^3 песков); высокая агрессивность техногенных вод, их насыщенность реагентами и продуктами гипергенного разложения отходов обогащения в процессе хранения; токсичность вод и высокая вероятность аварийных ситуаций на объектах, входящих в состав хвостовых хозяйств.

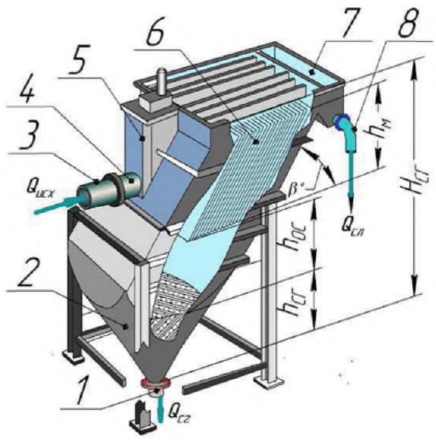
При прорыве дамб возникают серьезные техногенные аварии, сопровождающиеся растеканием уложенного в сооружение токсичного материала и загрязненных вод. Аналогичная ситуация наблюдается и в мировой горной практике.

Качественной и принципиальной новой является идея замены существующего подхода к складированию отходов в хвостохранилищах на их размещение в карьерном и подземном пространстве. В большинстве развитых стран законодательство не позволяет размещать отходы обогащения в местах, где они могут нанести вред окружающей среде и живой природе, что существенно повышает стоимость процессов управления отходами и обязует недропользователей отказаться от складирования хвостов обогащения руд путем придания им дополнительных полезных свойств.

Складирование хвостов в выработанном пространстве рудников позволяет избежать необходимости отвода дополнительных территорий для строительства хвостохранилищ и способствует рекультивации нарушенных земель. Такая технология характеризуется невысокими затратами при отсутствии риска прорыва хвостохранилищ. Однако для устранения проблемы возможного загрязнения грунтовых вод требуется проводить обезвоживание хвостов.

Перспективные и широкоприменяемые технологии размещения отходов обогащения руд разработаны с появлением нового класса оборудования для обезвоживания

текущих отвальных хвостов до состояния пасты — пластинчатых (см. рисунок 3.3) и пастовых (см. рисунок 3.4) сгустителей.



1 — разгрузочный патрубок; 2 — бункер накопитель; 3 — загрузочный трубопровод, 4 — входной патрубок; 5 — приемная емкость; 6 — наклонный модуль; 7 — сливной лоток; 8 — патрубок верхнего слива; $Q_{исх}$ — расход пульпы на входе в сгуститель; $Q_{сг}$ — расход сгущенной смеси; $Q_{сл}$ — расход осветленной воды; $h_{ос}$ — высота зоны осветления; $h_{сг}$ — высота зоны сгущения; $H_{сг}$ — высота сгустителя; β — угол наклона модуля пластин

Рисунок 3.3 — Общий вид и параметры пластинчатого сгустителя

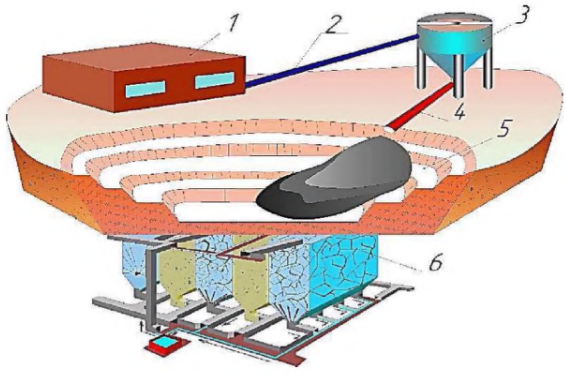


Рисунок 3.4 — Общий вид пастового сгустителя

Технология пастовой закладки позволяет использовать выработанное пространство карьера, в том числе при комбинированной геотехнологии, в качестве емкости для складирования отходов обогащения руд. Минимальное выделение воды из пастовой

закладочной смеси снижает риск затопления участка ведения подземных работ под дном карьера, что позволяет проводить рекультивацию его выработанного пространства на этапе развития подземных горных работ.

Особенность технологии размещения текущих хвостов обогащения руд в выработанное горное пространство состоит в том, что они подаются в карьерное или подземное пространство в виде продукта, обезвоженного (сгущенного) до состояния пасты (процент твердого около 70 %), а для изоляции сооружается искусственный массив требуемой мощности. Также для защиты от затопления подземных выработок, имеющих связь с карьером, необходимо строительство водонепроницаемых перемычек (ВНП), обеспечивающих возможность откачки технологических вод, предотвращающих прорыв воды и жидкой пульпы хвостов в подземные выработки рудника. Реализация данной технологии сопряжена с увеличением водопритоков в подземные выработки, что требует установки дополнительных насосных установок в подземном руднике и плавучих насосных станций в образующихся в карьере прудках отстоя воды (см. рисунок 3.5).



1— обогатительная фабрика;2 — пульпопровод; 3 — пастовый сгуститель; 5 — выработанное пространство карьера; 6 — подземные горные выработки.

Рисунок 3.5 — Принципиальная технологическая схема размещения пастообразных хвостов в выработанном пространстве карьера при комбинированной геотехнологии

Использование отработанных карьеров для внутреннего отвалообразования является примером комплексного подхода к освоению участков недр Земли. Данный способ применяется для решения проблем сокращения затрат на транспортирование вскрышных пород и уменьшения изъятых территории на поверхности Земли для размещения отходов добычи полезных ископаемых

Использование выработанного пространства карьеров для размещения промышленных отходов различных отраслей промышленности позволит решить проблему изъятия земель, в том числе сельскохозяйственного назначения, необходимых под строительство специализированных полигонов.

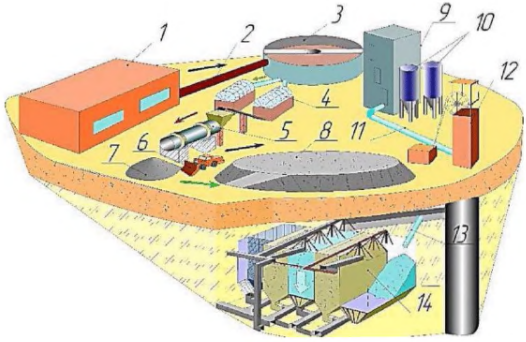
Свою особенность имеет размещение хвостов обогащения в выработанном подземном пространстве. Организация такого способа утилизации требует для своей реа-

лизации двух условий — баланса объемов подземных пустот и складируемых отходов, наличия известных технологий размещения этого вида отходов в подземном пространстве [10]–[13]. Первое условие связано с состоянием выработанного пространства. При системах с открытым очистным пространством существует потенциальная возможность последующего погашения пустот путем заполнения отходами производства.

При системах с закладкой выработанного пространства используют отходы переработки руд как при формировании несущих массивов, так и в качестве сыпучей закладки [46]. Ограничения в полном использовании хвостов для закладки подземного выработанного пространства создает их шламовая часть. Преодолевают это ограничение путем совершенствования способа подачи техногенной смеси в выработанное подземное пространство, используя добавки, связывающие воду и шламовую часть, соответствующим образом подготавливая закладочную массу. Используют механическую или пневматическую подачу обезвоженных материалов, гидравлическую подачу тиксотропных смесей.

Одна из наиболее распространенных схем утилизации текущих хвостов обогащения в выработанном подземном пространстве — это пастообразная закладка выработанного пространства рудника с установкой узла обезвоживания на дневной поверхности. Данная технология предусматривает строительство узла обезвоживания на промплощадке подземного рудника, строительство гидроизоляционных перемычек. Преимуществом данной технологии является отказ от складирования текущих хвостов в хвостохранилища, снижение экологической нагрузки на окружающие территории, использование оборотной воды. Основным недостатком являются высокие затраты на строительство комплекса обезвоживания, подземного закладочного комплекса (ПЗК), на транспортирование пастообразной закладочной смеси.

На рисунке 3.6 приведена принципиальная технологическая схема утилизации в выработанном подземном пространстве обезвоженных до влажности 8 % хвостов обогащения.



1 — обогатительная фабрика; 2 — пульпопровод; 3 — радиальный сгуститель; 4 — дисковые вакуум фильтры; 5 — барабанная сушилка; 6 — погрузочно-доставочная машина; 7 — высушенный кек; 8 — отвал; 9 — поверхностный закладочный комплекс; 10 — цементные силоса; 11 — закладочный трубопровод; 12 — копер; 13 — приемная воронка; 14 — закладываемое подземное пространство

Рисунок 3.6 — Технологическая схема утилизации полностью обезвоженных хвостов обогащения в выработанном пространстве подземных камер

Данная технологическая схема применялась на Учалинском ГОКе при подготовке текущих хвостов обогащения для их дальнейшей утилизации в шахте.

Альтернативным вариантом утилизации обводненных тонкодисперсных отходов обогащения в шахте является — размещение узла обезвоживания непосредственно в недрах Земли, особенно когда фабрика находится на значительном расстоянии от подземных выработок (например, Эльконский ГМК). Размещение оборудования для обезвоживания в недрах Земли является инновационным направлением, позволяющим: транспортировать пульпу по горизонтальным выработкам на дальние расстояния; складировать вредные токсичные вещества непосредственно в недрах; высвободить площади земель, занимаемых под размещение отходов обогащения; освоить объемы подземного пространства; вовлекать хвосты обогащения для приготовления закладочных смесей вблизи закладываемых камер; исключить капиталовложения на строительство ПЗК и узла обезвоживания на поверхности. Естественно, при реализации данной технологии необходимо увеличение мощности насосов для оборотного водоснабжения и откачки воды на фабрику.

Для рудных месторождений распространение получила засыпка внутреннего пространства располагающихся вблизи отработанных карьеров. Такой способ использования выработанного пространства применен на карьере «Старый Сибай» Башкирского медно-серного комбината, Юго-восточном участке карьера «Объединенный» на Учалинском ГОКе, карьерах объединений «Южуралникель», «Севбокситруда», Донского ГОКа и др.

При системах с открытым очистным пространством и с закладкой выработанного пространства существует потенциальная возможность последующего погашения пустот путем заполнения их отходами производства. При системах с закладкой возможно

использование отходов, как при формировании искусственных твердеющих массивов, так и в качестве закладочных материалов.

Вовлечение отходов добычи и обогащения руд в производство твердеющих закладочных смесей является важным направлением по пути к сокращению объемов накопления отходов.

Твердеющая закладка получила широкое применение благодаря своему основному преимуществу — возможности создания монолитного массива необходимой прочности. Широкое применение данной закладки сдерживает только экономический фактор. С повышением на мировом рынке цены на продукцию горной промышленности и с использованием в составе закладочной смеси более дешевого вяжущего стало возможным применение данного способа закладки и при добыче низкоценного сырья. Твердеющая закладка на основе отходов добычи так же применяется на Бурибаевском, Гайском и Красноуральском ГОКах.

Для собственных нужд Учалинского ГОКа на базе отвалов диабазового камня действует дорожно-строительное производство, производящее фракционированный щебень марки «1100–1200» и дробленый песок марки «700–800», для приготовления 1 $м^3$ закладочной смеси используют 1400–1600 кг диабазовых пород. За год для закладки выработанного пространства Учалинской шахты и производства строительных работ используют от 600 до 850 тыс. $м^3$ диабазового камня в год.

Обязательным условием для применения твердеющей закладки является, помимо наличия в отходах обогатительной фабрики минералов Са, Mg и А1, содержание тонкого класса крупности около 50 % — 70 % класса -74 мкм.

Хвосты обогащения Сибайской обогатительной фабрики складированы в двух хвостохранилищах — старогоднем, площадью 23,5 га, законсервированном в 1965 г и новом, состоящим из трех отсеков общей площадью 146,2 га. Хвосты представляют собой тонкоизмельченный материал (таблица 3.25), представленный на 95 % классом -0,044 + 0 мм.

Таблица 3.25 — Гранулометрический состав текущих хвостов обогащения Сибайскойобогатительной фабрики [81]

Хвостохранилище	Распределение по классам крупности, %					
	+0,074	−0,074 + 0,044	−0,044 + 0,028	−0,028 + 0,014	−0,014 + 0,007	−0,007
Старогоднее	8,1	17,1	8,5	23,5	23,0	19,8
Новое	0,08	4,8	20,4	34,8	12,3	26,9

Хвостохранилище обогатительной фабрики № 1 комбината «Печенганикель» АО «Кольская ГМК» в г. Заполярный Мурманской обл. эксплуатируется с 1965 г. Объем хвостов составляет более 250 млн т. Для хвостов характерно преобладание фракции с размером зерен -0,1 мм, во многих случаях до 50 % зерен имеет крупность -0,044 мм. В составе хвостов обогащения преобладают серпентины (60 %). В заметных количествах присутствуют пироксены, амфиболы, тальк, хлориты, кварц, полевые шпаты. Основными рудными минералами являются магнетит, пирротин, пентландит, халькопирит. Общее содержание сульфидных минералов составляет 1 % — 3 %.

На транспортирование закладочной смеси по трубопроводам оказывает положительное влияние содержание глинистых и пылевидных частиц. Данный факт обусловлен тем, что крупные фракции инертного заполнителя находятся во взвешенном состоянии, препятствуя расслоению раствора во время движения его по трубопроводу.

Основная масса текущих хвостов обогащения медноколчеданных руд (90 % — 92 %) представлена частицами крупностью -0,044 мм. Класс крупности -0,044 + 0,02 мм составляет 43,44 %, а класс крупности -0,074 + 0,044 мм — 8 % от общей массы хвостов, при этом средний медианный размер зерен составил 0,022 мм. Поэтому текущие хвосты обогащения по литологическому типу классифицируются как техногенный песчано-глинистый алеврит [9] и могут, после предварительного обезвоживания, использоваться в качестве основного материала для гидравлической закладки или как компонент для приготовления твердеющей закладочной смеси при закладке выработанных пространств (см. таблицу 3.26).

Таблица 3.26 — Гранулометрическая характеристика отходов обогащения медноколчеданных руд Учалинской обогатительной фабрики [81]

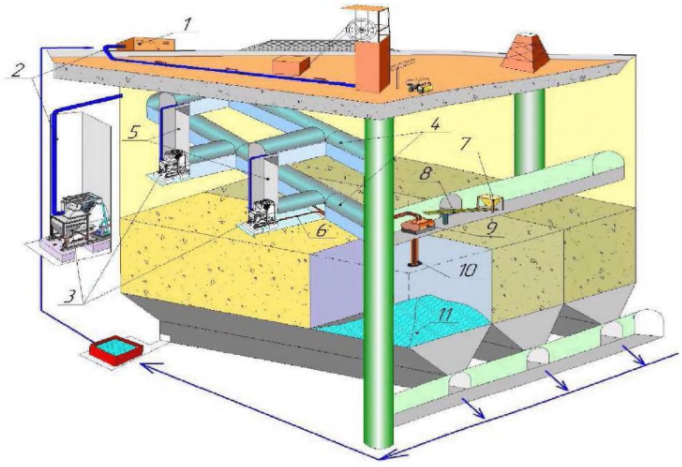
Класс крупности, мм	Текущие хвосты		
	Выход, γ, %	$\sum \gamma_+$	$\sum \gamma_-$
−0,1 + 0,074	2	2	100
−0,074 + 0,044	8	10	98
−0,044 + 0,02	43,44	53,44	90
−0,02 + 0,01	20,12	73,56	46,56
−0,01 + 0,005	10,52	84,08	26,42
−0,005 + 0	15,92	100	15,92
Итого	100		

Применение хвостов обогащения для производства твердеющей, пастообразной или гидравлической закладки позволяет, с одной стороны, упростить технологическую схему производства закладочной смеси за счет отсутствия необходимости дробления и измельчения пород, а с другой — утилизировать хвосты обогащения в подземном пространстве, избежав, таким образом, опасностей, связанных с негативным влиянием материала хвостов на окружающую среду (см. таблицу 3.27).

Таблица 3.27 — Объемы пустот отработанных карьеров Южного Урала [81]

Наименование карьера	Объем выработанного пространства, млн м^3	Наименование карьера	Объем выработанного пространства, млн м^3
Гайский № 1	139,5	Учалинский	150,9
Гайский № 2	12,3	Сибайский	190, 8
Гайский № 3	57,5	Камаган	12,4

В России в настоящее время только ограниченная часть обезвоженных хвостов используется для закладки выработанного пространства на предприятиях Норильского горно-металлургического комбината, Уральской горно-металлургической компании, подземных рудниках Казахстана и др. (см. рисунок 3.7).

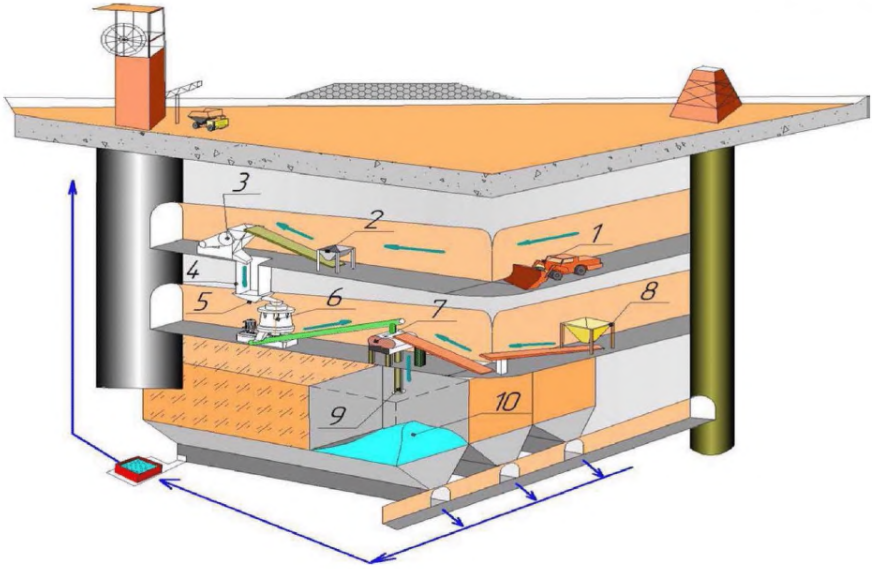


1— обогатительная фабрика; 2 — пульпопровод, 3 — вертикальный сгуститель; 4 — горная выработка; 5 — вентиляционный восстающий; 6 — трубопровод для сгущенных хвостов; 7 — дозирующий бункер; 8 — конвейер; 9 — смеситель; 10 — закладочный трубопровод; 11 — закладочный массив

Рисунок 3.7 — Горнотехническая система с приготовлением закладочной смеси на основе обезвоженных хвостов обогащения руд в подземных выработках

Из практики работы подземных рудников следует, что применение твердеющей закладки экономически оправдано при разработке медно-колчеданных месторождений и, как правило, приводит к снижению капитальных затрат на вскрытие месторождений и связанных с ним эксплуатационных расходов. Однако высокая металлоемкость закладочных комплексов предопределяет их стационарное расположение и ограничивает область применения систем с твердеющий закладкой. При этом постоянное перемещение очистных работ приводит к увеличению расстояния транспортирования твердеющей смеси, что требует дополнительных затрат на сохранение ее технологических свойств и на перемещение смеси.

Указанных недостатков лишена горнотехническая система, предусматривающая приготовление закладочной смеси в подземных горных выработках с использованием отходов от проходки горных выработок и радиометрической сепарации руд в качестве инертного заполнителя (см. рисунок 3.8).



1— ПДМ; 2 — приемный бункер; 3 — щековая дробилка; 4 — рудоспуск; 5 — бункер-накопитель; 6 — конусная инерционная дробилка;
7 — смеситель; 8 — цементный силос; 9 — закладочная скважина;
10 — закладываемое выработанное пространство

Рисунок 3.8 — Горнотехническая система закладки выработанного пространства на основе отходов горных работ, с подготовкой наполнителя в подземном выработанном пространстве

Несмотря на огромный накопленный опыт в области создания новых технологий складирования отходов добычи и переработки руд, горнорудные предприятия весьма медленно внедряют в технологический процесс современные наработки. Это объясняется тем, что нововведения всегда требуют значительных капиталовложений, что значительным образом влияет на себестоимость добытой руды, да и технологии складирования традиционным способом уже отработаны годами. Это приводит не только к росту масштабов накопления на дневной поверхности техногенных образований, но и в последствии может привести к глобальной экологической катастрофе.

На рисунке 3.9 приведена классификация технологических и конструктивных решений по размещению отходов горно-обогатительных предприятий, позволяющая выбрать решение, соответствующее конкретным условиям добычи и обогащения руд. Технологии предполагают размещение техногенных отходов в открытом и подземном пространстве и в полной мере учитывают особенности физико-механических, химических и технологических свойств отходов.

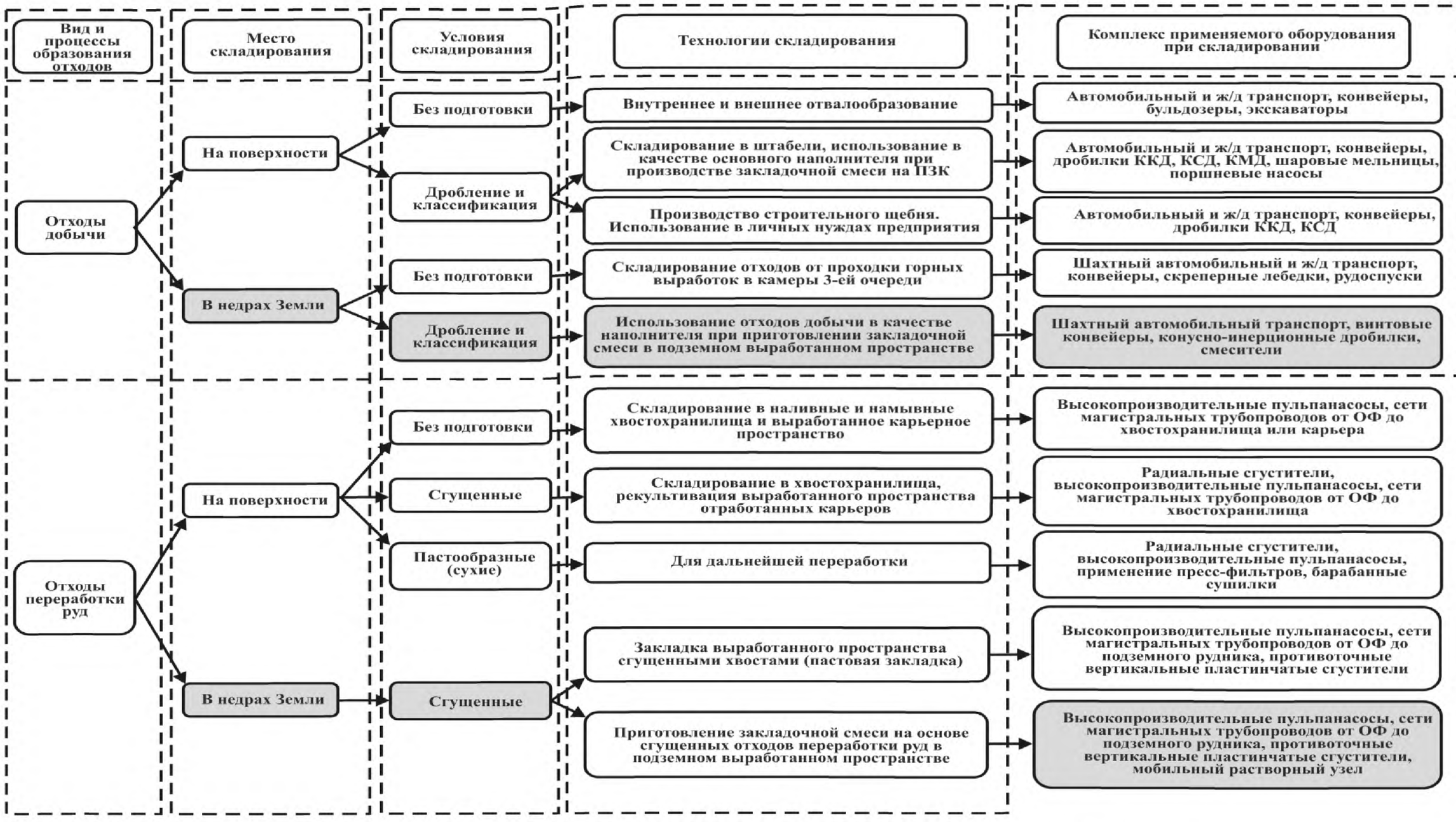


Рисунок 3.9 — Классификация технологических и конструктивных решений по размещению отходов горно-обогатительных предприятий в открытом и подземном пространстве

Раздел 4. Определение наилучших доступных технологий

Термин «наилучшие доступные технологии» (НДТ) определен в Федеральном законе № 7-ФЗ [1].

Под технологией в целом понимают совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств и формы сырья, материалов или полупродуктов, применяемых в процессе производства продукции. Здесь имеют в виду и собственно технологию, и способ, с помощью которого описываемый объект спроектирован, построен, эксплуатируется и выводится из эксплуатации. Это не только технология производства, но и различные технические и нетехнические методы повышения экологической результативности (экологический менеджмент, управленческие решения).

Под доступной понимают экономически целесообразную и неуникальную технологию, которая достигла уровня, позволяющего обеспечить ее внедрение в той отрасли горного производства, которая отвечает за добычу и обогащение руд цветных металлов, с учетом экономической и технической обоснованности, затрат и преимуществ; при этом технология должна быть реализована хотя бы на двух предприятиях отрасли.

Под наилучшей понимают технологию, обеспечивающую охрану окружающей среды и ресурсосбережения (в данном случае ресурсы — сырье, вода, энергия) в максимальной мере.

Порядок определения технологии в качестве НДТ определен постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 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 [2], на основании которого Министерство промышленности и торговли Российской Федерации разработало Методические рекомендации по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии».

Согласно перечисленным документам при отнесении технологических процессов, технических способов и методов, оборудования к НДТ необходимо руководствоваться следующими критериями:

а) наименьший уровень негативного воздействия на окружающую среду в расчете на единицу времени или объем производимой продукции (товара), выполняемой работы, оказываемой услуги либо соответствие другим показателям воздействия на окружающую среду, предусмотренным международными договорами Российской Федерации; приоритетным, оказывающим наименьшее отрицательное воздействие на окружающую среду, рекомендовано считать воздействие от отходов, затем выбросов в воду и загрязнение почвы; воздействие от выбросов в воздух рекомендовано рассматривать как фактор, имеющий наибольший отрицательный эффект;

б) экономическая эффективность внедрения и эксплуатации; анализ экономической эффективности заключается в оценке затрат на внедрение и эксплуатацию технологии и выгоды от ее внедрения методом анализа затрат и выгод; в процессе оценки целесообразно разделять объекты на новые и действующие;

в) применение ресурсо- и энергосберегающих методов;

г) период внедрения;

д) промышленное внедрение технологических процессов, оборудования, технических способов, методов на двух и более объектах в Российской Федерации, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду.

В качестве источников информации о применяемых на практике технологиях, относящихся к НДТ, использованы проект европейского справочника НДТ по наилучшим экологическим практикам в горнодобывающей промышленности (металлические руды), сведения, полученные в результате анкетирования предприятий отрасли, результаты научно-исследовательских работ, а также информация, полученная в ходе консультаций с профильными экспертами.

НДТ и методы, а также — в необходимых случаях — соответствующие им технологические показатели (значения концентрации выбросов) определены технической рабочей группой применительно к основным процессам добычи и обогащения руд цветных металлов, приведенным ниже:

1) проектирование и безопасное функционирование горнотехнических систем, основанных на комбинированных физико-технических и физико-химических геотехнологиях освоения природных и техногенных месторождений;

2) процессы подготовки сырья к обогащению и его опробование: грохочение, дробление, классификация в водной и воздушной средах, измельчение;

3) основные процессы обогащения: гравитационное обогащение (промывка, обогащение в тяжелых суспензиях, отсадка, концентрация на столах, обогащение на винтовых и центробежных концентраторах), магнитное и электрическое обогащение, флотация (флотационные реагенты, флотационные машины, схемы и режимы флотации);

4) специальные и вспомогательные процессы обогащения: усреднение руд, рудосортировка — рудоразборка, радиометрические методы обогащения, избирательное дробление, измельчение, истирание и специальные методы раскрытия минералов, комбинированные процессы — флотогравитация, магнитогидродинамическая, магнитогидростатическая и магнитогравиметрическая сепарация, обезвоживание — сгущение, фильтрование, сушка, химические процессы в комбинированных схемах обогащения руд;

5) сточные воды, их очистка и использование при обогащении руд;

6) контроль и управление процессами обогащения;

7) новые направления в области добычи и обогащения руд цветных металлов.

Требования минимума затрат материальных и трудовых ресурсов, полного и комплексного использования запасов недр, охраны других природных ресурсов и сложность горных задач обусловливают при определении НДТ применение методов экономико-математического моделирования, расчетов на ЭВМ системы автоматизированного проектирования рудников.

Основные задачи горного производства:

- добыча необходимого количества руд;
- обеспечение приемлемых экономических показателей;
- обеспечение безопасности для работников и окружающей среды.

Основная задача при определении НДТ заключается в учете факторов, обеспечивающих достижение высоких показателей при использовании технических решений на основе учета горно-геологических, технико-технологических параметров и экономических параметров и возможностей решения проблем развития горных предприятий:

комплексное освоение недр; многопрофильность; этапность разработки; возможность мониторинга состояния окружающей среды; перспективы модернизации.

Технико-экономические показатели технологии разработки формируются систематизацией и анализом статистических данных, натурных и лабораторных исследований и опытной отработки месторождений.

Производственная мощность предприятия — максимально возможный выпуск продукции при полном использовании оборудования и площадей с учетом применения передовой технологии и организации производства в зависимости от величины балансовых запасов. Для рудников и шахт она составляет от десятков тысяч до нескольких миллионов тонн, для карьеров — десятки миллионов тонн.

Требования к технологии по охране недр и окружающей среды:

- максимально полное извлечение из недр и рациональное использование запасов основных и совместно залегающих полезных ископаемых;

- недопущение вредного влияния работ, связанных с пользованием недрами, на сохранность запасов полезных ископаемых;

- охрана месторождения от затопления, обводнения и других факторов, снижающих качество полезных ископаемых и промышленную ценность месторождения или осложняющих его разработку;

- предотвращение вредного влияния работ, связанных с пользованием недрами, на сохранность эксплуатируемых и находящихся на консервации горных выработок и скважин, а также подземных сооружений;

- предотвращение загрязнения недр при сбросе сточных вод, при захоронении вредных веществ и отходов производства, а также при подземном хранении нефти, газа и иных вредных веществ и материалов;

- обеспечение охраны атмосферного воздуха, земной поверхности, лесов, вод и других природных ресурсов, а также зданий и сооружений от вредного влияния горных работ;

- приведение земельных участков в безопасное и пригодное для использования в народном хозяйстве состояние в соответствии с земельным законодательством.

Раздел 5 Наилучшие доступные технологии

Технологические процессы, оборудование, технические способы, методы, определенные в качестве наилучших доступных технологий для области применения настоящего справочника НДТ не являются предписывающими или исчерпывающими. Могут применяться и иные методы, обеспечивающие, по меньшей мере, такой же уровень охраны окружающей среды.

5.1 Системы экологического менеджмента (СЭМ)

НДТ 1 Система экологического менеджмента

НДТ состоит в разработке, внедрении и последовательном совершенствовании системы экологического менеджмента или отдельных ее элементов, область охвата которых определяется предприятием с учётом приоритетных экологических проблем.

Несмотря на то, что большая часть компаний, реализующих виды деятельности, отнесённые к области применения настоящего ИТС НДТ, сообщает о сертификации (ресертификации или к подготовке к сертификации систем экологического менеджмента), НДТ 1 не предполагает обязательной сертификации СЭМ на соответствие требованиям международного или национального стандарта (ISO 14001 или ГОСТ Р ИСО 14001).

5.2 НДТ, направленные на снижение негативного воздействия при добычи руд цветных металлов

5.2.1 НДТ, направленные на снижение выбросов при добычи руд цветных металлов

5.2.1.1 Открытый способ разработки месторождений

НДТ 2 Снижение выбросов при буровзрывных работах

НТД заключается в снижении пылевых и газовых выбросов при проведении буровзрывных работ путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

№ п/п	Метод/оборудование	Применимость
1.	Оснащение буровой техники средствами пылеподавления и пылеулавливания	Общеприменим для предприятий, имеющих сбросы
2.	Применение гидрозабойки взрывных скважин	Применим кроме регионов с низкими зимними температурами
3.	Использование забоечного материала с минимальным пылеобразованием	Общеприменимо
4.	Орошение зоны выпадения пыли из пылегазового облака	Общеприменим для предприятий, имеющих сбросы
5.	Применение систем электронного инициирования взрывов	Применим преимущественно при работах вблизи охраняемых территорий
6.	Применение неэлектрических систем взрывания	Применим при необходимости повышенной безопасности в карьерах и шахтах, не опасных по газу и пыли
7.	Внедрение компьютерных технологий выбора параметров буровзрывных работ	Применим при повышенных требованиях к дроблению горной породы, например, при выщелачивании
8.	Применение взрывчатых веществ с нулевым кислородным балансом	Применим при сложных условиях проветривания выработок

НДТ 3 Снижение выбросов при хранении, перегрузке и транспортировке сырья

НДТ заключается в снижении выбросов при хранения, погрузочно-разгрузочных работ и транспортировки руд путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

№ п/п	Метод/оборудование	Применимость
1.	Сокращение числа мест перегрузок	Применяется для пылящих материалов, при использовании открытых ленточных конвейеров
2.	Уплотнение верхнего слоя руды в транспортных средствах, включая железнодорожные вагоны	Применим для всех типов руд
3.	Рациональная организация процессов хранения, погрузочно-разгрузочных работ и транспортировки и направленная в том числе на снижение выбросов пыли	Общеприменим

НДТ 4 Орошение пылящих поверхностей

НДТ заключается в орошение и укрепление внешнего слоя пылящих поверхностей с целью сокращения пыления поверхностей дорожного полотна, складов, породных отвалов, земель, подлежащих рекультивации, сдувания и уноса материала при перевозке в открытых вагонах и др., путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

№ п/п	Метод/оборудование	Применимость
1.	Пылеподавление водой с использованием поливочных машин, установок, распылителей	Не применим для процессов, в которых используются руды/концентраты, содержащие достаточное количество естественной влаги, чтобы предотвратить пылеобразование. Применение также ограничено в регионах с нехваткой воды или с очень низкими зимними температурами
2.	Пылеподавление растворами неорганических и органических веществ, ПАВ, полимерными веществами, эмульсиями и другими химическими реагентами, создающими на поверхности материала корку	Применяется в местах складирования пылящих материалов. Ограничением применимости является экономическая целесообразность

Снижение выбросов при орошении пылесвязывающими жидкостями составляет 85-90 %. Увлажнение дорожного полотна не только снижает пылеобразование, но и уплотняет полотно дороги, что предотвращает ветровую эрозию.

Перечень маркерных веществ и технологических показателей для добычи руд цветных металлов (достигается путем применения совокупности вышеописанных или отдельных технических решений НДТ 2, 3, 4) приведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Маркерные вещества и технологические показатели выбросов при открытом способе разработки месторождений

Наименование вещества	Единицы измерения	Технологический показатель
Взвешенные вещества (код 3В 2902)	мг/м^3	≤ 0,5
Замеры осуществляются на границе СЗЗ предприятия согласно программе производственного экологического контроля		

5.2.1.2 Подземный способ разработки месторождений

Подземные горные работы, подземная разработка месторождений полезных ископаемых - способ добычи полезных ископаемых в недрах Земли путём проведения системы подземных горных выработок без нарушения дневной поверхности. К основным процессам подземных горных работ относятся: бурение, отбойка, крепление кровли, доставка, подземная откатка, подъём на поверхность и др. Подземная разработка руд включает совокупность работ по вскрытию, подготовке месторождения и выемке полезного ископаемого. Иной технологией отличается подземная разработка при помощи буровых скважин (например, при подземном выщелачивании). Вскрытие осуществляют вертикальными и наклонными шахтными стволами или штольнями. Подготовка состоит в разделении шахтного поля на выемочные участки (блоки, панели, столбы и т.п.), необходимые для обеспечения очистной выемки. Очистная выемка составляет сущность подземной разработки и включает комплекс процессов по отделению полезного ископаемого от массива, доставке (выпуску) к местам погрузки в транспортные средства, креплению и поддержанию выработанного пространства и др.

НДТ 5 Проведение системы подземных выработок без нарушения земной поверхности

Основные горные выработки подземной переработки месторождений: шахтные стволы, квершлаги и штольни, открывающие доступ с поверхности ко всему месторождению полезных ископаемых или его части и обеспечивающие возможность проведения подготовительных выработок и очистной выемки в запланированных объёмах; штреки, уклоны, бремсберги, восстающие, орты, которыми вскрытая часть месторождения разделяется на обособленные выемочные участки (этажи, блоки, панели, камеры, столбы), предусмотренные принятым способом подготовки и системой разработки; подэтажные и слоевые выработки, выработки буровые, погрузочно-доставочные, подсечки, вентиляционные, отрезные восстающие и другие, обеспечивающие выемку полезных ископаемых.

НДТ заключается в разделении рудовмещающего массива на участки, в пределах которых природные и техногенные напряжения не развиваются до критической ве-

личины, поэтому очистные выработки могут быть закреплены крепью уменьшенной прочности или оставлены без крепления.

При применении НДТ зона обитания отделена от зоны подземных горных работ с сохранением всех условий для функционирования флоры, фауны и человека.

НДТ 6 Сокращение отвалов пустых пород для подземной добычи

НДТ заключается в сокращении объёмов размещаемых на постоянное хранение пустых пород и/или хвостов обогащения, используя их для заполнения подземных пустот рудника и воронок обрушения на поверхности путем применения сухой закладки, гидравлических закладочных смесей (сгущенная пульпа, пастообразный материал), с твердеющими (или без) добавками (например: цемент, доменный шлак, зола).

При применении НДТ сокращение отвалов пустых пород составляет до 15 %.

НДТ 7 Использование неэлектрических систем инициирования для ведения взрывных работ в подземных условиях

НДТ состоит в применении системы устройств и методов передачи неэлектрического инициирующего импульса от первичного инициатора через ударно-волновую трубку к промежуточному неэлектрическому детонатору. Неэлектрические системы инициирования в сравнении с традиционными обусловлены более высокой надежностью, безопасностью и позволяют создавать схемы короткозамедленного взрывания зарядов с высокими возможностями управления энергией взрыва.

Не смотря на то, что настоящая НДТ не имеет прямого экологического эффекта, она является наилучшей доступной технологией ведения горных работ и обеспечивает стабильную и надежную работу, снижая тем самым риск возникновения нештатных и аварийных ситуаций, последствия которых самым неблагоприятным сказываются на окружающей среде.

5.2.2 НДТ, направленные на снижение негативного воздействия на водные ресурсы при добыче руд цветных металлов

Базовые принципы очистки сточных вод рассмотрены в справочниках НДТ ИТС 8-2015 «Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях» и ИТС 10-2015«Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов».

НДТ 8 и 9 применимы как для открытого, так и для подземного способа разработки месторождений.

НДТ 8 Управление водным балансом горнодобывающего предприятия

НДТ предусматривает разработку водохозяйственного баланса горнодобывающего предприятия с целью управления потоками вод, водопотреблением и водоотведением при добыче руд, в том числе для:

- контроля за притоками шахтных и карьерных вод;
- возможными изменения режима водопотребления и в увязке с балансом;

- предотвращения истощения и загрязнения глубинных и поверхностных водных объектов;

- рационализации водопользования с минимизацией потребления питьевой воды;

- возможности рециркуляции, очистки и повторного использования отработанной воды;

- учета водохозяйственной обстановки с целью выявления уязвимых водных объектов и зависимости населения от водных ресурсов.

НДТ 9 Сокращение объема водоотлива

НДТ заключается в применение рациональных схем осушения горных выработок с целью сокращения воздействия на подземные воды, снижения гидравлической нагрузки на очистные сооружения путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

№ п/п	Метод/оборудование	Применимость
1.	Оптимизация работы дренажной системы	Общеприменим
2.	Использование защитных сооружений и мер, например, противофильтрационных завес	Общеприменим
3.	Изоляция горных выработок путем регулирования поверхностного стока и отвода рек	Общеприменим
4.	Недопущение опережающего понижения уровня подземных вод	Общеприменим
5.	Предотвращение загрязнения шахтных и карьерных вод при откачке	Общеприменим

Таблица 5.2 - Маркерные вещества и технологические показатели для сбросов в поверхностные водные объекты при открытом и подземном способе разработки месторождений

Наименование вещества/показателя	Единицы измерения	Технологический Показатель[1]
pH	ед. pH	6-9
Взвешенные вещества	мг/л	≤ 20
Дополнительно определяются и контролируются показатели по тем веществам, которые как предполагается могут содержаться в сбросах в концентрациях, превышающих концентрации:		
кадмий	≤ 0,05 мг/л	
хром (VI)	≤ 0,1мг/л	
медь	≤ 0,3мг/л	
свинец	≤ 0,2мг/л	
железо	≤ 2 мг/л	

никель	≤ 0,5 мг/л
цинк	≤ 0,5 мг/л
марганец	≤ 0,08 мг/л
сульфат-ион	≤ 1300 мг/л
алюминий	≤ 0,85 мг/л
Примечание: 1. Значения концентраций металлов относятся к их совокупному содержанию	

5.2.3 НДТ, направленные на сокращение воздействия отходов

НДТ 10-12 применимы как для открытого, так и для подземного способа разработки месторождений.

НДТ 10 Организация противофильтрационных экранов объектов размещения жидких отходов

НДТ заключается в экранировании дна и ограждающих поверхностей отстойников сточных вод, хвостохранилищ, шламохранилищ и т.п. противофильтрационными гидроизоляционными покрытиями.

НДТ 11 Организация системы очистки вод породных отвалов

НДТ предусматривает организацию системы водоотводных канав по контуру внешних отвалов с учетом рельефа территории, первичное осветление вод в отстойнике и их очистку.

НДТ 12 Вовлечение отходов во вторичное производство

НДТ предусматривает использование отходов добычи и переработки в производстве, например, строительных материалов, а также в качестве средств рекультивации.

5.3 НДТ, направленные на снижение негативного воздействия при обогащении руд цветных металлов

5.3.1 НДТ, направленные на снижение негативного воздействия при подготовительных процессах, хранении, транспортировки и переработки сырья, получении селективных концентратов

НДТ 13 Сокращение негативного воздействия при получении селективных концентратов цветных металлов методом флотации

НДТ заключается в сокращение негативного воздействия при получении селективных концентратов цветных металлов методом флотации за счет снижения расхода токсичных флотационных реагентов (например, цианида натрия), применения новых нетоксичных реагентов, снижения потерь ценных компонентов с отходами, применения безотходных технологий, повышения комплексности использования сырья, применения

флотационной техники с большой удельной производительностью и оборотного водоснабжения, очистки стоков.

Применимо при использовании метода флотации при получении селективных концентратов для следующих типов руд:

- медные руды;
- медно-молибденовые руды;
- медно-цинково-пиритные руды;
- свинцовые полиметаллические руды;
- медно-никелевые руды;
- руды и россыпи титана;
- шеелитовые и вольфрамитовые руды;
- руды и россыпи олова;
- алюминиевое сырье.

НДТ 14 Улавливание выбросов по возможности максимально близко к источнику с последующей их очисткой.

НДТ 15 Снижение выбросов при хранении руд и продуктов их переработки

НДТ заключается в снижении выбросов при хранении руд и продуктов их переработки путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

№ п/п	Метод/оборудование	Применимость
1.	Использование закрытых помещение или бункеров	Применяется для пылящих материалов
2.	Сооружение укрытий над площадками хранения	Применяется для всех видов материалов
3.	Герметичная упаковка	Применяется для хранения пылящих материалов, содержащих растворимые в воде неорганические и органические соединения
4.	Сооружение укрытий над пролетами	Применяется при сушке материала
5.	Разбрызгивание воды	Не применяется для процессов, в которых используются сухие руды, концентраты и материалы, содержащие достаточное количество естественной влаги, чтобы предотвратить пылеобразование. Применение также ограничено для регионов с нехваткой воды или с очень низкими зимними температурами
6.	Размещение устройств для улавливания пыли/газов в местах загрузки и перегрузки	Применяется в местах складирования пылящих материалов
7.	Использование сертифицированных со-	Общеприменим

	судов под давлением для хранения газообразного хлора или смесей, которые содержат хлор	
8.	Использование для сооружения емкостей строительных материалов, устойчивых к загружаемым материалам	
9.	Применения надежных систем обнаружения утечек и индикации уровня заполнения емкостей с подачей сигналов для предотвращения их переполнения	
10.	Хранение агрессивных материалов в емкостях с двойными стенками или в емкостях, размещенных внутри устойчивого к воздействию агрессивных сред обвалования двойной вместимости	
11.	Проектирование площадок для хранения таким образом, чтобы любые утечки из емкостей и систем доставки удерживались внутри обвалования, способного вместить объем жидкости, равный, по крайней мере, объему наибольшей емкости, размещенной внутри обвалования. Площадка для хранения должна быть обвалована и иметь покрытие, не подверженное воздействию хранящегося агрессивного материала	
12.	Сбор и обработка эмиссий, образующихся при хранении, с помощью систем, предназначенных для обращения с химическими веществами, которые подлежат хранению. Вода, использованная для смыва пыли, также должна собираться и очищаться перед сбросом	Общеприменим при хранении газов. При хранении жидкостей любые утечки должна собираться и обрабатываться
13.	Регулярная уборка и, при необходимости, увлажнение площадки хранения	Общеприменим
14.	Хранение материалов там, где это возможно, в одной куче вместо нескольких	Общеприменим

НДТ 16 Снижение выбросов при переработке и транспортировке сырья

НДТ заключается в снижении выбросов при переработке и транспортировке сырья путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

№ п/п	Метод/оборудование	Применимость
1.	Сооружение закрытых конвейеров или пневматических	Общеприменим

	систем для транспортировки и переработки материалов	
2.	Установка устройств для сбора пыли в пунктах доставки, вентиляционных отверстиях, пневматических транспортных системах и точках перегрузки на конвейерах передачи, и их подключение к системе фильтрации	Применяется при использовании пылящих материалов
3.	Использование с измельченными или водорастворимыми материалами закрытых емкостей	Общеприменим
4.	Разбрызгивание воды для увлажнения материалов в местах их обработки	
5.	Использование максимально коротких маршрутов транспортировки	
6.	Уменьшение высоты падения с конвейерных лент, механических лопат или захватов	
7.	Регулировка скорости открытых ленточных конвейеров (<3,5 м/с)	Применяется при использовании открытых ленточных конвейеров
8.	Применение плановых компаний по уборке дорог	Общеприменим
9.	Разделение несовместимых материалов (например, окислителей и органических материалов)	
10.	Минимизация материальных потоков между процессами	

НДТ 17 Оптимизация параметров и систем улавливания и очистки выбросов

НДТ заключается в предупреждении или сокращении выбросов путем оптимизации параметров и систем улавливания и очистки отходящих газов путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

№ п/п	Метод/оборудование	Применимость
1.	Использование закрытых сушильных барабанов/печей, оснащенных системами пылеулавливания, или оснащение печей и другого технологического оборудования вытяжными системами	Применение может быть ограничено соображениями безопасности (например, типом/конструкцией сушильных печей/барабанов, наличием угрозы пылегазовых выбросов)
2.	Оснащение сушильных барабанов/печей вторичными системами отведения газов в местах загрузки и выгрузки	
3.	Сбор пыли и испарений в местах перегрузки пылящих материалов (например, в местах загрузки и выгрузки печей)	Общеприменим
4.	Оптимизации конструкции и технологии эксплуатации вытяжных устройств и газоходов с целью улавливания газов, возни-	Для существующих предприятий применение может быть ограничено имеющимся пространством и сло-

	кающих при загрузки материалов и отходящих от разогретого материала	жившейся планировкой размещения объектов в цехах
5.	Сооружение укрытий сушильных барабанов/печей для улавливания выбросов при загрузочных операциях и выдаче сухого продукта	
6.	Использование систем, обеспечивающих порционную загрузку сушильных барабанов/печей	Применяется для полузакрытых сушильных барабанов/печей

5.3.2 НДТ, направленные на снижение выбросов при производстве концентратов цветных металлов

НДТ 18 Сокращение выбросов от операций рудоподготовки (грохочение, дробление, классификация в воздушной среде, усреднение руд, рудосортировка, обжиг и сушка)

НДТ заключается в сокращении выбросов в атмосферу от операций рудоподготовки (грохочение, дробление, классификация в воздушной среде, усреднение руд, рудосортировка, обжиг и сушка), путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

№ п/п	Метод/оборудование	Применимость
1.	Закрытие рабочих зон аппаратов рудоподготовки и системы транспортировки	Применимо только для пылящих материалов
2.	Организация системы пылеулавливания в цехах рудоподготовки и при проведении погрузочно-разгрузочных работ	Применимо только для пылящих материалов
3.	Электроблокировка, обеспечивающая невозможность эксплуатации оборудования без системы пылеулавливания	Для любых материалов

НДТ 19 Сокращение выбросов при проведении химических процессов в комбинированных схемах обогащения руд цветных металлов

НДТ заключается в сокращении выбросов при проведении химических процессов в комбинированных схемах обогащения руд цветных металлов путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

№ п/п	Метод/оборудование	Применимость
1.	Закрытые резервуары/аппараты и изолированные трубопровод ы для транспортировки растворов	Для всех процессов
2.	Меры по уменьшению уровня выбросов, таких как применение закрытых емкостей, резервуаров, аппаратов и баков с регуляторами уровня, изолированных труб, закрытых дренажных систем, планирование программ обслуживания оборудования	Для всех процессов

3.	Реакционные сосуды и резервуары, подключенные к общей системе воздуховодов для утилизации отходящих газов (резервная система автоматически подключается в случае отказа основной)	Для всех процессов

НДТ 20 Снижение выбросов пыли от стационарных источников

НДТ заключается в снижении выбросов пыли на всех участках, где возможно ее образование, в том числе грохочение, дробление, классификация в воздушной среде, усреднение руд, рудосортировка, обжиг и сушка, путем применения одного из следующих методов:

№ п/п	Метод/оборудование	Применимость
1.	Рукавный фильтр	Общеприменим
2.	Мокрый скруббер	Применение мокрого скруббера лимитируется в следующих случаях: - очень высокая скорость подачи газа, из-за чего образуется большое количество отходов, в том числе водных отходов; - в засушливых местностях, когда необходимо большое количество воды для переработки отходов, и связанные с этим факторы
3.	Циклон	Общеприменим
4.	Мокрый электрофильтр	Общеприменим

Перечень маркерных веществ и технологических показателей для обогащения руд цветных металлов (достигается путем применения отдельно или совместно вышеописанных технических решений) приведен в таблице 5.3.

Таблица 5.3 - Маркерные вещества и технологические показатели для выбросов при обогащении руд цветных металлов

Наименование вещества	Единицы измерения	Технологический показатель
Пыль неорганическая (20-70 % SiO_2)	г/с	≤ 0,3

5.3.3 НДТ, направленные снижение негативного воздействия на водные ресурсы

НДТ 21 Предотвращение образования сточных вод

НДТ заключается в предотвращении образования сточных вод путем применения отдельно или совместно следующих технических решений:

№ п/п	Метод/оборудование	Применимость
1.	Использование шахтных вод	Применяется в зависимости от содержания металлов и твердых взвесей на предприятиях, имеющих сбросы
2.	Использование карьерных вод	
3.	Использование подотвальных вод	
4.	Возврат в технологических процесс стоков, образующихся в мокрых электростатических фильтрах и мокрых скрубберах	
5.	Использование поверхностных стоков	Общеприменим для предприятий, имеющих сбросы
6.	Повторное использование воды, проходящей через очистные сооружения	Применяется в зависимости от содержания солей

В связи с применением всеми предприятиями замкнутого цикла водооборота сброс в поверхностные водные объекты отсутствует и технологические показатели не устанавливаются.

5.4 Технологии обращения с отходами обогащения руд

НДТ 22 Выбор технологии размещения отходов обогащения руд

НДТ заключается в складировании отходов с различной влажностью в соответствии со следующими принципами:

Характеристика отходов обогащения руд	Технология размещения
Текущие хвосты обогащения руд с влажностью до 90 %	- складирование в хвостохранилище намывного и наливного типов; - складирование в выработанном пространстве карьеров;
Обезвоженные хвосты обогащения руд с влажностью 40-50 %	- складирование в хвостохранилище; - складирование в выработанном пространстве карьеров; - складирование в выработанном пространстве рудников.
Пастообразные хвосты обогащения руд с влажностью до 30 %	- складирование в выработанном пространстве карьеров; - использование в качестве закладки выработанного пространства карьера при комбинированной разработке; - использование в качестве компонента закладочной смеси
Сухие хвосты обогащения руд с влажностью 10-12 %	- складирование в отвал на дневной поверхности; - использование в качестве компонента закладочной смеси

НДТ 23 Размещение отходов на нарушенных горными работами территориях

НДТ заключается в организации размещения отходов на ранее используемых территориях под размещение породных отвалов, гидроотвалов и др., включая заполнение выработанного пространства рудников и карьеров породами (рекультивацией).

НДТ 24 Закладка выработанного пространства

НДТ заключается в применение горнотехнической системы закладки выработанного пространства отходами добычи с подготовкой наполнителя в подземном выработанном пространстве.

НДТ 25 Приготовление закладочной смеси на основе обезвоженных хвостов обогащения руд

НДТ заключается в применении технологической схемы приготовления закладочной смеси на основе обезвоженных хвостов обогащения руд в выработанном пространстве подземного рудника.

5.5 НДТ в области энергосбережения и ресурсосбережения

Базовые принципы энергосбережения установлены в системе национальных стандартов ГОСТ Р Ресурсосбережение [118, 119].

НДТ 26 Управление системой потребления энергетических ресурсов

НДТ заключатеся в уравлении системой потребления энергии, обеспечивающей сокращение расхода топливно-энергетических ресурсов путем использования энергоменеджмента, и предусматривает:

- модернизацию энергетической политики;
- профессиональный уровень ответственного за энергетический менеджмент персонала;
- наличие ресурсов;
- определение области системы энергетического менеджмента;
- соответствие показателей энергетической результативности целям и задачам;
- обеспечение долгосрочного планирования энергетической результативности;
- обеспечение измерения и регистрации результатов менеджмента;
- определение приоритетов для улучшения энергетической результативности;
- анализ использования и потребления энергии.

Управление системой потребления энергетических ресурсов способствует уменьшению выбросов в атмосферу парниковых газов и других воздействий на окружающую среду.

НДТ 27 Сокращение энергопотребления при добыче

НДТ предусматривает сокращение энергопотребления при добыче путем:

- создания системы мониторинга энергопотребления;
- проведения энергетического аудита технологических процессов;
- применения современного оборудования, автоматизация систем и элементов управления для повышения энергоэффективности;
- использования автоматических средств измерения и учета энергоресурсов;
- применения мероприятий, направленных на сокращение потерь энергии;

- обучения персонала.

НДТ 28 Минимизация потерь полезных ископаемых в недрах

НДТ направлена на ресурсосбережение за счет минимизации потерь полезных ископаемых в недрах путем применения:

- эффективных технологий разведки месторождений, в том числе эксплуатационной;
- оценки запасов руд с учетом прогрессивных технологий их переработки;
- предварительного воздействия на продуктивные пласты для снижения потерь руд;
- эффективных способов разработки месторождения для снижения потерь руд;
- предварительного дофабричного обогащения;
- специальных технологий вовлечения в хозяйственный оборот хвостов.

НДТ 29 Пересмотр кондиций

НДТ предусматривает переоценку запасов месторождений с изменением способов обогащения руд, технических решений и оборудования, позволяющих извлекать металлы из некондиционного ранее сырья и отходов с целью ресурсосбережения.

НДТ 30 Утилизация

НДТ направлена на ресурсосбережение и предусматривает использование пород и хвостов добычи для:

- доизвлечения металлов и сопутствующих компонентов;
- производства строительных материалов;
- рекультивационных работ.

НДТ 31 Сокращение потерь руд при транспортировке

НДТ направлена на ресурсосбережение и предусматривает сокращение потерь полезных ископаемых путем:

- укрытия железнодорожных вагонов и кузовов автотранспорта;
- обеспечения целостности вагонов конвейеров и других видов закрытого транспорта;
- уплотнения верхнего слоя руд при транспортировке в железнодорожных вагонах.

НДТ 32 Сокращение забора воды из природных источников

НДТ направлена на ресурсосбережение и предусматривает сокращение забора питьевой воды из природных источников путем:

- применения систем оборотного водоснабжения;
- селективной откачки шахтных и карьерных вод;
- использования технологической воды в производственных процессах;
- сбор и использование поверхностных сточных вод, если применимо.

НДТ предусматривает способы и схемы проветривания горных выработок для удаления газов:

- нагнетательное — нагнетание воздуха вентилятором;
- всасывающее — всасывание воздуха вентилятором;

- нагнетательно-всасывающее, или комбинированное;
- естественное — обеспечение движения воздуха с помощью естественной тяги.

НДТ 33 Производственный контроль

НДТ обеспечивает контроль технологических процессов и операций, воздействия на окружающую среду путем применения систем инструментов и средств автоматизации с целью энергосбережения и ресурсосбережения.

5.6 НДТ в области рекультивации земель

НДТ 34 Текущая рекультивация нарушенных земель

НДТ предусматривает проведение текущей рекультивации нарушенных земель в процессе эксплуатации горнодобывающего предприятия с целью сокращения негативного воздействия на окружающую среду и возврата земель в оборот.

НДТ 35 Восстановление рельефа территории

НДТ предусматривает восстановление рельефа территории горных работ путем рекультивации нарушенных земель с восстановлением стабильных биогеоценозов.

НДТ36 Использование отходов при рекультивации нарушенных земель

НДТ предусматривает использование отходов добычи руд при рекультивации нарушенных земель, в том числе:

- вскрышных и вмещающих пород;
- хвостов добычи;
- отходов цветной металлургии;
- золошлаков;
- прочих отходов IV и V классов опасности.

НДТ 37 Создание продуктивного слоя при рекультивации

НДТ предусматривает создание благоприятного корнеобитаемого слоя на рекультивируемой территории с учетом агротехнических и физико-химических свойств почв и возможностей технологии рекультивации путем:

- сохранение технологических гребней, бугров и впадин при выполнении планировочных работ рекультивации, обеспечивающих условия накопления влаги и питания растений;
- послойного нанесения плодородных слоев почвы;
- использования отходов для улучшения буферных, водоудерживающих и питательных свойств корнеобитаемого слоя.

НДТ 38 Проведение агротехнических и фитомелиоративных мероприятий

НДТ предусматривает проведение агротехнических и фитомелиоративных мероприятий в процессе биологической рекультивации, предусматривающих:

- создание многовидового сообщества путем посева семян аборигенной флоры;
- внесение удобрений, способствующих ускорению процесса восстановления плодородия земель.

НДТ 39 Техника и оборудование при рекультивационных работах

НДТ предусматривает применение специализированных машин и механизмов для производства рекультивационных работ, в том числе:

- использование машин с низким давлением на грунт во избежание переуплотнения поверхности слоя;

- использование средств гидромеханизации для подачи на поверхность отвала рекультивационных материалов

Минимизация негативного воздействия на ландшафты, почвы и биоразнообразие достигается путем применения НДТ, направленных на:

- ресурсосбережение и сокращение эмиссий в окружающую среду;

- уменьшение площади нарушаемых земель;

- восстановление рельефа территории горных работ;

- сохранение малых водотоков в районе горнодобывающей деятельности, переноса их русел за пределы участка добычи, искусственного русла водного объекта, формирование и укрепление берегов, контроль русловых и береговых деформаций, организация водоохранной зоны, создание условий для растительности;

- сохранение водно-болотных угодий прилегающих территорий путем применения рациональных схем осушения горных выработок и направленных на сохранение водного баланса защитных сооружений;

- сохранение почв посредством селективного снятия, складирования и дальнейшего использования плодородного слоя почвы;

- предотвращение загрязнения почв путем профилактики аварийных проливов ГСМ, реагентов и других загрязняющих веществ, сокращение выбросов веществ в атмосферу за счет применения высокоэффективного оборудования по очистке выбросов от загрязняющих веществ и т. д.;

- использование районированных для данных условий видов растительности, предупреждение внедрения видов, угрожающих экосистемам;

- создание соединяющих ненарушенные участки экологических коридоров, позволяющих хранить генетическое и видовое разнообразие местных популяций и пути миграции живых организмов.

5.7 Противоаварийные мероприятия

НДТ 40 Повышение безопасности отвалов:

- оползневые склоны, отвалов и хвостохранилищ укрепляют механически либо биологически высаживая кустарники с мощной корневой системой;

- на оползнеопасных участках отвалов и хвостохранилищ поверхностные воды отводят специальными дренажными канавками;

- для отвалов необходима рекультивация не только горизонтальных поверхностей, но и откосов с целью противоэрозионных мероприятий;

- возможна консервация токсичных отходов с последующей присыпкой их 3 м плодородной земли и использованием рекультивированных площадей в лесохозяйственных или рекреационных целях;

НДТ 41 Повышение безопасности хвостохранилищ:

- на хвостохранилищах, где потенциально существует опасность прорыва ограждающей дамбы, ниже по рельефу сооружают еще одну«страховочную»дамбу из местного грунта для перехвата возможного прорыва основной дамбы;

- в ложе хвостохранилищ должны отсутствовать горизонты подземных вод хозяйственно-питьевого назначения;

- подстилающие породы должны иметь малую водопроницаемость (это характерно для глин и суглинков);

- хвостохранилища должны располагаться гипсометрически ниже обогатительных фабрик и других потенциальных объектов ущерба.

НДТ 42Технологическое соблюдение баланса

НДТ состоит в технологическом соблюдении баланса между объемом поступающих сточных вод (отходов) в отстойный пруд хвостохранилища и возвратом осветленных вод в технологический процесс с учетом количества атмосферных осадков и объема испарения и исключением сброса дебалансных вод из хвостохранилища.

НДТ 43 Технология экстренного сброса в районе хвостохранилища

НДТ состоит в том, что экстренный сброс стоков осуществляют в специальный зумпф необходимого объема с последующим возвратом из него вод в технологический процесс или удалением их в соответствии с санитарными требованиями (очистка, необходимое разбавление и т.п.)

НДТ 44 Учет орографических особенностей местности

НДТ состоит в том, чтобы площадка хвостохранилища и территория его санитарно-защитной зоны не подвергались затоплению паводковыми водами за счет:

- перехвата поверхностных вод с помощью достаточной по объему отводной нагорной канавы;

- сооружения по периметру хвостохранилища у основания дамбы дренажной канавы или сооружения для перехвата фильтрационного потока и возврата его в хвостохранилище или в технологический процесс

НДТ 45 Технология ликвидации аварийных ситуаций

НДТ состоит в применении при обогащении руд комплекса мероприятий:

- Под емкостями с реагентами предусматривается установка поддонов с насосами. При повреждении емкости, вытекший раствор попадает в поддон, откуда насосом перекачивается в дренажные емкости (резервные). Поддоны обеззараживаются соответственно виду реагента.

- На случай утечки предусмотрена система вторичного удержания растворов химических реагентов для локализации их на площадке обогатительной фабрики и непопадание за её пределы. Предусмотрена сеть сборных канав принимающих и отводящих растворы в пруд-отстойник для их очистки по мере необходимости.

- На случай возникновения пожаров предусмотрено устройство противопожарного водопровода, питающегося от пожарных резервуаров.

- Для ликвидации локальных очагов возгорания на каждом технологическом участке имеются пенные огнетушители, емкости с песком.

- Для предупреждения повреждений и утечек из пульпопровода от фабрики к хвостохранилищу, осуществляется плановый технический надзор за его состоянием.

- Прокладка пульпопровода предусматривается в ж/б лотках, чтобы контролировать любые утечки в местах, где пульпопровод идет не по краю дамбы хвостохранилища, а также вести мониторинг за состоянием пульповодов, проводить замеры толщины труб (выявлять участки труб с критической толщиной).

- На случай прорыва пульпопровода предусмотрены емкости для стока пульпы, куда пульпа самотеком стекает по изолированному лотку. Персонал обогатительной фабрики получает сообщение о прорыве по радиосвязи и автоматически перекрывает выход пульпы в трубопровод.

- Для наблюдения за рабочим состоянием хвостового хозяйства и дамб проводятся контрольные осмотры, с записью в регистрационном журнале. Само тепло дамб при проектировании рассчитывается на напорные, сейсмические и другие нагрузки, поэтому непредвиденные ситуации исключаются.

- Проектирование всех капитальных строений, оборудования и резервуарного парка проведено с учетом сейсмичности на площадках в 8-9 баллов. Любые маловероятные утечки из элементов технологического цикла при землетрясении будут локализованы внутри здания фабрики и окружающей её площадки.

- Вдоль трассы пульпопровода постепенно будет восстановлен растительный покров, нарушенный при строительстве. В случае аварийной ситуации на трассе, растительный покров будет дополнительной степенью безопасности, т.к. может предотвратить миграцию тяжелых металлов на близлежащие участки.

- При угрозе землетрясения персонал обогатительной фабрики соответственно должностным инструкциям и распоряжениям останавливает загрузку руды, технологические процессы и выпуск пульпы в пульпопровод. Перед возобновлением работы все технологические участки и хвостовое хозяйство тщательно проверяются.

НДТ 46 Транспортировка и хранение реагентов и материалов

НДТ состоит в том, что транспортировка всех химических реагентов осуществляют при соблюдении следующих основных условий:

- Составления карты маршрута транспортировки химических реагентов, учитывающей маршрут движения колонны транспорта и машин сопровождения, скорость и интервал движения автотранспорта, время прибытия в пункт назначения.

- Наличие идентификационных знаков различия машин, предназначенных для транспортировки различных химических реагентов.

- Наличие оперативной ВЧ связи машины сопровождения с диспетчером пункта доставки.

- Строгое выполнение графика движения колонны и своевременность выхода на ВЧ связь при прохождении колонной контрольных точек маршрута движения.

- При возникновении аварийной ситуации транспорта на маршруте - немедленное уведомление о случившемся лидером колонны.

- Место складирования каждого реагента должно быть обозначено надписью с наименованием хранимого реагента. Хранение реагентов в нерассортированном виде запрещается.

- Сроки хранения и использования реагентов на складах не должны превышать сроки годности реагентов, устанавливаемые заводами-изготовителями.

- Жидкие флотореагенты разгружаются механизированным способом. После слива горючих реагентов из цистерн их остатки удаляют из шланга, который отсоединяют и промывают водой. Во время слива горючих флотореагентов из цистерн трубопроводы и цистерны должны быть заземлены. Перед перекачкой жидких флотореагентов проверяют надежность системы контроля уровня заполнения емкостей.

Раздел 6 Экономические аспекты реализации наилучших доступных технологий

6.1 Общие положения

Методология экономической оценки эффективности технологии, принятой в качестве НДТ [126], базируется на сопоставлении затрат, связанных с внедрением конкретной НДТ, и ограничений ее использования, с одной стороны, и выгод от внедрения, с другой стороны.

Затраты на внедрение НДТ включают в себя:

1) капитальные затраты;

2) эксплуатационные затраты — затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание установки, сооружения, технологии, процесса, определяемых в качестве НДТ (оплата труда, затраты на энергоносители, на приобретение материалов и услуг, необходимых для эксплуатации оборудования и реализации технологии).

Выгодами от внедрения НДТ являются дополнительные доходы, предотвращенные издержки, налоговые льготы и государственная финансовая поддержка.

К дополнительным доходам могут быть отнесены: реализация побочной продукции и оказание услуг, экономия на использовании в производственных процессах попутных ресурсов тепло-и электроэнергии.

Предотвращенные издержки могут включать сокращение потерь при транспортировке пылящих материалов (продукции, горной массы), снижение затрат за счет сокращения простоев и оптимизации использования подвижного состава и т. д.

Выгоды от внедрения НДТ включают также уменьшение сумм природоохранных платежей за счет:

1) снижения объема эмиссий;

2) применения коэффициента 0 к ставке платы за негативное воздействие на кружающую среду согласно п. 5 ст. 16.3 [1];

3) налоговых льгот, предусмотренных ст. 17 [1];

4) государственной поддержки (выделение средств федерального бюджета и бюджетов субъектов Российской Федерации с целью содействия в осуществлении инвестиционной деятельности, направленной на внедрение НДТ и реализацию иных мер по снижению негативного воздействия на окружающую среду) согласно ст. 17 [1];

5) получения дополнительных доходов от повышения качества продукции (за счет повышения конкурентоспособности продукции и расширения рынков сбыта).

При оценке экономической целесообразности внедрения технологии в качестве НДТ необходимо учитывать ряд следующих факторов:

1) особенности технологического процесса и используемого оборудования (технические возможности модернизации оборудования, технико-экономические показатели проекта модернизации);

2) масштаб производства;

3) конъюнктуру рынка, в том числе эластичность спроса цены на конечную продукцию, ценовая динамика, объем спроса;

4) наличие транспортной инфраструктуры, логистику, доступность инфраструктурных и технологических объектов;

5) 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.);

6) финансовые особенности проекта, связанные с периодом внедрения технологии, необходимостью использования кредитных финансовых ресурсов, дисконтированием показателей;

7) стадии жизненного цикла предприятия;

8) остаточный объем запасов полезных ископаемых и время до прекращения добычных работ;

9) в целом экономическую ситуацию в стране и уровень инвестиционного климата в регионе присутствия.

Для оценки доступности технологий, представленных в разделе 5, с точки зрения экономической целесообразности был использован метод экспертных оценок.

6.2 Добыча руд цветных металлов

РезультатыэкономическойоценкиНДТ добычи руд представленыв таблице 6.1. поукрупненнымгруппамтехнологий.

Таблица 6.1 — Экономические аспекты реализации НДТ добычи руд цветных металлов

№	Метод/оборудование/мероприятие	Эффект	Затраты, тыс. руб.
1	Пылеподавление обуреваемых блоков с применением воды и вяжущих растворов	Снижение загрязнения атмосферного воздуха пылью на 80 % на обрабатываемых участках	10,3
2	Полив экскаваторных забоев, автодорог в карьере, на территории РУ, ЦХХ ОФ, УЭК и ООС, ДСФ	Снижение загрязнения атмосферного воздуха пылью на 80 % на обрабатываемых участках	67,1

№	Метод/оборудование/мероприятие	Эффект	Затраты, тыс. руб.
3	Применение пылеподавляющего материала на автодорогах карьера, ДСФ, ЦХХ ОФ, РУ	Снижение загрязнения атмосферного воздуха пылью на 85 % на обрабатываемых участках	12,5
4	Рекреационные посадки из древесно-кустарниковых культур и многолетних трав на территориях, закрепленных за структурными подразделениями	Сокращение вторичного пылеобразования	9,8

6.3 Обогащение руд цветных металлов

6.3.1 Технико-экономические показатели флотационных фабрик

В таблицах 6.2 и 6.3 представлены сведения о затратах компаний, применяющих наиболее распространенные решения, направленные на предотвращение, сокращение негативного воздействия и на повышение ресурсоэффективности.

Таблица 6.2 — Капитальные затраты и годовые эксплуатационные расходы в расчете на одну мельницу разных типоразмеров

Показатели	Стержневая мельница D × L, мм	Шаровая мельница D × L, мм		
	3200 × 4500	3200 × × 3100	3600 × × 4000	3600 × × 5000
Объем мельницы, $м^3$	32	22,5	36	45
Капитальные затраты в расчете на одну мельницу, тыс. руб.	92 411	51 150	79 112	90 706
Годовые эксплуатационные расходы в расчете на одну мельницу, тыс. руб.	55 242	39 556	60 016	72 292

Таблица 6.3 — Эксплуатационные расходы, капитальные затраты и расход энергии для флотационных фабрик при годовой производительности фабрики по руде не менее 4 млн т/г

№	Операции переработки	Эксплуатационные расходы, руб./т руды [1)]	Капитальные затраты, руб./т годовой производительности по руде
1	Крупное, среднее, мелкое дробление, грохочение, транспортирование, затраты по складу крупной руды	30,7–37,5	136,4–204,6
2	Бункерование руды в цехе измельчения	17,1	1,1

Окончание таблицы 6.3

№	Операции переработки	Эксплуатационные расходы, руб./т руды [1]	Капитальные затраты, руб./т годовой производительности по руде
3	Измельчение до 70 % — 75 % — 74 мкм, классификация в механических клас-сификаторах или в гидроциклонах	156,9–245,5	238,7–293,3
4	Флотация (без стоимости флотационных реагентов) [2]	17,4	56,3
5	Сгущение [3] в сгустителях:		
5.1	Ø 18 м	58,0–95,5	324,0–395,6
5.2	Ø 24–30 м	37,5–64,8	221,7–306,9
5.3	Ø 50 м	27,3–30,7	184,1–204,6
6	Фильтрование [3]	44,3	44,3–109,1
7	Сушка [3] (без стоимости топлива)	78,4 [4]/44,3	436,5 [4]/184,1
8	Складирование и отгрузка концентрата [3]	17,1–34,1	68,2–136,4
9	Удаление и укладка хвостов [3]	34,1–68,2	170,5–409,2

[1] При определении затрат стоимость 1 кВт·ч принята 3,16 руб. Стоимость 1 м' воды — 1,98 руб.

[2] Показатели по флотации даны для случая, когда удельный объем флотационных машин составляет 0,05 $м^3$/(т/сут).

[3] Расходы и удельные затраты по операциям обезвоживания, сушки, удаления и укладки хвостов, складирования и отгрузки концентрата даны на 1 т продукта, поступающего в эти операции.

[4] В числителе даны удельные затраты при продолжительности периода сушки 5 мес в году, в знаменателе — при круглогодовой сушке.

6.3.2 Селективное извлечение металлов из сточных вод

Для адаптации к селективному извлечению металлов в первую очередь пригодны те методы, область применения которых включает воды, аналогичные по качеству техногенным водам горных предприятий. Анализ многочисленных литературных источников позволил выявить область применения методов очистки сточных вод и особенности удаления меди и цинка (см. таблицу 6.4).

Таблица 6.4 — Эколого-экономическая оценка методов удаления металлов из природных и техногенных вод [114]

Метод	(+) Достоинства метода. (−) Недостатки метода	Область применения, максимальная эффективность удаления металлов (П)	Особенности удаления меди и цинка	Себестоимость (энергозатраты)
Осаждение переводом в труднорастворимые соединения (в том числе известкованием)	(+) Высокая эффективность комплексного извлечения; простота аппаратурного оформления (−) Образование осадков коллоидной степени дисперсности; образование значительного количества шламов; повышенное солесодержание в очищенной воде; не всегда известкование обеспечивает глубокое осаждение металлов; большой расход реагентов, в том числе извести; требует больших площадей для отстойников и фильтровального оборудования	Области применения зависят от содержания железа в карбонатной, бикарбонатной или сернокислой форме, марганца, щелочности, pH, окисляемости, присутствия в воде CO_2 и H_2S. Комплексное осаждение возможно практически при любой концентрации металлов в растворе. П ~98 %	Совместное осаждение гидроксидов меди и цинка в точке начала осаждения меди (pH 4,2) возможно при мольном отношении Cu^{2+}/Zn^{2+} 1:445. Теоретически рассчитанный интервал между значениями pH начала осаждения меди и цинка при соотношении 1:1 составляет 1,3	По станциям нейтрализации шахтных и подотвальных вод ГОП Южного Урала 17–23 руб./м^3
Ионный обмен (смолы)	(+) Высокая селективность извлечения металлов; может применяться практически для всех видов стоков при раздельном или совместном их канализовании	Для стоков с часовым расходом до 500 м^3/ч и концентрацией металлов до 50 мг/дм^3. П ~98–99	Эффективно извлекают ионы цинка в широком диапазоне значений pH сильнокислотные сульфокатиониты	Для шахтных вод до 120 руб./м^3. Основной вклад в себестоимость

Продолжение таблицы 6.4

Метод	(+) Достоинства метода. (−) Недостатки метода	Область применения, максимальная эффективность удаления металлов (П)	Особенности удаления меди и цинка	Себестоимость (энергозатраты)
	(−) Требует предварительной очистки растворов от механических примесей, масел и жиров; при наблюдающейся тенденции к увеличению объема перерабатываемых растворов и снижению концентрации извлекаемых металлов не выгоден по кинетическим характеристикам: стадии сорбции и десорбции требуют часов и десятков часов; высокая стоимость ионитов			вносит стоимость регенерирующих реагентов
Сорбция (в том числе сорбционные геохимические барьеры)	(+) Возможность селективного извлечения компонентов; простота аппаратурного оформления; возможность полной или частичной автоматизации всего процесса; высокая производительность процесса удаления загрязнений угольными сорбентами; низкая чувствительность к колебаниям скорости потока сточных вод	Активированный уголь применяется для очистки сточных вод, загрязненных слабыми электролитами или неэлектролитами. Мутность поступающей на сорбцию воды <10 мг/дм^3 П ~98 %	Области оптимальной адсорбции металлов на углеродных сорбентах практически совпадают с областями осаждения гидроксидов. Селективность достигается модифицированием сорбентов ряд сорбируемости	Главной составляющей является стоимость сорбента и затраты на его регенерацию

Продолжение таблицы 6.4

Метод	(+) Достоинства метода. (−) Недостатки метода	Область применения, максимальная эффективность удаления металлов (П)	Особенности удаления меди и цинка	Себестоимость (энергозатраты)
	(−) Высокая стоимость сорбентов; низкая концентрация металла в твердой фазе; сложность регенерации сорбентов, поглотивших значительное количество металлов; необходимость предварительного осветления стоков	до концентрации металлов в растворе менее 10 мг/дм^3	сибайским цеолитом, модифицированным моноэтаноламином — Cu>Zn>Ni>Ag; тиокарбамидом — Ag>Cu>Zn>Ni [212]	
Ионная флотация	(+) Извлекает практически любые металлы; экономичность; высокая производительность; простота реализации (−) Использование для селективного извлечения металлов реагентов, промышленное производство которых в России отсутствует	Применяют для растворов с концентрацией металлов меньше $10^{-3}...10^{-2}$ моль/дм^3. Степень извлечения металлов в пену при оптимальных условиях флотации П ~99 %	Ионы собирателя должны быть противоположны по знаку ионам, содержащим медь или цинк, необходимо соблюдение диапазона pH среды (например, по данным [213], величина pH для флотации Cu(II) — 1, 2-диацилгидразином — 6,5–12)	До 64 руб./м^3
Цементация	(+) Простота аппаратурного оформления; осаждение возможно в широком диапазоне кислотности раствора	Применяют для осаждения более электроположительных ме-	Эффективна цементация меди железом из сернокислых растворов с со-	До 69 руб./м^3

Продолжение таблицы 6.4

Метод	(+) Достоинства метода. (−) Недостатки метода	Область применения, максимальная эффективность удаления металлов (П)	Особенности удаления меди и цинка	Себестоимость (энергозатраты)
	(−) Образование значительных объемов шламов; вторичное загрязнение ионами металла-цементатора; возможен гидролиз солей Al и Fe; большой расход металла цементатора; требуется доочистка сточной воды; возможно обратное растворение цементных осадков	таллов, находящихся в растворенном состоянии, на менее электроположительных металлах, находящихся в твердом состоянии. П ~85 % — 90 %	держанием меди от 500 (1000 мг/дм^3) до 35 г/дм^3 при pH 2–4,5. Количественное осаждение металла из концентрированных растворов позволяет проводить предварительное осаждение меди цементацией из растворов	
Гальванокоагуляция	(+) Отсутствие реагентов; простота аппаратурного оформления; в качестве загрузки используются отходы; низкие эксплуатационные затраты; высокая скорость процесса извлечения металлов; быстрая адаптация технологии при изменении состава и концентрации примесей	Широко применяется при очистке сточных вод от ионов тяжелых металлов в широком диапазоне концентраций П ~98 % при pH среды ~3–4, оптимальное значение pH 2–4	Медь из сернокислых стоков извлекается в течение первых нескольких минут контакта с гальванопарой «железо — углерод». Наиболее эффективное извлечение меди наблюдается при	До 51 руб./м^3 (0,15–2 кВт·ч на 1 м^3 очищаемой воды)

Продолжение таблицы 6.4

Метод	(+) Достоинства метода. (−) Недостатки метода	Область применения, максимальная эффективность удаления металлов (П)	Особенности удаления меди и цинка	Себестоимость (энергозатраты)
	(−) Расход электроэнергии; значительные расходы Fe при больших объемах сточной воды, низкое содержание извлекаемых металлов в осадке		pH исх. 2,5–2,7. Медь эффективно удаляется в широком диапазоне исходных концентраций 50–500 мг/дм^3. Цинк — при концентрациях до 500 мг/дм^3	
Электрокоагуляция	(+) Высокая эффективность очистки (очистка до ПДК); очищенная вода используется в обороте; исключается расход реагентов; незначительные площади под оборудование; быстрая адаптация технологии при изменении состава и концентрации примесей	Для стоков с концентрацией ионов цветных металлов до 100 мг/дм^3 и часовым расходом до100 м^3/ч	Возможность селективного разделения меди и цинка в литературе не рассматривалась	До 50 руб./м^3 (0,1–0,4 кВт·ч на 1 м^3)[3]
	(−) Расход электроэнергии; невозможность очистки концентрированных стоков без их разбавления. Пассивация анодов, применение постоянного электрического тока			
Электрофлотация	(+) Простота эксплуатации; возможность регулирования процесса	Для стоков с концентрацией ионов цветных	Для сульфидов и гидроксидов степень извлече-	Расход электроэнергии 1–

Продолжение таблицы 6.4

Метод	(+) Достоинства метода. (−) Недостатки метода	Область применения, максимальная эффективность удаления металлов (П)	Особенности удаления меди и цинка	Себестоимость (энергозатраты)
	(−) Высокий расход электроэнергии; образование флотошлама	металлов 10–100 мг/дм^3. Оптимальная плотность тока <3 А/дм^3 П = 90 % — 97 % (по Cu и Zn 98 % — 99 %)	ния возрастает в ряду:CuS-ZnS-$Cu(OH)_2$ - $Zn(OH)_2$. Степень электрофлотационного разделения максимальна в изоэлектрической точке для $Cu(OH)_2$ и $Zn(OH)_2$ pH 10	2 кВт·ч на 1 м^3. До 47 руб./м^3
Электролиз	(+) Компактность установки; относительная простота эксплуатации; сокращение реагентного хозяйства; возможность получения на катоде свободного металла, отсутствие вторичного загрязнения стока (−) Низкая производительность аппаратов, значительный расход электроэнергии	Для веществ, содержащих тяжелые металлы, которые разрушаются под действием электрического тока с образованием нетоксичных соединений, оптимальное значение pH 2, анодная плотность тока 0,2–2 А/дм^2	Для катодного осаждения металла и растворов с [Me] более 1000 мг/дм^3 ([Cu] = 1–5 г/дм^3 для электролиза — низкоконцентрированные растворы): 1. максимальная поверхность катода; 2. интенсивное перемешивание для устранения диффузионных ограничений	(300 кВт/ч на тонну меди)
Электродиализ	(+) Высокая эффективность очистки; не требует применения реагентов	Общее солесодержание 3–10 г/дм^3	Возможно селективное разделение меди и цинка	На снижение солесодержа-

Метод	(+) Достоинства метода. (−) Недостатки метода	Область применения, максимальная эффективность удаления металлов (П)	Особенности удаления меди и цинка	Себестоимость (энергозатраты)
	(−) Значительный расход электроэнергии, сложность замены мембран, их чувствительность к изменению состава примесей. Развитие концентрационной поляризации; зарастание мембран труднорастворимыми солями и отравление соединениями железа, расход энергии; необходимость предварительного осветления стоков	П = 96 % — 98 %	при определенном соотношении (например, по данным [190], разделение возможно до соотношения их 1:1,5 ($C_{Cu(II)}/C_{Zn(II)}$ = 0,66) и практически невозможно при достижении соотношения 1:2,5 ($C_{Cu(II)}/C_{Zn(II)}$ = 0,4))	ния в очищаемой воде в 50 раз затрачивается энергии ~7 кВт·ч
Обратный осмос ультрафильтрация	(+) Возможность селективного извлечения компонентов; очистка до ПДК; возврат очищенной воды в оборот; регенерация растворенных веществ; незначительный расход электроэнергии; компактность установки; простота эксплуатации; легко автоматизируется	Рекомендуется применять в виде локальной очистки стоков с различной концентрацией загрязнений после предварительного осветления	Возможность селективного разделения меди и цинка в литературе не рассматривалась	Для водоподготовки 15–22 руб./м^3 Для очистки сточных вод нет данных
	(−) Высокая стоимость мембран; нестойкость мембран в агрессивных средах. Выход из строя мембран в результате закупоривания пор осадком; необходимость предварительного осветления			

Окончание таблицы 6.4

Метод	(+) Достоинства метода. (−) Недостатки метода	Область применения, максимальная эффективность удаления металлов (П)	Особенности удаления меди и цинка	Себестоимость (энергозатраты)
Экстракция	(+) Возможность селективного извлечения компонентов; очистка до ПДК; возврат очищенной воды в оборот; регенерация растворенных веществ; незначительный расход электроэнергии	Экономически целесообразна для растворов с концентрацией металлов более 2000 мг/дм^3	Возможно селективное разделение меди и цинка при соблюдении оптимального pH	При извлечении меди в 1,2–5 раз выше себестоимости цементации на железном скрапе [225]

Расчет капитальных затрат на реализацию технологии селективного осаждения меди и цинка с последующей доочисткой потока из подотвальных вод СФ ОАО «УГОК» приведен в таблице 6.5.

Таблица 6.5 — Смета капитальных затрат

№	Наименование оборудования	Цена за ед., тыс. руб.	Количество	Сумма, тыс. руб.
1	Бак исходной воды (V = 100 м^3)	372	1	372
2	Насос подачи сточных вод АХ 80-65-160 К-5 50/35	77,4	4	309,6
3	Реактор-отстойник (V = 25 м^3)	640	4	2560
4	Гальванокоагулятор КБ 8	1000	2	2000
5	Гальванокоагулятор КБ 2	2000	2	4000
6	Резервуар-шламонакопитель медьсодержащего осадка (V = 10 м^3)	178	1	178
7	Резервуар-шламонакопитель цинксодержащего осадка (V = 30 м^3)	240	1	240
8	Перистальтический насос для перекачки шлама РТ 10	64,3	4	257,2
9	Компрессор сжатого воздуха BECKERDP 2.100 (3 × 230/380V) (Q = 100 м^3/ч)	131,2	4	524,8
10	Станция приготовления раствора флокулянта, 1000 дм^3/ч	580	1	580
11	Шнековый насос раствора флокулянта (Q = 400 дм^3/ч, H = 10 м в. ст.)	12	2	24
12	Насос-дозатор щелочного реагента MS1B108C (Q = 120 дм/ч, H = 5 бар)	30	2	60
13	Бак-аэратор (V = 15 м^3)	185	2	370
14	Фильтр-пресс РЗМ 630 × 630	650	2	1300
15	Насос для перекачки фильтрата АХ 40-25-125 Ас	19,44	2	38,88
16	Сорбционный резервуар	410	2	820
17	Расходный бак щелочного реагента с дозатором (V = 2 м^3)	60	2	120
18	Итого оборудования			13 754,5
19	Неучтенное оборудование	0,15		2063,17
20	Документация и проектирование	0,1		1375,45
21	Итого капитальных вложений:			17 193,1

Затраты на материалы (см. таблицу 6.6) определены, исходя из годового объема перерабатываемых техногенных вод и удельного расхода требуемых материалов.

Таблица 6.6 — Материальные затраты на реализацию технологии

№	Наименование материала	Ед. изм.	Удельный расход, на м^{3}3	Объем вод, тыс. м^3/г	Цена, руб./ед.	Стоимость, тыс. руб./г	На 1 м^3 воды, руб.
1	Железный скрап	кг	2	489	6	5868	12
2	Кокс	кг	0,08		16	625,92	1,28
3	Гидроксид натрия	кг	0,15		30	2200,5	4,5
4	Флокулянт	кг	0,0017		250	207,825	0,425
5	Фильтроткань для рамного фильтра	2м	0,000 01		0,06	0,000 293 4	6E-07
6	Итого					8902,25	18,21
7	Неучтенные материалы, 10 %					890,22	1,82
8	Всего:					9792,47	20,03

Энергозатраты (см. таблицу 6.7) определены по двуставочному тарифу — тарифу за 1 кВт установленной мощности и тарифу за 1 кВт/ч израсходованной электроэнергии, руб.

Таблица 6.7 — Энергозатраты технологии

№	Наименовани оборудования	Кол-во, шт.	Установленная мощность, кВт	Тариф за 1 кВт, руб.	Расход электроэнергии, кВт/ч	Тариф за 1 кВт/ч, руб.	Сумма, тыс. руб
1	Насос подачи сточных вод АХ 100-65-315 К-5 50/35	2	15	200	63 360	2,1	270,512
2	Гальванокоагулятор КБ 8	2	4		23 040		98,368
3	Гальванокоагулятор КБ 2	2	8		46 080		196,736
4	Компрессор	4	1,25		7200		61,48
5	Электромеханический зажим плит фильтр-пресса	2	3		17 280		73,776
6	Насос для перекачки фильтрата АХ 40-25-125 А-СД	2	2,2		6336		27,4912
7	Станция приготовления раствора флокулянта, 1000 дм^3/ч	3	3		2160		5,136
8	Насос-дозатор щелочного реагента	2	0,37		2131,2		9,099 04

Окончание таблицы 6.7

№	Наименовани оборудования	Кол-во, шт.	Установленная мощность, кВт	Тариф за 1 кВт, руб.	Расход электроэнергии, кВт/ч	Тариф за 1 кВт/ч, руб.	Сумма, тыс. руб
9	Перистальтический насос для перекачки шлама РТ 10	4	0,18		1036,8		8,853 12
10	Итого				213 120		751,4514

Расход электроэнергии для гальванокоагуляторов принят из удельного расхода 0,1 кВт·ч/м обрабатываемых вод. Энергоемкость процесса составляет 1,53 кВт·ч/м. Расчет заработной платы (см. таблицу 6.8) произведен с учетом работы в течение года 1 оператора установки и 1 электрослесаря в смену. Режим работы 4 бригад — 7 дн в неделю по 8 ч в смену.

Таблица 6.8 — Расчет годового фонда заработной платы обслуживающего персонала

№	Наименование профессии	Численность, чел	Категория персонала	Средняя заработная плата, тыс. руб./мес	ФЗП, тыс. руб./г
1	Оператор установки	4	Специалист	15	720
2	Слесарь	4	Рабочий	10	480
3	Итого:				1200

Сумма амортизации принята 10 % от стоимости капитальных вложений и составит 1,7 млн руб./г. Смета эксплуатационных затрат на реализацию ресурсовоспроизводящей технологии представлена в таблице 6.9.

Таблица 6.9 — Смета эксплуатационных затрат на реализацию ресурсовоспроизводящей технологии

№	Наименование статьи затрат	Сумма, тыс. руб.	Удельные затраты, руб./м^3	Структура, %
1	Заработная плата, в том числе:	1320	2,70	7,51
2	Основная заработная плата	1200	2,45	6,82
3	Дополнительная заработная плата	120	0,25	0,68
4	Взносы на обязательное страхование и страховой тариф от НС и ПЗ	492	1,01	2,80
5	Затраты на материалы	9792,47	20,03	55,68
6	Энергозатраты	751,4514	1,54	4,27
7	Амортизация	1719,31	3,52	9,78
8	Общепроизводственные расходы	1913,285	3,91	10,88
9	Итого производственная себестоимость	15 988,52	32,70	90,91

Окончание таблицы 6.9

№	Наименование статьи затрат	Сумма, тыс. руб.	Удельные затраты, руб./м^3	Структура, %
10	Коммерческие расходы	1598,852	3,27	9,09
11	Итого полная себестоимость	17 587,37	35,97	100,00

Таким образом, себестоимость переработки 1 м^3 подотвальных вод составила 35,89 руб.

Оценка стоимости товарной продукции произведена исходя из ее номенклатуры, объемов товарной продукции, средней годовой цены на металлы по данным LME, коэффициента цены ($К_ц$ = 0,5), курса доллара.

Товарной продукцией, получаемой в результате реализации ресурсовоспроизводящей технологии комплексной переработки подотвальных вод, будут являться: медьсодержащие и цинксодержащие ферритные осадки, которые подшихтовываются к одноименным концентратам.

Расчет стоимости товарной продукции произведен по методике расчета извлекаемой ценности руды и представлен в таблице 6.10.

Таблица 6.10 — Расчет стоимости товарной продукции

№	Наименование продукции	Количество товарной продукции, т			Цена металла, $/т	Курс доллара, руб./$	$К_ц$	Стоимость товарной продукции, тыс. руб.		
		в час	в сутки	в год				в час	в сутки	в год
1	Ферритный медьсодержащий осадок									
	Медь	0,017 77	0,43	102,36	7901	33	0,5	2,32	55,60	13 343,69
	Цинк	0,003 43	0,08	19,76	2051	33	0,5	0,12	2,79	668,60
2	Ферритный цинксодержащий осадок									
	Цинк	0,0388	0,93	223,49	2051	33	0,5	1,31	31,51	7563,17
	Медь	0,000 63	0,02	3,63	7901	33	0,5	0,08	1,97	473,07
	Итого товарной продукции							3,83	91,87	22 048,53

Годовой объем реализации составит 22,05 млн руб., извлекаемая ценность 1 м^3 сточных вод составит 45,08 руб. Таким образом, удельный экономический эффект технологии переработки металлоносных подотвальных вод по гальванокоагуляционной технологии составит 9,12 руб./м^3.

Годовой размер налоговых отчислений составит 1758,9 тыс. руб. (см. таблицу 6.11)

Таблица 6. 11 — Расчет бюджетной эффективности ресурсовоспроизводящей технологии комплексной переработки техногенных вод АО «Учалинский ГОК»

Наименование показателя	2013	2014	22015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Налог на имущество	378,2	378,2	378,2	378,2	378,2	378,2	378,2	378,2	378,2	378,2	378,2	378,2	378,2	378,2	378,2
Отчисления на страховые взносы	410,4	410,4	410,4	410,4	410,4	410,4	410,4	410,4	410,4	410,4	410,4	410,4	410,4	410,4	410,4
Страховой тариф от НС и ПЗ	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0	78,0
Налог на прибыль	892,2	892,2	892,2	892,2	892,2	892,2	892,2	892,2	892,2	892,2	892,2	892,2	892,2	892,2	892,2
Итого поступлений налогов	1758,9	11758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9
Ставка сравнения и индексы дисконтирования	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2
Чистый дисконтированный доход	1599,0	1453,5	1321,4	1201,3	1092,1	992,9	92,7	820,5	745,9	678,0	616,5	560,4	509,5	463,1	421,1
То же, нарастающим итогом	1599,0	3052,5	4374,0	5575,3	6667,4	7660,3	8562,9	9383,5	10129,4	10807,4	11423,9	11984,3	12493,9	12957,0	13378,0

Расчет показателей эффективности инвестиционного проекта проводился на основе методики UNIDO при ставке сравнения 14 %.

Снижение платы за экологический ущерб рассчитано на снижение концентраций загрязняющих веществ в сбросе по сравнению с достигаемыми результатами очистки вод методом известкования.

Расчет экономии платы за загрязнение окружающей природной среды сбросами вредных (загрязняющих) веществ в водные объекты представлен в таблице 6.12. Экономия на платежах за сброс загрязняющих веществ в водные объекты для АО «Учалинский ГОК» составит 1,9 млн руб./г.

Окончание таблицы 6.12

Таблица 6.12 — Экономия платежа за сброс загрязняющих веществ в водные объекты

Наименование выпуска	Объем сточных вод, тыс. м^3	Компонент	Концентрация, мг/л	Сброс, кг/г	ПДС, кг/год	В пределах ПДС, кг	В пределах лимита	Сверх лимита, т	Норматив платы в пределах ПДС, руб./т	Норматив платы в пределах лимита, руб./т	Коэффициент экологической ситуации	Коэффициент индексации	Плата в пределах ПДС, тыс. руб.	Плата в пределах лимита, тыс. руб.	Плата за сверхлимитное загрязнение, тыс. руб.	Всего плата, тыс. руб.
До очистки																
Участок флокуляции	489	Медь	0,72	352,08		0	0	0,35208	275481	1377405	1,14	2,2	0	0	1216,27	1216,27
		Железо	1,97	963,33		0	0	0,96333	963,33	275480	1,14	1,78	0	0	538,505	538,505
		Цинк	1,2295	601,226		0	0	0,60123	601,226	137740	1,14	2,2	0	0	207,695	207,695
Итого по выпуску															1962,47	1962,47
После очистки																
Участок флокуляции	489	Медь	0,001	0,489		0	0	0,00049	275481	1377405	1,14	2,2	0	0	1,68927	1,68927
		Железо	0,08	39,12		0	0	0,03912	55096	275480	1,14	1,78	0	0	21,8682	21,8682
		Цинк	0,01	4,89		0	0	0,00489	27548	137740	1,14	2,2	0	0	1,68926	1,68926
Итого по выпуску															25,2468	25,2468
Экономия по платежам																1937,22

Выполненные расчеты эколого-экономической эффективности реализации ресурсовоспроизводящей технологии комплексной переработки техногенных вод с применением гальванокоагуляционно-сорбционной технологии (см. таблицу 6.13) показали ее высокую эффективность.

.

Таблица 6.13 — Расчет эколого-экономической эффективности реализации ресурсовоспроизводящей технологии комплексной переработки кислых подотвальных вод АО «УГОК»

Наименование показателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Итого
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	
Объем перерабатываемых вод, тыс. $м^3$	489,0	489,0	489,0	489,0	489,0	489,0	489,0	489,0	489,0	489,0	489,0	489,0	489,0	489,0	489,0	7335,0
Приток средств																
Снижение платы за экологический ущерб	1937,2	1937,2	1937,2	1937,2	1937,2	1937,2	1937,2	1937,2	1937,2	1937,2	1937,2	1937,2	1937,2	1937,2	1937,2	29057,7
Выручка от реализации	22048,5	22048,5	22048,5	22048,5	22048,5	22048,5	22048,5	22048,5	22048,5	22048,5	22048,5	22048,5	22048,5	22048,5	22048,5	330728,0
Амортизация	1719,3	1719,3	1719,3	1719,3	1719,3	1719,3	1719,3	1719,3	1719,3	1719,3	1719,3	1719,3	1719,3	1719,3	1719,3	25789,7
Итого	25705,0	25705,0	25705,0	25705,0	25705,0	25705,0	25705,0	25705,0	25705,0	25705,0	25705,0	25705,0	25705,0	25705,0	25705,0	385575,4
Отток денежных средств																
Капитальные затраты	17193,1															17193,1
Эксплуатационные затраты, в том числе	17587,4	17587,4	17587,4	17587,4	17587,4	17587,4	17587,4	17587,4	17587,4	17587,4	17587,4	17587,4	17587,4	17587,4	17587,4	263810,5
Налоги и платежи	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	1758,9	26383,2
Итого	36539,3	19346,2	19346,2	19346,2	19346,2	19346,2	19346,2	19346,2	19346,2	19346,2	19346,2	19346,2	19346,2	19346,2	19346,2	307386,8
Чистый поток денежных средств	-10834,3	6358,8	6358,8	6358,8	6358,8	6358,8	6358,8	6358,8	6358,8	6358,8	6358,8	6358,8	6358,8	6358,8	6358,8	206617,0

Окончание таблицы 6.13

Наименование показателя	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Итого
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	
То же, нарастающим итогом	-10834,3	-4475,6	1883,2	8242,0	14600,8	20959,6	27318,3	33677,1	40035,9	46394,7	52753,4	59112,2	65471,0	71829,7	78188,5	
Ставка сравнения и индексы дисконтирования	0,9	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	
Чистый дисконтированный доход	-9380,4	4766,6	4126,9	3573,1	3093,6	2678,4	2319,0	2007,8	1738,3	1505,1	1303,1	1128,2	976,8	845,7	732,2	21414,5
То же, нарастающим итогом	-9380,4	-4613,8	-486,8	3086,3	6179,9	8858,3	11177,3	13185,1	14923,4	16428,5	17731,6	18859,8	19836,6	20682,3	21414,5	
Срок окупаемости, лет																3

Оценка полученных показателей свидетельствует об эффективности НДТ:

- чистый дисконтированный доход — 21,4 млн руб.;
- внутренняя ставка доходности — 18,9 %;
- срок окупаемости — 3 года;
- индекс доходности — 1,15.

6.3.3 Размещение отходов в выработанном пространстве рудников и карьеров

Имеется оценка эколого-экономической эффективности складирования отходов горного производства в выработанном пространстве. Сумма платежей за загрязнение окружающей среды по видам приведена в табл. 6.14 - 6.18:

Таблица 6.14 — Расчет экономии на платежах за негативное воздействие на окружающую природную среду от передвижных источников загрязнения

Вид загрязняющего вещества	i *	Диоксид азота	Оксид азота	Сажа	Оксид углерода	Керосин	Пыль неорганическая
Ставка платы за выброс 1 т загрязняющего вещества, руб./т	C_i	52	35	80	0,6	2,5	41
Выброс загрязняющего вещества, т/г	$П_i$	8,98	1,15	1,25	8,34	1,86	0,03
Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости атмосферы в регионе	$К_{эк}$	2					
Коэффициент, применяющийся при осуществлении выбросов на территории городов	$К_{гор}$	1,2					
Коэффициент инфляции	$К_{ин}$	1,93					

Платежи за негативное воздействие на воздушный бассейн от передвижных источников:

ЭСПКэкКгорКин

$$Э_{воз.п} = \sum_{i=5}^{i} C_i \cdot \sum_{i=5}^{i} П_i \cdot К_{эк} \cdot К_{ин}, \text{руб/т}$$

$$Э_{воз.п} = (52 \cdot 8{,}98 + 35 \cdot 1{,}15 + 80 \cdot 1{,}25 + 0{,}6 \cdot 8{,}34 + 2{,}5 \cdot 1{,}86 + 41 \cdot 0{,}03) \cdot 2 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}93 = 28{,}01 \text{ руб/т}$$

Таблица 6.15 — Расчет экономии на платежах за негативное воздействие на воздушный бассейн от размещения текущих отходов обогащения в хвостохранилище

Вид загрязняющего вещества	*i*	Пыль неорганическая	Пыль
Ставка платы за выброс 1 т *i*-го загрязняющего вещества	C_i	41	41
Выброс *i*-го загрязняющего вещества	M_i	80,9	181,2

Платежи за негативное воздействие на воздушный бассейн от стационарных источников:

$$Э_{ВОЗ} = \sum_{i=2}^{i} C_i \cdot \sum_{i=2}^{i} M_i, \text{ руб/т}$$

$$Э_{ВОЗ} = 49{,}77 \text{ руб/т}$$

Таблица 6.16 — Расчет платежей за выбросы в окружающую природную среду

Вид загрязняющего вещества	Ставка платы за сброс 1 т *i*-го загрязняющего вещества, $C_{СЗВ}$, руб./т	Сброс *i*-го загрязняющего вещества $M_{iВОД}$	Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости поверхностного водного объекта $К_{ИН}$
Взвешенные вещества	366	10^{-7}	1,12
Нефтепродукты	5510	$0{,}05\ 10^{-6}$	
Цинк	27 748	$0{,}01\ 10^{-6}$	
Медь	275 431	$0{,}001\ 10^{-6}$	
Магний	6,9	$40\ 10^{-6}$	
Хлориды	0,9	$300\ 10^{-6}$	
Фтор	368	$0{,}05\ 10^{-6}$	
Мышьяк	5510	$0{,}05\ 10^{-6}$	
Свинец	45 913	$0{,}006 \cdot 10^{-6}$	

Общийобъем выбросов составил 4622,31 т/год.

Платежи за негативное воздействие на водный бассейн:

$$Э_{ВОД} = [366 \cdot 10^{-7} + 5510 \cdot 10^{-6} + 27748 \cdot 0{,}01 \cdot 10^{-6} + 275431 \cdot 0{,}001 \cdot 10^{-6} + 6{,}9 \cdot 40 \cdot 10^{-6} + 0{,}9 \cdot 300 \cdot 10^{-6} + 368 \cdot 0{,}05 \cdot 10^{-6} + 5510 \cdot 0{,}05 \cdot 10^{-6} + 45913 \cdot 0{,}006 \cdot 10^{-6}] \cdot 1{,}12 \cdot 1{,}93 \cdot 4622{,}31 = 55{,}99 \text{ руб/т}$$

Таблица 6.17 — К расчету платежей за размещение отходов

Исходные данные		
Ставка платы за размещение 1 т *i*-го отхода, руб./т	$С_{Лi}$	0,4
Коэффициент экологической ситуации и экологической значимости почв в данном регионе	$К_Э$	1,7
Фактическое размещение i-го отхода	$М_{i\ отх}$	322

Платежи за размещение отходов рассчитывались:

$$Э_{РАЗМ.ОТХ} = С_{Лi} \cdot К_{Э} \cdot М_{i\,ОТХ} \cdot К_{ИН} \cdot К_{ИСП}, руб/т$$

$$Э_{РАЗМ.ОТХ} = 0{,}4 \cdot 322 \cdot 1{,}7 \cdot 1{,}93 \cdot 0{,}3 = 126{,}7\ руб/т$$

где 0,3 — коэффициент, используемый при размещении отходов на специализированных полигонах и промышленных площадках, оборудованных в соответствии с установленными требованиями и расположенных в пределах промышленной зоны источника негативного воздействия.

При реализации разработанной технологии за 1 год в подземном выработанном пространстве будет размещено $Q_{ОТХ}$ = 96 600 т отходов обогащения, а снижение платежей за негативное воздействие на окружающую природную среду будут равны:

$$\sum Э_{ЭП} = Э_{ВОЗ.П} \cdot Э_{ВОЗ} \cdot Э_{ВОД} \cdot Э_{РАЗМ.ОТХ} \cdot Q_{ОТХ}, руб/год$$

$$\sum Э_{ЭП} = (28{,}01 + 49{,}7 + 55{,}99 + 126{,}7) \cdot 96600 = 25154640\ руб/год$$

Эколого-экономическая эффективность технологии утилизации текущих отходов переработки руд в выработанном пространстве подземных рудников АО «Учалинский ГОКа» составит 25,154 млн.руб.

Результаты расчета энергетической, экологической и технико-экономической эффективности приведены в сводной таблице экономического эффекта.

Таблица 6.18 — Сводная таблица экономического эффекта

№	Наименование параметра	Единица измерения	Показатели
Затратная часть			
1	Капитальные затраты	руб.	103 253 750
2	Энергетические затраты	руб.	8425 900
3	Эксплуатационные затраты	руб.	50 736 105
Итого:			162 415 755
Экономические эффекты			
1	Эффект от рекуперации энергии	руб.	10 800 000
2	Эффект от снижения экологических платежей	руб.	25 154 640
3	Эффект от снижения эксплуатационных затрат на содержание хвостохранилища	руб.	28 571 428
Итого:			64 526 068

Внедрение технологии утилизации отходов добычи и переработки медно-колчеданного сырья при закладке выработанного пространства рудника позволит снизить экологическую нагрузку в регионе при освоении месторождений «Ново-Учалинского», «Узельгинского», «Озерного» с экономическим эффектом 64,5 млн руб./г, в том числе за счет реализации технологии приготовления закладочной смеси в подземных выработках — 28,9 млн руб./г, за счет реализации технологии подземного сгущения хвостов обогащения руд — 25 млн руб./г.

Раздел 7. Перспективные технологии

7.1 Перспективные технологии добычи руд цветных металлов

Стратегия ресурсосбережения основана на положениях[118-134]:

- некорректность технологий проявляется в потере природных ресурсов;
- деградация экосистем является следствием некорректности технологий, поэтому прибыль от реализации товарного продукта должна уменьшаться на величину компенсации ущерба окружающей среде.

Традиционные системы разработки не отвечают требованию полноты использования недр, поскольку исключают из сферы производства составляющие большую часть месторождения забалансовые запасы. Выдача на земную поверхность для переработки всей отделенной от массива отвечающей современным кондициям горной массы и оставление в недрах не отвечающих кондициям запасов является недостатком традиционных технологий.

Технологии с твердеющими смесями являются эффективным средством управления массивом за счет контроля напряжений в массиве, но основаны на замещении объема выданных руд добываемыми на поверхности материалами, и для добычи компонентов твердеющих смесей снова разрушается верхний слой литосферы. Поэтому основным направлением совершенствования закладочных технологий является использование утилизируемого сырья.

Технологии с выщелачиванием металлов из руд позволяют извлекать до 50 – 70 % металлов на месте залегания руд. При комбинировании этих технологий богатые руды выдают на поверхность и перерабатывают на заводе, остальные – перерабатывают в подземных блоках и в штабелях на поверхности. Побочными товарными продуктами комбинированной технологии являются металлы, строительное сырье, обессоленная вода, хлор, водород, кислород, кислоты и щелочи.

Конечной целью развития природоохранной концепции является безотходное горное производство с полной утилизацией хвостов первичной переработки добываемого сырья. Утилизация хвостов возможна после извлечения из них металлов до уровня санитарных требований. Такому требованию отвечает ряд новых технологий, например, технология с воздействием на минеральное сырье одновременно механической и химической энергией в активаторах.

Для повышения экономической эффективности новые и традиционные технологии отработки балансовых и забалансовых запасов комбинируют на основе использования традиционной технологии и новых технологий подземного, кучного и механохимического выщелачивания в рамках единого процесса.

Одним из положительных результатов комбинирования является использование хвостов подземного выщелачивания, которые по окончании извлечения металлов на месте залегания естественными вяжущими веществами скрепляются в массив, прочность которого сравнима с прочностью твердеющих смесей.

Резервом экономики является вовлечение в производство некондиционных ресурсов путем использования технологий с выщелачиванием металлов, которые целесообразно комбинировать с традиционными технологиями разработки.

При оптимальном сочетании геологических, экономических и технологических факторов в повторную разработку месторождения вовлекаются металлосодержащие

породы. Увеличение производственной мощности предприятий компенсирует увеличение затрат на разведочные мероприятия и, несмотря на существенное увеличение эксплуатационных затрат, способно обеспечить прибыль.

Доработка потерянных запасов становится экономически эффективной, когда технологии будут оценивать не только по извлеченному полезному компоненту, но и потерянному при добыче и переработке.

Оптимальное значение показателей комбинирования достигается, когда меньшая часть руды выдается на поверхность, а большая часть руды выщелачивается под землей. Сквозной коэффициент извлечения при комбинированной технологии сопоставим с извлечением при традиционной технологии, а минимизация затрат дает возможность получить прибыль.

Утилизируемые без ограничения по санитарным условиям продукты механохимической переработки формируют сырьевую базу не только для горного производства, но и для смежных отраслей хозяйства.

Утилизация хвостов обогащения на основе технологий выщелачивания обеспечивает возможности погашения пустот твердеющими смесями, что важно при работе на больших глубинах, в массивах со склонностью к динамическим перераспределениям горного давления и в других сложных условиях.

Экономической концепт новой технологии состоит в том, что при сравнимых затратах из уже разведанного, вскрытого, подготовленного и извлеченного из недр сырья извлекается большее количество металла.

При выщелачивании в раствор извлекаются практически все содержащиеся в хвостах металлы.

Положительным эффектом комбинирования является исключение необходимости хранения хвостов переработки с минимизацией ущерба окружающей среды.

Экономика горного производства может быть улучшена созданием смежных производств товарной продукции из хвостов выщелачивания руд и хвостов обогащения после извлечения металлов до уровня санитарных норм.

Металлические месторождения включают балансовые и забалансовые запасы. Перестройка производства на добычу выщелачиванием только забалансовых запасов не всегда возможна, поэтому реальное вовлечение забалансовых запасов в производство обеспечивается при комбинировании традиционной и новой технологий.

В первой стадии комбинированной разработки примерно треть балансовой руды извлекается одним из вариантов традиционной системы с созданием компенсационного пространства для отбойки оставшихся балансовых и забалансовых запасов руды.

Во второй стадии совместно балансовые и забалансовые запасы отбивают на открытые камеры первой стадии, что усредняет содержание металлов в руде и улучшает условия выщелачивания.

За счет роста масштабов производства возможно снижение себестоимости продукции.

Основными показателями управления качеством руды в рудопотоках являются бортовое содержание полезного компонента в руде, при котором производится оконтуривание запасов, и минимальное промышленное содержание полезного компонента.

Большая часть перерабатывающих предприятий недостаточно загружена местным сырьем. Если на базовых рудниках увеличить производство концентратов, то за

счет улучшения использования мощностей рудников, фабрик, заводов и транспортных средств возможен экономический эффект.

Конверсия горных предприятий на новые технологии и комплексное использование ресурсов в 2–3 раза эффективнее по сравнению со строительством новых предприятий из-за использования имеющихся производственных фондов, запасов и инфраструктуры.

Эффект от применения комбинированной технологии может быть определен как сумма эффектов у производителя руд и концентратов и у их потребителя по сравнению с базовым вариантом.

Концепция технологической конверсии горного производства включает:

-повышение качества руд при технологиях с твердеющими смесями;

-максимальное использование недр при переработке некондиционных руд;

-полное извлечение ценных компонентов при заводской переработке.

Вовлечение в переработку источников химизации экосистем окружающей среды решает одновременно две проблемы глобального значения: упрочнение минерально-сырьевой базы горных предприятий и сохранение от деградации региона функционирования горного производства.

Оценивать перспективы совместного развития минеральной базы горной промышленности и тенденций природосбережения следует из того, что спрос на продукцию горного производства удовлетворять будет еще труднее, несмотря на вовлечение в эксплуатацию новых месторождений. Будут осваиваться глубокие горизонты действующих рудников, месторождения со сложными горно-геологическими условиями, бедные руды, что сопряжено со снижением содержания металла в добываемых рудах, увеличением объема отходов и усилением нагрузки на окружающую среду.

К настоящему времени накоплены организационные, технические и технологические решения, которые позволяют применять в широких масштабах комбинированные технологии на основе традиционного (ТС) способа переработки руд с использованием методов подземного (ПВ) и кучного (КВ) выщелачивания полезных компонентов (ПК).

Традиционная технология добычи (ТС).

Преимущества:

1) Незначительные потери ПК из балансовых запасов (5 % — 10 %).

2) Достаточно точный контроль за движением запасов в процессе добычи.

3) Широкие возможности маневрирования процессами добычи.

Недостатки:

1) Высокие трудоемкость и себестоимость добычи, транспортирования и переработки руды.

2) Значительное разубоживание руды (до 30 %) и, как следствие, повышение себестоимости конечного продукта на ГМЗ.

3) Сильное загрязнение окружающей среды.

Кучное выщелачивание (КВ)

Преимущества:

1) Возможность извлечения ПК из хвостов рудообогатительных фабрик (РОФ).

2) Возможность прямого контроля гранулометрического и вещественного состава выщелачиваемой руды.

3) Широкая возможность механизации и автоматизации производства.

Недостатки:

1) Дополнительные трудовые и материальные затраты на выдачу руды из недр и формирование штабеля.

2) Необходимость в земельных отводах под строительство штабелей КВ.

3) Заметное загрязнение окружающей среды.

Подземное выщелачивание (ПВ)

Преимущества:

1) В сравнении с традиционной технологией добычи более низкие трудоемкость и себестоимость.

2) Широкая возможность автоматизации и роботизации производства.

3) Высвобождение перерабатывающих мощностей гидрометаллургических заводов (ГМЗ).

4) Социально более благоприятные условия груда.

5) Малое загрязнение окружающей среды.

Недостатки:

1) Сравнительно низкое извлечение ПК из руды (коэффициент извлечения 0,6–0,8).

2) Сложность прямого контроля за движением запасов в процессе выщелачивания.

3) Необходимое строительство цехов по переработке растворов.

4) Потребность значительных рудных площадей для обеспечения заданной производительности рудника.

Основную часть балансовых запасов месторождений предпочтительно извлекать методами физико-технической геотехнологии, а при необходимости с переработкой-рудной массы на обогатительных фабриках (см. рисунок 7.1).



Рисунок 7.1 —Типовая горнотехническая система, основанная на комбинации физико-технических и физико-химических геотехнологий, обеспечивающих эффективное освоение природных и техногенных месторождений твердых полезных ископаемых

Большой интерес представляют так называемые ярусные горнотехнические системы отработки месторождений. Ярус — участок месторождения, в пределах нижней и верхней отметки вскрываемый и подготавливаемый определенным способом — открытым, подземным, открыто-подземным, скважинным, а также их сочетанием.

Типовые горнотехнические системы комбинированной физико-технической и физико-химической геотенологии включают следующие сочетания физико-технических способов добычи: открытый, подземный, открыто-подземный, выбуривание керна скважинной большого диаметра, гидродобыча и физико-химические методы — кучное выщелачивание на поверхности, в карьере и в подземных камерах, а также подземное и скважинное выщелачивание ценных компонентов из рудного массива с возможностью их выдачи в продуктивном растворе для последующей гидрометаллургической переработки или с осаждением на других рудах с целью их обогащения на месте залегания для добычи физико-техническими способами и выдачей в потоке рудной массы для пирометаллургического передела.

Одноярусные горнотехнические схемы предполагают возможность развития горных работ в пределах одного яруса — открытого или подземного. При этом реализуются сочетания этих базовых способов добычи с кучным выщелачиванием в карьере в подземных камерах второй очереди или в зоне обрушения, с подземным выщелачиванием бедных либо маломощных прибортовых рудных залежей, со специальной технологией добычи богатых руд выбуриванием скважин большого диаметра либо гидродобычей. Пример одноярусной горнотехнической системы с кучным выщелачиванием техногенного сырья в камерах второй очереди представлен на рисунке 7.2.

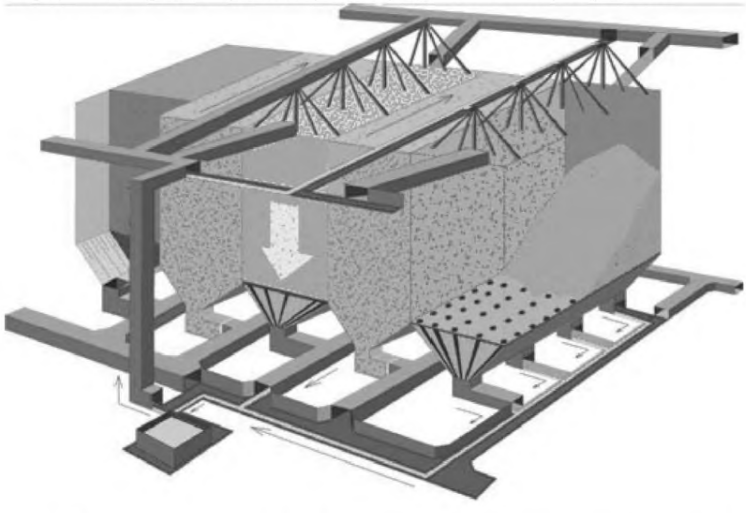


Рисунок 7.2 — Одноярусная горнотехническая система с твердеющей закладкой и выщелачиванием техногенного сырья в камерах второй очереди

В представленной на рисунке 7.3 одноярусной горнотехнической системе кеки кучного выщелачивания на поверхности рудника используются для приготовления

твердеющего закладочного массива, формируемого в камерах первой очереди. На промплощадке рудника организовывается участок выщелачивания хвостов обогащения, бедных руд или отходов сепарации.

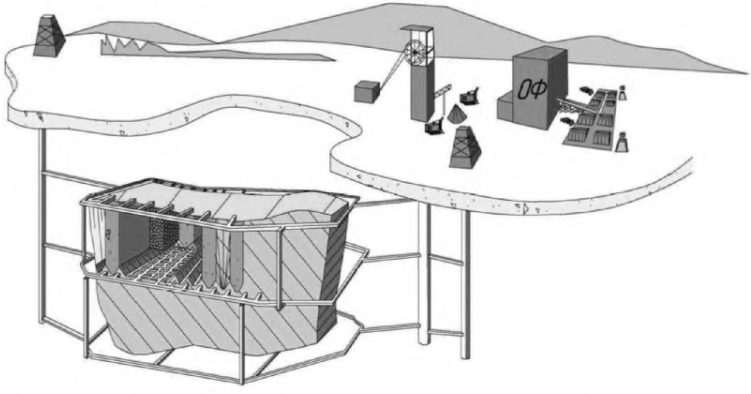


Рисунок 7.3 — Одноярусная горнотехническая система с кучным выщелачиванием отходов обогащения на поверхности и в камерах второй очереди

Применение одноярусной горнотехнической системы, представленной на рисунке 7.4, возможно при отработке мощных, вытянутых в плане месторождения с большой площадью основания карьера. При доработке месторождения в дне карьера формируется штабель из отходов обогащения производства или бедных руд из отвалов. В основании карьера формируются прудки с гидроизоляцией под продуктивные растворы. На борту карьера устанавливаются емкости для подачи растворов на штабель. По мере насыщения продуктивные растворы подаются на гидрометаллургический комплекс, находящийся на промплощадке рудника.

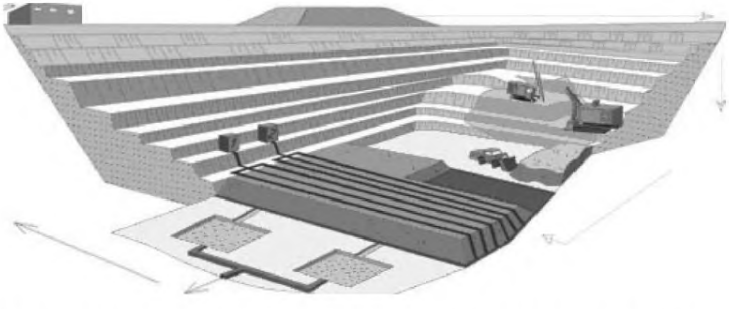


Рисунок 7.4 — Одноярусная горнотехническая система с кучным выщелачиванием бедных руд или отходов обогащения в карьере

При экономической нецелесообразности вести отработку прибортовых запасов открытым или подземным способом возможно применение типовой горнотехнической системы с подземным выщелачиванием запасов за контуром в борту карьера (см. рисунок 7.5). В основании карьера формируются зумпфы с гидроизоляцией для сбора продуктивных растворов. Сбор продуктивных растворов осуществляется через сеть скважин пройденных из подземных горных выработок. На борту карьера устанавливаются емкости для подачи растворов в оросительную систему, уложенную на бермах карьера. По мере насыщения продуктивные растворы подаются на гидрометаллургический комплекс их переработки, находящийся на промплощадке рудника.

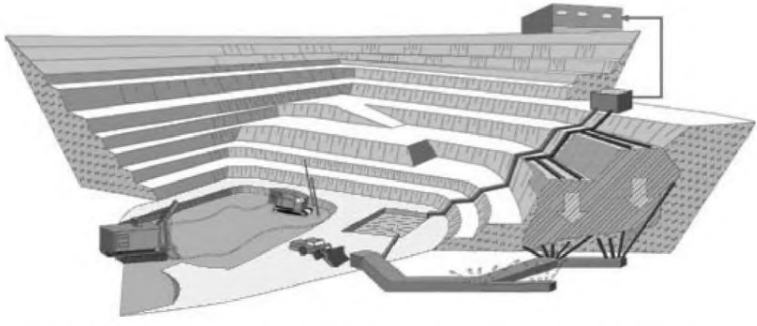


Рисунок 7.5 — Одноярусная горнотехническая система с подземным выщелачиванием прибортовых запасов

Применение двухъярусной горнотехнической системы (см. рисунок 7.6) возможно при совмещенной отработке месторождения открытым и подземным способом. При отработке карьера параллельно создается искусственная потолочина подземным способом. При доработке карьера в его основании формируется штабель из отходов горного производства или перемещение некондиционных руд из отвалов предприятия. В искусственном массиве формируются прудки с гидроизоляцией под продуктивные растворы. На борту карьера устанавливаются емкости для подачи растворов на штабель. По мере насыщения продуктивные растворы подаются на комплекс переработки, находящийся на промплощадке рудника. Направление движения продуктивных растворов выщелачивания указано на рисунке 7.6 стрелками. Нижележащие запасы отрабатываются традиционно подземным способом или с применением технологий кучного выщелачивания в камерах второй очереди. По мере их отработки в очистном пространстве остаются отходы выщелачивания, которые выполняют роль закладки. Днище камер оборудуют скважинами для сбора продуктивных растворов. Подача растворов в камеру осуществляется через сеть скважин, пройденных из подземных горных выработок вентиляционно-закладочного горизонта.

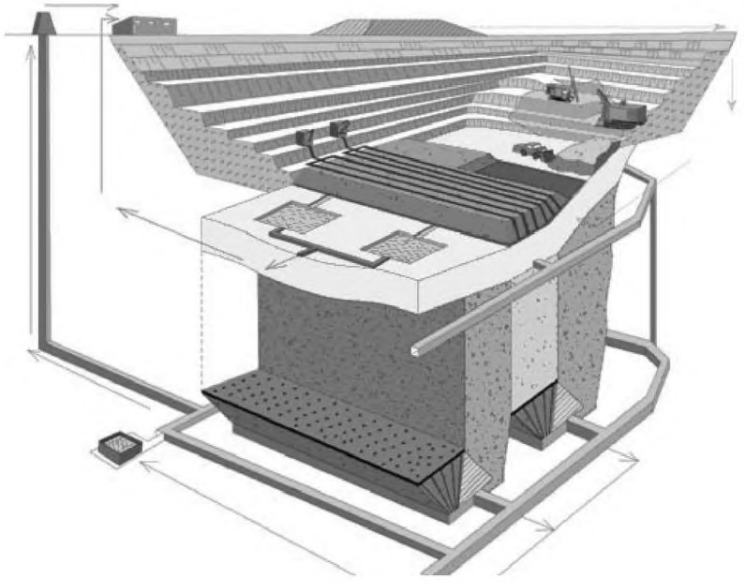
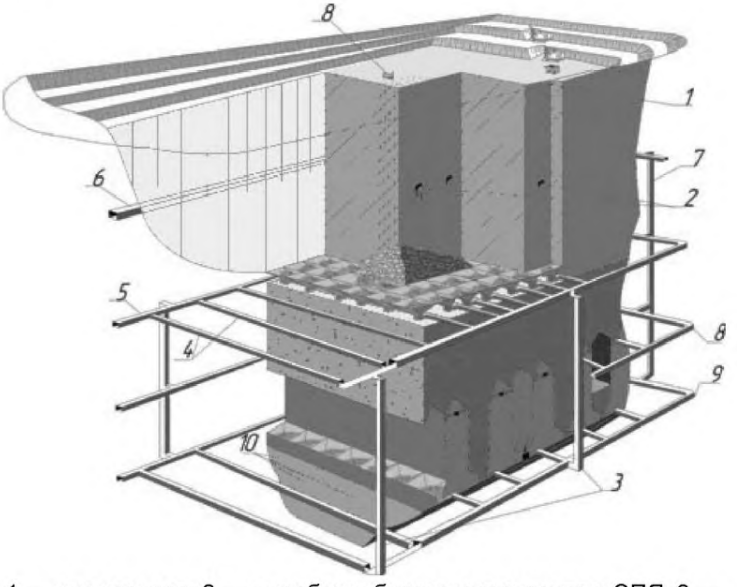


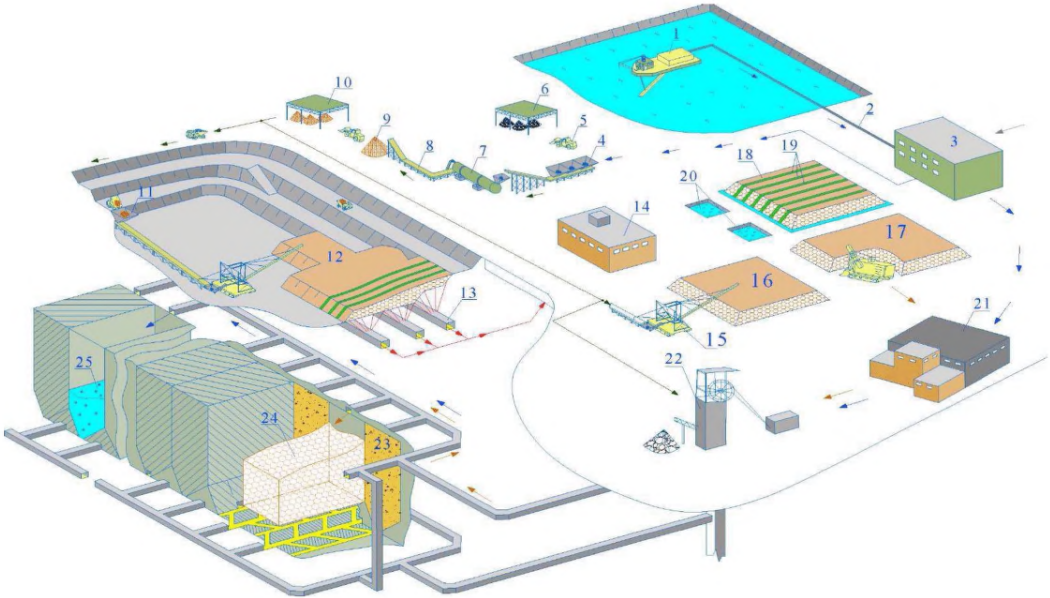
Рисунок 7.6 — Двухъярусная открыто-подземная горнотехническая система с кучным выщелачиванием в карьере и в подземных камерах II очереди

В представленной на рисунке 7.7 четырехъярусной горнотехнической системе отработка запасов мощного месторождения с большой глубиной распространения ведется карьером, открыто-подземным ярусом, подземным способом системами разработки с твердеющей закладкой.Доработка выклинивающихся вниз запасов осуществляется с нижнего подземного горизонта с использованием системы откачных и закачных скважин. По закачным скважинам в рудный массив подается растворитель, а по откачным с помощью насосов выдается продуктивный раствор.



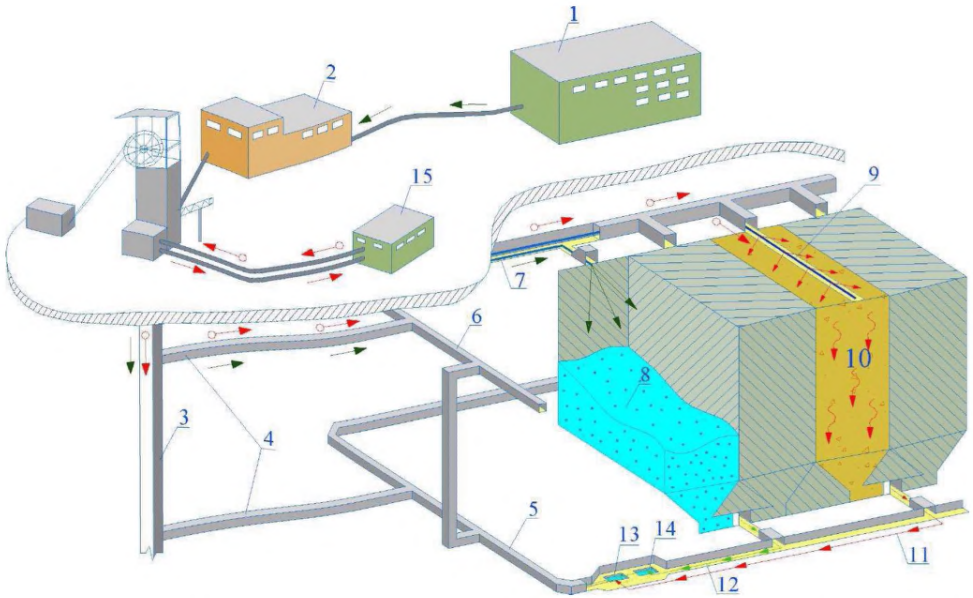
1 — дно карьера; 2 — выработки бурового горизонта в ОПЯ; 3 — рудоспуски; 4 — вентиляционно-закладочный орт: 5 — кольцевой штрек в основании ОПЯ; 6 — подэтажный штрек ОПЯ; 7 — вентиляционно-ходовой восстающий; 8 — кольцевые штреки верхнего и нижнего горизонта шахты

Рисунок 7.7 — Четырехъярусная горнотехническая система с последовательной отработкой запасов открытого, открыто-подземного, подземного и скважинного ярусов



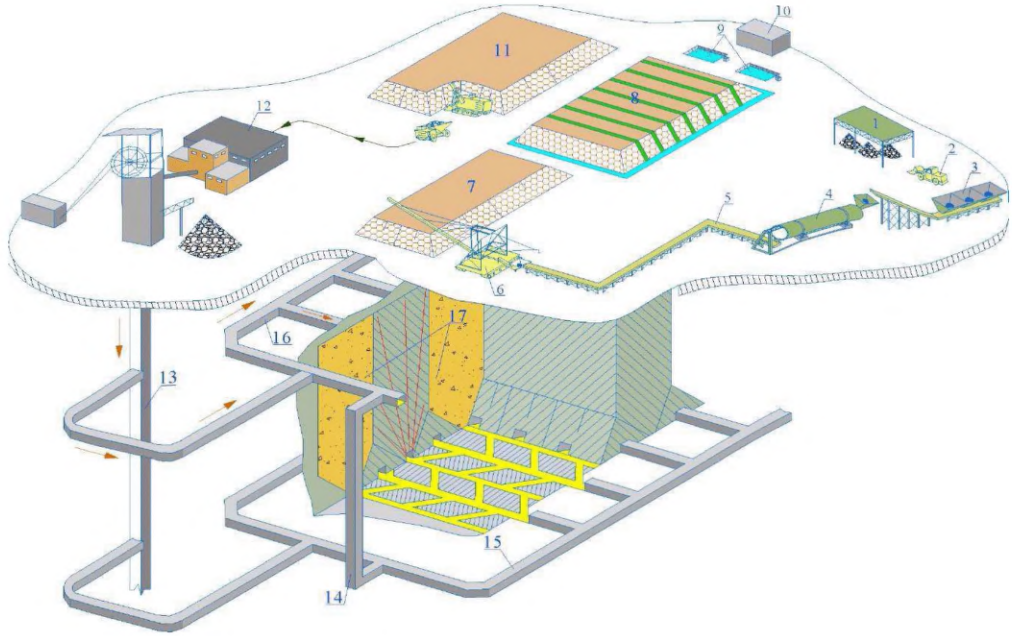
1 — земснаряд; 2 — пульповод; 3 — обогатительная фабрика; 4 — дозирующий бункер; 5 — доставка компонентов шихты из склада (6); 7 — окомкователь; 8 — система конвейеров; 9, 10 — временный склад окатышей; 11 — приемный бункер; 12 — штабель окатанного материала; 13 — выработки для сбора продуктивного раствора; 14 — комплекс переработки продуктивного раствора; 15 — консольный штабелеукладчик; 16 и 18 — формируемый и выщелачиваемый штабель окатанного материала; 17 — склад отходов выщелачивания (после извлечения полезных компонентов); 19 — система орошения; 20 — прудки продуктивного и маточного растворов; 21 — закладочный комплекс; 22 — копер; 23 — искусственный массив на основе твердеющей закладочной смеси; 24 — массив окатышей; 25 — формируемый массив гидравлической закладки

Рисунок 7.8 — Принципиальная схема комплексного освоения месторождений расширенным циклом геотехнологий



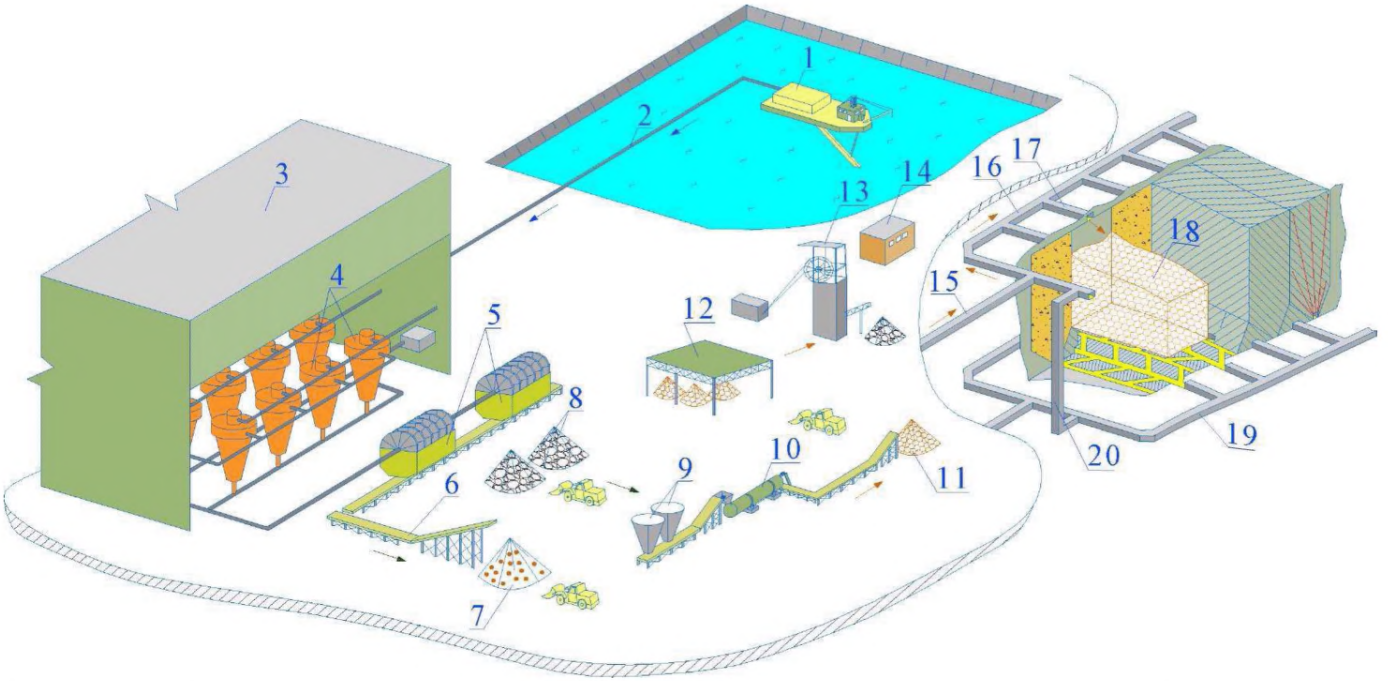
1 — обогатительная фабрика; 2 — поверхностный закладочный комплекс подземного рудника; 3–7 — выработки подземного рудника с расположенными в них закладочным трубопроводом, дренажными узлами и системами сбора и циркуляции растворов выщелачивания; 8 — формируемый массив гидравлической закладки; 9 — оросительная система для выщелачивания специально подготовленного массива; 10, 11 — направление циркуляции растворов выщелачивания на откаточном горизонте; 13, 14 — участковые водосборники для сбора соответственно дренажных вод и продуктивных растворов

Рисунок 7.9 — Технологическая схема формирования и комплексного освоения техногенных месторождений из текущих отходов обогащения с формированием намывных массивов и выщелачиванием ценных компонентов



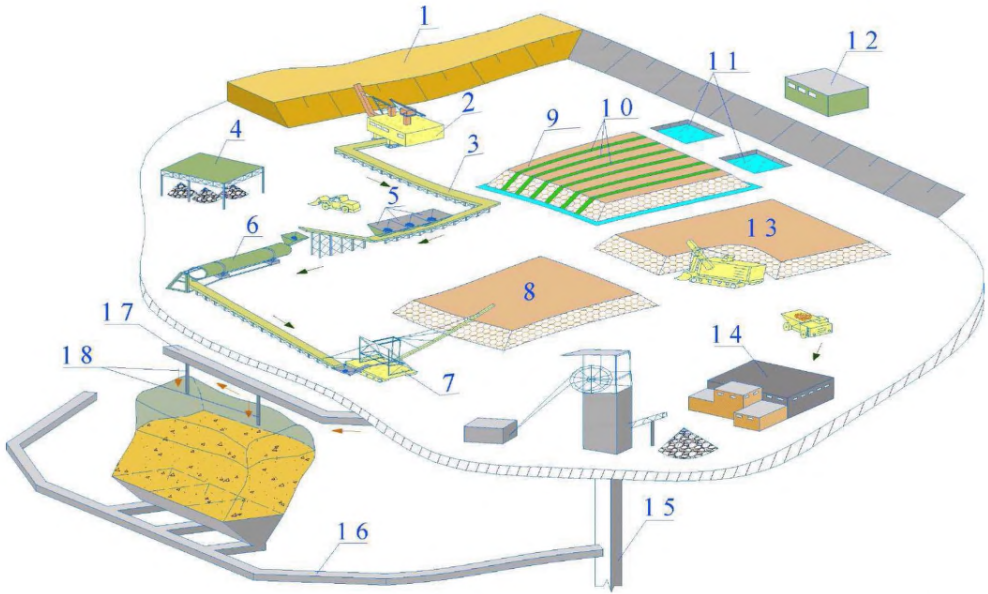
1— склад компонентов шихты для окомкования хвостов; 2 — доставка компонентов шихты в дозирующие бункера (3) окомкователя (4); 5 — система конвейеров и консольный штабелеукладчик (6); 7 и 8 — соответственно формируемый и выщелачиваемый штабели; 9 — прудки продуктивного и маточного растворов; 10 — комплекс переработки продуктивного раствора; 11 — склад отходов выщелачивания (после извлечения ценных компонентов); 12 — поверхностный закладочный комплекс; 13–16 — выработки подземного рудника; 17 — массив, сформированный на базе отходов выщелачивания

Рисунок 7.10 — Технологическая схема формирования и комплексного освоения техногенных месторождений из текущих отходов обогащения с формированием массива окомкованного тонкодисперсного либо классифицированного рудного материала на полигоне кучного выщелачивания



1 — земснаряд; 2 — пульповод; 3 — обогатительная фабрика; 4 — гидроциклоны; 5 — вакуум-фильтры; 6 — система конвейеров; 7 — обезвоженные хвосты; 8 — склад компонентов шихты для окомкования; 9 — бункер-дозатор; 10 — окомкователь; 11, 12 — временный склад окатышей; 13 — копер; 14 — комплекс переработки продуктивного раствора; 15, 16, 17, 19, 20 — выработки подземного рудника; 18 — массив окатышей

Рисунок 7.11 — Технологическая схема разработки действующего хвостохранилища



1— хвостохранилище либо отвал некондиционных руд; 2 — цепной экскаватор; 3 — система конвейеров; 4 — склад компонентов шихты для окомкования; 5 — бункер-дозатор; 6 — окомкователь; 7 — консольный отвалообразователь; 8 и 9 — соответственно формируемый и выщелачиваемый штабель окатанного материала; 10 — система орошения; 11 — прудки продуктивного и маточного раствора; 12 — комплекс переработки продуктивного раствора; 13 — склад отходов выщелачивания (после извлечения ценных компонентов); 14 — поверхностный закладочный комплекс; 15, 16, 17 — выработки подземного рудника; 18 — закладочные скважины с использованием отходов выщелачивания для закладки выработанного пространства

Рисунок 7.12 — Технологическая схема разработки законсервированного хвостохранилища

7.2 Перспективные технологии обогащения руд цветных металлов

За последние десятилетия в производстве дробильно-измельчительного и флотационного оборудования в РФ достигнуты значимые результаты. Анализ развития техники и технологий обогащения полезных ископаемых указывает на достижения отечественной фундаментальной науки в области раскрытия механизмов разделения сложных минеральных комплексов. Это позволило создать высокоэффективные процессы и технологии для первичной переработки руд сложного вещественного состава и, как следствие, обеспечить металлургическую промышленность необходимой номенклатурой концентратов требуемого качества. Однако отечественное оборудование все же уступает зарубежному по качеству, металлоемкости, энергоемкости и износостойкости. Вследствие этого, а также в связи с недостаточной автоматизацией, компьютеризацией процессов обогащения полезных ископаемых производительность труда на отечественных фабриках в разы отстает от мировых аналогов. Переход на новую стратегию первичной переработки минерального сырья возможен только на основе новой технолого-минералогической оценки месторождений. Применение современных физических, физико-химических и химических методов исследования с изучением природных структурных характеристик руд, минеральных комплексов, характера вкрапленности, степени раскрытия фаз во всех циклах переработки позволяют получать достоверную и полную информацию о технологических свойствах руд, оптимизировать процессы рудоподготовки и разделения минеральных компонентов, определить научно обоснованный прогноз оптимальной технологии обогащения природного и техногенного минерального сырья.

Технолого-минералогическая информация о сырьевых объектах позволила создать и освоить рудоподготовительные процессы, обеспечивающие выделение технологических типов кондиционной обогащенной руды для последующей переработки с получением отвального продукта. Предварительная концентрация горной массы на обогатительных фабриках, осуществляемая методами разделения в тяжелых средах, сухой магнитной сепарации, промывки, дезинтеграции, радиометрической сепарации и другими процессами позволяет: удалить от 20 % до 70 % отвального продукта, который можно использовать как строительный материал; повысить в 1,3–1,9 раза содержание ценных компонентов, поступающих на обогащение; снизить в 1,2–1,5 раза объемы отходов; вовлечь в переработку забалансовые руды. Технологические режимы и аппараты радиометрической и других способов сепарации работают в России на многих объектах цветной металлургии.

Основные затраты при обогащении минерального сырья приходятся на дробление и измельчение руды (до 70 %). Увеличение тонины помола не всегда приводит к повышению степени раскрытия минералов; в то же время увеличивается количество тонкодисперсных частиц (–10 мкм). Анализ основных потерь в процессах первичной переработки показывает, что 35 % — 50 % из них связаны с крупными и средними классами и 50 % — 35 % — с частицами менее 30 мкм.

Для обеспечения раскрытия сростков без увеличения переизмельчения традиционные процессы дробления и измельчения в щековых, конусных дробилках и шаровых мельницах в последние годы заменяют на аппараты селективной дезинтеграции. В

подобном оборудовании используется энергия сжатой газообразной среды, энергия взрыва, электроимпульсная, электронная (плазменная) обработка.

Основными направлениями в развитии технологии рудоподготовки являются: совершенствование стадиальности в схемах разрушения и селективного раскрытия минеральных компонентов в циклах дробления, измельчения, классификации и флотации, обеспечивающих снижение энергозатрат. Для раскрытия тонковкрапленных минеральных комплексов (–20 мкм) весьма перспективными являются немеханические способы разрушения. Эффективным методом селективной дезинтеграции является воздействие пучком ускоренных электронов, мощными электромагнитными импульсами на рудное сырье и продукты обогащения. Применение мощных коротких импульсов с энергией, существенно превосходящей электрическую прочность вещества в статическом поле, позволяет осуществлять вскрытие упорных типов руд путем существенного изменения их физических и механических характеристик. Данный метод позволяет снизить энергозатраты, повысить степень раскрытия минеральных комплексов, увеличить извлечение цветных металлов.

Для разделения минералов с близкими технологическими свойствами необходимо применять способы повышения селективности обогатительных процессов, синтезированные реагенты направленного действия для флотации, гравитационные методы и аппараты для выделения самородных золота и платины, винтовые шлюзы, концентраторы для извлечения крупных и тонких частиц (от 0,03 до 3,0 мм), а также аппараты комбинированных воздействий — наложение центробежных, магнитных и электрических полей на минеральные суспензии с повышенными магнитными и электрическими свойствами; создавать и внедрять высокоэффективныефлотомашины для крупных и тонких частиц.

Проблемными задачами флотации остаются отсутствие эффективных аппаратов и режимов селективной флотации крупных частиц более 0,5 мм и мелких классов менее 0,03 мм, от эффективности разделения которых зависят качество моноселективныхконцентратов и извлечение минералов из руд с повышенным содержанием полиминеральных сростков и тончайших шламов. Особое значение придается пульпоподготовке: аэрационно-окислительное, тепловое кондиционирование, сульфидирование, электрохимическая обработка флотационных систем (воды, пульпы, растворов флотореагентов). Данные операции обеспечивают направленное формирование физико-химических свойств, жидкой и твердой фазы, максимальное использование водооборота и в конечном счете получение высоких результатов разделения минералов. Повышение контрастных свойств минералов достигается также за счет использования энергетических воздействий, таких как радиационное, ультразвуковое, магнитно-импульсное, механохимическое, формирующих свойства поверхности.

Перспективными способами улучшения результатов разделения минералов являются энергетические воздействия на минеральные комплексы, которые направленно изменяют свойства минералов, их контрастность, что обеспечивает повышение степени раскрытия и извлечения полезных компонентов. Значительные успехи достигнуты при комбинировании процессов обогащения с гидрометаллургическими способами, позволяющими вовлекать в переработку бедные, забалансовые сложные упорные руды и техногенное сырье. Результатом применения данных технологий в большинстве случаев является повышение качества продукции, извлечения металлов и улучшение

процессов переработки пиритных полиметаллических продуктов с извлечением свинца, меди, цинка, золота, серебра — из сложных руд месторождений Озерного и предприятий «УГМК-Холдинг». Проблема переработки накопленных отходов (десятки миллиардов тонн), является актуальной и требует неотложных решений. В США за последние годы порядка половины прироста добычи золота получено за счет кучного выщелачивания техногенных продуктов. Положительный опыт применения данного метода извлечения золота и цветных металлов имеется на ряде объектов РФ.

Важной проблемой, связанной с охраной окружающей среды, является очистка и использование оборотных вод многих горно-обогатительных предприятий. В настоящее время для этих целей используют химические реагенты, сорбционные, электродиализные и комбинированные методы. Эти технологии дорогостоящие и не во всех случаях обеспечивают получение оптимального ионного состава для повторного использования в технологическом процессе разделения минералов. На обогатительных фабриках доля водооборота в общем балансе потребления составляет 60 % — 90 %. Перевод оборотного водоснабжения с саморегулирующейся средой к системе с кондиционированием обеспечивает возможность отказаться от сброса сточных вод и значительно снизить расход свежей воды.

Россия в настоящее время располагает эффективными энергосберегающими высокими технологиями. Дальнейшее развитие методов комплексной переработки минерального сырья должно основываться на фундаментальных исследованиях процессов дезинтеграции, раскрытия и разделения полиминеральных комплексов. В качестве важнейших перспективных технологий следует назвать [126-133]:

1. развитие технологической минералогии и прогнозной экспрессной оценки обогатимости минерального и техногенного сырья;

2. применение технологий рудоподготовки на базе радиометрических процессов с разделением горной массы на узкие природные сорта и отвальные хвосты;

3. разработку теории селективной дезинтеграции и вскрытия минеральных ассоциаций перед обогащением на основе различных видов энергетического воздействия;

4. применение ядерно-физических методов контроля и предварительного обогащения;

5. разработку и совершенствование методов извлечения тонкодисперсных частиц цветных и благородных металлов с использованием интенсивных гравитационных, флотационных аппаратов и комбинированных процессов;

6. широкое использование разработанных селективных режимов флотации на основе изучения и применения различных композиций селективных собирателей разной структуры и химического состава в сочетании с модификаторами, регуляторами;

7. развитие комбинированных технологий переработки различных типов руд, концентратов, продуктов путем сочетания способов обогащения и пиро- и гидрометаллургических процессов;

8. комплексный научный подход к переработке минерального сырья и охране окружающей среды, очистка сточных вод и разработка перспективных способов переработки техногенного сырья и отходов с извлечением ценных компонентов.

9. повышение показателей комплексной переработки пирротиновых медно-никелевых платиносодержащих руд и пиритных медно-цинковых золотосодержащих руд возможно в условиях глубокого энергетического вскрытия минеральных комплек-

сов с получением на стадии обогащения богатых концентратов и трудноразделяемых сульфидных полиметаллических продуктов для последующей их переработки с использованием пирогидрометаллургических процессов;

10. основной резерв повышения извлечения цветных металлов — комплексная переработка пиритных и пирротиновых концентратов, промпродуктов, шлаков и других отходов. Разработанные на данный момент комбинированные процессы подтвердили технологическую результативность и народно-хозяйственную значимость и целесообразность для экономики РФ (учитывая при их реализации значительные капитальные вложения).

Заключительные положения и рекомендации

Настоящий справочник НДТ 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 [4], 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 [2].

Окончательный состав ТРГ 23 «Добыча и обогащение руд цветных 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.

Ф. И. О.	Организация
Ануфриева Светлана Ивановна	ФГБУ «ВИМС»
Броницкая Елена Сергеевна	ФГБУ «ВИМС»
Вадуева Лариса Шарпудиевна	Акционерное общество «ПитерГОРпроект»
Вайншток Павел Михайлович	ЗАО «Альстром Пауэр Ставан»
Валиев Нияз Гадым оглы	Уральский государственный горный университет
Вардиков Арсен Генрихович	Росприроднадзор
Ворошилов Георгий Александрович	АО «Уралмеханобр»
Гошин Евгений Германович	ФГБУ «ВИМС»
Гришаев Сергей Иванович	Министерство промышленности и торговли Российской Федерации
Евдокимов Сергей Иванович	ФГБОУ ВПО УГГУ
Ежова Ольга Сергеевна	ФГУП ВНИИ «СМТ»
Ельникова Светлана Павловна	АО «Уралмеханобр»
Еремин Анатолий Михайлович	ФГБУ «ВИМС»
Заболотный Владимир Трофимович	Федеральное служба по экологическому, техническому и атомному надзору (Ростехнадзор)
Иванов Виталий Юрьевич	Публичное акционерное общество «Горно-металлургическая компания “Норильский никель”»

Ф. И. О.	Организация
Икрянников Валентин Олегович	Министерство промышленности и торговли Российской Федерации
Кречетов Андрей Александрович	Кузбасский государственный технический университет. КузГТУ
Кузенков Максим Вячеславович	АО «Кольская ГМК»
Курков Александр Васильевич	ФГБУ «ВИМС»
Курошев Илья Сергеевич	ФГУП ВНИИ «СМТ»
Лапшин Дмитрий Анатольевич	ООО БГК
Лихникевич Елена Германовна	ФГБУ «ВИМС»
Макеенко Павел Алексеевич	ООО «УГМК-Холдинг»
Мамонов Сергей Владимирович	АО «Уралмеханобр»
Машкович Константин Игоревич	Публичное акционерное общество «Горно-металлургическая компания “Норильский никель”»
Михайлов Юрий Александрович	ЗАО «РУСАЛ Глобал Менеджмент Б. В.»
Ощепкова Анна Зальмановна	ФГБУ УралНИИ «Экология»
Петров Иван Васильевич	НП Технологическая платформа твердых полезных ископаемых
Полесский Евгений Анатольевич	ООО УК «МЕТАЛЛОИНВЕСТ»
Полищук Максим Игоревич	Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)
Пшеничников Олег Владимирович	ФГБУ УралНИИ «Экология»
Разоренов Юрий Иванович	Северо-Кавказский горно-металлургический институт
Сабянин Георгий Васильевич	Публичное акционерное общество «Горно-металлургическая компания “Норильский никель”»
Синегубова Елена Николаевна	ФГБУ «ЦУРЭН»
Соболь Дмитрий Викторович	ООО «УГМК-Холдинг»
Соколова Мария Александровна	ООО «Ай Эм Си Монтан»
Становова Александра Владиславовна	Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»
Стефунько Мария Сергеевна	ИПКОН РАН
Суслонова Галина Николаевна	АО «Уралмеханобр»
Темнов Александр Викторович	Минприроды России
Томин Александр Викторович	ФГУП ВНИИ «СМТ»
Третьякова Нина Борисовна	Открытое акционерное общество «Уральский научно-исследовательский и проектный институт обогащения и механической обработки полезных ископаемых»
Фортыгин Алексей Витальевич	ООО «БГК»

Ф. И. О.	Организация
Хан Срегей Алексеевич	Министерство промышленности и торговли Российской Федерации
Черных Юрий Викторович	АО «Уралмеханобр»
Шор Евгений Людвигович	ЗАО «РУСАЛ Глобал Менеджмент Б. В.»
Шориков Артур Петрович	АО «Кольская ГМК»

Также над справочником работал доктор технических наук, профессор кафедры «Горное дело» СКГМИ (ГТУ), не входящий в состав ТРГ 23 – Голик Владимир Иванович.

Публичное обсуждение справочника НДТ проходило с 27 сентября 2017 г. по 27 октября 2017 г.

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 горнодобывающей промышленности и попадающих под область распространения данного справочника НДТ. 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 23 в соответствии с установленной процедурой. Протоколы голосования имеются в деле справочника НДТ и хранятся в Бюро НДТ.

Справочник НДТ подготовлен также с учетом материалов справочника Европейского союза по наилучшим доступным технологиям по обращению с отходами и пустыми породами горнодобывающей промышленности [3].

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
07.29.11	Руды и концентраты медные	Добыча и обогащение медной руды	07.29.1
07.29.11.110	Руды медные	Добыча и обогащение никелевой и кобальтовой руд	07.29.2
07.29.11.120	Концентраты медные	Добыча и обогащение кобальтовой руды	07.29.22
07.29.12	Руды и концентраты никелевые	Добыча и обогащение алюминийсодержащего сырья (бокситов и нефелин-апатитовых руд)	07.29.3
07.29.12.110	Руды никелевые	Добыча алюминийсодержащего сырья подземным способом	07.29.31
ОКПД *	Наименование продукции по ОКПД	Наименование вида деятельности по ОКВЭД	ОКВЭД **
07.29.12.120	Концентраты никелевые	Добыча алюминийсодержащего сырья открытым способом	07.29.32
07.29.12.121	Концентраты никелевые сульфидные с массовой долей никеля более 8 %	Добыча и обогащение свинцово-цинковой руды	07.29.5
07.29.12.122	Концентраты никелевые окисленные с массовой долей никеля менее 6 %	Добыча и обогащение оловянной руды	07.29.6

ОКПД *	Наименование продукции по ОКПД	Наименование вида деятельности по ОКВЭД	ОКВЭД **
07.29.13	Руды и концентраты алюминиевые	Добыча и обогащение титаномагниевого сырья	07.29.7
07.29.15	Руды и концентраты свинца, цинка и олова	Добыча и обогащение вольфрам-молибденовой руды	07.29.8
07.29.15.110	Руды свинцово-цинковые		
07.29.15.120	Концентраты свинцовые		
07.29.15.141	Концентраты цинковые с массовой долей цинка более 53 %		
07.29.15.142	Концентраты цинковые с массовой долей цинка от 40 % до 53 %		
07.29.15.150	Руды оловянные (кроме оловянных песков)		
07.29.15.160	Пески оловянные		
07.29.15.170	Концентраты оловянные		
07.29.15.171	Концентраты оловянные с массовой долей олова не менее 60 %		
07.29.15.172	Концентраты оловянные зерновые с массовой долей олова от 45 % до 60 %		
07.29.15.173	Концентраты оловянные зерновые с массовой долей олова от 30 % до 45 %		
07.29.15.174	Концентраты оловянные шламовые с массовой долей олова от 5 % до 15 %		
07.29.19.131	Руды кобальтовые		
07.29.19.141	Руды вольфрамовые		
07.29.19.151	Руды молибденовые		
07.29.19.161	Руды титановые		
07.29.19.171	Руды ванадиевые		
07.29.19.181	Руды циркониевые		
07.29.19.211	Руды ниобиевые и танталовые		
07.29.19.221	Руды сурьмяные		

* Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности.

** Общероссийский классификатор видов экономической деятельности.

Приложение Б

(обязательное)

Перечень маркерных веществ и технологических показателей

Б.1 Выбросы в атмосферу воздуха

Таблица Б.1 — Маркерные вещества и технологические показатели для выбросов при открытом способе разработки месторождений

Наименование вещества	Единицы измерения	Технологический показатель
Взвешенные вещества	мг/м^3	0,5
Замеры осуществляются на границе СЗЗ предприятия согласно программе производственного экологического контроля.		

Таблица Б 2 — Маркерные вещества и технологические показатели для выбросов при обогащении руд цветных металлов

Наименование вещества	Единицы измерения	Технологический показатель
Пыль неорганическая (20 % — 70 % SiO_2)	г/с	0,3

Б.2 Сбросы в водные объекты

Таблица Б.3 – Маркерные вещества и технологические показатели для сбросов в поверхностные водные объекты при открытом и подземном способе разработки месторождений

Наименование вещества/показателя	Единицы измерения	Технологический Показатель[1]
pH	ед. pH	6-9
Взвешенные вещества	мг/л	≤ 20
Дополнительно определяются и контролируются показатели по тем веществам, которые как предполагается могут содержаться в сбросах в концентрациях, превышающих концентрации:		
кадмий	≤ 0,05 мг/л	
хром (VI)	≤ 0,1мг/л	

медь	≤ 0,3мг/л
свинец	≤ 0,2мг/л
железо	≤ 2 мг/л
никель	≤ 0,5 мг/л
цинк	≤ 0,5 мг/л
марганец	≤ 0,08 мг/л
сульфат-ион	≤ 1300 мг/л
алюминий	≤ 0,85 мг/л
Примечание: Значения концентраций металлов относятся к их совокупному содержанию	

Приложение В

(обязательное)

Перечень НДТ

№ п/п	Номер НДТ	Наименование НДТ
1	НДТ 1	Система экологического менеджмента
2	НДТ 2	Снижение выбросов при буровзрывных работах
3	НДТ 3	Снижение выбросов при хранении, перегрузке и транспортировке сырья
4	НДТ 4	Орошение пылящих поверхностей
5	НДТ 5	Проведение системы подземных выработок без нарушения земной поверхности
6	НДТ 6	Сокращение отвалов пустых пород для подземной добычи
7	НДТ 7	Использование неэлектрических систем инициирования для ведения взрывных работ в подземных условиях
8	НДТ 8	Управление водным балансом горнодобывающего предприятия
9	НДТ 9	Сокращение объема водоотлива
10	НДТ 10	Организация противофильтрационных экранов объектов размещения жидких отходов
11	НДТ 11	Организация системы очистки вод породных отвалов
12	НДТ 12	Вовлечение отходов во вторичное производство
13	НДТ 13	Сокращение негативного воздействия при получении селективных концентратов цветных металлов методом флотации
14	НДТ 14	Улавливание выбросов по возможности максимально близко к источнику с последующей их очисткой
15	НДТ 15	Снижение выбросов при хранении руд и продуктов их переработки
16	НДТ 16	Снижение выбросов при переработке и транспортировке сырья
17	НДТ 17	Оптимизация параметров и систем улавливания и очистки выбросов
18	НДТ 18	Сокращение выбросов от операций рудоподготовки (грохочение, дробление, классификация в воздушной среде, усреднение руд, рудосортировка, обжиг и сушка)
19	НДТ 19	Сокращение выбросов при проведении химических процессов в комбинированных схемах обогащения руд цветных металлов
20	НДТ 20	Снижение выбросов пыли от стационарных источников
21	НДТ 21	Предотвращение образования сточных вод
22	НДТ 22	Выбор технологии размещения отходов обогащения руд
23	НДТ 23	Размещение отходов на нарушенных горными работами территориях
24	НДТ 24	Закладка выработанного пространства
25	НДТ 25	Приготовление закладочной смеси на основе обезвоженных хвостов обогащения руд
26	НДТ 26	Управление системой потребления энергетических ресурсов

27	НДТ 27	Сокращение энергопотребления в процессах добычи
28	НДТ 28	Минимизация потерь полезных ископаемых в недрах
29	НДТ 29	Пересмотр кондиций
30	НДТ 30	Наиболее полное использование пород и хвостов добычи
31	НДТ 31	Сокращение потерь полезных ископаемых при транспортировке
32	НДТ 32	Сокращение забора воды из природных источников
33	НДТ 33	Производственный контроль
34	НДТ 34	Текущая рекультивация нарушенных земель
35	НДТ 35	Восстановление рельефа территории
36	НДТ 36	Использование отходов при рекультивации нарушенных земель
37	НДТ 37	Создание продуктивного слоя при рекультивации
38	НДТ 38	Проведение агротехнических и фитомелиоративных мероприятий
39	НДТ 39	Техника и оборудование при рекультивационных работах
40	НДТ 40	Повышение безопасности отвалов
41	НДТ 41	Повышение безопасности хвостохранилищ
42	НДТ 42	Технологическое соблюдение баланса
43	НДТ 43	Технология экстренного сброса в районе хвостохранилища
44	НДТ 44	Учет орографических особенностей местности
45	НДТ 45	Технология ликвидации аварийных ситуаций
46	НДТ 46	Транспортировка и хранение реагентов и материалов

Приложение Г
(обязательное)
Энергоэффективность

Г.1 Краткая характеристика отрасли с точки зрения ресурсо- и энергопотребления

Характерной чертой горнодобывающей промышленности является опережающий рост энергопотребления по отношению к темпам роста промышленной продукции. Увеличение электропотребления горной промышленностью вызывается усложнением горно-геологических условий добычи, модернизацией технологий иужесточением природоохранных требований.

Предприятия цветной металлургии используют в своей деятельности электроэнергию, тепловую энергию и энергию от сжигания топливных ресурсов (жидкое топливо, газ). Энергетические затраты в себестоимости продукции горнодобывающего предприятиясоставляют от 3 до 10%.

Структура энергопотребления представлена двумя основными блоками:

1. Энергопотребление технологического оборудования –бурильных установок, бурильных станков, погрузочных и погрузочно-транспортных машин, рудничного транспорта, вспомогательного оборудования и др.Энергоэффективность этого оборудования может быть улучшена за счет совершенствования конструкции горных машин, например, применение электрогидравлического привода.

2. Энергопотребление вспомогательного оборудования – насосные, вентиляторные компрессорные установки, электросиловое оборудования и др. Энергоэффективность его повышаетсяпутем синхронного совершенствования организации работ и режимов работы энергетического хозяйства. Направления совершенствования: ликвидация утечек сжатого воздуха;снижение аэродинамического сопротивления горных выработок; оптимизация методик выбор оборудования.

Г.2 Основные технологические процессы, связанные с использование энергии

Основные производственные процессы вскрыши и добычи включают операции отбойки, выемки, транспортировки, разгрузки и складирования полезного ископаемого и пород.

Основные технологические процессы обогащениявключают операции дробления, сепарации, сушки и концентрирования.

Квспомогательным процессам относятся строительство и поддержание инфраструктуры, энергоснабжение, вентиляция, водоотлив идр.

Наиболее существенное потребление энергии характерно для бурения, отбойки, выемки и транспортирования руд и пород, размола, дробления и обогащения руд, водоотлива и вентиляции. К мерам энергосбережения относятся:

- оптимизация режимов работы двигателей основного и вспомогательного оборудования с регулируемой скоростью в условиях значительных изменений нагрузки;
- комбинирование или сочетание методов сушки, сепарации и концентрирования.

Уровни потребления

Капитальные вложения на прирост мощности в 20 кВт электроэнергетики сопоставимы с вложениями на прирост выпуска 1 т некоторых цветных металлов, включая добычу, обогащение и металлургию.

При подземной добыче руд цветных металлов удельный расход электроэнергии составляет от 22 до 85 кВт·ч на 1 т руды, в том числе (кВт·ч/т): на бурение 7-13, на доставку и откатку руды 3-4,5, на подъем 1,5-4, на вентиляционные и калориферные установки 6-10, остальная энергия расходуется на водоотлив.

На подземных горных работах затраты всех видов ресурсов значительно возрастают с глубиной разработки, что влечет увеличение себестоимости добычи руды. Наиболее затратными статьями в структуре себестоимости добычи становятся расходы на процессы управления состоянием массива (закладку выработанного пространства), процессы доставки и подъема горной массы на поверхность. Снижение себестоимости этих процессов возможно за счет применения энерго- и ресурсосберегающих технических и технологических решений, которые на больших глубинах приобретают особую значимость.

Затраты на топливо для работы дизельных самоходных машин составляют 5-8%. Прямые энергозатраты только на добычу руды не превышают 8%.

При пневматической закладке расход энергии на 1 $м^3$ закладочного материала составляет в среднем 10-16 кВт·ч, а при гидравлической 3,5-5 кВт·ч. Большие расходы энергии при гидрозакладке связаны с откачкой воды. Для бетонной закладки прочностью 120 $кг/см^2$ и использованием в качестве заполнителя щебня крупностью до 20 мм и песка энергозатраты в структуре себестоимости равны 0,7 % (цемента 28,9%). При замене щебня хвостами обогащения себестоимость твердеющей закладки снижается в 2,2 раза, удельный вес энергозатрат повышается до 1,4 % (цемента до 58,8%). Кроме того, транспортные расходы (на щебень и песок) снижаются в 25 раз (с 26,5 до 2,2% соответственно). В целом энергозатраты на основные операции процесса добычи руды (бурение, взрывание, доставка) не превышают 10% общерудничных.

Далее следует подземный транспорт, подъем на поверхность, проветривание, водоотлив, освещение подземное и поверхностное, транспорт по поверхности, плюс энергозатраты ремонтно-механических мастерских и административно-бытового комбината. В результате сумма энергозатрат в общих эксплуатационных расходах рудника возрастает до 15-20%.

Все возрастающие объемы шахтной воды приходится откачивать на поверхность, затрачивая на водоотлив 20-30% от общей себестоимости горных работ.

Принципиально новой идеей использования нарастающих объемов шахтных вод является вовлечение их в промышленный оборот для производства электрической энергии путем строительства подземной гидроэлектростанции.

Из анализа зарубежной и отечественной литературы, описывающей проектирование и строительство подземных электростанций, известно, что подземные выработки для размещения гидроэлектростанций проходились специально. Стоимость их проходки и крепления составляет до 40% от общих затрат на строительство.

В качестве примера в таблице г.1 приведен перечень показателей по свинцово-цинковому карьеру и оценка их влияния на потребление электроэнергии.

Таблица Г.1 — Энергозатратность открытой добычи руд

№ п/п	Наименование показателя	Оценка влияния показателя на потребление электроэнергии, %
1.	Климатические условия	7,4
2.	Горно-геологические условия	5,9
3.	Водоприток	5,9
4.	Горнотехнические свойства руд и пород	7,4
5.	Система разработки	7,4
6.	Надежность системы электроснабжения	8,8
7.	Размер кондиционного куска руды, породы	8,8
8.	Глубина карьера	10,3
9.	Основное технологическое оборудование	10,3
10.	Система проветривания	1,4
11.	Система водоотлива	4,3
12.	Система карьерного транспорта	8,8
13.	Система сжатого воздуха	5,9
14.	Выработка тепла	7,4
	Итого	100

На горно-обогатительном предприятии цветной металлургии средние значения энергозатрат при добыче руды составляют 15 кВт ч/т меди, при обогащении - 30 кВт ч/т меди, то есть в структуре энергоемкости концентрата обогащение доминирует, его доля равна 66,7%.

Практические аспекты обогащения руд – традиционный подход. Потребление энергии на классической флотационной фабрике может изменяться от 20 до 50 кВт·ч/т, в том числе ее расход на дробление и измельчение составляет от 10 до 20 кВт·ч/т. При этом затраты на дробление намного меньше, чем на измельчение. Поэтому в практике энергию, затрачиваемую на уменьшение крупности, стремятся перенести на дробление.

Практические аспекты – самоизмельчение. На одной и той же руде в одинаковых условиях при полу- или самоизмельчении потребуется на 10-35 % энергии больше, чем при измельчении стальными шарами. Однако избыточное потребление электроэнергии при самоизмельчении компенсируется экономией расхода стали.

В зависимости от типа руд в области оптимальной загрузки мельниц повышение загрузки мельниц на 1 т/ч приводит к снижению удельного расхода электроэнергии на 0,12-0,53 кВт·ч/т.

Грохочение. На грохочение потребляется мало энергии и его редко отделяют от дробления.

Классификация. Вследствие кратности цикла измельчения и классификации часть материала поступает в крупный продукт и возвращается в цикл измельчения, вызывая дополнительный расход энергии.

Флотация. Правильный подбор флотационных реагентов позволяет сэкономить много энергии, так как при уменьшении времени пребывания пульпы в камерах уменьшается их общий потребляемый объем, а следовательно, и установочная мощность.

Использование флотационных камер большого объема обуславливает уменьшение числа механизмов потребления энергии.

Гравитационное обогащение. Потребление энергии сравнительно умеренное: тяжелосредное обогащение – 1-6 кВт·ч/т, отсадка – 0,03-1,3 кВт·ч/т, концентрация на столах – 0,04-3,0 кВт·ч/т.

Магнитное и электрическое обогащение. При магнитном обогащении затрачивается от 3 до 11 кВт·ч/т, электрическом – от 0,4 до 1,4 кВт·ч/т.

Химическая переработка руд. Потребление энергии определяется е расходом на дробление и измельчение.

Эффективность политики снижения расхода электроэнергии в технологических процессах добычи и обогащения руд цветных металлов характеризуются таблицей Г.2.

Таблица Г.2 — Расход электроэнергии при добыче и обогащении руд цветных металлов

№ п/п	Операции переработки	Расход электроэнергии, кВт·ч/т руды
1.	Добыча руд:	
1.1	подземная	35-45
1.2	открытая	10-15
2.	Обогащение руд:	
2.1.	Крупное, среднее, мелкое дробление, грохочение, транспортирование, затраты посклад крупной руды	1,0-1,12
2.2.	Бункерование руды в цехе измельчения	-
2.3.	Измельчение до 70-75% -74 мкм, классификация в механических классификаторах или в гидроциклонах	12,0-20,0
2.4.	Флотация (без стоимости флотационных реагентов)[1]	2,6
2.5.	Сгущение[2] в сгустителях:	
2.5.1	Ø 18 м	2,4
2.5.2	Ø 24-30 м	1,3
2.5.3	Ø 50 м	1,0
2.6.	Фильтрование[2]	2,0-3,0
2.7.	Сушка[2] (без стоимости топлива)	3,0
1 - показатели по флотации даны для случая, когда удельный объем флотационных машин составляет 0,05 м^3/(т/сут)		
2 - расходы и удельные затраты по операциям обезвоживания, сушки, удаления и укладки хвостов, складировании и отгрузки концентрата даны на 1 т продукта, поступающего в эти операции		

К анализу потребления энергии можно подойти с точки зрения потребления материалов, включенных в энергетические затраты. Результаты такого подхода приведены в таблице Г.3.

Таблица Г.3 — Энергозатратность процессов обогащения руд

№ п/п	Наименование статьи затрат	Расход энергии на рудоподготовку и флотацию медных руд (1 % Cu), кВт·ч/т
1.	Электроэнергия (15 кВт·ч/т при эффективности 23,85 %)	62,89
2.	Известь (2 кг/т при 1334 кВт·ч/т)	2,67
3.	Топливо (8 г/т при 14 кВт·ч/т)	0,11
4.	Флотационные реагенты (5 г/т при 5 кВт·ч/т	0,25
5.	Вода (3 $м^3$/т при 2,6 кВт·ч/т)	7,8
6.	Износ металла (100 г/т при 60 кВт·ч/т)	6,0
7.	Машинное оборудование (около 8000 т; может перерабатывать $60 \cdot 10^6$ т руды; энергия на материалы - $160 \cdot 10^6$ кВт·ч/т; производство - $16 \cdot 10^6$ кВт·ч/т)	2,93
8.	Сооружения (400 $м^2$ основных промышленных зданий при 10^4 кВт·ч/$м^2$; 1000 $м^2$ учреждений, дорог, насыпей и др. при $5 \cdot 10^3$ кВт·ч/$м^2$)	0,15
9.	Всего	82,8

Ниже (таблица Г.4) учтено как прямое потребление энергии на обогащение медных руд (уровень I), так и косвенное на материалы и реагенты (уровень II).

Таблица Г.4 — Результаты двухуровнего метода определения энергозатратности процессов обогащения руд

Статья расхода	Уровень I		Материал	Уровень II		
	1	2		расход материала, г/т	термическая энергия	
					3	4
Дробление	2,04	6,28	Футеровка	30	11,63	0,35
Измельчение	9,8	30,15	Шары	750	11,63	8,72
			Футеровка	50	11,63	0,58
Флотация	1,28	3,94	Известь	1500	2,65	3,97
			Собиратели	40	12,92	0,52
			Вспениватели	35	12,92	0,45
Фильтрование	0,21	0,65	-	-	-	-
Доизмельчение	0,26	0,80	Шары	20	11,63	0,23
			Футеровка	2	11,63	0,02
Свежая вода	1,8	3,08	-	-	-	-

Оборотная вода	1,0	3,08	-	-	-	-
Всего	16,39	50,44	-	-	-	14,84
1 – электрическая энергия, кВт·ч/т руды						
2 – термическая энергия, кВт·ч/т						
3 - кВт·ч/кг материала						
4 - кВт·ч/т руды						
5 – эффективность термоэлектрических превращений принята 32,5 %						

Потребление энергии на уровне II составляет более 20 % общей термической энергии, используемой при обогащении легкофлотируемой медной руды.

Таблица Г.5 — Среднее потребление энергии для различных типов руд цветных металлов, кВт·ч/т

Медные	28,4	Вольфрамо-молибденовые	19,9
Медно-молибденовые	26,0	Свинцово-цинковые	34,7
Медно-свинцово-цинковые	30,0	Свинцово-цинково-серебряные	31,1
Медно-цинково-пиритные	38,6	Цинковые	25,5
Медно-никелевые	56,4	Оловянные	49,1

Наэлектропотребление в процессах добычи и обогащения руд цветных металлов в перспективе будут влиять: повышение безопасности и комфортности труда, увеличение глубины и усложнение условий добычи руды, вовлечение в производство ресурсов с низким содержанием ценных компонентов, освоение месторождений в некомфортных для работ условиях, применение инновационных электроемких технологий добычи и обогащения. Уменьшению удельного расхода электроэнергии будет способствовать внедрение мероприятий по экономии электроэнергии.

Г.3 Наилучшие доступные технологии, направленные на повышение энергоэффективности

Энергоэффективность при добыче и обогащениируд цветных металлов обеспечивается применением технологий ресурсосбережения и энергосбережения, рассмотренных в подразделе5.5 «НДТ в области энергосбережения и ресурсосбережения» раздела 5 «Наилучшие доступные технологии».

№ п/п	Номер НДТ	Наименование НДТ	Раздел/пункт справочника НДТ
1	НДТ 26	Управление системой потребления энергетических ресурсов	5.5
2	НДТ 27	Сокращение энергопотребления в процессах добычи и обогащения полезных ископаемых	5.5

3	НДТ 28	Минимизация потерь полезных ископаемых в недрах	5.5
4	НДТ 29	Максимально полное извлечение ценных компонентов из добываемого полезно ископаемого	5.5
5	НДТ 30	Извлечение сопутствующих компонентов	5.5
6	НДТ 31	Использование вскрышных и вмещающих пород, хвостов обогащения	5.5
7	НДТ 32	Сокращение потерь полезных ископаемых при транспортировке	5.5
8	НДТ 33	Сокращение забора воды из природных источников	5.5

Г.4 Экономические аспекты реализации НДТ, направленные на повышение энергоэффективности, оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

Затраты на электроэнергию и энергетические ресурсы составляют большую долю расходов горнодобывающих предприятий, особенно при отработке месторождений подземным способом с неоптимальным режимом работы энергосистем.

Основной вклад в повышение энергоэффективности вносит внедрение систем энергетического менеджмента, внедрение перспективных технологий, обеспечивающих оптимизацию соотношения произведенных цветных металлов и энергетических затрат.

Г.5 Перспективные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

Дистанционное зондирование территории.

Формирование горнопромышленных комплексов (хабов).

Внедрение циклично-поточной технологии.

Применение биохимических методов выщелачивания металлов.

Совершенствование подземных технологий добычи.

Приложение Д

(справочное)

Технологическое оборудование

Назначение технологического оборудования для открытых и подземных горных работ приведено в таблицах Д.1 и Д.2.

Таблица Д.1 — Горное оборудование для открытой разработки рудных месторождений

Наименование оборудования	Назначение оборудования
Рыхлители; бульдозеры; буровые станки; электросверла, бурильные молотки; буровые агрегаты; камнерезные машины; машины для заряжания и забойки скважин; установки для разрушения негабаритных кусков; средства механизации осушения горных пород (бурение дренажных скважин, насосные установки); траншейные экскаваторы; драглайны и другое оборудование	Подготовка горных пород к выемке
Экскаваторы; драглайны; скреперы; бульдозеры; грейферы; шнеко-буровые машины и др.	Выемочно-погрузочные операции
Бульдозеры; струги; грейдеры; погрузчики; скреперы и др.	Выемочно-транспортирующие операции
Конвейеры; конвейерные перегружатели; транспортно-отвальные мосты; средства гидротранспорта (землесосы, гидроэлеваторы, трубопроводы, сгустители) и др.; средства железнодорожного транспорта (электровозы, тяговые агрегаты, тепловозы, думпкары, гондолы, хопперы, платформы); автотракторный транспорт (автосамосвалы, автопоезда, дизель-троллейвозы, тракторные тягачи и поезда); канатные подвесные дороги и др.	Транспортирование горной массы
Экскаваторы; плуги; бульдозеры; консольные отвалообразователи; погрузчики; скреперы; гидроотвальные установки и др.	Сооружение отвалов
Дробилки; грохота различных типов; гравиемойки, пескомойки и др.	Сортировочно-обогатительные операции
Самоходный агрегатс щековой дробилкой	Дробление горной массы
Экскаватор с гидро-молотом	
Фронтальный погрузчик	Погрузка дробленого материала; зачистка забоя; формирование площадок для технологического оборудования
Сочленённый автосамосвал	Транспортировка дробленого

	материала
Краны; путепередвигатели; бульдозеры; машины для ремонта железнодорожных путей; ремонтные поезда и е мастерские; грейдеры; кюветокопатели; катки; поливочные и снегоуборочные машины; машины для подготовки и рекультивации поверхности; оборудование для водоотлива и энергообеспечения и др.	Машины для вспомогательных работ
Роторные и цепные экскаваторы; скреперы; комбайны, скребковые экскаваторы	Для выемочно-погрузочных работ
Буровая техника для выполнения дренажных работ	Осушение карьерных полей
Оборудование для скважин с погружными насосами	
Вентиляционные установки	Проветривание карьеров

Таблица Д.2 — Горное оборудование для подземной разработки рудных месторождений

Установки для бурения с отбором керна	Разведка месторождения
Оборудованиедля бурения шпуров и скважин	Проходка выработок и отбойка руд
Буровые инструменты	
Установки и аппараты для заряжания шпуров и скважин	
Проходческое оборудование	Проходка выработок
Оборудование для проходки тоннелей	
Оборудование для установки анкерной крепи	Крепление выработок
Мобильные анкероустановщики	
Комплексы и комбайны для проведения восстающих выработок	Проходка восстающих выработок и скважин
Машины для бурения восстающих вертикальных и наклонных скважин	
Проходческие комбайны	Проходка специальных выработок
Проходческие комбайны для крепких пород	
Комбайны для проходки тоннелей	
Режущее навесное оборудование	
Погрузочно-доставочные машины	Погрузка, доставка и транспортирование горной массы и материалов
Подземные самосвалы	
Машины ПДМ и ПТМ и, самоходные вагоны	
Специальные самоходные установки	Вспомогательные работы
Лебедки	Доставка горной массы
Конвейерные системы	Транспортирование горной массы
Грохоты, питатели и дробилки	Выпуск и переработка горной массы
Вспомогательные машины и оборудование	Выполнение вспомогательных работ

Вентиляторы	Обеспечение условий для эксплуатации
Оборудование для откачки воды	

Назначение технологического оборудования для обогащения руд цветных металлов приведено в таблице Д.3.

Таблица Д.3 – Основное оборудование для добычи и обогащения руд цветных металлов

№ п/п	Наименование оборудования	Назначение оборудования
1.	Подготовительные процессы	
1.1	Грохочение	
1.1.1	Грохоты неподвижные, частично подвижные, вращающиеся	Для разделения (грохочения, рассева, отсеивания) сыпучего кускового зернистого материала на продукты различной крупности (классы) с помощью просеивающих поверхностей с калиброванными отверстиями (колосниковых решеток, листовых решет, проволочных и полиуретановых сит)
1.1.2	Плоские грохоты с симметричными продольными колебаниями	
1.1.3	Гидравлические грохоты	
1.2	Дробление	
1.2.1	Щековые дробилки со сложным и простым движением щеки	Для доведения минерального сырья (и других материалов) до необходимой крупности, требуемого гранулометрического состава или заданной степени раскрытия минералов
1.2.2	Конусные дробилки крупного дробления	
1.2.3	Конусные дробилки среднего дробления	
1.2.3	Конусные дробилки мелкого дробления	
1.2.4	Молотковые дробилки	
	Роторные дробилки	
1.2.5	Валковые дробилки	
1.3	Классификация в водной и воздушной средах	
1.3.1	Классификаторы гравитационные механические (спиральные)	Машины и аппараты для классификации предназначены для разделения тонкозернистых материалов по равнопадаемости на фракции различной крупности и плотности в жидкой или воздушной среде
1.3.2	Классификаторы гравитационные гидравлические одно- и многокамерные	
1.3.3	Воздушные сепараторы	
1.3.4	Гидроциклоны	
1.3.5	Центрифуги	
1.4	Измельчение	

1.4.1	Вращающиеся барабанные мельницы для мокрого измельчения, в т.ч. шаровые с разгрузкой через решетку м с центральной разгрузкой, стержневые мельницы с центральной разгрузкой, галечные и рудногалечные с разгрузкой через решетку, мельницы мокрого само- и полусамоизмельчения с разгрузкой через решетку, трубные мельницы	Уменьшение размера частиц путем дробления имеет ограничение по крупности дробленого продукта. Мельницы предназначены для уменьшения крупности частиц до размеров, при которых ценные (извлекаемые в товарный продукт) минералы освобождаются из вмещающей породы
1.4.2	Планетарные и гироскопические барабанные мельницы	
1.4.3	Центробежные барабанные мельницы	
1.4.4	Вибрационные барабанные мельницы	
1.4.5	Мельницы ударного действия	
2.	Основные процессы	
2.1	Гравитационное обогащение	
2.1.1	Промывочные машины и устройства	Для разделения минеральных частиц, отличающихся плотностью, размером или формой, обусловленное различием в характере и скорости их движения в среде под действием силы тяжести и сил сопротивления
2.1.2	Машины и механизмы для обогащения в тяжелых суспензиях	
2.1.3	Отсадочные машины	
2.1.4	Машины и механизмы для концентрации на столах	
2.1.5	Машины и механизмы для обогащения в суживающихся желобах	
2.1.6	Машины и механизмы для обогащения на винтовых и конусных сепараторах и шлюзах	
2.2	Магнитное обогащение	
2.2.1	Магнитные и электромагнитные сепараторы со слабым полем для сухого обогащения	Для процессов магнитного обогащения, основанных на различии магнитных свойств разделяемых компонентов
2.2.2	Магнитные сепараторы со	

	слабым полем для мокрого обогащения	
2.2.3	Электромагнитные сепараторы со слабым полем для регенерации ферромагнитных утяжелителей	
2.2.4	Электромагнитные сепараторы с сильным полем для сухого обогащения	
2.2.5	Магнитные и электромагнитные сепараторы для мокрого обогащения	
2.2.6	Аппараты для намагничивания и размагничивания руд и магнитные дешламаторы	
2.3	Электрическое обогащение, классификация и обеспыливание	
2.3.1	Сепараторы для разделения минералов по электропроводности	Для электрической сепарации (обогащения, классификации и обеспыливания полезных ископаемых и материалов), основанной на различии электрофизических свойств разделяемых компонентов
2.3.2	Трибоэлектрические сепараторы	
2.3.3	Пироэлектрические и диэлектрические сепараторы	
2.3.4	Машины и механизмы для электрической классификации	
2.3.5	Высоковольтные устройства для электрических сепараторов	
2.4	Флотационные методы обогащения	
2.4.1	Механические флотационные машины	Для осуществления флотационного процесса обогащения полезных ископаемых, основанного на избирательном прилипании частиц минералов к поверхности раздела двух фаз
2.4.2	Пневмомеханические флотационные машины	
2.4.3	Пневматические флотационные машины	
2.4.4	Флотационные машины для крупнозернистой флотации	
2.4.5	Колонные флотомашины	
2.4.6	Машины и механизмы для приготовления и дозирования флотационных реагентов	

2.4.7	Машины и механизмы для агитации и аэрации флотационной пульпы	
3.	Специальные и вспомогательные процессы	
3.1	Усреднение руд	
3.1.1	Штабелеукладчик руды в штабель	Для осуществления совокупности операций планирования и управления качеством руд в процессе горно-транспортных работ и операций по смешиванию руд на руднике и фабрике, в результате которых уменьшается и стабилизируется в заданных пределах размах колебаний показателей качества руд в сменных и внутрисменных партиях в течение определенного периода времени
3.1.2	Заборная роторная усреднительная машина для забора руды по всему поперечному сечению штабеля	
3.1.3	Экскаваторы для формирования штабелей и погрузки руды	
3.1.4	Самосвалы для самосвальной отсыпки слоев руды	
3.2	Рудосортировка	
3.2.1	Сепараторы для эмиссионных методов радиометрического обогащения руд	Для осуществления процессов рудосортировки, основанных на различии в цвете, блеске, естественной и наведенной радиоактивности разделяемых минералов, различной способности их ослаблять радиоактивное излучение и отражать электромагнитные волны различной длины
3.2.2	Сепараторы для абсорбционных радиометрических методов	
3.2.3	Радиометрические контрольные станции (РКС)	
3.3	Комбинированные процессы обогащения	
3.3.1	Машины и механизмы для флотогравитации	Для осуществления процессов разделения минералов по нескольким свойствам, например, магнитной восприимчивостью и плотностью, электропроводностью и плотностью
3.3.2	Машины и механизмы для магнитогидродинамической сепарации	
3.3.3	Машины и механизмы для магнитогидростатической сепарации	
3.3.4	Машины и механизмы для магнитогравиметрической сепарации	
4.	Обезвоживание	
4.1	Сгущение	
4.1.1	Сгустители с центральным приводом	Для осуществления процесса сгущения - повышения концентрации (содержания) твердого в пульпе, происходящей в результате осаждения (перемещения) в ней твердых частиц под действием силы тяжести
4.1.2	Сгустители с периферическим приводом	
4.1.3	Пастовые сгустители	

4.1.4	Пластинчатые сгустители	
4.2	Фильтрование	
4.2.1	Барабанные вакуум-фильтры	Для осуществления процесса фильтрования - разделения твердой и жидкой фаз пульпы с помощью пористой перегородки под действием разности давлений, создаваемой разрежением воздуха или избыточным давлением
4.2.2	Дисковые вакуум-фильтры	
4.2.3	Ленточные вакуум-фильтры	
4.2.4	Карусельные вакуум-фильтры	
4.2.5	Камерные фильтр-прессы	
4.3	Сушка	
4.3.1	Сушилки, работающие при непосредственном контактировании высушиваемого материала и теплоносителя, в том числе: сушилки барабанные, турбинные, кипящего слоя, распылительные, трубы-сушилки	Для осуществления процесса сушки материалов - процесса их обезвоживания, основанного на испарении влаги в окружающую среду при нагревании
4.3.2	Сушилки с нагревом материала через разделительную стенку (с косвенным нагревом), в том числе: сушилки с вращающимся барабаном, шнековые сушилки	
5.	Химические процессы в комбинированных схемах обогащения	
5.1	Машины и механизмы для подготовки исходного материала к выщелачиванию	Для осуществления химических процессов в следующих направлениях: -предварительная обработка руд или промпродуктов для образования (или, наоборот, удаления) поверхностных пленок на зернах рудных минералов, сегрегации тонкодисперсных частиц и других химических изменений отдельных компонентов с целью повышения различия физических и физико-химических свойств минералов и создания возможности разделения их обычными методами; -доводка богатых концентратов, но некондиционных по содержанию основного компонента или примесей, путем частичного или полного удаления из них химическими методами некоторых сопутствующих минералов; -переработка черновых, коллективных концентратов или труднодоводимых промпродуктов с
5.2	Машины и механизмы для выщелачивания ценных компонентов	
5.3	Машины и механизмы для отделения и очистки растворов	
5.4	Машины и механизмы для разделения и осаждения металлов из растворов	
5.5	Машины и механизмы для регенерации реагентов	
5.6	Машины и механизмы для доизвлечения металлов из отработанных растворов	

		целью практически полного селективного извлечения полезных компонентов в одноименные продукты
6.	Вспомогательное оборудование	
6.1	Питатель пластинчатый	Подача руды в дробилки
6.2	Питатель ленточный	Механическое перемещение руд и материалов
6.3	Питатель тарельчатый	Подача руды в мельницу
6.4	Вибропитатель	Подача руды в мельницу
6.5	Кран мостовой	Ремонт и обслуживание оборудования
6.6	Тельфер	Ремонт и обслуживание оборудования
6.7	Сушилки воздуха	Кондиционирование воздуха
6.8	Ленточные весы для конвейеров	Взвешивание руд и материалов
6.9	Агитаторы	Перемешивание пульп и растворов
6.10	Контактные чаны	Перемешивание пульп и растворов
6.11	Статический смеситель	Приготовление реагентов
6.12	Ленточные транспортеры	Механическое перемещение руд и материалов
6.13	Шнековые транспортеры	Механическое перемещение руд и материалов
6.14	Подогреватель растворов	Кондиционирование растворов
6.15	Вентиляторы	Для перемещения газа со степенью сжатия менее 1,15 (или разностью давлений на выходе и входе не более 15 кПа), вентиляции помещений, охлаждения оборудования
6.16	Воздушные компрессоры	Для воздухоснабжения процессов обогащения
6.17	Воздуходувки	Для воздухоснабжения процессов обогащения
6.18	Центробежные насосы	Гидротранспорт пульпы
6.19	Насосы	Гидротранспорт флотационных реагентов
6.20	Питатели флотореагентов	Для дозирования флотореагентов
6.21	Магнитные шайбы	Для удаления металлических предметов из руд

Для природоохранных мероприятий применяют оборудование, приведенное в таблице Д.4.

Таблица Д.4 – Природоохранное оборудование для добычи и обогащения руд цветных металлов

Наименование оборудования	Назначение оборудования
Добыча руд подземным способом	
Стационарные оросительные, распылительные, оросительно-вентиляционные установки, водяные оросители	Орошение (вт.ч. предварительное) рудного массива, очистных забоев и других пылящих поверхностей

Наименование оборудования	Назначение оборудования
Водовоздушный эжектор	Пылеподавление при передвижке секций механизированной крепи
Ствол воздушно-пенный, пеногенератор, пенообразователь	Пылеподавление пеной при очистных работах
Пылеулавливающая установка	Улавливание пыли при проведении буровых, выемочно-погрузочных работ и транспортировке руд конвейерным способом
Шахтный водосборник	Предварительное осветление воды (удаление взвешенных частиц)
Пруд-отстойник и аналогичные устройства (отстойник, осветлитель с взвешенным слоем осадка)	Осветление воды (удаление тяжёлых взвешенных частиц)
Нефтеловушка и аналогичные устройства (боновое заграждение, боновый фильтр)	Очистка сточных вод от нефтепродуктов
Флотационная машина	Очистка сточных вод от взвешенных веществ (крупных и мелкодисперсных), нефтепродуктов, железа, масел и ПАВ
Установка для обеззараживания воды хлорированием	Обеззараживание сточных вод (удаление бактерий)
Установка окисления активным илом	Биологическая очистка сточных вод
Установка озонирования	Обеззараживание сточных вод, удаление железа
Установка обеззараживания УФ-излучением	Обеззараживание сточных вод
Засыпной сорбционный фильтр	Доочистка сточных вод
Установка аэрации воды (аэратор)	Очистка сточных вод от железа
Установка флотации, фильтрации и обеззараживания	Комплексная очистка сточных вод
Отвалообразователь непрерывного действия	Формирование отвалов
Добыча руд открытым способом	

Наименование оборудования	Назначение оборудования
Бульдозер	Зачистка блока при буровзрывных работах, механическое рыхление, выемочно-погрузочные работы, ремонт автодорог, перемещение рельсошпальной решётки, складирование и отгрузка руд, планировка отвалов
Буровая установка	Бурение взрывных скважин
Вакуумная машина, передвижная насосная установка	Осушка скважин
Смесительно-зарядная машина	Доставка взрывчатых веществ и заряжание скважин
Забоечная машина	Забойка скважин
Трактор	Транспортировка буровой техники
Грузоподъемное оборудование:кран (козловой, мостовой, кран-балка);лебедка;таль;тельфер;автоподъёмник	Подъемно-транспортные и монтажные работы
Гидромонитор	Гидравлическое разрушение пород
Одноковшовый экскаватор с механической лопатой	Выемочно-погрузочные работы
Одноковшовый экскаватор с канатной связью (драглайн)	Выемочно-погрузочные работы
Многоковшовый экскаватор	Выемочно-погрузочные работы непрерывного характера
Перегружатель	Обеспечение связи между многоковшовым экскаватором и конвейером (или отвалообразователем)
Погрузчик колёсный	Выемочно-погрузочные работы, складирование и отгрузка угля, формирование отвалов
Карьерный автосамосвал	Транспортировка горной массы (перемещение карьерных грузов)

Наименование оборудования	Назначение оборудования
	автомобильным транспортом. Автосамосвалы малой грузоподъёмности могут использоваться для вспомогательных работ (например, для доставки взрывчатых веществ).
Грейдер	Ремонт автодорог
Скрепер	Строительство и ремонт автодорог: снятие почвенно-растительного слоя, снятие снежных наносов, доставка щебня для ремонта дорог Может ограниченно применяться при выемочно-погрузочных работах
Щебнеразбрасывающая машина	Ремонт автодорог
Локомотив	Транспортировка горной массы (перемещение карьерных грузов): обеспечение тяги железнодорожных составов с думпкарами
Железнодорожный вагон	Транспортировка горной массы (перемещение карьерных грузов) железнодорожным транспортом
Толкатель	Обеспечение маневровых работ на железнодорожном транспорте
Устройство маневровое	Обеспечение маневровых работ на железнодорожном транспорте
Путевая машина	Обслуживание железнодорожных путей
Конвейер	Транспортировка горной массы (перемещение карьерных грузов) конвейерным транспортом
Насосная установка	Водоотвод, осушка скважин для буровзрывных работ, гидравлическое разрушение

Наименование оборудования	Назначение оборудования
Погрузочный комплекс	Отгрузка руд в железнодорожные составы, в том числе с предварительной сортировкой и дроблением
Кабелепередвижчик	Перемещение кабелей на участках открытых горных работ
Автомобиль специального назначения	Ремонт оборудования Измерение состава и параметров проб руд Транспортировка оборудования Транспортировка строительных материалов Транспортировка топлива и заправка оборудования Откачка и транспортировка ила
Компрессорное оборудование	Обеспечение пневматического привода оборудования
Система аэрогазового контроля	Контроль параметров воздуха на участках открытых горных работ
Машина проборазделочная	Подготовка лабораторных проб руд
Лабораторный комплекс с приборами для измерения состава вещества	Измерение состава и параметров проб руд
Калориферы	Подогрев воздуха, поступающего в помещения
Обогащение руд	
Сухие инерционные и камерные пылеуловители	
Пылеулавливающие камеры	Улавливание пыли технологических газов и воздуха в цехах дробления, на сушильных установках, в системах промышленной вентиляции и аспирации ОФ
Жалюзийные пылеуловители	
Циклоны, в том числе батарейные	
Прямоточные пылеуловители	

Наименование оборудования	Назначение оборудования
Мокрые пылеуловители	
Пленочные пылеуловители	Окончательная очистка запыленных газов мокрым способом в системах аспирации и промышленной вентиляции ОФ
Орошаемые пылеуловители	
Прямоточные мокрые пылеуловители	
Скрубберы, в том числе центробежные и с насадкой	
Центробежные слоевые мокрые пылеуловители	
Барботажные и пенные пылеуловители (барботеры)	
Скоростные (турбулентные) пылеуловители	
Газоходы и дымовые трубы	Для выбросов газов (воздуха) в атмосферу на определенной заданной высоте, канализация газов, для получения минимального гидравлического сопротивления и равномерного распределения газов между отдельными пылеуловителями
Рукавные (тканевые) фильтры, в том числе с регенерацией ткани механиченским встряхиванием и обратной продувкой, рукавами из стеклотканей и синтетических тканей, со струйной и импульсной продувкой, рамные фильтры	Для осуществления процессов осаждения частиц пыли на фильтрующей поверхности, заключающихся в том, что крупные частицы оседают на ней, т.к. размеры их больше пор фильтрующей перегородки
Электрофильтры (сухие и мокрые)	Для получения любой степени очистки (до 99 % и даже до 99,9 %), если не считаться с необходимостью в таких случаях установки фильтров больших размеров
Зумпф	Предварительное осветление воды (удаление взвешенных частиц)
Пруд-отстойник и аналогичные устройства	Осветление воды (удаление тя-

Наименование оборудования	Назначение оборудования
(отстойник, осветлитель со взвешенным слоем осадка)	жёлых взвешенных частиц)
Нефтеловушка и аналогичные устройства (боновое заграждение, боновый фильтр)	Очистка сточных вод от нефтепродуктов
Флотационная машина	Очистка сточных вод от взвешенных веществ (крупных и мелкодисперсных), нефтепродуктов, железа, масел и ПАВ
Установка для обеззараживания воды хлорированием	Обеззараживание сточных вод (удаление бактерий)
Установка окисления активным илом	Биологическая очистка сточных вод
Установка озонирования	Обеззараживание сточных вод, удаление железа
Установка обеззараживания УФ-излучением	Обеззараживание сточных вод
Засыпной сорбционный фильтр	Доочистка сточных вод
Установка аэрации воды (аэратор)	Очистка сточных вод от железа
Установка флотации, фильтрации и обеззараживания	Комплексная очистка сточных вод

Технологического оборудования на предприятиях цветной металлургиидолжно соответствовать критерию ресурсо- и энергосбережения. Оценка уровня соответствия оборудования этому критерию затруднительна по причине разнообразия видов и марок его на горнодобывающих предприятиях и отсутствием достаточной оперативной информации.

Таблица Д.5 — Техническая характеристика основного технологического оборудования

Вид работ	Наименованиеоборудования	Техническаяхарактеристика
Добыча подземным способом	Все виды оборудования	Суммарная установленная мощность электродвигателей 500 - 1000кВт; удельный расход электрической энергии на извлечение 1т полезного ископаемого при номинальной производительности - неболее 0,7кВт·ч/т

	Комбайны проходческие	Суммарная мощность электродвигателей исполнительных органов неменее 340кВт;удельный расход электрической энергии при номинальной производительности по породе прочностью до 15 МПа - <11кВт·ч/т
Добыча открытым способом	Экскаваторы одноковшовые на гусеничном ходу с электрическим или дизель-электрическим приводом	Объем ковша неболее 10м^3; удельный расход электрической энергии при номинальной производительности - неболее 0,41кВт·ч/м^3
		Объем ковша 10-15м^3; удельный расход электрической энергии при номинальной производительности - неболее 0,82кВт·ч/м^3
		Объем ковша свыше 15м^3; удельный расход электрической энергии при номинальной производительности - неболее 1,22кВт·ч/м^3
		Объем ковша до 20м^3; удельный расход электрической энергии при номинальной производительности - неболее 1,22кВт·ч/м^3
		Объем ковша 20-40м^3; удельный расход электрической энергии при номинальной производительности - неболее 1,95кВт·ч/м^3
		Объем ковша свыше 40м^3; удельный расход электрической энергии при номинальной производительности - неболее 1,95кВт·ч/м^3
	Экскаваторы многоковшовые карьерные роторные с электрическим приводом	Удельный расход электрической энергии при номинальной производительности - неболее 0,6кВт.ч/м^3
Обогащение	Конусные дробилки крупного дробления размер 500–1500	Крупность дробленого материала - 600-1000мм; предел прочности при сжатии до 300МПа; содержание влаги до 4%
	Конусные дробилки среднего дробления типоразмер 500–900	Крупность дробленого материала - 100-300мм; предел прочности при сжатии до 300МПа; содержание влаги до 4%
	Конусные дробилки мелкого дробления размер 1750–3000	Крупность дробленого материала - 50-100мм; предел прочности при сжатии до 300МПа; содержание влаги до 4%
	Дробилки ударного действия серии «Титан Д»	Производительность - 150-500т/ч; установленная мощность - 110–500кВт; скорость удара - 35–100м/с
	Щековые дробилки для дробления горных пород	Крупность дробленого материала - 150-500мм; производительность до 550м^3/ч; предел прочности при сжатии до 300МПа

	Грохоты инерционные самобалансные серии ГИСТ, ГИСЛ	Производительность 96-800т/ч; объемная масса насыпного груза 1,4-2,8т/м^3
	Мельницы шаровые МШЦ и МШР для мокрого измельчения рудных и нерудных полезных ископаемых	Рабочий объем - 36-82м^3; мощность двигателя1000-2500кВт; производительность - до 3040 т/ч
	Мельницы мокрого самоизмельчения типа ММС	Рабочий объем - 80м^3; мощность двигателя - 1600кВт; производительность - 80–600т/ч
	Линейные грохоты	Размер грохота - 12м^2; размер фильтровальной ткани - 3500/(12250-13000)
	Отсадочные машины	Производительность - 450-720т/ч; размер фракции - 0,5–150мм
	Отсадочная машина МО-318	Размер фракции до 4мм и 4-100мм Производительность по руде 180-270т/ч
	Тяжелосредние сепараторы ванного типа	Размер фракции - 6-250мм; производительность по исходному сырью - 90-590т/ч; производительность по исходной пульпе - 235-1500м^3/ч
	Машина флотационная МФУ-12	Вместимость камеры 12,5м^3; Производительность по исходному твердому продукту (при содержании твердого продукта в исходной пульпе 120г/л) - неменее 80т/ч Объемная производительность - неменее 700т/ч Установленная мощность электродвигателей на одну камеру - 38,03кВт
	Машина флотационная	Производительность по пульпе 900м^3 по твердому 90т/ч
	Магнитный сепаратор серии ПБМ	Производительность по тяжелой среде 160м^3/ч Диаметр рабочей части барабана 900мм Длина барабана 2500мм Магнитная индукция 0,16Тл Мощность электродвигателя 4кВт
	Ленточные фильтр-прессы	Номинальная производительность по суспензии - до 110-140м^3/ч Мощность электродвигателя привода, кВт - до 2×8,5 Средний расход воды для очистки фильтровочной ткани - до 26м^3/ч

Таблица Д.6 - Техническая характеристика вспомогательного оборудования

Технологическийэтап	Наименованиеоборудования	Техническиехарактеристики
1	2	3
Проветривание горных выработок	Вентиляторы осевые производительности более 5000м^3/ч	Коэффициент полезного действия не менее 85%
	Вентиляторы шахтные главного проветривания	Коэффициент полезного действия не менее 84%
	Вентиляторы шахтные местного проветривания	Коэффициент полезного действия не менее 70%
Транспортирование горной массы и полезного ископаемого	Конвейеры шахтные ленточные	Ширина ленты - от 1200 до 1600мм;номинальная скорость ленты 3,15 -4,5м/с; суммарная мощность электродвигателей 1200 - 3500кВт; удельный расход электрической энергии по перемещению 1т груза на 1м - неболее 0,0017кВт·ч/т·м
	Конвейеры ленточные для открытых горных работ	Ширина ленты - более 1600мм; номинальная скорость ленты 3,15 -4,5м/с; суммарная мощность электродвигателей3500 - 5500кВт; удельный расход электрической энергии по перемещению 1т груза на 1м - неболее 0,00038кВт·ч/т·м

Библиография

1. Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды».

2. 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».

3. Проект справочника ЕС по НДТ для обращения с отходами отраслей добывающей промышленности [BREF for the Management of Waste from the Extractive Industries, 2016 Draft].

4. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 октября 2014 г. № 2178-р «Об утверждении поэтапного графика создания в 2015–2017 гг. справочников наилучших доступных технологий».

5. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2015 г.» ; Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. — М., 2016.

6. Бочаров, В. А. Технология обогащения полезных ископаемых. В 2 т. Т. 1. Минерально-сырьевая база полезных ископаемых. Обогащение руд цветных металлов, руд и россыпей редких металлов / В. А. Бочаров, В. А. Игнаткина. — М. : Изд. дом «Руда и металлы», 2007. — 472 с.

7. Бочаров, В. А. Технология обогащения полезных ископаемых. В 2 т. Т. 2 : учебник / В. А. Бочаров, В. А. Игнаткина. — М. : Изд. дом «Руда и Металлы», 2007. — 408 с.

8. Абрамов, А. А. Технология обогащения руд цветных металлов. — М. : Недра, 1983. — 359 с.

9. Абрамов, А. А. Собрание сочинений : учебное пособие. Т. 8. Флотация. Сульфидные минералы. — М. : Горн. кн., 2013. — 705 с.

10. Сорокин, М. М. Флотационные методы обогащения. Химические основы флотации. Уч. пособие для вузов. — М., 2011. — 410 с.

11. Трубецкой, К. Н. Горное дело. Терминологический словарь / под научной редакцией акад. РАН К. Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д. Р. Каплунова. — 5-е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство «Горная книга», 2016. — 635 с.

12. Черных, А. Д. Открыто-подземная разработка рудных месторождений / А. Д. Черных, Б. Н. Андреев. — Киев : Техника, 2010. — 574 с.

13. Ильин С. А., Коваленко В. С., Пастихин Д. В. Открытый способ разработки месторождений: возможности и пути совершенствования //Горный журнал. - 2012. - № 2.

14. Токарев, О. В. Технологии подземной выемки запасов медно-никелевых руд Ждановского месторождения в период перехода с открытого способа разработки на подземный / О. В. Токарев, М. В. Кузенков, А. Е. Удалов // Горный журнал. — 2015. — № 5.

15. Каплунов, Д. Р. Новая технология и оборудование для высокопроизводительной закладки выработанного пространства при подземной отработке месторождений /

Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова, В. А. Арсентьев, В. В. Квитка, Р. Ш. Маннанов // Горный журнал. — 2012. — № 2.

16. Каплунов, Д. Р. Принципы устойчивого и экологически сбалансированного освоения недр на базе комбинированных геотехнологий / Д. Р. Каплунов, В. А. Юков // Горный журнал. — 2015. — № 11.

17. Ломоносов, Г. Г. Производственные процессы подземной разработки рудных месторождений. — М. : Горная книга, 2013. — 522 с.

18. Дарбинян, Т. П. Опытно-промышленные испытания камерной системы разработки на залежи «Центральная основная» шахты «Комсомольская» / Т. П. Дарбинян, Н. К. Тухватуллин, Ю. Б. Сидоренко, А. С. Корецкий // Горный журнал. — 2016. — № 2

19. Еременко А.А., Еременко В.А., Доев Р.А., Коврыгин О.А. Исследование геомеханического состояния породного массива при выемке полиметаллических руд системой разработки с закладкой //Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2013. - № 7.

20. Карелин В. Н., Семенько К. А., Муштекенов Т. С., Андреев А. А., Мулёв С. Н. Обеспечение геодинамической безопасности при отработке богатых руд рудника «Таймырский» //Горный журнал. - 2013. - № 1.

21. Галаов, Р. Б. Геомеханическое обоснование безопасных способов разработки тектонически напряженных блоковых структур рудных залежей Талнахского узла / Р. Б. Галаов, В. А. Звездкин, А. Н. Шабаров // Горный журнал. — 2013. — № 12.

22. Рыльникова, М. В. Предпосылки перехода к экологически сбалансированному освоению медноколчеданных месторождений / М. В. Рыльникова, Е. А. Емельяненко // Горный журнал. — 2015. — № 11.

23 Голик, В. И. Специальные способы разработки месторождений. — М. : ИНФРА-М, 2014. — 132 с.

24. Чантурия, В. А. Современное состояние и основные направления развития технологии комплексной переработки минерального сырья цветных металлов / В. А. Чантурия, В. А. Бочаров // Цветные металлы. — 2016. — № 11. — С. 11–18.

25. Chanturiya, V. A. Innovatsionnye protsessy kompleksnoy glubokoy pererabotki mineralnogo syrya prirodnogo i tekhnogennogo proiskhozhdeniya (Innovation-based processes of integrated and high-level processing of natural and technogenic minerals). Gornyi Zhurnal = Mining Journal. — 2015. — No. 7. — Pp. 29–35.

26. Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья, Международная конференция (2016 ; Санкт-Петербург), 26–30 сент. 2016 г. [материалы] / редкол.: В. А. Чантурия, Т. В. Чекушина — М. : Руда и мет., 2016. — 645 с.

27. Bocharov, V. A. Problema razdeleniya mineralnykh kompleksov pri pererabotke massivnykh upornykh rud tsvetnykh metallov (Problems of separation of mineral complexes in the time of processing of massive refractory ores of non ferrous metals). Tsvetnye Metal-ly = Non ferrous metals. — 2014. — No. 5. — Pp. 16–23.

28. Bocharov, V. A., Ignatkina, V. A. Analiz sovremennykh napravleniy kom-pleksnogo ispolzovaniya upornykh rud tsvetnykh metallov (The analysis of modern directions for all-round utilization of base metals refractory ores). Obogashchenie Rud = Mineral processing. — 2015. — No. 5. — Pp. 46–53.

29. Инновационные технологии обогащения минерального и техногенного сырья, Научно-техническая конференция в рамках 6 Уральского горнопромышленного форума (2015 ; Екатеринбург), 2–4 декабря 2015 г. [материалы] / редкол.: Е. Ф. Цыпин — Екатеринбург : УГГУ, 2015. — 232 с.

30. Старцев, С. В. Краткий обзор цветной металлургической промышленности в России // Надежность машин и промышленная безопасность. — М., 2015. — № 2. — С. 80–81.

31. Экономические проблемы и механизмы развития минерально-сырьевого комплекса (российский и мировой опыт), Международная научная конференция (2015 ; Санкт-Петербург), 2–3 декабря 2015 г. [Сборник научных трудов]. — СПб. : Нац. минерал.-сырьев. ун т «Горный», 2016. — 380 с.

32. Korneev, S. I. Mezhdunarodnyy obzor rynka tsvetnykh metallov (International review of market of non ferrous metals). Tsvetnye Metally = Non ferrousmetals. — 2016. — No. 1. — Pp. 4–7.

33. Вайсберг, Л. А. Основные тенденции развития процессов дезинтеграции руд в XXI в. / Л. А. Вайсберг, П. И. Круппа, В. Ф. Баранов // Обогащение руд. — М., 2002. — № 3. — С. 3–10.

34. Бунин, И. Ж. Влияние наносекундных импульсов высокого напряжения на структурно-химические свойства и микротвердость породообразующих минералов кимберлитов / И. Ж. Бунин, В. А. Чантурия, Н. Е. Анашкина и др. // Упорядочение в минералах и сплавах. — М., 2015. — Вып. 18. — С. 46–49.

35. Chanturiya, V. A., Bunin, I. Z. Pulsed power nanotechnologies for disintegration and breaking up of refractory precious metals // Nanobiotechnology in energy, environment and electronics methods and applications. Pt. A. London, N. Y., Singapore, 2014. P. 41–66.

36. Чантурия, В. А. Приоритетные направления исследований в области переработки минерального сырья / В. А. Чантурия, Л. А. Вайсберг, А. П. Козлов // Обогащение руд. — М., 2014. — № 2. — С. 3–9.

37. Vaysberg, L. A., Zarogatskiy, P. L., Turkin, V. Ya. Vibratsionnye drobilki. Osnovy rascheta, proektirovaniya i tekhnologicheskogo primeneniya (Vibration crushers. Basis of calculation, design and technological application). Saint Petersburg: A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), 2014. 306 p.

38. Вайсберг, Л. А. Самоизмельчение как основной процесс рудоподготовки в XXI в. / Л. А. Вайсберг, А. В. Бортников // Горный журнал. — М., 2002. — № 3. — С. 14–19.

39. Вайсберг, Л. А. Состояние и перспективы развития циклично-поточных технологий / Л. А. Вайсберг, В. Ф. Баранов // Горный журнал. — М., 2002. — № 4. — С. 35–40.

40. Вайсберг, Л. А. Новое оборудование для дробления и измельчения материалов / Л. А. Вайсберг, Л. П. Зарогатский // Горный журнал. — М., 2000. — № 3. — С. 49–52.

41. Вайсберг, Л. А. Новое поколение щековых и конусных дробилок / Л. А. Вайсберг, Л. П. Зарогатский // Строительные и дорожные машины. — М., 2000. — № 7. — С. 16–21.

42. Блехман, И. И. Явление самосинхронизации неуравновешенных роторов и его использование при создании грохотов и других вибрационных машин / И. И. Блехман, Л. А. Вайсберг // Обогащение руд. — М., 2001. — № 1. — С. 20–26.

43. Круппа, П. И. Новые конструкции дробилок для модернизации процесса дробления на предприятиях металлургии, горнохимической промышленности и стройиндустрии / П. И. Круппа, А. В. Груздев, А. М. Осадчий // Обогащение руд. — М., 2000. — № 2. — С. 29–32.

44. Баранов, В. Ф. Применение технологии мокрого дробления за рубежом // Обогащение руд. — М., 2000. — № 1. — С. 43–48.

45. Зарогатский, Л. П. Опыт применения инерционных конусных дробилок на горно-обогатительных комбинатах / Л. П. Зарогатский, А. Н. Сафронов, В. А. Черкасский // Обогащение руд. — М., 2000. — № 1. — С. 32–36.

46. Вайсберг, Л. А. Вибрационная дезинтеграция как основа энергосберегающих технологий при переработке полезных ископаемых / Л. А. Вайсберг, Л. П. Зарогатский, А. Н. Сафронов // Обогащение руд. — М., 2001. — № 1. — С. 5–9.

47. Чантурия, В. А. Современное состояние и основные направления развития технологии комплексной переработки минерального сырья цветных металлов / В. А. Чантурия, В. А. Бочаров // Цветные металлы. — М., 2016. — № 11. — С. 11–18.

48. Цыпин, Е. Ф. Обогащение в стадиях рудоподготовки. — Екатеринбург : УГГУ, 2015. — 304 с.

49. Бочаров, В. А. Состояние и перспективы развития технологии глубокой комплексной переработки руд цветных металлов / В. А. Бочаров, М. И. Манцевич, М. Г. Видуецкий, Е. В. Скопов, Б. А. Захаров // Горный журнал. — М., 2007. — № 2. — С. 65–71.

50. Паньшин А.М., Евдокимов С.И., Солоденко А.А. Минералургия. В 2-х т. Т. 1. / Паньшин А.М., Евдокимов С.И., Солоденко А.А. Золото: теория и промысел. Владикавказ: ООО НПКП "МАВР", 2010. - 960.

51. Евдокимов С.И., Евдокимов В.С. Переработка руд и техногенного медно-никелевого сырья с применением технологии струйной паровоздушной флотации //Изв. вузов. Цветная металлургия. - 2015. - №. 2. - С. 3-8.

52. Тихонов, О. Н. Теория разделения минералов. — СПб. : Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г. В. Плеханова, 2008. — 514 с.

53. Евдокимов С.И., Евдокимов В.С. Эффективная технология флотации природного и техногенного медно-никелевого сырья //Горный журнал. - 2016. - № 2. - С. 74-78.

54. Евдокимов С.И., Паньшин А.М., Солоденко А.А. Минералургия. В 2-х т. Т. 2. / Евдокимов С.И., Паньшин А.М., Солоденко А.А. Успехи флотации. - Владикавказ: ООО НПКП "МАВР", 2010. - 992 с.

55. Евдокимов С.И., Евдокимов В.С. Переработка лежалых хвостов свинцово-цинковой обогатительной фабрики //Изв. вузов. Цветная металлургия. - 2015. - № 3. - С. 3-11.

56. Паньшин А.М., Евдокимов С.И., Артемов С.В. Исследования в области флотации паро-воздушной смесью //Изв. вузов. Цветная металлургия. 2012. No. 1. С. 3-10.

57. Шубов, Л. Я. Флотационные реагенты в процессах обогащения минерального сырья : справочник. В 2 кн. Кн. 2 / Л. Я. Шубов, С. И. Иванков, Н. К. Щеглова ; под ред. Л. В. Кондратьевой. — М. : Недра, 1980. — 263 с.

58. Абрамов, А. А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. Учебное пособие для вузов. В 2 кн. Кн. 1. Рудоподготовка и Cu, Cu-Py, Cu-Fe, Mo, Cu-Mo, Cu-Zn руды. — М. : Издательство МГГУ, 2005. — 575 с.

59. Абрамов, А. А. Флотационные методы обогащения : учебник для вузов. Т. IV. — 3 е изд., перераб. и доп. — М. : Издательство МГГУ, «Горная книга», «Мир гор-ной книги», 2008. — 710 с.

60. Авдохин, В. М. Основы обогащения полезных ископаемых. Т. 1. Обогатительные процессы. — М. : Изд-во МГГУ, 2008. — 416 с.

61. Авдохин, В. М. Основы обогащения полезных ископаемых. Т. 2. Технология обогащения полезных ископаемых. — М. : Изд-во МГГУ, 2008. — 309 с.

62. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы / Под ред. О. С. Богданова, В. А. Олевского. — 2 е изд., переработ. и доп. — М. : Недра, 1982. — 366 с.

63. Справочник по обогащению руд. Основные процессы / Под ред. О. С. Богданова. — 2 е изд., перераб. и доп. — М. : Недра, 1983. — 381 с.

64. Справочник по обогащению руд. Специальные и вспомогательные про-цессы, испытания обогатимости, контроль и автоматика / Под ред. О. С. Богданова, В. И. Ревнивцева. — 2 е изд., переработ. и доп. — М. : Недра, 1983. — 376 с.

65. Справочник по обогащению руд. Обогатительные фабрики / Под ред. О. С. Богданова, Ю. Ф. Ненарокомова. — 2 е изд., переработ. и доп. — М. : Недра, 1984. — 358 с.

66. Абрамов, А. А. Технология переработки и обогащения руд цветных металлов. Учебное пособие для вузов. В 2 кн. Кн. 2. Pb, Pb Cu, Zn, Pb Zn, Pb Cu Zn, Cu Ni, Co-, Bi-, Sb-, Hg-содержащие руды. — М. : Издательство МГГУ, 2005. — 470 с.

67. Халезов, Б. Д. Кучное выщелачивание медных и медноцинковых руд (отечественный опыт). — Екатеринбург : УрО РАН. — 2013, 348 с.

68. Инновационные технологии обогащения минерального и техногенного сырья, научно-техническая конференция (2013 ; Екатеринбург), 1–3 окт. 2013 г. [материалы. / Е. Ф. Цыпин. — Екатеринбург : УГГУ, 2013. — 353 с.

69. Повышение технического уровня горно-металлургических предприятий на основе инновационных технологий, 7 я Международная конференция (2013 ; Усть-Каменогорск), 23 мая 2013 г. [материалы. / В. В. Чаленко. — Усть-Каменогорск : ВНИИцветмет, 2013. — 368 с.

70. Блатов, И. А. Обогащение медно-никелевых руд. — М. : Изд. дом «Руда и металлы», 1998. — 224 с.

71. Чантурия, В. А. Действие сульфгидрильных фосфорсодержащих собирателей при флотации платинометаллного медно-никелевого сырья / В. А. Чантурия, А. А. Лавриненко, Л. М. Саркисова и др. // Физ.-техн. пробл. разраб. полезн. ископ. — 2015. — № 5. — С. 132–139.

72. Прокопов, И. В. Производство глинозема. — М. : [б. и.], сор., 2016. — 304 с.73.

73. Материалы сайта Агентства охраны окружающей среды США (US EPA)

- https://www.epa.gov/remedytech/green-remediation-best-management-practices-mining-sites

Краткий справочник. Наилучшие методы управления рекультивацией земель: Места разработки полезных ископаемых. Специальный фонд по рекультивации и технологическим инновациям.

- https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-04/documents/miningvol1.pdf

74. MiningFacts.org: Информационный ресурс по добыче полезных ископаемых в Канаде

- http://mining.ca/towards-sustainable-mining/protocols-frameworks
- http://www.miningfacts.org/Environment

75. Источники Соединённое Королевство Великобритании и Северной Ирландии:

- https://www.gov.uk/guidance/best-available-techniques-environmental-permits

Руководство Ведомства охраны окружающей среды Соединенного Королевства Наилучшие доступные технологии: экологические разрешения.

- http://www.epa.ie/pubs/advice/BAT/BATneecnote-extractionofminerals.html

Ирландия. Материалы Ведомства по охране окружающей среды по добыче полезных ископаемых.

76. Межправительственный форум (IGF) по Добыче полезных ископаемых, минералам, металлам и устойчивому развитию

- http://igfmining.org/mining-policy-framework/environmental-management/

77. Иванов, А. В. Недостатки современных систем пылеподавления и рациональный метод круглогодичного пылеподавления / А. В. Иванов, Ю. Д. Смирнов // Материалы V Всероссийской молодежной научно-практической конференции (с участием иностранных ученых) «Проблемы недропользования». — Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2011. — С. 352–359.

78. Иванов, А. В. Управление процессами пылеподавления на предприятиях минерально-сырьевого комплекса / А. В. Иванов, Ю. Д. Смирнов // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVII Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 150 летию со дня рождения академика В. А. Обручева и 130 летию академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы. Том II ; Томский политехнический университет. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2013. — С. 547–548.

79. Иванов, А. В. Снижение аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха от производственных объектов ОАО «Ковдорский ГОК» / А. В. Иванов, Ю. Д. Смирнов // Студенты и молодые ученые инновационной России : материалы работ молодежной научной конференции. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. — С. 179–180.

80. Иванов, А. В. Разработка природоохранных мероприятий по предотвращению пылевыделения промышленных предприятий, расположенных в северных регионах. Сборник шестнадцатой ассамблеи молодых ученых и специалистов. — Санкт-Петербург, 2011. — С. 100–107.

81. Туркин И.С. Обоснование параметров энергоэффективной геотехнологии и комплекса оборудования для утилизации в закладке выработанного пространства отходов добычи и переработки медноколчеданных руд. - Дис. ... канд.техн.наук. - Магнитогорск: Магнитогорский ГТУ им. Г.И. Носова, 2015. - 180 с.

82. Публикации Агентства ООН по охране окружающей среды (UNEP) по темам Добыча полезных ископаемых и Окружающая среда. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.unep.fr/scp/xmetals/mining.htm;
http://www.unep.org/chemicalsandwaste/resources/publications

83. Добыча полезных ископаемых и устойчивое развитие II. Вызовы и перспективы. [Электронный ресурс]. Режим доступа:http://www.unep.fr/shared/docs/review/vol23si/unep23.pdf;
http://www.unep.fr/scp/xmetals/pdf/Mainstreaming_Sustainability_in_Metals_and_Mining.pdf

84. ОЭСР – экологическая статистика и базы данных. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.oecd-ilibrary.org/statistics

85. Подотраслевые рекомендации в экологической и социальной сферах: Добыча полезных ископаемых открытым способом. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ebrd.com/downloads/policies/environmental/mining/mining-open.pdf

86. Подотраслевые рекомендации в экологической и социальной сферах: Добыча полезных ископаемых подземными работами. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ebrd.com/downloads/policies/environmental/mining/mining-under.pdf

87. Альтернативная утилизация хвостовых отходов - факты и вымысел. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.mwhglobal.com/wp-content/uploads/2010/04/International_Mining_April2010.pdf

88. План организации работ с рассредоточенными источниками загрязнения для заброшенных горных выработок в штате Юта. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://deq.utah.gov/Permits/water/abandonedmine/docs/2014/12Dec/Abandoned_Mine_NPS_August_2011.pdf

89. Материалы для строительства поверхностных укрытий для отвалов. Опыт скандинавских стран. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://norden.diva-portal.org/smash/get/diva2:702656/FULLTEXT01.pdf

90. Кулагина, Т. А. Экологическая безопасность техносферных объектов / Т. А. Кулагина, О. А. Козин, А. И. Матюшенко. — Красноярск : Гротеск, 2015. — 324 с.

91. Александров, А. В. Техногенное воздействие на атмосферу в зоне действия горноперерабатывающего предприятия / А. В. Александров, Л. Н. Липина // Горный информационно-аналитический бюллетень. — М., 2013. — № 5. — С. 373–379.

92. Иващук, О. А. Концептуальные подходы к построению автоматизированной системы управления экологической ситуацией в горно-металлургических кластерах / О. А. Иващук, И. С. Константинов // Горный журнал. — М., 2015. — № 8. — С. 99–102.

93. Петров, Ю. С. Обобщенная оценка влияния горного предприятия на окружающую природную среду / Ю. С. Петров, О. З. Габараев, А. А. Соколов // Горный журнал. — М., 2015. — № 8. — С. 25–27.

94. Дюндик, К. А. Эффективная система промышленной безопасности компании «Норникель» // Науч. вестн. оборон.-пром. комплекса России. — М., 2016. — № 1. — С. 67–72.

95. An evaluation of the effectiveness of novel industrial by-products and organic wastes on heavy metal immobilization in Pb Zn mine tailings. Yang Shengxiang, Cao Jianbing, Ни Wenyong, Zhang Xiaojun et al. Environ. Sci.: Process, and Impacts. — 2013. — Vol. 15. — No. 11. — Pp. 2059–2067.

96. Remediation of metal-contaminated soils with the of materials — Part I: Characterization and viability studies for the tion of non hazardous waste materials and silicates. Gonzdlezi Alba M. D., Orta M. M., Vidal M., Rigol A. Chemosphere. — 2011. — No. 9. — P. 1511–1517.

97. Evidence for waste minimisation clubs and business support as interventions to promote waste prevention. Phillips Paul S., Parker David, Sengstschmid Helmut, Fandrich Vanessa. J. Solid Waste Technol. and Manag. — 2012. — Vol. 38. No. 4. — Pp. 258–270.

98. Законодательство в сфере обращения с отходами: проблемы и перспективы развития, 11 я Международная научно-практическая конференция (2015 ; Москва), 29

окт. 2015 г. [Сборник материалов] / Н. В. Кичигин. Рециклинг, переработка отходов и чистые технологии. — М., 2015. — С. 10–14.

99. Александрова, Т. Н. Некоторые подходы к совершенствованию регулирования деятельности обращения с отходами горнопромышленных предприятий / Т. Н. Александрова, Н. И. Грехнев, Л. Н. Липина // Горный ин-формационно-аналитический бюллетень. — М., 2015. — № 8. — С. 328–333.

100. Ляшенко, В. И. Повышение экологической безопасности в горнодобывающем регионе // Безопасность труда в промышленности. — М., 2014. — № 12. — С. 54–59.

101. The contribution of the mining activities on the heavy metals accumulation in soils of the Gejiu tin deposit, Yunnan Province. Huang Yu, Cai Bao-xin, Wang Yu, Li Hao-xi et al. Dizhi tongbao=Ceol. Bull. China. — 2014. — Vol. 33. — No. 8. — Pp. 1167–1174.

102. Analysis of bioavailability and affecting factors of heavy metals in the soils over Xiaoqinling gold mining region. Zhang Kai-jun, Wei Ying-chun, Xu You-ning. Dizhi tongbao=Geol. Bull. China. — 2014. — Vol. 33. — No. 8. — Pp. 1182–1187.

103. Relationship between heavy metal accumulation of rice field topsoils along the Le'an River and the Dexing ore concentration area, northeast Jiangxi Province. Wang Aiyun, Li Rui-ping, Ni Shan qin. Dizhi tongbao = Geol. Bull. China. — 2014. — Vol. 33. — No. 8. — Pp. 1213–1219.

104. Leaching characteristics of vanadium in mine tailings and soils near a vanadium titanomagnetite mining site. Yang Jinyan, Tang Ya, Yang Kai, Rouff Ashaki A. et al. J. Hazardous Mater. — 2014. — Vol. 264. — Pp. 498–504.

105. SWAT simulation and control efficiency of non point source pollution in subsurface drainage system. Li Shi-yang, Wang Li, Kalita Prasanta K., Ma Fang. Zhongguo jishui paishui=China Water and Wastewater. — 2015. — Vol. 31. — No. 9. — Pp. 70–74.

106. Strategije biljaka u borbi protiv fitotoksicnih koncentracija metala kao kljucni preduslov uspesne fitore- medijacije: ekskluderi i hiperakumulatori. Deo IL Alagic Sladana C., Nujkic Maja M., Dimitrijevic Mile D. Zast. mater. — 2014. — Vol. 55. — No. 4. — Pp. 435–440.

107. Heavy metals accumulation in soil and plants in a lead old mine: prospects for phytoremediatioa Pratas J., Favas P., D'Souza R. D., Varun M. et al. 14 Geoconference on Ecology, Economics, Education and Legislation (SGEM2014), Albena, June 19–25, 2014: Conference Proceedings. Vol. 1. — Sofia, 2014. — P. 339–346.

108. A study on heavy metals mobility from zinc plant residues in Iran. Moradkhani Davood, Eskandari Shahla, Sedaghat Behzad, Rajaie Najafabadi Majid. Physicochem. Probl. Miner. Process. — 2013. — Vol. 49. — No. 2. — Pp. 567–574.

109. Коклянов, Е. Б. Безопасное производство — приоритетное направление деятельности ОАО «Кольская ГМК» / Е. Б. Коклянов, М. Н. Мерзляков // Цветные металлы. — М., 2013. — № 10. — С. 92–95.

110. Цейтлин, Е. М. Оценка экологической опасности промышленных объектов минерально-сырьевого комплекса с помощью интегрального показателя / Е. М. Цейтлин, А. В. Хохряков // Изв. вузов. Горн. ж. — М., 2013. — № 5. — С. 49–55.

111. Study of adverse effects of heavy metal mobilization by activity of lead and zinc production plant Moradkhani D., Khodakarami M., Sedaghat B., Rashtchi A. 26 International

Mineral Processing Congress (IMPC 2012). New Delhi. Sept. 24–28. 2012: Book of Abstracts. Vol. 2. — New Delhi, 2012. — P. 465.

112. Галкин, Ю. А. Технологии очистки сточных вод горнорудных предприятий / Ю. А. Галкин, Г. А. Селицкий, Е. А. Уласовец, Д. В. Ермаков // Экология производ-ства. — М., 2012. — № 12. — С. 58–64.

113. Liners: sealing the deal. Carter Russell A. Eng. and Mining J. — 2012. — Vol. 213. — No. 1. — P. 33–35.

114. Орехова, Н. Н. Научное обоснование и разработка технологии комплексной переработки и утилизации техногенных медно-цинковых вод горных предприятий : дис. … докт. техн. наук. — Магнитогорск : ФГБОУ ВО Магнитогорский государственный технический университет, 2014. — 412 с.

115. Пинаев, В. Е. Состояние и проблемы использования промышленных твердых отходов в России. Электронный журнал «Исследовано в России». — С. 1397–1433. http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/131.pdf.

116. Протасов, В. Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в Рос-сии. — М. : «Финансы и статистика», 2001. — 672 с.

117. ГОСТ Р 52106—2003 Ресурсосбережение. Общие положения.

118. ГОСТ Р 52107—2003 Ресурсосбережение. Классификация и определение показателей.

119. Трубецкой К.Н. Основные направления и пути решения проблем ресурсосбережения при комплексом освоении недр с земной поверхности // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал).–2011. -№ 12. –С. 433 – 446.

120. Каплунов, Д. Р. Оценка условий обеспечения устойчивого функционирования горнотехнических систем в условиях неопределенности исходной горно-геологической информации / Д. Р. Каплунов, В. А. Юков // Горный информационно-аналитический бюллетень(научно-технический журнал). — 2013. — № 4. — С. 400–409.

121. Калмыков, В. Н. Оценка технологических резервов обеспечения устойчивого развития горнотехнической системы при подземной разработке рудных месторождений / В. Н. Калмыков, О. В. Петрова, Ю. Д. Янтурина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). — М., 2014. — № 10. — С. 69–77.

122. Калмыков, В. Н. Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России / В. Н. Калмыков, О. В. Петрова, Ю. Д. Янтурина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). — М., 2014. — № 10. — С. 69–77.

123. Калмыков, В. Н. Обоснование резервов устойчивого развития горнотехнической системы при подземной разработке рудных месторождений / В. Н. Калмыков, О. В. Петрова, Ю. Д. Янтурина // Материалы международной научной школы академика К. Н. Трубецкого: «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения зем-ных недр» ; под ред. академика К. Н. Трубецкого. — М. : ИПКОН РАН, 2014. — С. 222–225.

124. Калмыков, В. Н. Обоснование структуры горнотехнической системы при комплексном освоении природных и техногенных георесурсов ОАО «Учалинский ГОК» / В. Н. Калмыков, О. В. Петрова, Т. П. Плесовских, Ю. Д. Янтурина // Проблемы проектирования технологий подземной и комбинированной разработки рудных месторождений

// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). — М., 2013. — № 5. — С. 19–31.

125. Чантурия В.А., Козлов А.П., Шадрунова И.В., Ожогина Е.Г. Приоритетные направления развития поисковых и прикладных научных исследований в области использования в промышленных масштабах отходов добычи и переработки полезных ископаемых // Горн. промышленность. - 2014. - № 1. - С. 54.

126. Материалы Международной конференции "Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработке минерального сырья" (Плаксинские чтения - 2016), Санкт-Петербург, 26-30 сент., 2016. Чантурия В. А., Чекушина Т. В. (ред.). М.: Руда и мет. 2016. - 645 с.

127. Чантурия, В. А. Развитие физико-химических основ и разработка инновационных технологий глубокой переработки техногенного минерального сырья / В. А. Чантурия, А. П. Козлов // Горный журнал. — 2014. — № 7. — С. 78–84.

128. Чантурия, В. А. Инновационные процессы глубокой и комплексной переработки техногенного сырья / В. А. Чантурия, А. П. Козлов, И. В. Шадрунова // Современные тенденции в области теории и практики добычи и переработки минерального и техногенного сырья: Материалы Междун. науч.-практ. конф. — Екатеринбург : ООО Изд-во «УМЦ УПИ», 2014. — С. 91–103.

129. Чантурия, В. А. Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения // Горный журнал. — М., 2015. — № 7. — С. 29–37.

130. Халезов, Б. Д. Кучное выщелачивание медных и медно-цинковых руд (отече-ственный опыт). — Екатеринбург : УрО РАН, 2013. — 348 с.

131. Бочаров, В. А. Технологическая оценка основных направлений комплексной переработки упорных полиметаллических руд и промпродуктов / В. А. Бочаров, Т. И. Юшина, В. А. Игнаткина и др. // Горный информационно-аналитический журнал. — М., 2014. — № 7. — С. 81–91.

132. Трубецкой, К. Н. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья / К. Н. Трубецкой, В. А. Чантурия, Д. Р. Каплунов, М. В. Рыльникова. — М. : Наука, 2010. — 437 с.

133. Трубецкой, К. Н. Модель оценки эффективности маневрирования производи-тельностью горного предприятия / К. Н. Трубецкой, А. А. Пешков, Н. А. Мацко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2000. — № 3. — С. 2–6.