



ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК
ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ИТС 14 – 2020 Производство драгоценных металлов

Москва
Бюро НДТ
2020



Содержание

Введение	IV
Краткое содержание справочника НДТ	IV
Предисловие	VII
Область применения	1
Раздел 1. Общая характеристика производства драгоценных металлов	3
1.1 Общая информация	3
1.2 Минерально-сырьевая база драгоценных металлов и их производство в Российской Федерации	8
1.3 Приоритетные проблемы отрасли	15
Раздел 2. Описание технологических процессов и методов, применяемых при производстве драгоценных металлов	17
2.1 Основные принципы технологии производства драгоценных металлов	17
2.2 Поэтапное описание технологии производства драгоценных металлов	31
2.3 Оборудование аффинажных заводов	44
2.4 Действующие технологии производства драгоценных металлов в Российской Федерации	44
2.5 Описание экономических аспектов применяемых технологий, методов, решений	47
Раздел 3. Воздействие на окружающую среду	51
3.1 Общая характеристика производства	51
3.2 Материальный и энергетический баланс процесса производства драгоценных металлов	53
3.3 Эмиссии	55
3.4 Текущие уровни эмиссий на аффинажных предприятиях Российской Федерации	59
3.5 Экологический контроль текущих эмиссий	88
Раздел 4. Определение наилучших доступных технологий	96
Раздел 5. Наилучшие доступные технологии	98
5.1 Системы экологического менеджмента (СЭМ)	98
5.2 Повышение энергоэффективности и сокращение ресурсопотребления	99

5.3 Контроль технологических процессов и мониторинг эмиссий	100
5.4 Эмиссии от неорганизованных источников	101
5.5 Выбросы в атмосферный воздух от организованных источников	106
5.6 Сбросы сточных вод.....	110
5.7 Защита почвы и грунтовых вод	111
5.8 Обращение с отходами, полупродуктами и оборотными материалами.....	111
Раздел 6. Перспективные технологии.....	113
6.1 Перспективные технологии производства золота и серебра.....	113
6.2 Перспективные технологии производства металлов платиновой группы.....	114
Заключительные положения и рекомендации.....	117
Приложение А (обязательное) Перечень маркерных веществ и технологических показателей.....	120
Приложение Б (обязательное) Перечень НДТ	122
Приложение В (обязательное) Энергоэффективность и ресурсная эффективность	124
Приложение Г (справочное) Технологическое оборудование.....	128
Приложение Д (обязательное) Заключение по НДТ	132
Библиография.....	152

Введение

Настоящий справочник НДТ представляет собой документ по стандартизации, разработанный в результате анализа технологических, технических и управленческих решений, применяемых при производстве драгоценных металлов.

Справочник НДТ разработан в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 30 апреля 2019 г. № 866-р «Об утверждении поэтапного графика актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям» [1].

Термин «наилучшие доступные технологии» определен в статье 1 Федерального закона № 7-ФЗ [2], согласно которому НДТ — это технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения.

Структура настоящего справочника НДТ соответствует ГОСТ Р 113.00.03–2019 [3], формат описания технологий — ГОСТ Р 113.00.04–2020 [4], термины и определения приведены в соответствии с ГОСТ Р 56828.15–2016 [5].

Краткое содержание справочника НДТ

Введение. Во введении приводится краткое содержание справочника НДТ и обзор законодательных документов, использованных при его разработке.

Предисловие. Указана цель разработки настоящего 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 и дополнительные виды деятельности, на которые распространяется действие справочника НДТ, а также приводится информация о взаимосвязанных видах деятельности, смежных с определенными в настоящем справочнике НДТ.

В **разделе 1** представлена общая характеристика производства драгоценных металлов в Российской Федерации:

- предприятия по производству золота, серебра и платиновых металлов (перечень предприятий и их специализация);
- географическое расположение предприятий;
- виды перерабатываемого сырья и их характеристика отдельно для серебра, золота и металлов платиновой группы (МПГ).

В **разделе 2** представлено описание технологий производства драгоценных металлов (дифференциация по металлам: серебро, золото и МПГ):

- для золота — типовые схемы получения золота из золотосодержащего сырья (сплав Доре, золотой скрап и др.);

– для серебра — типовые технологии получения серебра из серебросодержащего сырья, отходов цинкового и свинцового производства, серебряного концентрата, получаемого из медно-никелевых шламов, электронного лома и др.

Описаны основные процессы: гидрометаллургические, пирометаллургические (хлорный процесс Миллера), электрохимические.

Описаны осадительная (классическая) и экстракционная технологии (технологические схемы) аффинажа платиновых металлов применительно к:

- концентратам платиновых металлов, включая шлиховую платину;
- отработанным автомобильным катализаторам;
- отработанным катализаторам нефтехимической отрасли.

Для каждой стадии указывают входные и выходные материальные потоки, основные энергетические потоки, условия проведения процесса или основные операции, основные эмиссии.

В **разделе 3** дана оценка текущих уровней потребления сырья, материалов, энергетических ресурсов и эмиссий, маркерных веществ, характерных для производства драгоценных металлов в Российской Федерации.

Приведено также описание особенностей производственного экологического контроля, в том числе особенности измерения, включая измерения системами автоматического контроля.

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

В **разделе 4** описаны особенности подходов, примененных при разработке данного справочника НДТ и в целом соответствующих Правилам определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458) и Методическим рекомендациям по определению технологии в качестве наилучшей доступной технологии.

В **разделе 5** приведено краткое описание НДТ для производства драгоценных металлов, включая:

- системы экологического и энергетического менеджмента, контроля и мониторинга технологических процессов;
- технические и технологические решения для повышения энергоэффективности, ресурсосбережения, снижения эмиссий загрязняющих веществ, методы обращения с отходами и побочными продуктами производства.

В **разделе 6** приведены краткие сведения о новых технологических и технических решениях (не применяемых в России на момент подготовки справочника), направленных

на повышение энергоэффективности, ресурсосбережения, снижение эмиссий загрязняющих веществ, эффективное обращение с отходами, промежуточными и побочными продуктами.

Заключительные положения и рекомендации. Приведены сведения о членах технической рабочей группы, принимавших участие в разработке справочника НДТ, рекомендации предприятиям по дальнейшим исследованиям экологических аспектов их деятельности.

Приложения. Приведены перечень маркерных загрязняющих веществ, перечень технологических показателей, перечень НДТ, сведения о ресурсной (в том числе энергетической) эффективности, а также «Заключение по наилучшим доступным технологиям» для рассматриваемой отрасли промышленности.

«Заключение по наилучшим доступным технологиям» включает части ИТС НДТ, содержащие:

- область применения;
- описание НДТ, уровни эмиссий, соответствующие НДТ (технологические показатели), а также информацию, позволяющую оценить их применимость;
- методы производственного экологического контроля (прежде всего подходы к организации измерений, в том числе касающиеся систем автоматического контроля).

«Заключение по наилучшим доступным технологиям» сформировано для использования заинтересованными лицами, в том числе промышленными предприятиями, при формировании заявок на комплексные экологические разрешения, а также надзорными органами при выдаче комплексных экологических разрешений и является кратким описанием основных положений ИТС НДТ, включая описание наилучших доступных технологий, информации, позволяющей оценить их применимость, уровни эмиссий и потребления ресурсов, методы производственного экологического контроля.

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

Предисловие

Цели, основные принципы и порядок разработки информационно-технического справочника по наилучшим доступным технологиям установлены постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 [6]. Перечень областей применения наилучших доступных технологий определен распоряжением Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р [7].

1 Статус документа

Настоящий информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (далее — справочник НДТ) является документом по стандартизации.

2 Информация о разработчиках

Настоящий справочник НДТ разработан технической рабочей группой ТРГ 14 «Производство драгоценных металлов», состав которой утвержден приказом Минпромторга России от 16 апреля 2020 г. № 1255 [8].

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

3 Краткая характеристика

Настоящий справочник НДТ содержит описание применяемых при производстве драгоценных металлов технологических процессов, оборудования, технических способов, методов, в том числе позволяющих снизить негативное воздействие на окружающую среду, потребление воды и сырья, повысить энергоэффективность обеспечить экономию ресурсов. на предприятиях, относящихся к областям применения НДТ, определенным распоряжением Правительства РФ от 24 декабря 2014 № 2674-р [7]. Из числа описанных технологических процессов, технических способов, методов выделены решения, отнесенные к наилучшим доступным технологиям (НДТ). В справочнике НДТ установлены технологические показатели, соответствующие выделенным НДТ.

Разработка справочника НДТ проводилась в соответствии с порядком определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации 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» [6].

4 Взаимосвязь с международными, региональными аналогами

Настоящий справочник НДТ разработан на основе европейского справочника НДТ для предприятий цветной металлургии (Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Non-Ferrous Metals Industries) с учетом особенностей производства драгоценных металлов в Российской Федерации.

5 Сбор данных

Информация о применяемых на промышленных предприятиях технологических процессах, оборудовании, об источниках загрязнения окружающей среды, технологических, технических и организационных мероприятиях, направленных на снижение загрязнения окружающей среды и повышение энергоэффективности и ресурсосбережения, была собрана в процессе разработки справочника НДТ в соответствии с Порядком сбора и обработки данных, необходимых для разработки и актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям, утвержденным приказом Минпромторга России от 18 декабря 2019 г. № 4841 [9].

6 Взаимосвязь с другими справочниками НДТ

Взаимосвязь настоящего справочника НДТ с другими справочниками НДТ, разрабатываемыми (актуализируемыми) в соответствии с распоряжением Правительства от 30 апреля 2019 г. № 866-р «Об утверждении поэтапного графика актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям» [1] приведена в разделе «Область применения».

7 Информация об утверждении, опубликовании и введении в действие

Настоящий справочник НДТ утвержден приказом Росстандарта от 23 декабря 2020 г. № 2183.

Настоящий справочник НДТ введен в действие 01 июля 2021 г., официально опубликован в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.rst.gov.ru).

8 Взамен ИТС 14–2016

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

ПРОИЗВОДСТВО ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ

Production of precious metals

Дата введения – 2021–07–01

Область применения

Настоящий справочник НДТ распространяется на предприятия, имеющие право осуществлять аффинаж драгоценных металлов¹, и включает следующие виды деятельности:

- производство драгоценных металлов из шламов, концентратов, природных концентратов (шлиховое золото, шлиховая платина), шлаков, кеков, вторичных сырьевых ресурсов посредством гидрометаллургических, пирометаллургических и электрохимических процессов;
- производство порошков и слитков драгоценных металлов, производство сплавов на основе драгоценных металлов.

Настоящий справочник НДТ распространяется на методы производства первичных и вторичных драгоценных металлов. Между этими производствами практически невозможно провести четкую грань. Нередко при производстве первичных металлов в рамках общих производственных процессов с целью экономии энергии, минимизации производственных затрат и вторичного использования образующихся отходов используется вторичное сырье. Вторичное производство драгоценных металлов включает производство металла из вторичного сырья (электронного лома, отработанных катализаторов, отходов изделий и сплавов и т. п.) гидрометаллургическими, пирометаллургическими и электрохимическими методами.

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

- хранение и подготовка сырья;
- хранение и подготовка топлива;
- производственные процессы (пирометаллургические, гидрометаллургические и электролитические);
- методы предотвращения и сокращения эмиссий и образования отходов;
- хранение и подготовка продукции.

Настоящий справочник НДТ не распространяется на:

- виды деятельности, установленные в ИТС 49–2017 «Добыча драгоценных металлов»;
- вопросы, которые касаются исключительно обеспечения промышленной безопасности или охраны труда.

¹ Перечень организаций, имеющих право осуществлять аффинаж драгоценных металлов, утверждается Правительством Российской Федерации.

ИТС 14–2020

Вопросы обеспечения промышленной безопасности и охраны труда частично рассматриваются только в тех случаях, когда оказывают влияние на виды деятельности, включенные в область применения настоящего справочника НДТ.

Дополнительные виды деятельности при производстве драгоценных металлов и соответствующие им справочники НДТ приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Дополнительные виды деятельности при производстве драгоценных металлов и соответствующие им справочники НДТ.

Вид деятельности	Соответствующий справочник НДТ
Применение методов и управленческих решений для повышения энергоэффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности на предприятиях (объектах) I категории	ИТС 48–2017 «Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности»
Методы очистки сточных вод, направленные на сокращение сбросов металлов в водные объекты	ИТС 8–2017 «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 46–2019 «Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)»
Обращение с отходами	ИТС 9–2015 «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)» ИТС 15–2016 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов))» ИТС 17–2016 «Размещение отходов производства и потребления»
Методы добычи драгоценных металлов	ИТС 49–2017 «Добыча драгоценных металлов»

Сфера распространения настоящего справочника НДТ приведена в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 – Сфера распространения ИТС НДТ

ОКПД*	Наименование продукции по ОКПД	Наименование вида деятельности по ОКВЭД	ОКВЭД**
24	Металлы основные	Раздел D. Обрабатывающие производства. Подраздел DJ. Metallургическое производство и производство готовых металлических изделий. Metallургическое производство	24
24.4	Металлы основные драгоценные и цветные прочие; топливо ядерное переработанное	Производство основных драгоценных металлов и прочих цветных металлов, производство ядерного топлива	24.4

ОКПД*	Наименование продукции по ОКПД	Наименование вида деятельности по ОКВЭД	ОКВЭД**
24.41***	Металлы драгоценные	Производство драгоценных металлов	24.41
24.41.1	Серебро необработанное или полуобработанное, или в виде порошка	—	
24.41.2	Золото необработанное или полуобработанное, или в виде порошка	—	
24.41.3	Платина и металлы платиновой группы необработанные или полуобработанные, или в виде порошка	—	
<p>* ОК 034–2014 (КПЕС 2008) Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности.</p> <p>** ОК 029–2014 (КДЕС РЕД. 2) Общероссийский классификатор видов экономической деятельности.</p> <p>*** В соответствии с областью применения настоящего справочника.</p>			

Раздел 1 Общая характеристика производства драгоценных металлов

1.1 Общая информация

Драгоценные металлы относятся к уникальным химическим элементам. Они сочетают в себе самые разные свойства: термостойкость и пластичность, коррозионную устойчивость и свариваемость, отражательную и эмиссионную способность, теплопроводность и электропроводность, высокие магнитные характеристики и красивый внешний вид. Особенными физическими и химическими свойствами обладают не только сами металлы, но и их соединения и материалы: сплавы, катализаторы, порошки, покрытия, оксидные пленки и др. Они играют важную роль в химии, анализе, катализе, биологии, медицине; незаменимы в электронике, радио- и электротехнике, химической и нефтеперерабатывающей отраслях, приборостроении, атомной и ракетной технике. Драгоценные металлы обеспечивают надежную работу вычислительных, измерительных, контролирующих приборов и устройств. Эффект от использования этих металлов, которые окружают нас буквально повсюду, переоценить практически невозможно.

Содержание драгоценных металлов в земной коре (кларк) оценивается, по данным разных авторов, на уровне 10^{-5} – 10^{-11} %, причем минералы драгоценных металлов не образуют месторождений, перспективных для промышленной переработки. Они преимущественно вкраплены в основные рудообразующие сульфидные и реже — окисленные минералы меди, никеля, железа. Поэтому драгоценные металлы являются редкими и рассеянными элементами.

При переработке полиметаллических руд драгоценные металлы следуют за цветными по всем технологическим переделам, концентрируясь в «черновом» металле, и на заключительном этапе попадают в шламы, из которых получают сначала богатые концентраты, а затем — в процессах аффинажа — и сами металлы.

Наряду с первичным сырьем, перерабатываются также различные виды вторичного сырья: отработанные катализаторы, электронный лом, отходы фото- и кинопромышленности, бракованные изделия и т. п., а также техногенное сырье: шлаки, кеки, пыли. Их доля в общем объеме перерабатываемого сырья неуклонно возрастает.

Совокупность драгоценных металлов, полученных из различных источников (см. Федеральный закон от 26 марта 1998 № 41-ФЗ «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» в редакции от 02 мая 2015 [10]), и изделий из них образуют Государственный фонд драгоценных металлов и драгоценных камней Российской Федерации, который составляет часть ее золотовалютных резервов.

Мировой рынок золота охватывает всю систему обращения этого металла: производство, распределение и потребление.

Основные страны-потребители золота четко подразделяются на две группы. С одной стороны — это группа технически развитых стран (Япония, США и Германия), которые сравнительно широко используют золото в различных областях техники и промышленных отраслях. Здесь золото выступает как индикатор развития высоких технологий в электронной и электротехнической, космической, приборостроительной и др. отраслях промышленности. Другой группой государств являются те страны, в которых основная доля золота, а иногда и вся его масса потребляется на нужды только ювелирной промышленности. Золото используется фактически всеми государствами в качестве страхового и резервного фонда. Необходимо отметить, что большие объемы золота имеются у населения (ювелирные украшения, монеты и др.). Часть этого золота в виде лома также поступает на рынок.

Мировые запасы золота оцениваются в 64 тыс. т золота, ресурсы превышают 120 тыс. (по состоянию на 2018 г.). Китай, Австралия, Россия являются крупнейшими производителями золота в мире. В таблице 1.1 сведены данные о запасах и производстве золота в мире за 2018 г. [11].

Спрос и предложение на золото определяются состоянием мирового рынка металла, а также стратегиями государств, направленных на пополнение золотовалютных резервов и их диверсификацию. В таблице 1.2 и 1.3 представлено сравнение спроса и предложения в 2018 и 2019 гг. по областям применения золота [12, 13].

Резкий скачок цены золота во второй половине 2019 г. привел к снижению спроса на золотые ювелирные украшения, в т. ч. в Китае и Индии. В 2019 г. на низком уровне остался спрос на золото в технологической отрасли: в электронной промышленности, стоматологии. В то же время прогноз на 2020 год более оптимистический: ожидается рост спроса со стороны развивающегося сектора беспроводной электроники. Инвестиционный спрос был обеспечен биржевыми фондами, популярность которых вызвана денежно-кредитной политикой и геополитическими тенденциями [12, 13].

Предложение в 2019 г. снизилось вслед за падением показателей предприятий в крупных золотодобывающих странах, в частности, в Индонезии, Китае, ЮАР, Мексике. В

свою очередь, наращивание золотодобычи в 2019 г. обеспечено Россией, Австралией и др. странами. Увеличение вторичного производства обусловлено приростом объемов производимого металла в Южной и Юго-Восточной Азии, а также на Среднем Востоке [12, 13].

Т а б л и ц а 1.1 – Мировые запасы золота по состоянию на 2018 г. [11]

Страна	Запасы, т	Доля в мировых запасах, %	Производство в 2018 г., т	Доля в мировом производстве, %
1	2	3	4	5
Китай	2022	3	399,7	12
Австралия	3826	6	312,2	9
Россия	7564	12	279,9	8
США	4745	8	253,2	8
Канада	6620	10	193	6
Индонезия	2500	4	190	6
Перу	2600	4	155,4	5
ЮАР	6000	9	123,5	4
Мексика	4850	8	121,6	4
Гана	1140	2	101,8	3
Прочие	21233	34	1201,9	35
Мир	63000	100	3332,2	100

Т а б л и ц а 1.2 – Спрос на золото в 2018–2019 гг. [12, 13]

Категория	Спрос на золото, т	
	2018 г.	2019 г.
1	2	3
Ювелирные изделия	2 240,2	2 107,0
Технологическая отрасль	334,8	326,6
Электроника	268,4	262,6
Прочее	51,2	50,1
Стоматология	15,3	13,9
Инвестиции	1 169,8	1 271,7
Слитки	778,0	579,9
Монеты	242,3	224,0
Медали /копии монет	73,3	66,7
Биржевые инвестиционные фонды и т. п.	76,2	401,1
Центральные банки и т. п.	656,2	650,3
ИТОГО спрос	4 401,0	4 355,7

Таблица 1.3 – Предложение золота в 2018–2019 гг.

Категория	Предложение золота, т	
	2018	2019
1	2	3
Добыча	3 509,3	3 463,7
Хеджирование	-12,5	8,3
Вторичное производство	1 176,1	1 304,1
ИТОГО предложение	4 673,0	4 776,1

Мировые запасы серебра оцениваются в 538,3 тыс. тонн, причем пятая часть мировых промышленных запасов серебра сосредоточена на территории Российской Федерации, которая входит в пятерку ведущих производителей этого металла (ежегодно порядка 5 % от общего количества первичного серебра) [11].

В таблице 1.4 обобщены данные о соотношении предложения серебра и спроса на него за период 2016–2019 гг. Обращает на себя внимание факт, что спрос на промышленное серебро понемногу падает. Не исключено, что это связано с отсутствием значимых технологических прорывов в последние десять лет. Потребность в серебре растет только в солнечной энергетике, которая набирает популярность, например, в Китае.

Таблица 1.4 – Серебро. Предложение и спрос, тыс. тонн [14, 15]

Предложение	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Производство из руд	28,7	27,8	27,3	26,9
Производство из вторсырья	5,3	5,4	5,4	5,5
Итого предложение	34,0	33,2	32,7	32,4
Спрос				
Промышленный	15,8	16,6	16,5	16,4
Фотография	1,2	1,1	1,09	1,08
Ювелирное дело	6,1	6,3	6,5	6,5
Столовое серебро	1,7	1,8	2,1	1,9
Инвестиции	6,9	5,0	5,3	6,0
Хеджирование	0,4	0,1	0,3	-
Итого спрос	32,0	30,9	31,8	31,9

Что касается запасов металлов платиновой группы (МПГ), то они преимущественно сосредоточены на территории Южно-Африканской республики (порядка 90 % всех мировых запасов), на втором месте — Россия.

Данные по предложению платиновых металлов в мире включают оценочный объем продаж первичных металлов платиновой группы (МПГ) добывающими компаниями по странам добычи (таблицы 1.5–1.9). Отметим, что показатели брутто-спроса для каждой области применения — это сумма производственных потребностей в металле и любых изменений объемов переработанного металла в данном секторе. Увеличение запасов переработанного металла приводит к созданию дополнительного спроса, а сокращение запасов снижает уровень спроса. Показатели нетто-спроса равны брутто-спросу в каждой области применения за вычетом объемов утилизированного металла в

этой отрасли, независимо от того, использовали повторно этот металла или он был продан для других целей.

Для редких платиновых металлов — иридия, рутения — предложение существенно превышает спрос. Суммарный спрос на осмий, который является самым редким и наименее изученным элементом из группы платиновых металлов, оценивается в первые десятки килограммов.

Т а б л и ц а 1.5 – Платина. Предложение и спрос, тонн [16]

Предложение	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Южная Африка	141,2	143,1	143,8
Россия	23,1	22,6	21,1
Прочие	31,8	30,6	31,5
Итого предложение	196,1	196,3	196,4
Спрос			
Автокатализаторы	107,5	103,5	98,1
Промышленный спрос, в т. ч.	58,0	65,2	74,6
химическая	15,3	15,8	17,7
электротехническая	7,4	7,4	8,8
стекольная	7,9	11,8	14,9
медицина и биомедицина	7,0	7,1	7,2
нефтепереработка	5,6	7,5	10,0
прочие	14,8	15,6	16,0
Инвестиционный спрос	19,9	11,6	2,9
Ювелирная промышленность	77,6	77,2	76,0
Итого брутто-спрос	263,0	257,5	251,6
Утилизация	-62,2	-66,6	-71,2
Итого нетто-спрос	200,8	190,9	180,4
Изменение запасов	-4,8	5,7	16,0

Т а б л и ц а 1.6 – Палладий. Предложение и спрос, тонн [16]

Предложение	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Южная Африка	82,6	82,0	83,3
Россия	89,2	77,4	91,3
Прочие	45,5	45,2	46,6
Итого предложение	217,4	204,5	221,2
Спрос			
Автокатализаторы	255,6	271,0	278,3
Химическая промышленность	13,4	14,85	15,85
Стоматология	13,8	12,6	12,2
Электротехника	28,0	27,1	26,6
Инвестиционный спрос	-20,7	-12,4	-17,8
Ювелирная промышленность	6,1	5,6	5,3
Прочие	5,0	4,4	4,95
Итого брутто-спрос	301,3	323,05	325,4
Рециклинг	-80,1	-93,2	-103,3
Итого нетто-спрос	222,2	229,85	222,1
Изменение запасов	-3,86	-25,3	-0,94

Таблица 1.7 – Родий. Предложение и спрос, тонн [16]

Предложение	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Южная Африка	19,8	19,6	20,0
Россия	2,7	2,5	2,2
Другие	2,3	2,25	2,2
Итого предложение	24,8	24,35	24,4
Брутто-спрос			
Автокатализаторы	26,0	27,1	27,7
Химическая промышленность	2,0	2,3	2,0
Электротехника	0,1	0,13	0,13
Стекло	2,7	3,6	3,0
Прочие	1,3	0,7	-0,4
Итого брутто-спрос	32,2	33,8	32,5
Утилизация	-8,7	-10,0	-11,0
Итого нетто-спрос	24,5	23,8	21,5
Изменение запасов	-0,8	-2,5	1,1

Таблица 1.8 – Иридий. Спрос, тонн [16]

Спрос	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Химическая промышленность	0,7	0,5	0,6
Электротехника	3,1	2,3	1,6
Электрохимия	1,8	2,6	1,9
Прочие	2,5	2,6	2,8
Итого брутто-спрос	8,1	8,0	6,9

Таблица 1.9 – Рутений. Спрос, тонн [16]

Спрос	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Химическая промышленность	11,4	13,3	8,3
Электротехника	13,9	13,4	14,2
Электрохимия	5,8	6,4	6,2
Прочие	4,8	5,4	6,0
Итого брутто-спрос	35,9	38,4	29,4

1.2 Минерально-сырьевая база драгоценных металлов и их производство в Российской Федерации

На рис. 1.1–1.3 показано распределение запасов драгоценных металлов в Российской Федерации [11].

На территории России сосредоточено более одной десятой мировых запасов золота, что сопоставимо с запасами ЮАР и Канады. РФ обеспечивает порядка 8 % мирового производства золота. Государственным балансом запасов полезных ископаемых РФ учитывается в недрах более 7,5 тыс. т драгоценного металла; на долю разведанных



Рисунок 1.2 – Распределение запасов серебра по субъектам РФ, тыс. тонн [11]



Рисунок 1.3 – Основные месторождения МПГ и распределение запасов платиновых металлов в Российской Федерации, тонн [11]

Основные золотодобывающие и золотопроизводящие компании в нашей стране — это ПАО «Полюс», «Полиметалл» и АО «Южуралзолото». Сведения о производстве золота в России в 2018–2019 гг. даны в таблице 1.10.

Т а б л и ц а 1.10 – Производство золота в России в 2018–2019 гг., т [17]

	2018 г.	2019 г.
Добычное	264,41	286,05
Попутное	15,44	19,00
Вторичное	34,57	38,49
Итого	314,42	343,54

Наибольшее количество серебра производится в Магаданской области, крупнейшая компания — Polymetal Int. Данные по производству серебра даны в таблице 1.11.

Т а б л и ц а 1.11 – Производство серебра в России в 2018–2019 гг., тонн [17]

	2018 г.	2019 г.
Добычное	498,66	488,04
Попутное	310,49	338,54
Вторичное	310,84	169,59
Итого	1119,99	996,17

Данные по использованию сырьевой базы металлов платиновой группы в РФ в 2016–2017 гг. обобщены в таблице 1.12.

Данные производству платины и палладия РФ в 2015–2019 гг. приведены на рисунке 1.4².

Территориальное размещение предприятий, которые осуществляют переработку концентратов драгоценных металлов и вторичного сырья, а также аффинаж драгоценных металлов в Российской Федерации показано на рисунке 1.5.

²<https://www.bks-express.ru> (дата обращения: 20.10.2020).

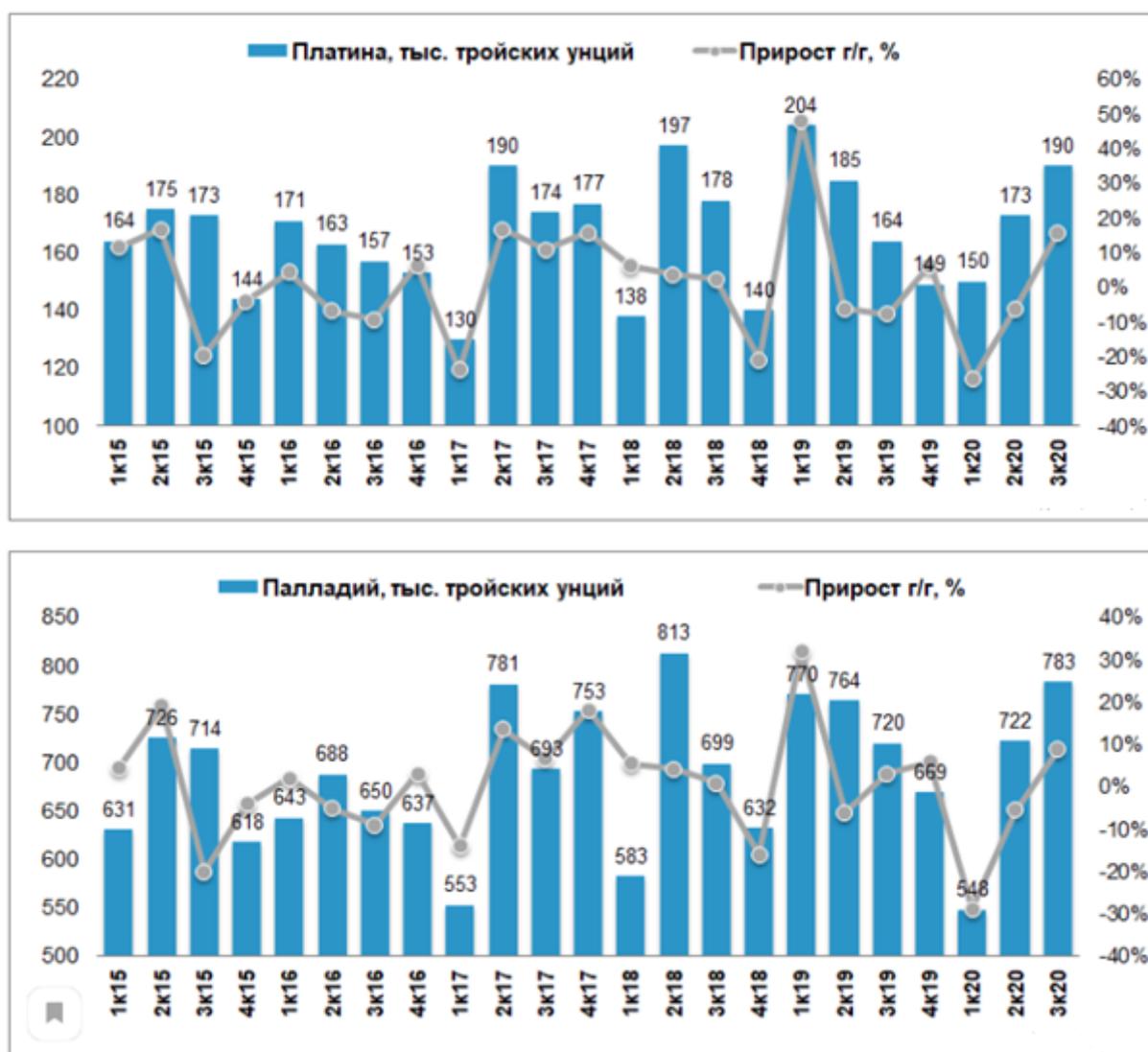


Рисунок 1.4 – Производство платины и палладия в Российской Федерации в период 2015–2019 гг.

Таблица 1.12 – Использование сырьевой базы металлов платиновой группы (МПГ) Российской Федерации в 2016–2017 гг., тонн

	2016 г.	2017 г.
Добыча из недр, в т. ч.	134,8	137,3
Pt	27,9	28,0
Pd	100,4	102,8
из техногенных месторождений	4,5	5,0
Производство МПГ, в т. ч.	99,5	106,0
Pt	20,5	22,0
Pd	78,3	85,2
Экспорт МПГ	111,2	103,4
Pt	17,3	20,7
Pd	90,2	79,3
Импорт МПГ	0,2	0,1
Pt	0,05	0,05
Pd	0,1	0,02



Рисунок 1.5 – Территориальное размещение предприятий по производству драгоценных металлов:

1 – АО «Московский завод по обработке специальных сплавов» (АО «МЗСС»), г. Москва; 2 – АО «Щелковский завод вторичных драгоценных металлов» (АО «Щелковский завод ВДМ»), г. Щелково, Московская обл.; 3 – АО «Приокский завод цветных металлов» (АО «ПЗЦМ»), г. Касимов, Рязанская обл.; 4 – АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов» (АО «ЕЗОЦМ»), г. В. Пышма, Свердловская обл.; 5 – АО «Уралэлектромедь», г. В. Пышма, Свердловская обл.; 6 – ЗАО «Уральские инновационные технологии», г. Екатеринбург (ЗАО «Уралинтех»); 7 – АО «Кыштымский медеэлектролитный завод» (ЗАО «КМЭЗ»), г. Кыштым, Челябинская обл.; 8 – АО «Новосибирский аффинажный завод» (АО «НАЗ», г. Новосибирск; 9 – ОАО «Красноярский завод цветных металлов имени В. Н. Гулидова», г. Красноярск (ОАО «Красцветмет»))

Из рисунка 4 видно, что предприятия по производству драгоценных металлов сосредоточены преимущественно в трех районах: в центре Европейской части РФ, на Урале, где были еще в XIX в. открыты месторождения самородной платины, и в Сибири, где в настоящее время сосредоточены основные источники добычи драгоценных металлов.

Характеристика каждого из вышеперечисленных предприятий и производимой ими продукции сведена в таблице 1.13.

Исходя из вышеприведенных данных, можно заключить: несмотря на то, что практически все предприятия, перечисленные в таблице 13, производят слитки драгоценных металлов, в том числе мерные слитки, имеет место специализация предприятий в соответствии с историей их создания, становления, квалификации специалистов. Кроме того, помимо слитков, порошков, гранул, АО «Московский завод по обработке специальных сплавов» (АО «МЗСС»), АО «ЕЗОЦМ», ОАО «Красцветмет», ЗАО «Уралинтех» производят изделия на основе драгоценных металлов различного назначения.

Таблица 1.13 – Общие сведения о предприятиях, производящих драгоценные металлы

№ п/п	Предприятие	Дата ввода в экпл.	Перечень производимой продукции
1	АО «Московский завод по обработке специальных сплавов» (https://mzss.ru)	1946 г.	Золото и золотые сплавы; серебро и серебряные сплавы; биметаллическая продукция на основе золота и его сплавов, серебра и его сплавов [17, 18]. Имеет статус Good Delivery (золото)
2	АО «Щелковский завод вторичных драгоценных металлов» (http://zavodvdm.ru)	1941 г.	Золото в слитках и порошках, серебро в порошках и гранулах. Соли серебра. Имеет статус Good Delivery (серебро)
3	АО «Приокский завод цветных металлов» (https://www.zvetmet.ru)	1990 г.	Золото, серебро, металлы платиновой группы, производство мерных слитков, солей платиновых металлов, ювелирных полуфабрикатов. Имеет статус Good Delivery (золото, серебро, платина, палладий)
4	АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов» (https://ezosm.ru)	1916 г.	Золото, серебро, металлы платиновой группы (порошки), золото, серебро, платина, палладий (слитки), технические изделия, химические соединения платиновых металлов. Имеет статус Good Delivery (золото, серебро, платина, палладий)
5	АО «Уралэлектромедь» (https://www.elem.ru/ru/)	1929 г.	Золото и серебро в слитках, концентрат металлов платиновой группы. Имеет статус Good Delivery (золото, серебро)
6	ЗАО «Уральские инновационные технологии» (http://uralinteh.com/ru/)	2008 г.	Изделия из драгоценных металлов (в т.ч. из иридия), сплавы для ортопедической стоматологии, химические соединения платиновых металлов
7	АО «Кыштымский медэлектrolитный завод» (http://kmez.ru)	1757 г.	Аффинированные золото и серебро в слитках (в т.ч. мерные для золота) и гранулах, платина и палладий в порошке
8	АО «Новосибирский аффинажный завод» (https://affinaz.ru)	1941 г.	Аффинированные золото и серебро в слитках, гранулах, анодах, пластинах, порошке и прокате, платина и палладий (слитки, порошки). Имеет статус Good Delivery (золото, серебро)

№ п/п	Предприятие	Дата ввода в экпл.	Перечень производимой продукции
9	ОАО «Красноярский завод цветных металлов имени В. Н. Гулидова» (https://www.krastsvetmet.ru)	1943 г.	Аффинированные: золото и серебро (гранулы); все металлы платиновой группы (порошки); золото, серебро, платина, палладий (слитки). Производство мерных слитков, солей и химических соединений платиновых металлов, в том числе металлорганических соединений. Производство технических и ювелирных изделий. Имеет статус Good Delivery (золото, серебро, платина, палладий)

1.3 Приоритетные проблемы отрасли

Получение аффинированных драгоценных металлов, представляет собой крайне сложную технологическую задачу, и обеспечение необходимой потребности в них возможно лишь при условии внедрения в производство высокоэффективных технологических процессов их получения. В настоящее время, согласно Постановлению Правительства РФ от 20 января 2018 г. № 35 [18], одиннадцать предприятий имеют право осуществлять аффинаж драгоценных металлов, из них семь — имеют статус Good Delivery Лондонской ассоциации участников рынка драгоценных металлов на свою продукцию (золото и серебро).

Практически все предприятия Российской Федерации, которым разрешен аффинаж драгоценных металлов, реализуют гидрометаллургические технологии переработки сырья.

Существующая в России технология аффинажа базируется преимущественно на осадительных методах и приемах. По классической осадительной технологии работает, в частности, крупнейшее в стране и в мире аффинажное предприятие ОАО «Красцветмет». Такая технология неизбежно сопровождается образованием промежуточных продуктов и маточных растворов, что делает ее многооперационной и уменьшает сквозное извлечение драгоценных металлов. Поэтому технология, предусматривающая селективное извлечение драгоценных металлов платиновой группы, независимо от того, какими методами она реализуется — экстракция или сорбция, имеет серьезные перспективы для развития и применения. Справедливости ради надо отметить, что на ряде предприятий России внедрены экстракционные (АО «Приокский завод цветных металлов») и сорбционные (АО «Уралэлектромедь») технологии. Однако в настоящее время экстракционная технология, ввиду отсутствия у предприятия сырья, практически не реализуется, а сорбционная — привязана преимущественно к переработке серебросодержащего сырья, с низким содержанием палладия и платины. Она осуществляется через азотнокислые растворы и не имеет сегодня широких перспектив, т. к. в технологии платиновых металлов образуются хлоридные (солянокислые) растворы.

Таким образом, одной из важнейших проблем отрасли является внедрение технологий, обеспечивающих:

- сокращение числа стадий производственного процесса;
- сокращение времени процесса;
- сокращение объема химических реагентов.

Внедрение прогрессивных технологий аффинажа позволит успешно решать экологические проблемы отрасли.

Аффинаж драгоценных металлов предполагает использование большого количества реагентов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду. Сюда относятся прежде всего такие реагенты, как:

- хлор;
- концентрированная азотная кислота;
- концентрированная соляная кислота;
- серная кислота;
- органические реагенты и органические растворители (при использовании экстракционных процессов).

Серьезную опасность представляет проблема сбора, хранения и переработки вторичного сырья. Так, отходы электронной промышленности, вторичный электронный лом включают в свой состав органические составляющие (пластик различных видов, материалы на основе поливинилхлорида, фенолформальдегида), а также практически полный набор тяжелых металлов. Такие металлы, как свинец, сурьма, ртуть, кадмий, мышьяк, входящие в состав компонентов электронной техники, переходят под воздействием внешних условий в органические соединения, которые могут растворяться в производственных растворах, и становятся сильнейшими ядами. Утилизация пластиков, содержащих ароматические углеводороды, органические хлорпроизводные соединения, является насущной экологической проблемой предприятий.

Стоит также отметить выбросы котельных газов, которые вносят существенно больший (в несколько раз) вред по сравнению с производственными выбросами.

Раздел 2 Описание технологических процессов и методов, применяемых при производстве драгоценных металлов

2.1 Основные принципы технологии производства драгоценных металлов

С каждым годом наблюдается увеличение спроса на драгоценные металлы, что вызывает настоятельную необходимость наряду с поиском новых источников усовершенствования существующих технологий их производства. Указанное обстоятельство предполагает в первую очередь повышение полноты и комплексности использования первичного и вторичного сырья. Возрастающий объем и одновременное снижение качества поступающего на переработку сырья требуют разработки и внедрения высокоэффективных процессов, обеспечивающих получение селективных концентратов драгоценных металлов и самих металлов, сокращение объемов незавершенного производства, снижение энергозатрат, уменьшение потерь драгоценных металлов, возможность автоматизации процессов, улучшение условий труда.

И за рубежом, и в Российской Федерации практически на всех заводах переработка сырья, содержащего драгоценные металлы, осуществляется сегодня с использованием гидрометаллургических процессов (в случае золота и серебра — и электрохимических процессов). Они характеризуются высокой производительностью и уровнем автоматизации, хорошими экономическими и экологическими показателями [19].

2.1.1 Технологии производства золота

Существуют различные варианты технологий получения золота, которые описываются принципиальной схемой, приведенной на рисунке 2.1.

В качестве исходного первичного сырья используют россыпное или рудное золото. В металлургии меди извлекают так называемые «попутные» золото и серебро. Исходным сырьем для получения золота может быть также лом ювелирных и технических изделий. Они отличаются по количественному и фазовому составу.

Драгметаллы концентрируют в золотосеребряном сплаве (сплав Доре), который получают из медьэлектролитных шламов, образующихся в процессе производства катодной меди.

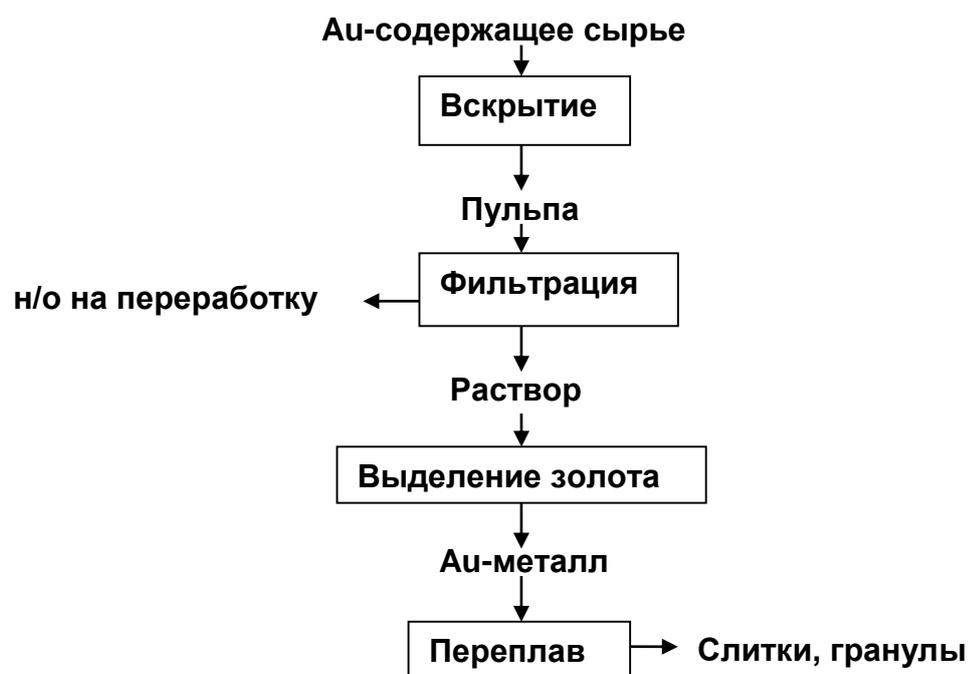


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема аффинажа золота

Следует отметить, что данный сплав в зависимости от состава перерабатываемых шламов содержит золото и серебро в разных соотношениях, и это обстоятельство необходимо учитывать при выборе способа дальнейшей переработки сплава Доре, а также оборотных продуктов аффинажного производства. При значительном (более 15–20 %) содержании серебра в сплаве Доре производится перевод серебра в раствор (как правило, азотнокислый) химическим или электрохимическим способами.

Форма нахождения золота и других драгоценных металлов в исходном сырье обуславливает подход к способам его переработки, которые базируются на химических свойствах драгоценных металлов.

Согласно схеме (рисунок 2.1), богатое по золоту сырье подвергают вскрытию, причем самыми распространенными способами являются растворение золота в царской водке либо гидрохлорирование (пропускание хлора через раствор HCl^3). Независимо от выбранного способа, именно на этой головной стадии происходит более тонкое разделение золота и серебра и образование двух продуктов, перерабатываемых отдельно, — золотосодержащего раствора и серебросодержащего твердого осадка.

Золото выделяют из раствора, применяя разные приемы. Это может быть:

- восстановление с получением порошка золота под действием таких восстановителей, как сульфит натрия, сульфат железа(II), нитрит натрия, щавелевая кислота, сахар⁴);
- электрохимическое выделение с получением золота на катоде;

³) В случае растворения в царской водке появляется дополнительная операция удаления избытка азотной кислоты из раствора после вскрытия.

⁴) Первые два реагента используются наиболее часто.

- экстракция золота (III).

Получаемый в результате восстановления порошок золота переплавляют на аноды и подвергают электролитическому рафинированию. Именно этот процесс является завершающей операцией получения золота высокой чистоты (99,99 %) на подавляющем большинстве предприятий. Рафинирование ведут в электролизерах с растворимыми золотыми анодами, в качестве электролита служат солянокислые растворы золотохлористоводородной кислоты или раствор царской водки, катоды — титановые пластины, на которые в результате электролиза осаждается золото.

В случае если реализуется экстракционная технология, то золото выделяют из солянокислого (2–5 М HCl) раствора три-*n*-бутилфосфатом, а реэкстракцию его из органической фазы осуществляют раствором восстановителя, того же сульфита натрия [20]. Полученный порошок металлического золота по чистоте отвечает золоту высокой пробы.

Заключительная стадия технологической схемы получение слитков различной массы и гранул, отвечающих требованиям государственных стандартов [21, 22].

На тех предприятиях, которые перерабатывают упорное золотосодержащее сырье (главным образом рудное золото), практически повсеместно реализуется цианидная технология, которая предполагает цианирование концентратов с переводом золота в раствор в виде прочных цианидных комплексов с последующим выделением золота из растворов двумя известными и хорошо отработанными путями:

- восстановлением цинковой пылью;
- сорбцией на активированном угле или ионите.

Оба эти процесса можно рассматривать как процессы предварительного концентрирования золота. Они не являются высокоселективными и предполагают обязательное проведение аффинажных операций по приведенной на рисунке 2.1 схеме. Именно цианидная технология таит в себе основные экологические опасности, связанные с выбросами высокотоксичных веществ в атмосферу и сбросами с отработанными растворами.

До настоящего времени не утратил своего значения для аффинажа золота хлорный метод Миллера, который был предложен еще в конце XIX века. Он получил распространение для аффинажа сплавов Доре, содержащих от 70 % до 90 % золота и от 7 % до 30 % серебра, а также медь, железо, цинк. Его суть заключается в том, что при пропускании газообразного хлора через расплав перерабатываемого исходного сырья все содержащиеся в нем компоненты переходят в форму хлоридов, за исключением золота. Термодинамика этого процесса такова, что золото начинает реагировать с хлором только после того, как прохлорируются примеси, включая серебро. Хлориды в виде шлака собираются на поверхности расплава, затем отделяются от него: из них получают серебро, а золото, полученное по методу Миллера, также дополнительно аффинируют электрохимическим путем до необходимой степени чистоты (рисунок 2.2).

Пирометаллургические операции (коллектирующие плавки) применимы и к отдельным видам бедного вторичного сырья, однако только после его классификации и отделения от примесей органических соединений и материалов. Это относится

не только к золотосодержащему сырью, но и к материалам, содержащим другие драгоценные металлы (серебро, МПГ).

2.1.2 Технологии производства серебра

В Российской Федерации запасы серебра в основном связаны с месторождениями комплексных полиметаллических руд, поэтому серебро добывается попутно, а получение металлического серебра связано с переработкой различных видов техногенного сырья.

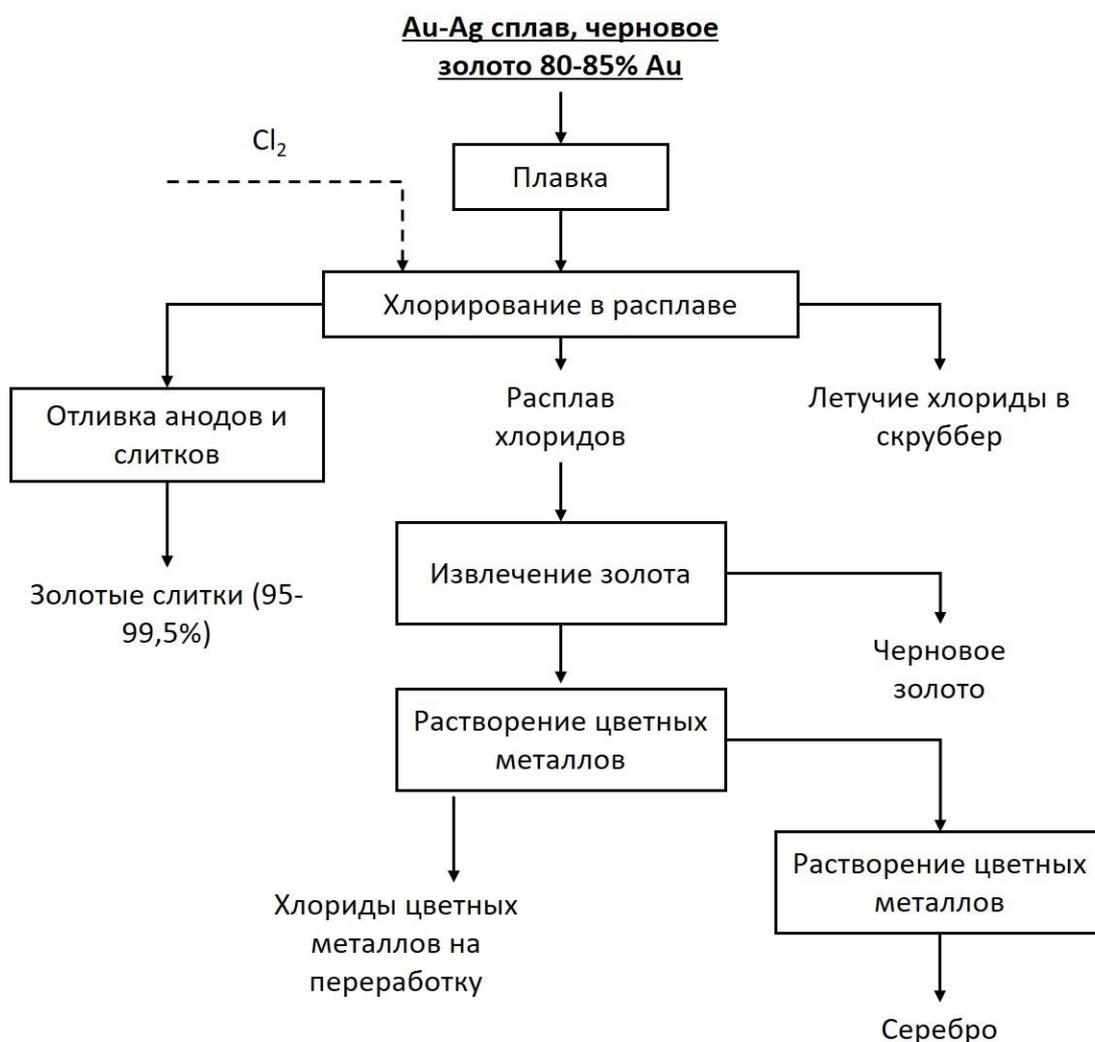


Рисунок 2.2 – Технологическая схема процесса по методу Миллера

Поскольку серебро по своим химическим свойствам близко золоту, для него применимы приемы избирательного выщелачивания цианидными растворами с последующим осаждением на цинковой пыли (процесс Меррилл-Кроу) [19, 23]. Они используются более 100 лет и являются основными для получения серебра из рудного сырья. Образующийся цинковый цементат подвергается аффинажу.

При переработке свинцово-цинковых руд на стадии рафинирования свинца серебро накапливается в так называемой «цинковой пене» [24]. Ее перерабатывают электротермическим способом: цинк отгоняют при температуре 1250 °С, а полученный серебро-содержащий свинец плавят в купеляционных печах на сплав Доре.

Следует подчеркнуть, что в технологии производства серебра, когда исходное сырье содержит примеси меди, селена, теллура, нередко проводят плавки с добавлением флюсов — соды, буры, которые вводят в количестве 1,5–3 % от массы загружаемого металла. Плавка является основным источником потерь драгоценных металлов, именно поэтому так велик интерес к гидрометаллургическим технологиям.

Итак, при переработке медеэлектролитных шламов и цинковой пены конечной стадией является получение серебряно-золотого сплава.

Таким образом, на аффинажные заводы поступают преимущественно:

- сплав Доре;
- цинковые цементаты;
- хлоридные шлаки или иные продукты, в которых серебро присутствует в виде хлорида.

Кроме того, нельзя не указать на такие виды вторичного сырья, как электронный лом, лом серебряных изделий и т.п.

Основные этапы технологии переработки серебрясодержащего сырья показаны на рисунке 2.3.



Рисунок 2.3 – Основные этапы переработки серебрясодержащего сырья

В процессах переработки золотосеребряного сплава возможны различные варианты разделения серебра и золота: например, в результате растворения в азотной кислоте в раствор переходит серебро, а золото остается в твердом остатке; при растворении сплава в царской водке образуется труднорастворимый хлорид серебра, а золото растворяется. Для достижения максимальной степени разделения драгоценных металлов при выщелачивании азотной кислотой рекомендуется, чтобы содержание серебра в сплаве превышало концентрацию золота в 2–3 раза [25]. Как правило, после растворения в азотной кислоте полученный раствор нитрата серебра очищается от примесей и направляется на электролиз с получением катодного серебра.

Если сплав содержит порядка 95 % серебра, 3 % золота, примеси меди, свинца, железа, никеля, селена, он непосредственно подвергается электролитическому рафинированию. Его переплавляют в аноды, а электролитом служит водный раствор нитрата серебра с добавкой свободной азотной кислоты. Содержание примесей, особенно золота и меди, в анодах строго регламентируется.

Целесообразно рассмотреть вариант электроэкстракционной технологии аффинажа золотосеребряного сплава. Он предусматривает получение катодного серебра, золотого шлама и концентрата платиновых металлов. Согласно этой технологии, сплав Доре растворяют в азотной кислоте в присутствии ионов аммония под давлением выделяющейся газовой фазы. При взаимодействии оксидов азота и ионов аммония происходит выделение азота и регенерация связанной кислоты. Золото и частично платина с палладием переходят в нерастворимый осадок — золотой шлам. Полученный азотно-кислый раствор подвергают сорбционной очистке от платиновых металлов, а также гидролитической очистке от меди, теллура и других примесей. Очищенный раствор подвергают электроэкстракции с получением катодного серебра.

Целесообразность рассмотрения варианта электроэкстракционной технологии аффинажа золотосеребряного сплава справедлива не для всех предприятий, так как подходит только для очень узкого по параметрам исходного материала и является весьма требовательной по содержанию примесей.

Предложено множество вариантов технологии переработки цинковых цементатов с содержанием серебра не ниже 75–80 %. Известные в литературе схемы отличаются выщелачивающим агентом на первой стадии, количеством стадий выщелачивания, условиями этой операции, однако они обеспечивают получение богатых серебросодержащих концентратов, пригодных для аффинажа. Так, например, по одной из технологий осадки выщелачивают азотной кислотой с целью перевода в раствор серебра, цинка и прочих кислоторастворимых примесей и разделения серебра и золота, которое остается в осадке (рисунок 2.4). Следует отметить, что на этой стадии выделяются токсичные оксиды азота, поэтому на ряде предприятий уже в настоящее время применяются методы их утилизации, которые блокируют выделение оксидов непосредственно во время химического процесса (*in situ*). Это азотнокислое выщелачивание в присутствии нитрата аммония, карбамида, пероксида водорода и т. п. приемы, обеспечивающие восстановление оксидов до молекулярного азота.

Отдельно необходимо рассмотреть переработку концентрата серебра, образующегося при выделении его в виде хлорида из сульфатных растворов выщелачивания медно-никелевых шламов. Поскольку он содержит сумму хлоридов серебра и цветных

металлов, его обрабатывают горячей водой с целью предварительного обогащения путем удаления хлоридов свинца, меди, избытка хлорида натрия. Нерастворимый остаток промывают, сушат и плавят с содой с получением серебрясодержащего сплава, который поступает на электрохимическое рафинирование для получения кондиционного металла.

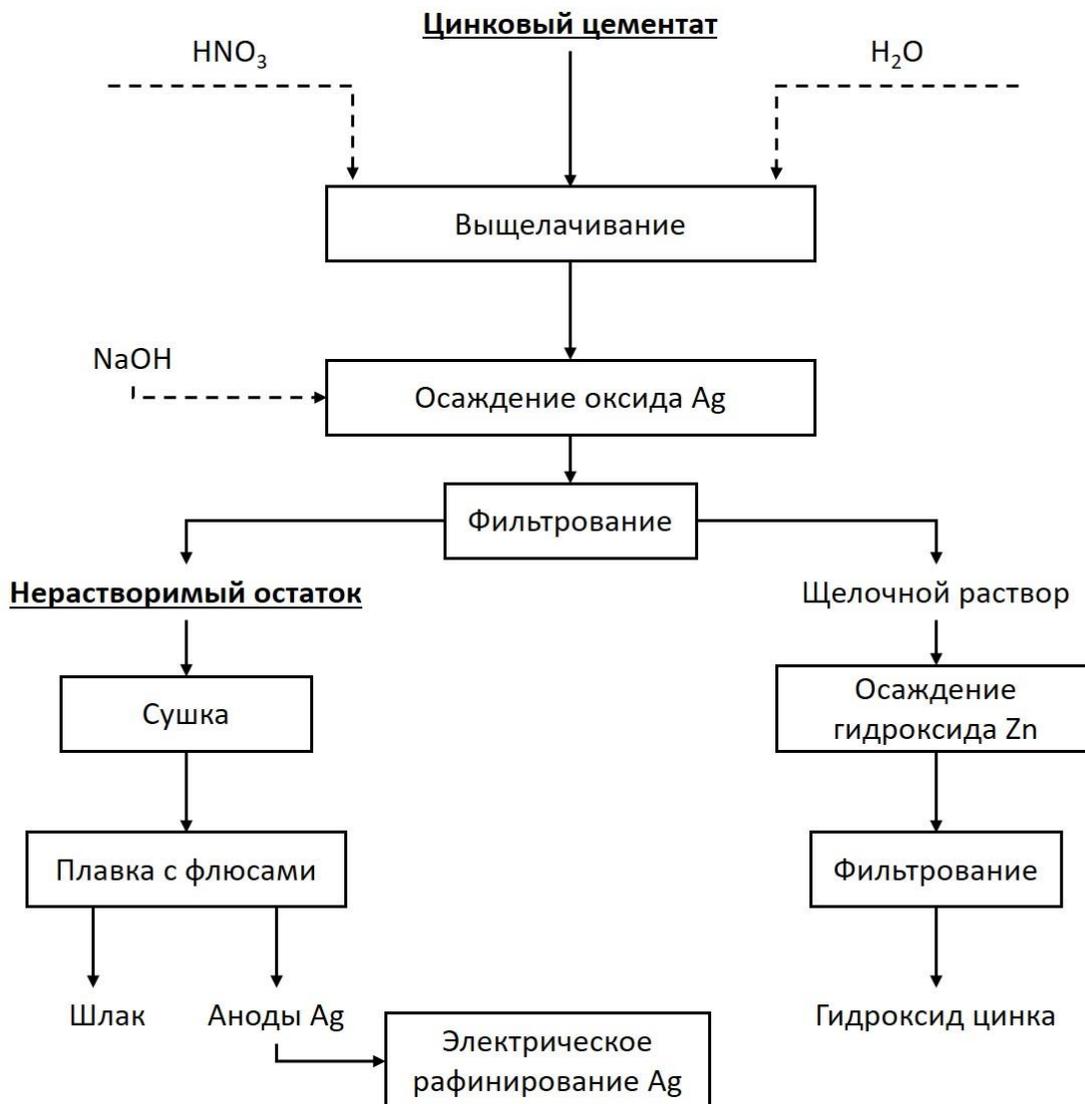


Рисунок 2.4 – Технологическая схема переработки цинковых цементатов

Электролитическое рафинирование — наиболее распространенный способ получения аффинированного серебра чистотой свыше 99,97 % в промышленном масштабе, несмотря на высокую энергозатратность и жесткий контроль состава электролита.

2.1.3 Технологии производства металлов платиновой группы

Технология аффинажа металлов платиновой группы относится к наиболее сложным и многооперационным, поскольку эти элементы обладают общностью химических свойств. Попутно с МПГ при переработке платиновых концентратов, получаемых из шламов медно-никелевого производства, товарными продуктами являются золото, серебро,

ИТС 14–2020

селен, теллур, кобальт, сера). Общая технологическая схема переработки шламов и получения платиновых концентратов приведена на рисунке 2.5.

Помимо платиновых концентратов (КП), для получения платины используется природный концентрат, так называемая шлиховая платина, уникальное сырье с содержанием ~75 % платины в виде природного сплава платины и железа (минерал ферроплатина).

К другим видам сырья для получения платины стоит отнести:

- отработанные автомобильные катализаторы;
- электронный лом, содержащий платину и другие платиновые металлы;
- катализаторные сетки, выработавшие срок службы;
- отходы стекольной промышленности (например, фильтры для протяжки стекловолокна);
- иные виды катализаторов, в частности, платинорениевые катализаторы, изделия электротехнической промышленности, отходы химической промышленности.

В случае палладия наряду с вышеперечисленными источниками в качестве богатого вторичного сырья можно рассматривать также технологический лом — стоматологические сплавы.

Сложность аффинажа МПГ обусловлена и тем обстоятельством, что КП являются основным исходным сырьем и характеризуются высоким содержанием примесей. Например, содержание редких платиновых металлов (РПМ) в концентрате КП-2 не превышает всего 3,5÷4,5 %. Это обуславливает высокие затраты на аффинаж и большие объемы незавершенного производства.

Существующая технология переработки шламов направлена на извлечение платины, палладия и золота. Общее извлечение драгоценных металлов и извлечение РПМ в селективные концентраты остается низким: так, степень извлечения иридия является в настоящее время самой низкой и в случае концентрата КП-1 составляет 40 %.

Важно подчеркнуть, что технология получения МПГ, в первую очередь платины и палладия, чрезвычайно консервативна, в ее основе лежит идея переработки платиновой руды, сформулированная еще в XVIII веке и заключающаяся в растворении концентрата в царской водке, последующем осаждении из раствора платинохлористоводородной кислоты гексахлороплатината(IV) аммония и его прокаливании при температуре 1000° С с получением металлической платины. Из раствора после отделения платины выделяют палладий осаждением его в виде труднорастворимой соли *транс*-дихлородиамминпалладия (II), которую также прокаливают с целью получения металлического палладия. Безусловно, это только ключевые моменты технологии. Им сопутствует множество переделов, обеспечивающих селективность осаждения труднорастворимых солей платины и палладия. Сюда относится и стадия удаления избытка азотной кислоты (при растворении концентрата в царской водке), и операция «доводки» растворов перед осаждением гексахлороплатината (IV) аммония, чтобы обеспечить присутствие в нем сопутствующих платиновых металлов в определенных степенях окисления (иридия — в степени окисления +3, палладия — в степени окисления +2). Необходимость последней операции вызвана тем, что разделение близких по свойствам МПГ обеспечивается тонкими различиями в термодинамических и кинетических свойствах их хлоридных комплексов.

Растворение в царской водке обеспечивает отделение платины и палладия от суммы редких платиновых металлов (рутений, родий, иридий), которые концентрируются в нерастворимом остатке. Исключением является осмий, который ввиду летучести его тетраоксида отделяют отгонкой в газовую фазу на головной стадии аффинажа любого сырья, содержащего осмий. Обогащенный по осмию концентрат КП-4 в настоящее время пока не производится ввиду незначительной потребности в нем. В процессе обогащения шламов осмий вместе с селеном концентрируется в кеках газоочистки и в таком виде складировается.

Способ растворения исходного сырья в царской водке отличается высокой степенью извлечения платины и палладия в раствор, но имеет ряд существенных недостатков:

- высокий расход реагентов (300÷400 % от стехиометрии);
- бурное выделение токсичных оксидов азота;
- наличие в образующихся растворах значительного количества нитрат-ионов, что делает невозможным их дальнейшую переработку без проведения дополнительных операций.

В настоящее время на большинстве предприятий используют вскрытие КП в растворе соляной кислоты с использованием в качестве окислителя пропускаемого через пульпу газообразного хлора в титановых реакторах при механическом перемешивании и температуре 70–90 °С. При осуществлении этой операции выделяющиеся при выщелачивании газы используются для регенерации растворителей, а также как самостоятельные вскрывающие реагенты. Кроме того, высокие концентрации газообразного хлора способствуют переходу МПГ в составе комплексных соединений в высшие степени окисления, и они начинают работать как сильные окислители, ускоряя процесс растворения.

Однако способ гидрохлорирования характеризуется довольно медленной кинетикой. Так, для растворения 100 кг сырой платины в растворе соляной кислоты с концентрацией 300–350 г/дм³ при соотношении т : ж = 1:3 необходимо проводить процесс в течение 12–16 ч. По сравнению с растворением в смеси соляной и азотной кислот, гидрохлорирование обладает меньшим расходом реагентов (100–200 % от стехиометрии). Отделение платины и палладия от РПМ достигается за счет подбора оптимальной концентрации кислоты, температуры и окислительно-восстановительного потенциала реакционной среды.

Как отмечалось выше, выделение платины из растворов основано на способности платины (IV) образовывать малорастворимое соединение гексахлороплатинат (IV) аммония — $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$. В процессе его осаждения хлорид аммония необходимо вводить с избытком для снижения растворимости осаждаемой соли.

Необходимо обратить внимание на то, что в растворе большая часть платины должна находиться в степени окисления +4, чтобы обеспечить высокий выход гексахлороплатината (IV) аммония (комплексная соль $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_4]$, подобно $(\text{NH}_4)_2[\text{PdCl}_4]$, хорошо растворима). При этом палладий и иридий в степени окисления +4 также образуют нерастворимые гексахлорометаллаты, изоструктурные с гексахлороплатинату (IV) аммония.

Выделение палладия возможно в форме *транс*-дихлородиамминпалладия (II) $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$. Для его осаждения в солянокислый раствор постепенно вводят гидрат аммиака. Так как его приливают постепенно, то первоначально часть палладия переходит в катионную форму тетраамминпалладий (II), а другая часть остается в виде тетрахлоропалладат (II) — иона. Выпадает соль Вокелена, которая при дальнейшем добавлении аммиака растворяется с образованием тетраамминпалладий (II) дихлорида. К полученному раствору постепенно прибавляется соляная кислота: при этом выпадает светло-желтый кристаллический осадок *транс*-дихлородиамминпалладия (II).

Восстановление выше указанных солей до металлического состояния возможно несколькими методами. Наиболее распространен способ прокаливания при температуре 800–1200 °С.

Рассмотренный метод аффинажа МПГ является осадительным, а осадительные методы наиболее просты для реализации в технологической практике, в том числе и в аппаратном оформлении.

Таким образом, в течение многих десятилетий в практике аффинажа на отечественных и зарубежных аффинажных предприятиях использовались и используются до сих пор схемы, которые насчитывают десятки взаимосвязанных операций с многочисленными оборотами растворов и полупродуктов, приводящие к потерям драгоценных металлов. Чрезвычайно трудоемки операции перевода МПГ в раствор с применением

ИТС 14–2020

царской водки, спекание с пероксидом бария нерастворимых остатков, концентрирующих сумму РПМ, сплавлением со свинцом и цинком и др.

Гораздо более высокой производительностью характеризуется экстракционная технология аффинажа МПГ (рисунок 2.6) [26].

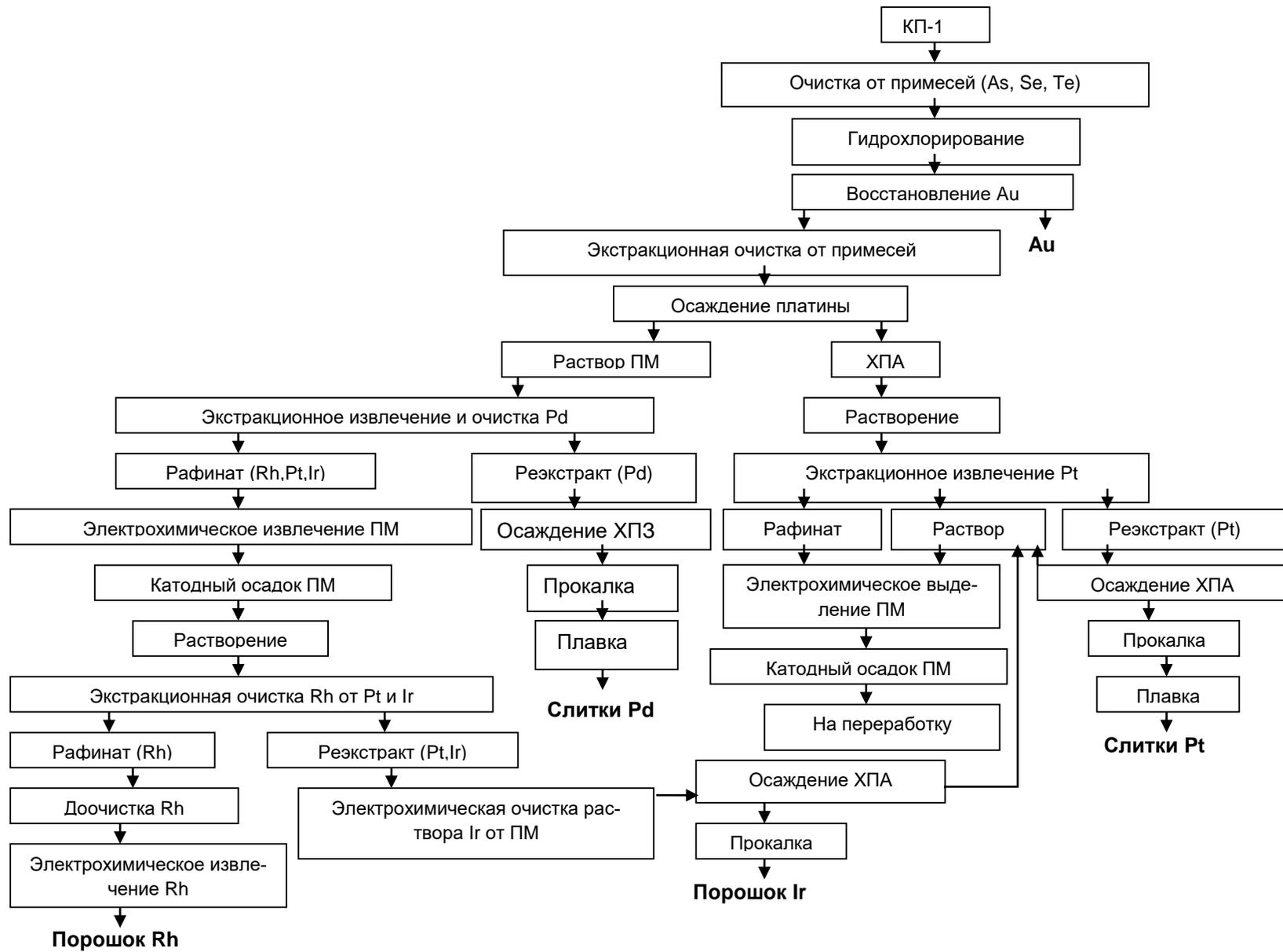


Рисунок 2.6 – Экстракционная технология аффинажа МПГ

Она предусматривает выделение золота из растворов после гидрохлорирования, экстракционную очистку от примесей неблагородных металлов (олова, сурьмы, железа), экстракцию палладия и экстракцию платины (параллельно, но индивидуально). Экстракционное извлечение иона $[\text{PtCl}_6]^{2-}$ из солянокислых растворов так же, как и примесей цветных металлов, осуществляется экстрагентом ТБФ⁵⁾. Экстракцию иона $[\text{PdCl}_4]^{2-}$ из солянокислых растворов проводят органическими сульфидами или нефтяными сульфоксидами. Применение метода жидкостной экстракции в сочетании с электрохимическими процессами позволяет извлекать в готовую продукцию не менее 90 % платины и 80 % палладия от их содержания в исходном сырье. Далее осуществляют промывку органической фазы и реэкстракцию. На заключительной стадии идет осаждение платины в виде солей $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$ и транс- $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$, соответственно (см. выше).

Рафинаты, образующиеся при экстракции платины и/или палладия, объединяют и из них электрохимически осаждают на катоде концентрат МПГ.

Чистые порошки родия и иридия получают, проводя последовательно операции электрохимического выделения металлов на катоде, растворения катодного осадка, экстракционной очистки и электрохимического выделения родия, электрохимической очистки иридийсодержащего раствора от примесей других МПГ с последующим осаждением иридия в виде гексахлороиридата (IV) аммония. Экстракционная технология переработки КП предусматривает разделение родия и иридия также экстракцией три-н-бутилфосфатом. При этом иридий в степени окисления +4 переходит в экстракт, а родий в степени окисления +3 остается в рафинате. Восстановление труднорастворимых солей РПМ в токе водорода приводит к образованию металлических порошков.

Использование экстракционных технологий аффинажа позволяет в 2–3 раза сократить объемы маточных растворов и число технологических операций и примерно в 5 раз уменьшить время. Затрачиваемое на переработку исходного сырья.

В то же время экстракционные технологии накладывают существенные требования к проведению процессов в части пожаровзрывобезопасности и экологической безопасности. Сложными техническими задачами являются вопросы утилизации отработанного экстрагента, предотвращения формирования третьей фазы и проникновения компонентов экстрагента в составе рафинатов и реэкстрактов на последующие переделы переработки сырья. Часть органической фазы остаётся в растворах, которые, для предотвращения сброса органики со сточными водами, нуждаются в последующей дополнительной очистке.

Конечными продуктами аффинажа МПГ, независимо от выбранной технологии, являются мерные слитки (для платины и палладия) и порошки.

⁵⁾ Принципиально возможны и другие экстрагенты.

2.2 Поэтапное описание технологии производства драгоценных металлов

2.2.1 Технология производства золота

2.2.1.1 *Опробование сырья*

Поступающее на аффинаж сырье поступает на стадию опробования. Опробование сырья обычно осуществляется двумя способами:

- проведением приемной плавки;
- головным опробованием.

2.2.1.1.1 *Приемная плавка*

Цель проведения приемной плавки — получение однородного по химическому составу сплава. При этом в результате шлакообразования происходит максимальное удаление примесей и получается необходимый для аффинажа удобной формы сплав, из которого отбирается представительная проба.

Процесс проведения приемной плавки включает:

- приготовление шихты и плавку;
- отбор огненно-жидкой пробы по окончании плавки;
- разлив металла в слитковые изложницы;
- маркировку слитков;
- взвешивание и затаривание шлаков.

В процессе приемной плавки получают:

- слитки лигатурных сплавов;
- пробные слитки;
- слитки-оплавки;
- третичные шлаки;
- отходящие газы;
- лабораторные и контрольные пробы.

2.2.1.1.2 *Головное опробование*

Операция головного опробования относится к сыпучим материалам. В результате ее проведения достигается получение однородного по химическому составу сыпучего материала и подготовка представительной пробы. В процессе головного опробования путем измельчения, классификации и сокращения отобранного в требуемом процентном соотношении материала получают:

- опробованный сыпучий материал;
- лабораторные и контрольные пробы.

2.2.1.2 Лигатурная плавка

Лигатурную плавку проводят для получения сплава такого состава и формы, которая пригодна для проведения последующих операций аффинажа золота.

Сырьем для лигатурной плавки служит приемное сырье, сплавляемое с оборотными полупродуктами. К ним относятся шлам электролиза серебра, остатки анодов электролиза золота и серебра, оборотные остатки катодного золота, цементное золото после осаждения из маточных растворов, сплавы от переработки отходов. В зависимости от содержания серебра в исходном сырье и полупродуктах в расплав добавляют серебряный или медный лом (либо порошки этих металлов).

Лигатурная плавка включает следующие стадии:

- расплавление металла и оборотных полупродуктов;
- дозировка серебросодержащего сплава, лома или порошка;
- дозировка медного лома или порошка;
- отливка металла (в аноды или гранулы).

Расплавление металла производят в графитовых тиглях, установленных в печь индукционного типа. Перед разливом металла в анодные изложницы вставляют тонкие золотые пластины (ушки) из золота, предназначенные для подвешивания анодов на контактную штангу в электролизной ванне. Отливку расплава в аноды производят на специальных станках с комплектом наборных изложниц.

Розлив лигатурного золота в гранулы производят в специальную емкость, наполненную водой.

2.2.1.3 Растворение лигатурного золота

Растворение золотых лигатурных сплавов для проведения гидрометаллургического рафинирования и получения электролита для электролитического рафинирования выполняется либо электрохимическим способом, либо растворением в царской водке.

2.2.1.3.1 Электрохимическое растворение

Электрохимический способ основан на анодном растворении золотого лигатурного сплава в растворе соляной кислоты при воздействии электрического тока. Процесс проводят в электролизере с разделенным диафрагмой (ионообменной мембраной) катодным и анодным пространством, в результате чего золото на катоде не осаждается, а образует анолит — раствор золотохлористоводородной кислоты. На катоде в процессе электролиза разряжается водород. Несмотря на применение диафрагм, имеет место частичный перенос анионных комплексов золота к катоду, где происходит их восстановление с образованием осадка (цементное золото).

В процессе растворения золотого сплава в раствор наряду с золотом переходят все растворимые в соляной кислоте примеси. Серебро в виде хлорида выпадает в шламовый осадок.

2.2.1.3.2 Растворение в царской водке

Сырьем для растворения золота и/или приготовления электролита служат:

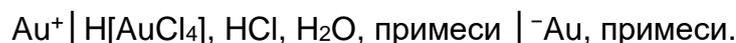
- лигатурное золото в виде гранул;
- золотой шлам, полученный в процессе аффинажа серебра;
- катодное золото в виде обрезков ушек, лент, дендритов;
- цементное золото, полученное при доосаждении из маточных растворов и отработанных электролитов;
- высокопробное лигатурное золото в виде гранул и остатков анодов.

Способ основан на растворении лигатурного золота и золотосодержащих материалов в царской водке, в результате которого образуется золотохлористоводородная кислота (помимо растворения в смеси соляной и азотной кислот, возможно растворение методом гидрохлорирования).

2.2.1.4 Электролитическое рафинирование

Электролиз золота основан на анодном растворении золотого сплава под действием постоянного электрического тока в растворе золотохлористоводородной кислоты, содержащем свободную соляную кислоту, и последующем осаждении золота на катоде.

Процесс электролиза можно рассматривать в следующей электрохимической системе:



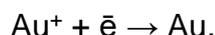
Технологический процесс производства включает следующие операции:

- приготовление электролита;
- I стадия основного электролиза;
- II стадия основного электролиза;
- обработка продуктов электролиза;
- доработка маточных и отработанных растворов.

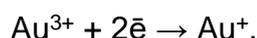
Первая стадия электролиза проводится с целью получения катодного золота.

На первой стадии электролитическому рафинированию подвергают аноды, полученные в процессе лигатурной плавки. Электролитом служит водный раствор золотохлористоводородной кислоты. При электролизе золото может переходить в раствор в виде ионов Au^{3+} , Au^+ .

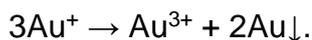
На катоде идут процессы:



Возможен процесс частичного восстановления золота:



Au⁺ в результате реакции диспропорционирования частично восстанавливается, и восстановленное золото переходит в шлам:



Выгрузку катодного золота производят периодически и последовательно, по секциям, без выключения ванн.

В процессе электролиза электролит обедняется золотом и обогащается примесями.

В результате электролиза получают следующие продукты:

- катодное золото, которое направляют на плавку в готовую продукцию или, в случае несоответствия готовой продукции химическому составу по ГОСТ 6835–2002 [21], в аноды для II стадии электролиза;
- остатки анодов, которые направляют на легирование в плавку анодов для I или II стадии электролиза;
- хлорид серебра, который направляют на переработку;
- отработанный электролит, который направляют на доизвлечение драгоценных металлов;
- газовую фазу, поступающую на газоочистку.

В случае несоответствия химического состава катодного золота, полученного в результате проведения I стадии электролиза по ГОСТ 6835–2002 [21], а также с целью получения готовой продукции с гарантированной массовой долей основного металла не менее 99,99 %, проводится II стадия электролиза катодного металла, полученного в результате I стадии электролиза. Сырьем для приготовления электролита в этом случае служит катодное золото и дендриты I-й стадии электролиза, обрезки ушек и т. п. Процесс электролиза проводят аналогично технологическим операциям первой стадии электролиза при тех же технологических параметрах и составе электролита.

2.2.1.5 Обработка продуктов электролиза

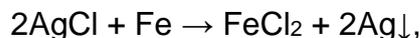
Катодное золото промывают горячей водой от электролита и подвергают внешнему осмотру. При этом с поверхности механически удаляют хлористое серебро и дендриты. С целью удаления с поверхности катодного золота оставшихся примесей его обрабатывают соляной кислотой, после чего промывают водой. Промытое катодное золото сушат в сушильных шкафах, затем взвешивают, затаривают и направляют на плавку. Обрезки, дендриты сушат, взвешивают и направляют на плавку анодов для I-й или II-й стадии электролиза. Соляную кислоту после обработки катодного золота используют для приготовления электролита или обработки полупродуктов.

Отработанный электролит направляют на осаждение золота аналогично маточным растворам гидрометаллургического аффинажа.

Анодный шлам, содержащий хлориды серебра, свинца и других металлов, а также золото в виде тонкого порошка, дендриты катодного золота, нерастворившиеся части

анодов, промывают водой от электролита, отделяя хлорид серебра от частиц металлического золота. Дендриты катодного золота и нерастворившиеся фрагменты анодов промывают водой, сушат, взвешивают и направляют на легирование на плавку в аноды.

Хлорид серебра восстанавливают железным порошком при перемешивании в растворе соляной кислоты с концентрацией 30÷40 г/л по реакции:



либо нейтрализуют пульпу гидроксидом натрия и восстанавливают серебро гидразин-гидратом или другим восстановителем. Восстановленное серебро промывают на фильтре водой и сушат, после чего перерабатывают совместно с продуктами аффинажа серебра.

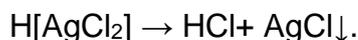
2.2.1.6 Гидрометаллургическое рафинирование

Процесс включает следующие стадии:

- растворение лигатурного золота;
- денитрация;
- фильтрация, разбавление и выдерживание (отстаивание) растворов с целью осаждения серебра с последующей тонкой фильтрацией;
- осаждение порошка золота из растворов пентаоксодисульфатом динатрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) или сульфитом натрия (Na_2SO_3);
- отмывка порошка золота, сушка, плавка;
- переработка маточных растворов, содержащих золото и МПГ.

Денитрация растворов — это удаление нитрат-ионов из раствора, полученного в результате растворения лигатурного золота в царской водке. Она проводится упариванием с концентрированной соляной кислотой до получения влажных солей либо добавлением карбамида (мочевины).

Серебро в растворах, полученных в результате денитрации, а также при электрохимическом растворении золота содержится в виде комплекса $\text{H}[\text{AgCl}_2]$, который при низкой кислотности разрушается по реакции:



Осадок хлорида серебра по мере накопления снимают с фильтра и направляют на операцию аффинажа серебра.

2.2.1.6.1 Осаждение золота

Золото из солянокислых растворов селективно выделяют действием сульфита натрия или пентаоксодисульфа динатрия:



Восстановление золота проводят в реакторах. Осадок золота отфильтровывают и промывают на фильтре. Промытый осадок сушат, взвешивают и направляют на плавку с целью получения готовой продукции.

Продуктами процесса гидрометаллургического рафинирования золота являются:

- отработанный раствор;
- маточный раствор;
- промывные воды;
- газовая фаза.

Отработанный раствор, маточные растворы и промывные воды от осаждения золота поступают на доосаждение золота в осадительный реактор.

Доосажденное золото фильтруют и без отмывки передают на растворение очередных партий золота либо сушат и передают на плавку лигатурного золота. Маточные растворы доосаждения золота направляют на очистку, а газовая фаза поступает на газоочистку.

2.2.1.7 Получение готовой продукции

Катодное золото или золотой порошок плавят и разливают в слитки или в гранулы. Гранулы используют для изготовления мерных слитков или для отгрузки потребителю. Полученная готовая продукция должна соответствовать по химическому составу, форме, массе, маркировке, качеству поверхности требованиям государственных стандартов.

2.2.1.7.1 Плавка слитков

Металл, предназначенный для плавки слитков, загружают в тигель, расплавляют, доводят до стабильного расплава и разливают в графитовые или чугунные изложницы. Для получения гладкой и чистой поверхности слитков, применяют графито-шамотовые крышки или крышки из диоксида циркония, предварительно разогретые в селитовой печи, с постоянным покрытием поверхности металла пламенем газовой горелки до окончания процесса кристаллизации. При розливе металла в слитки от каждой плавки (садки) отбирают одну огненно-жидкую пробу. Пробу отбирают между первым и вторым розливом, отливая часть расплавленного металла в изложницу специальной формы.

Сплавленные слитки зачищают и производят набивку серии и номера слитка, года выпуска, товарного знака предприятия и надписи «РОССИЯ». После получения анализа на слитки готовой продукции набивают марку, проверяют внешний вид и передают на взвешивание и упаковку.

2.2.1.7.2 Плавка гранул аффинированного золота

При розливе гранул аффинированного золота часть расплавленного металла, поступившего на плавку готовой продукции, разливают в специальную емкость, заполненную проточной водой, направляя струю расплавленного металла на специальный пруток

(деревянный, винипластовый, полиэтиленовый). При этом отбирается отдельная огненно-жидкая проба на гранулы, если это была отдельная плавка либо одна огненно-жидкая проба, взятая между розливом стандартных слитков и розливом в гранулы.

По окончании плавки гранулы затаривают в противни и сушат в сушильном шкафу. После получения результатов анализа гранулы, соответствующие требованиям, просеивают, взвешивают, затаривают и передают на взвешивание и упаковку либо на плавку мерных слитков.

2.2.1.7.3 Плавка мерных слитков

Исходным сырьем для отливки мерных слитков служат гранулы аффинированного золота. Для плавки мерных слитков набирают навески нужного номинала, загружают в огнеупорные тигли и устанавливают в селитовые или индукционные печи. Розлив металла ведут в предварительно обработанные и подогретые изложницы. Для получения гладкой и чистой поверхности слитков применяют пламя газовой горелки (пропан-воздух), обеспечивающее медленную и равномерную кристаллизацию.

Для выполнения анализа отбирают среднюю пробу от всех навесок, набранных в день плавки. Пробу плавят в режиме плавки слитков. Полученные слитки нумеруют и зачищают. После получения результатов анализа проверяют внешний вид мерных слитков и передают на взвешивание и упаковку.

2.2.1.7.4 Получение штампованных мерных слитков

Пластины, предназначенные для изготовления штампованных мерных слитков, плавят в режиме плавки мерных слитков номиналом 1000 или 500 г. Для выполнения анализа отбирают среднюю пробу от всех навесок, набранных в день плавки. Пробу плавят в режиме плавки мерных слитков, расплавленный металл выливают в специальную пробницу, зачищают, маркируют и передают для отбора лабораторной и контрольной проб.

Полученные пластины зачищают от шлака и прокатывают на прокатном стане до толщины, соответствующей необходимому номиналу. После проката пластин из них вырубают заготовки на вырубном прессе. Осматривают внешний вид каждой заготовки, зачищают, взвешивают.

Остатки вырубки, опилку после завершения работы передают на хранение. Штамповку проводят на гидравлическом прессе, используя штамп на соответствующий номинал. Перед каждым шагом штамповки поверхность пуансона и выталкивателя обезжиривают этиловым спиртом. На каждый изготовленный слиток набивают шифр и номер слитка, используя пневмогидравлический штамповочный пресс. После нумерации слитка проводят контрольное взвешивание и, при необходимости, доводят вес слитка до требуемых номиналов согласно рабочей инструкции по производству мерных слитков.

Слитки, прошедшие проверку внешнего вида, передают на взвешивание и упаковку.

2.2.2 Технология производства серебра

Технологический процесс аффинажа серебра выполняется электрохимическим методом с последующей плавкой полученного металла и получением готовой продукции.

При электролитическом рафинировании серебра в качестве растворимого анода используют рафинируемый серебряный сплав. Электролитом служит водный раствор нитрата серебра в азотной кислоте. Технологический процесс электролитического рафинирования серебра включает несколько стадий:

- получение анодов;
- приготовление электролита;
- электролиз;
- цементация;
- плавка для получения анодов, слитков, гранул, пластин;
- доработка растворов электролиза.

2.2.2.1 Лигатурная плавка

Лигатурная плавка проводится для получения сплава такого состава, который пригоден для выполнения процесса аффинажа серебра. Сырьем для лигатурной плавки служит приемное сырье, а также оборотные серебросодержащие материалы.

2.2.2.1.1 Плавка лигатурного металла

Плавке подвергают лигатурный металл с различной массовой долей серебра и примесей: слитки приемного и оборотного серебра, промпродукты производств золота и серебра, отливки, полученные в результате плавки отходов производства. С целью получения анодов, соответствующего по составу требованиям, предъявляемым к сплавам для основного или предварительного электролиза и доработки, в процессе плавки промпродукты легируют на заданный рассчитанный состав.

Плавку проводят в индукционных печах без добавления флюсов до состояния стабильного расплава, снимают шлак и производят розлив металла в чугунные изложницы. Анодные изложницы, а также пробную изложницу, перед розливом расплава металла и отбором огненно-жидкой пробы предварительно смазывают антипригарной смазкой.

Анод представляет собой отливку в виде пластины со специальными приливами — ушками. Размеры анодов должны соответствовать форме и размеру электролитной ванны. Розлив расплава металла осуществляют в анодные изложницы с помощью разливочного графитового тигля. Полученные аноды выбивают из изложниц, зачищают от шлака, заусениц, а затем клеймят, набивая номер и серию слитка, взвешивают и направляют на электролиз.

2.2.2.1.2 Плавка восстановленного серебра

Восстановленное серебро, полученное в процессе аффинажа золота, плавят под слоем флюсов (кальцинированной соды с небольшим добавлением буры) и разливают

в анодные или слитковые изложницы. В дальнейшем полученные слитки используют для легирования анодов.

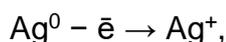
2.2.2.2 Электролитическое рафинирование

В качестве электролита при электролизе серебра применяют водный раствор нитрата серебра, содержащий свободную азотную кислоту. Электролит готовят растворением высокопробного серебра в растворе азотной кислоты. Полученный раствор нитрата серебра фильтруют, при необходимости разбавляют водой и используют в качестве рабочего электролита электролиза серебра.

В процессе растворения лигатурного серебра при приготовлении электролита получают:

- электролит;
- шлам золотой;
- газовую фазу и пары, содержащие драгоценные металлы;
- остатки анодов.

Электролиз серебра основан на анодном растворении материала под действием электрического тока в растворе нитрата серебра, содержащем свободную азотную кислоту:



и осаждении серебра на катоде:



Процесс электролиза можно рассматривать в следующей электрохимической системе:



Примеси с более электроположительным потенциалом выпадают в шлам.

2.2.2.2.1 Основной электролиз

В ваннах основного электролиза проводится электролитическое рафинирование серебра с целью получения готовой продукции, соответствующей требованиям государственных стандартов.

В ванны завешиваются аноды, электролитом служит раствор азотнокислого серебра. Перемешивание электролита в ванне осуществляется сжатым воздухом. В процессе электролиза контролируются плотность тока, напряжение на ванне, температура электролита, выход по току (катодный). В процессе электролиза электролит обедняется серебром и обогащается примесями, поэтому его постоянно заменяют.

В результате процесса основного электролиза получают:

- кристаллическое серебро, которое отправляют на плавку в готовую продукцию;
- остатки анодов, которые переплавляют в аноды основного электролиза;
- отработанный электролит, направляемый на очистку;

- шлам золотой;
- отработанные диафрагмы;
- газовую фазу.

Полученное кристаллическое серебро счищают с катода и по мере необходимости утрамбовывают на дне электролизной ванны. Выгрузку кристаллического серебра из электролизных ванн основного электролиза производят периодически, по мере накопления кристалла в ванне (кристалл не должен соприкасаться с диафрагмами и катодами).

2.2.2.2 Предварительный электролиз

Аноды, из которых нельзя получить готовую продукцию серебра, отвечающего всем необходимым требованиям, направляют на стадию предварительного электролиза.

В процессе предварительного электролиза получают:

- кристаллическое серебро, которое направляют на плавку в аноды основного электролиза;
- остатки анодов, которые плавят в аноды предварительного электролиза;
- золотой шлам;
- отработанные диафрагмы;
- отработанный электролит, который направляют на переработку на ваннах доработки;
- газовую фазу.

Выгрузку кристаллического серебра из ванн предварительного электролиза также производят периодически.

Кристаллическое серебро промывают, сушат и направляют на легирование и плавку в аноды на соответствующую стадию электролиза или в готовую продукцию.

Остатки анодов зачищают щетками от шлама, промывают водой от электролита и шлама, легируют кристаллами, полученными в результате предыдущей стадии электролиза, и плавят в аноды для стадии, в процессе которой остатки были получены.

Анодный шлам, полученный в процессе электролиза от зачистки и замывки водой остатков анодов и диафрагм, по мере накопления направляют на переработку. Переработку анодного шлама производят с целью удаления из шлама серебра и примесей и обогащения шлама по золоту.

Отработанные растворы, полученные в процессе переработки шламов, направляют на доработку с целью перевода примесей, находящихся в растворах, в нерастворимые соединения и последующего отделения нитрата серебра. Полученный при этом осадок, содержащий оксиды и основные соли МПГ, меди, висмута, свинца, теллуриды и селениды серебра в виде пульпы помещают в реактор и обезмеживают концентрированной азотной кислотой. Обезмеженный осадок фильтруют, промывают, сушат и направляют на получение концентрата МПГ.

2.2.2.2.3 Сорбционная очистка электролита от платины и палладия

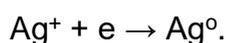
Во время проведения процесса электролиза серебра металлы платиновой группы, содержащиеся в анодах в значительных количествах, переходят в электролит, накапливаются в нем и соосаждаются вместе с серебром на катоде, вследствие чего происходит «заражение» катодного серебра. Соосаждение серебра, платины и палладия в процессе электролиза серебра накладывает ограничения на используемую силу тока и содержание платины и палладия в аноде, так как увеличение указанных технологических параметров ведет к повышению концентрации платины и палладия в электролите. Технология сорбционной очистки электролита позволяет поддерживать производительность электролиза анодов с высоким суммарным содержанием платины и палладия на уровне производительности электролиза на анодах Доре с сохранением высокого качества получаемого катодного серебра за счет постоянного удаления платины и палладия из электролита.

Удаление платины и палладия осуществляется за счет непрерывной циркуляции электролита через неподвижный слой сорбента, размещенного в сорбционной установке. Платина и палладий улавливаются сорбентом, после чего ценные компоненты элюируют из него, и эдьюат (десорбат) направляют на дальнейшую переработку в аффинаже платины и палладия. Очищенный от платины и палладия электролит, выходящий из сорбционной установки, поступает в электролизные ванны, где вновь насыщается платиной и палладием — и цикл очистки повторяется в непрерывном режиме.

2.2.2.2.4 Электроэкстракция серебра

Электроэкстракция — электролиз с нерастворимым анодом. При таком варианте электролиза извлечение серебра происходит непосредственно из раствора (отсутствует растворение серебряных анодов).

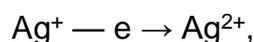
Электроэкстракция серебра основана на катодном восстановлении серебра:



И анодном окислении воды с образованием кислорода



Кроме того, на аноде могут происходить процессы окисления одновалентных ионов серебра до серебра двух и трехвалентной формы:



Для получения марочного серебра методом электроэкстракции большое значение имеет чистота электролита. Необходимо учитывать, что в электроэкстракции важны не столько абсолютные значения концентраций, сколько соотношения концентраций примесных элементов и серебра, данное обстоятельство связано с технологической спецификой процесса, а именно с тем, что концентрации примесных элементов при электроэкстракции практически не изменяются, а концентрация серебра существенно снижается, поэтому при реализации процесса электроэкстракции, концентрацию серебра в оборотном электролите поддерживают на уровне не ниже 50 г/дм³.

Еще один важный параметр, который нельзя не учитывать, — это кислотность электролита. В процессе электроэкстракции она увеличивается пропорционально снижению серебра в электролите. Рабочим диапазоном концентраций кислоты в электролите является диапазон значений 10–70 г/дм³, в противном случае, интенсифицируется процесс обратного растворения серебра с катода, что снижает выход по току и увеличивает экологическую нагрузку на участок (выделение NO_x).

Получение марочного серебра на основе сплавов Доре методом электроэкстракции предполагает несколько технологических операций, взаимосвязь между которыми представлена на рисунке 2.7, а в таблице 2.1 приведены базовые условия метода.



Рисунок 2.7 – Схема получения марочного серебра методом электроэкстракции

Таблица 2.1 – Базовые условия для получения марочного серебра методом электроэкстракции

Требование	Операция для выполнения требования	Технологический риск при несоблюдении требований	Последствия при несоблюдении требований
Фракционный состав (-500 ÷ +125) мкм	Измельчение	Недовскрытие материала	Некондиционное NO-Au
Примесный состав электролита	Окислительное рафинирование	Грязный электролит	Некондиционное Ag
Высокая кислотность: C(HNO ₃) > 50 г/дм ³	АЗКР	Обводнение, увеличение солевого фона электролита	Увеличение затрат на переработку
Низкая кислотность: C(HNO ₃) > 50 г/дм ³	АЗКР	Недовскрытие материала	Некондиционное NO-Au

2.2.2.3 Изготовление готовой продукции

Кристаллическое и прочее аффинированное серебро (возврат слитков с дефектами внешнего вида, приемный металл, прокат и др.) плавят и разливают в слитки или в гранулы. Гранулы используют для изготовления мерных слитков или отгрузки потребителю.

2.2.2.3.1 Плавка в стандартные слитки

После установления марки в соответствии с ГОСТ 6836–2002 [23] металл загружают в тигель, расплавляют и разливают в изложницы. При розливе металла в слитки от каждой плавки (садки) отбирают одну огненно-жидкую пробу. Пробу отбирают, отливая часть расплавленного металла в изложницу специальной формы. Сплавленные слитки зачищают и производят набивку серии и номера слитка, года выпуска, товарного знака и надписи «РОССИЯ». После получения анализа на слитки готовой продукции набивают марку, проверяют внешний вид и передают на взвешивание и упаковку.

2.2.2.3.2 Плавка гранул аффинированного серебра

Для получения аффинированного серебра в виде гранул расплавленный металл разливают тонкой струей в специальную емкость, заполненную проточной водой, направляя струю расплавленного металла на специальный пруток (деревянный, виниловый, полиэтиленовый). Полученные гранулы сушат при периодическом перемешивании. После получения результатов анализа гранулы просеивают через сито с размером ячеек 10 мм, взвешивают, затаривают и передают на упаковку либо на плавку мерных слитков. Для изготовления серебряного проката отливку металла производят в специальные вертикальные изложницы.

2.2.2.3.3 Изготовление мерных слитков

Металлом для отливки мерных слитков служат гранулы аффинированного серебра (см. предыдущий раздел). Для плавки мерных слитков набирают навески нужного номинала, загружают в огнеупорные тигли и устанавливают в селитовые или индукционные печи. Розлив металла ведут в предварительно обработанные и подогретые изложницы. Получение гладкой и чистой поверхности слитков обеспечивается за счет пламени газовой горелки (пропан-воздух).

Для выполнения анализа отбирают среднюю пробу от всех навесок, набранных в день плавки. Пробу плавят в режиме плавки слитков.

Полученные слитки нумеруют и зачищают. После получения результатов анализа проверяют внешний вид мерных слитков и передают на взвешивание и упаковку.

2.2.2.3.4 Изготовление серебряных анодов и пластин

Изготовление серебряных анодов и другого проката аффинированного серебра осуществляется из специально отлитых серебряных пластин. Химический состав, геометрическая форма, толщина, маркировка и внешний вид серебряных анодов должен соответствовать заданным требованиям.

Серебряный прокат получают путем проката литых серебряных пластин на прокатном стане до необходимой толщины, разметки пластины и вырубки на гильотине (или на вырубном штампе) необходимой геометрической формы.

2.3 Оборудование аффинажных заводов

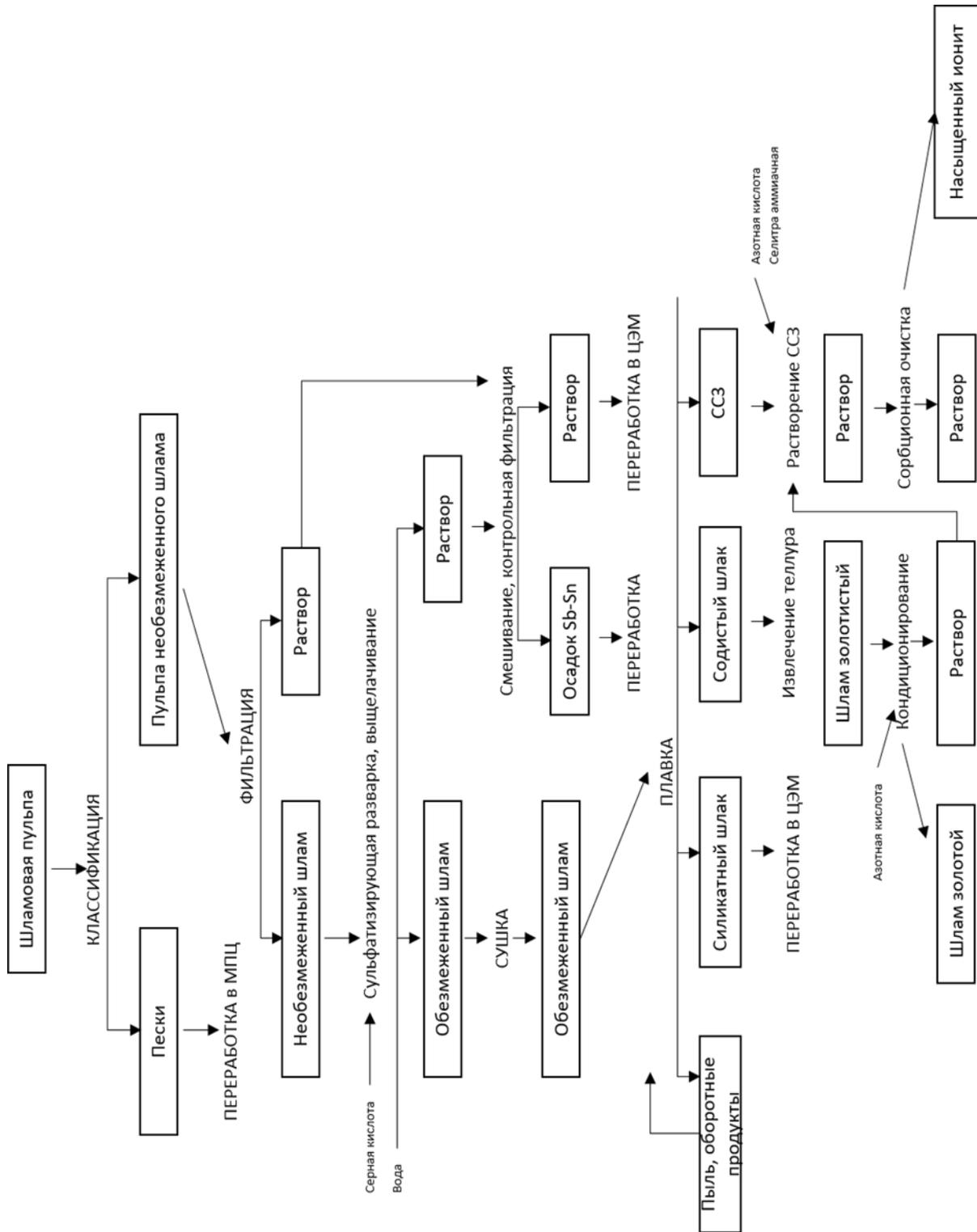
Сведения о типичном оборудовании аффинажных заводов, на котором реализуются основные и вспомогательные процессы производства драгоценных металлов, приведены в приложении Г. Там же сведена воедино информация об оборудовании для очистки газов. Следует отметить, что для решения конкретных технологических задач отдельные виды оборудования производятся непосредственно на предприятиях.

2.4 Действующие технологии производства драгоценных металлов в Российской Федерации

В настоящее время все аффинажные предприятия Российской Федерации производят золото и серебро и четыре (ОАО «Красноярский завод цветных металлов имени В. Н. Гулидова», АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов», ЗАО «Уральские инновационные технологии» и АО «Приокский завод цветных металлов») осуществляют также аффинаж МПГ.

На рисунке 2.8 приведена технологическая схема сорбционной технологии получения концентратов МПГ из растворов. Очевидно, что основным сырьем здесь служат медные шламы, а конечной продукцией — золото в слитках, серебро в слитках, концентрат МПГ (и теллур). Следует отметить, что на данном предприятии — единственном в отрасли — внедрена сорбционная технология получения концентратом МПГ из растворов после растворения серебра.

Технологии производства золота и серебра сегодня включают все основные стадии, указанные в 2.1–2.3, а именно получение лигатурных сплавов после опробования сырья, электролиз и получение готовой продукции, однако отдельные промежуточные стадии могут несколько различаться. Это касается способов вскрытия лигатурных сплавов (электрохимическое растворение, растворение в царской водке, гидрохлорирование) и выделения золота из растворов (электролиз или химическое восстановление).



2.5 Описание экономических аспектов применяемых технологий, методов, решений

В настоящем разделе рассмотрены вопросы, касающиеся оценки затрат промышленных предприятий по производству драгоценных металлов — аффинажных заводов — на реализацию отдельных природоохранных мероприятий, в том числе на приобретение, монтаж, наладку и эксплуатацию оборудования, которое обеспечивает сокращение эмиссий загрязняющих веществ в окружающую среду.

Приводимые данные получены из различных источников: от предприятий, поставщиков технологий и оборудования, консультантов. Используются открытые данные, почерпнутые из сети Интернет, корпоративных докладов и отчетов, научно-технической литературы и др. Однако эта информация не является универсальной и не может быть использована для достоверной оценки необходимых будущих вложений каждого конкретного предприятия в технологии и оборудование, которые позволят сократить выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду. Она отражает лишь примерный масштаб необходимых затрат для реализации природоохранных мероприятий.

Зачастую имеющиеся данные не позволяют дифференцировать затраты по отдельным их компонентам, т. е. разделить общую сумму на затраты, относящиеся к природоохранным мероприятиям, и на затраты, связанные с общей модернизацией производства и пуско-наладочными работами. Таким образом, оценка фактического объема ресурсов, направленных на охрану окружающей среды, крайне затруднительна, поскольку природоохранные мероприятия, как правило, сопряжены с производственным процессом. Единственными чистыми затратами являются затраты и технологии, которые не имеют иных целей, кроме как уменьшение и предотвращение эмиссий загрязняющих веществ в окружающую среду.

Однако само по себе наличие более детальной информации не является однозначной гарантией применимости имеющихся сведений для оценки требуемых предприятиям вложений в технологии и оборудование природоохранного значения. Помимо масштаба предприятия и особенностей технологического процесса производства драгоценных металлов, существенное влияние на потенциальные расходы оказывают и другие факторы:

- логистика и развитость транспортной инфраструктуры, оказывающие непосредственное воздействие на поставку материалов и продукции;
- прямые операционные издержки, связанные, например, с особенностями трудового законодательства и местного рынка труда, климатическими условиями, удаленностью отдельных цехов и участков, наличием и стоимостью энергии и инфраструктуры, специальными требованиями по охране окружающей среды;
- расходы, связанные со сбытом и доступом на рынок, на масштаб которого влияет также развитость транспортной инфраструктуры, климатические условия, структура рынка и ограничения, обусловленные выходом на новые рынки;

- принципиально важна для производства драгоценных металлов конъюнктура рынка: стоимость сырья и используемых в производстве материалов, цена конечной продукции и ее динамика, объем спроса и возможности для расширения производства;
- индивидуальные особенности конкретного инвестиционного проекта: график и протяженность инвестиций во времени, условия поставки и различные сроки эксплуатации оборудования, доступность энергетической и иной инфраструктуры, процентная ставка и доступность кредитных ресурсов, корпоративная структура.

Указанные факторы свидетельствуют о том, что полные и достоверные экономические расчеты возможны только с учетом местных условий и ключевых параметров, влияющих на финансовые показатели предприятий.

В настоящее время в Российской Федерации немаловажную роль в оценке достоверности сведений о затратах аффинажных предприятий оказывает высокая волатильность валютных и финансовых рынков. Поэтому требуется корректировка данных, ибо годовая процентная ставка, расходы на ссудные выплаты, уровень инфляции и валютные курсы в текущий момент времени могут быть несопоставимы с условиями, в которых ранее предприятия осуществляли соответствующие вложения.

Необходимо принимать во внимание и тот факт, что затраты на модернизацию предприятия, с одной стороны, могут содержать значительный валютный вклад, связанный с приобретением, монтажом, наладкой и зачастую эксплуатацией природоохранного и иного оборудования (и технологий). Ввиду существенного изменения курса валют в рублевом эквиваленте этот вклад значительно увеличивается. С другой стороны, рублевые затраты на строительство, приобретение работ и услуг на местном рынке, административные расходы подвержены инфляции. Все это важно учитывать при оценке будущих затрат на модернизацию предприятия и его экологическую результативность. Нельзя не считаться с тем, что строительство отдельных объектов затягивается на годы с момента выделения средств, инфляция влияет на заработную плату, растут административные расходы и стоимость материалов, следовательно, объем затрат увеличивается по сравнению с первоначально утвержденным.

Подытоживая вышесказанное, важно подчеркнуть, что фактические расходы на внедрение природоохранных мероприятий и технологий в производство драгоценных металлов зависит от общей экономической ситуации, налогового режима, доступности финансовых ресурсов, наличия льгот и субсидий, конкретного предприятия и конкретного оборудования.

Ресурсы, которые предприятие может направить на модернизацию производства и реализацию природоохранных мероприятий, зависят в первую очередь от конъюнктуры рынка драгоценных металлов. На этом рынке отдельные предприятия не имеют возможности влиять на цену конечной продукции и хотя бы частично компенсировать затраты на внедрение эффективных технологий и реализацию природоохранных мероприятий. Они не могут также переложить часть своих издержек на поставщиков сырья за счет снижения ими цен на сырье. Цены на драгоценные металлы регулируются котировками на Лондонской бирже металлов (исключение — палладий, поскольку Российская Федерация является основным производителем палладия в мире и может влиять на конъюнктуру рынка). Отсюда можно заключить, что затраты предприятий могут быть

компенсированы практически единственным способом — за счет увеличения объемов производства.

Средства, выделяемые на экологические мероприятия различного рода, неизбежно приводят к увеличению эксплуатационных расходов, но, как правило, не дают такого повышения эффективности производственного процесса, которое может быть получено в результате внедрения мер, направленных на коренную модернизацию производственного процесса. Вместе с тем такой подход связан со значительными капитальными вложениями, остановкой производства и прочими негативными факторами.

Собственный экономический потенциал природоохранных мероприятий незначителен. Сюда можно отнести и внедрение малоотходных технологий, и производство побочной продукции, и полезное использование отходов, образующихся в основном производстве. Однако производство побочных продуктов не имеет устойчивого спроса, потенциал выхода на внешние рынки практически бесперспективен с экономической точки зрения. Затраты же на такое производство неизбежны, поскольку существует необходимость поддержания оборудования в рабочем состоянии, выделения средств на материалы и энергию.

Таким образом, с точки зрения возмещения затрат наиболее целесообразны комплексные меры, предусматривающие экологическую модернизацию производства с перенастройкой производственного процесса в целом, оптимизацией отдельных его звеньев и расширением объемов производства.

Ниже приводятся данные о природоохранных мероприятиях, проводимых предприятиями — производителями драгоценных металлов и затратах на них. Следует отметить, что по большинству заводов, которым разрешен аффинаж драгоценных металлов, какая-либо информация о природоохранных мероприятиях отсутствует. Некоторые предприятия официально подчеркивают важность и социальную ответственность своих коллективов за сохранение окружающей среды и стремление максимально снизить негативное воздействие на природу. Созданы аккредитованные лаборатории, основным направлением деятельности которых является контроль за содержанием вредных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, сточных водах, в почвенном покрове. В целях предотвращения негативного воздействия деятельности предприятий устанавливаются нормативы допустимого воздействия на окружающую среду. Контроль за соблюдением установленных нормативов осуществляется уполномоченными органами государственной власти в рамках своих компетенций.

Деятельность аффинажных предприятий по сбору, транспортировке, обработке, утилизации, обезвреживанию, размещению отходов I–IV классов опасности подлежит лицензированию. Обращение с отходами осуществляется в соответствии с установленными требованиями природоохранного законодательства. Замкнутый технологический цикл, современная система очистки газов, охватывающая все технологические процессы, систематический контроль соблюдения параметров процесса аффинажа — вот три главных фактора, которые обеспечивают надежную защиту природы.

На предприятиях действует система экологического менеджмента в соответствии с ISO 14000. Так, в АО «Кыштымский медеэлектролитный завод» решены следующие экологические проблемы:

ИТС 14–2020

- введена в строй насосная станция оборотной воды и градирен, что позволило организовать замкнутый цикл водоснабжения предприятия;
- установлены новые фильтр-прессы (производства Италии) для очистки промышленных стоков, ливневых стоков;
- на вытяжных вентиляциях медеплавильного и электролизного цехов поставлены импульсные рукавные фильтры, гальванические волокнистые фильтры, скрубберы, каплеуловители (производства России и Финляндии), что обеспечивает допустимый уровень концентраций пыли, аэрозолей меди, никеля, свинца, серебра, серной кислоты в выбросах в атмосферный воздух;
- котельные используют природный газ вместо мазута, за счет чего снизилось содержание в выбросах угарного газа, оксидов азота, диоксида серы;
- смонтированы камеры дожигания газов с целью снижения содержания в газовых выбросах оксида углерода и углеводородов.

К сожалению, конкретные показатели затрат на столь важные природоохранные мероприятия на данном заводе отсутствуют.

Раздел 3 Воздействие на окружающую среду

3.1 Общая характеристика производства

На рисунке 3.1 представлена типовая схема производства драгоценных металлов — золота и серебра. Фактически она включает три основные стадии:

- приемка сырья и его опробование;
- электролитическое рафинирование с получением катодного металла;
- плавка кристаллического золота (серебра) с получением слитков и гранул.

Безусловно, эти три стадии сопровождаются промежуточными операциями, без которых невозможна реализация процесса в полном объеме, как-то:

- получение лигатурных сплавов;
- очистка технологических растворов;
- переработка отходов производства (шлаки, пыли, кеки);
- пыле- и газоочистка.

На каждом предприятии есть свои приемы переработки, которые дополняют данную схему. Так, например, переработка золотосодержащего сырья может включать гидрOMETаллургические стадии растворения лигатурных сплавов в царской водке или методом гидрохлорирования; пирометаллургический процесс Миллера, обеспечивающий удаление основной массы серебра и цветных металлов, сопутствующих золоту, плавку бедных серебряносодержащих материалов с флюсами и получение сплавов, пригодных для аффинажа методом электролиза.

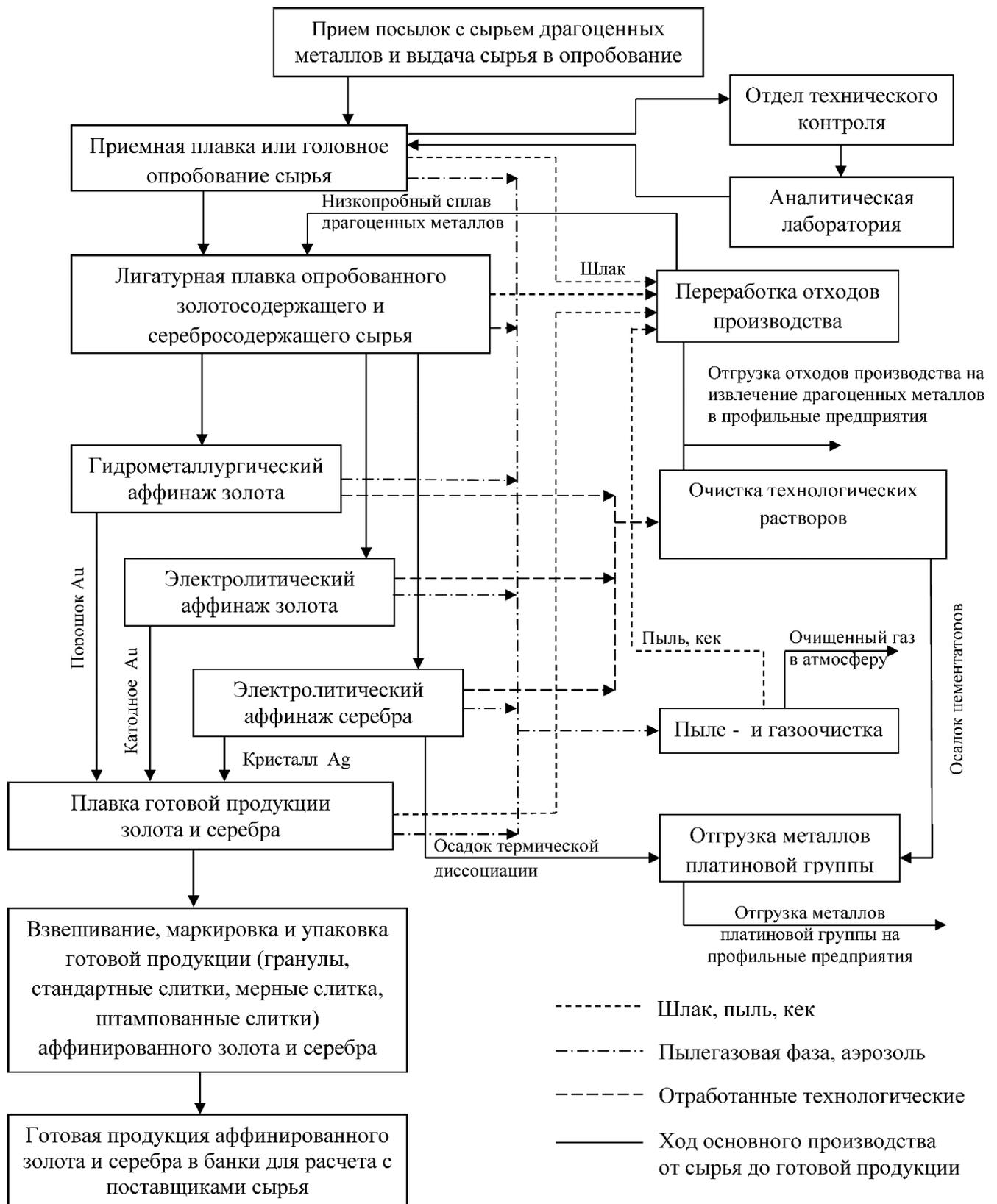


Рисунок 3.1 – Описание технологического процесса аффинажа драгоценных металлов

Охарактеризуем технологии производства драгоценных металлов с точки зрения эмиссий. В производстве драгоценных металлов используются концентрированные кислоты, щелочи, сжиженные газы и подобные реагенты, и условия их транспортировки,

хранения, приготовление рабочих растворов устанавливаются в специальных инструкциях, строгое соблюдение которых является неотъемлемой частью организации общего технологического процесса. Помещения, в которых выполняются работы с драгоценными металлами, являются режимными и оборудованы в соответствии с требованиями режима обеспечения сохранности и конфиденциальности. Все они оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией с локальными отсосами от печей, реакторов и другого вспомогательного оборудования.

Процесс аффинажа сопровождает служба отдела технического контроля (ОТК), которая контролирует соблюдение технологических и рабочих инструкций, проводит отбор проб и выполняет анализ технологических растворов и промежуточных продуктов аффинажа.

3.2 Материальный и энергетический баланс процесса производства драгоценных металлов

3.2.1 Сырье, поступающее на переработку

Современный завод по производству драгоценных металлов перерабатывает в среднем от 150 до 2500 кг сырья в сутки.

Исходным сырьем для получения драгоценных металлов служит:

- содержащее драгоценный металл сырье, добытое из недр, и содержащие драгоценный металл материалы (лигатурное золото в виде слитков, самородное золото), а также промежуточные продукты обогатительно-металлургического производства (шламы, катодные осадки, цинковые осадки);
- содержащее драгоценный металл вторичное сырье — лом и отходы, полученные в результате использования драгоценного металла при производстве из него готовой продукции, в технике и быту (ювелирный лом, лом радиоэлектронной аппаратуры), собираемые (сдаваемые) для последующей переработки и частично переработанные;
- аффинированные драгоценные металлы — золото или серебро в виде стандартных или мерных слитков, анодов с маркировкой, нанесенной аффинажными организациями-производителями, либо в виде гранул в таре, опечатанной пломбами организации-изготовителя, и имеющих соответствующие документы качества.

Перед проведением приемного опробования проверяется радиационный фон поступившего сырья, проводится контроль содержания магнитных компонентов, отбирается проба и выполняется лабораторный анализ на определение массовой доли ртути, мышьяка, сурьмы, свинца.

Схема материальных потоков производства драгоценных металлов представлена на рисунке 3.2.

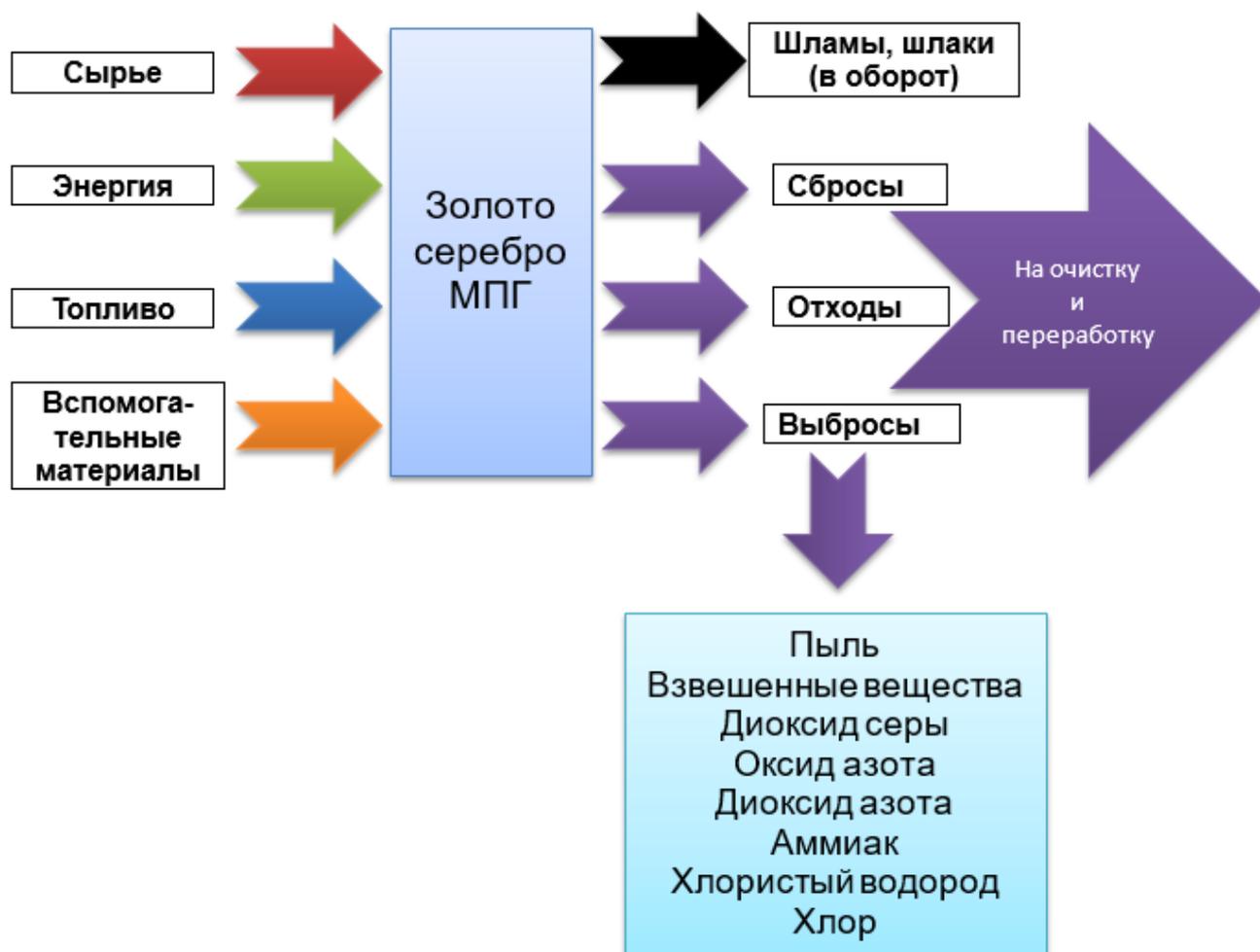


Рисунок 3.2 – Схема материальных потоков производства драгоценных металлов

3.2.2 Обратные продукты

Помимо приемного исходного сырья, которое в зависимости от состава и содержания в них драгоценных металлов подвергается либо приемной, либо лигатурной плавке, в процессе участвуют и обратные продукты. К ним относятся промпродукты производств золота и серебра (шламы электролиза серебра, остатки анодов электролиза золота и серебра, обратные остатки катодного золота, цементное золото после осаждения из маточных растворов), отливки, полученные в результате плавки отходов производства. В процессе плавки шихту легируют, добавляя серебряный или медный лом либо порошок этих металлов, на заданный состав по расчету с целью получения анодов, соответствующего по составу требованиям, предъявляемым к сплавам для основного или предварительного электролиза и доработки (рисунок 3.2).

3.2.3 Вспомогательные материалы и реагенты

В производстве драгоценных металлов используются пирометаллургические, гидрометаллургические, электрохимические процессы, без которых их реализация невозможна. К ним относятся: соляная кислота и азотная кислота (растворение, выщелачивание, электролиз), хлор (гидрохлорирование, процесс Миллера, аффинаж МПГ), серная кислота (выщелачивание, электролиз), кальцинированная сода, бура, сажа, кремнезем,

медный порошок (плавка приемная и лигатурная), аммиак, хлорид аммония (аффинаж МПГ), пиросульфит натрия, сульфат железа(II), нитрит натрия, гидроксид натрия (аффинаж золота и МПГ), гидразин гидрат, мочеви́на, персульфат аммония, железный порошок (переработка отходов, цементация).

Кроме указанных реагентов, необходимы вспомогательные материалы, без которых невозможно осуществлять производство: фильтры бумажные и тканевые, салфетки, мешки, фильтры, газы в баллонах (кислород, пропан, аргон), изложницы, электроды и подобные материалы.

Удельный расход сырьевых материалов на производство 1 кг драгоценных металлов — 0,92 т.

3.2.4 Потребление энергии

Производство драгоценных металлов не является ресурсо- и энергоемким процессом. Средний удельный расход электроэнергии за 2020 год составил 7,1 кВт/кг.

В производстве драгоценных металлов используются такие виды топлива, как природный газ, дизельное топливо, мазут, кокс и др. Удельный расход топлива — 17,7 кг/кг драгоценных металлов.

Дополнительно данные по ресурсной и энергоэффективности, включая удельный расход сырья, электроэнергии и топлива, приведены в приложении В.

3.3 Эмиссии

В результате реализации технологических процессов получения драгоценных металлов и протекания различных химических реакций образуются газообразные продукты (газовые эмиссии, выбросы), отработанные растворы (сбросы), содержащие следы драгоценных металлов, и отходы производства, которые должны быть переработаны и утилизированы. Кроме того, практически на всех технологических переделах принципиально возможны выбросы пыли, содержащей следы металлов. летучих соединений металлов и летучих органических веществ.

В результате анкетирования предприятий, имеющих право осуществлять аффинаж драгоценных металлов, были собраны данные по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу и выявлены наиболее характерные из них для данной отрасли промышленности (таблица 3.1).

3.3.1 Газовые выбросы

3.3.1.1 Выбросы оксидов азота

Основными газообразными соединениями, образующимися при аффинаже драгоценных металлов, являются оксиды азота (NO_x). Их можно дифференцировать на NO и NO_2 , хотя это деление на большинстве заводов не осуществляется. Оксиды азота образуются в гидрометаллургических процессах растворения драгоценных металлов в азотной кислоте (серебро, палладий) и царской водке (золото, платина, палладий), в процессе электролитического рафинирования серебра, при упаривании царсководочных

растворов, при удалении азотной кислоты, при переработке маточных растворов. Основным антропогенным источником являются процессы горения при температуре выше 1000 °С, поэтому оксиды азота в производстве могут образовываться при горении топлива. Оксиды азота относятся к кислотным газам, и занимают второе место после диоксида серы по вкладу в кислотность осадков. ПДК максимальная разовая NO — 0,4 мг/м³, NO₂ — 0,2 мг/м³.

Как правило, выбор методов очистки определяется постоянно меняющимися концентрациями NO_x.

Оксиды азота улавливают в скрубберах, причем для их поглощения используют растворы щелочи или соды. Целесообразно вводить окислитель кислород или пероксид водорода для окисления малых количеств NO.

Таблица 3.1 — Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ аффинажных предприятий Российской Федерации

Загрязняющее вещество	Предприятие								Технологический показатель в справочнике ЕС, мг/м ³
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	Итого	
Диоксид азота	+		+	+	+	+	+	6	70–150
Оксид углерода	+		+	+	+	+	+	6	
Хлористый водород	+			+	+	+	+	5	≤ 5–10
Неорганическая пыль с содержанием кремния менее 20 %, 20–70 %, а также более 70 %		+	+	+		+	+	5	2–5
Диоксид серы	+		+			+	+	4	50–100 50–480 ¹⁾
Хлор	+			+	+		+	4	0,5–2
Свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец			+		+	+	+	4	
Оксид азота			+	+	+	+		4	70–150
Аммиак	+		+					2	1–3
Взвешенные вещества			+		+			2	
Кадмий и его соединения				+			+	2	
Диоксид теллура			+				+	2	
Керосин							+	1	
Ртуть и ее соединения, кроме диэтилртути					+			1	
Серная кислота			+					1	
Мышьяк и его соединения, кроме водорода мышьяковистого			+					1	

¹⁾ От процессов получения сплава Доре, включая процессы сжигания, обжига и сушки.

3.3.1.2 Выбросы SO_2 и H_2SO_4

Выбросы диоксида серы для собственно аффинажного производства малохарактерны. Они образуются при сгорании топлива и в том случае, когда электролитическое рафинирование серебра осуществляется в сернокислых электролитах. В то же время они являются типичными при переработке шламов в процессах обжига (особенно) и выщелачивания и могут достигать около 900 мг/м^3 при ПДК максимальной разовой SO_2 — $0,5 \text{ мг/м}^3$, H_2SO_4 — $0,3 \text{ мг/м}^3$.

Указанные выбросы губительно влияют на здоровье человека, растительный и животный мир, разрушающим образом действуют на оборудование, сооружения, постройки. Свести выбросы к минимуму позволяет контроль исходного сырья и применение мокрых скрубберов.

3.3.1.3 Выбросы хлора и HCl

Хлор используют для растворения металлов методом гидрохлорирования, а также при сухом хлорировании при высоких температурах в процессе аффинажа. Эти газы образуются в процессах упаривания и электролиза. При упаривании растворов образуется азеотропная смесь с концентрацией примерно 20 масс. %. Этот факт учитывается на различных переделах. Хлор широко применяется в процессе Миллера. Хлор утилизируют для повторного использования там, где это возможно, например в герметичных ваннах для электролиза золота и МПГ. Скрубберы служат для удаления остаточных количеств хлора и HCl . ПДК максимальная разовая HCl — $0,2 \text{ мг/м}^3$, Cl_2 — $0,1 \text{ мг/м}^3$.

Заметим, что присутствие хлора в сточных водах может привести к образованию органических соединений хлора, если в них присутствуют растворители и тому подобные вещества.

3.3.1.4 Выбросы аммиака

Аммиак используют в производстве драгоценных металлов, кроме того, он образуется в технологических процессах аффинажа МПГ, а также на тех переделах, где применяют соли аммония. Подобно углекислому и угарному газу, он относится к малоопасным веществам (IV класс опасности), его ПДК в воздухе рабочей зоны составляет 20 мг/м^3 . Повышенная концентрация ионов аммония в воде может быть использована в качестве индикаторного показателя, отражающего ухудшение санитарного состояния объекта.

Эффективными процессами утилизации аммиака являются процесс абсорбции и процесс каталитического окисления аммиака до азота.

3.3.1.5 Выбросы пыли и металлов

Пыль может возникнуть в результате проведения таких операций, как:

- смешение компонентов шихты в смесителе для сыпучих материалов до начала плавки;
- очистка драгоценных металлов и других металлосодержащих отливок следов шлака до начала отбора проб или плавки;

- дробление шлака, отработанных тиглей и огнеупорных материалов в дробилке;
- смешение, дробление, просеивание сырья, содержащего драгоценные металлы, в виде порошков;
- измельчение (дробление) и хранение промежуточных продуктов, полученных при сушке и прокаливании.

Пыль и металлы принципиально могут выделяться в любых пирометаллургических процессах, таких как сжигание, обжиг, плавка и купелирование, присутствовать в неорганизованных выбросах.

В состав пыли могут входить некоторые металлы и их летучие соединения. Например, свинец, который использовали в процессе переработки серебра еще со времен Средневековья и используют до настоящего времени. Расплавленный свинец является хорошим растворителем драгоценных металлов, особенно серебра. Свинец, обогащенный драгоценными металлами, окисляется в печах или кислородных конверторах. Кадмий, входящий в состав специальных сплавов, концентрируется в пылях. Ртуть в небольших концентрациях входит, например, в состав зубных амальгам, порошков или шламов, отходов от растений, аккумуляторных батарей и специальных полароидных пленок. Для переработки таких материалов целесообразно применять высокотемпературную дистилляцию либо вакуумную дистилляцию.

Важным фактором предотвращения выбросов пыли является герметизация печей и вторичный сбор из желобов. В некоторых электрических печах как дополнительный фактор уменьшения выбросов имеются полые электроды.

3.3.1.6 Прочие выбросы

Помимо перечисленных выше компонентов, в газовых выбросах не исключено присутствие оксида углерода и летучих органических соединений.

Оксид углерода выделяется в результате неполного сгорания топлива. Летучие органические соединения могут выделяться в процессах экстракции, в процессах плавки сырья и промпродуктов. Для процессов экстракции объемные расходы потоков, как правило, невелики, что позволяет использовать герметичные или экранированные реакторы и осуществлять сбор и регенерацию растворителей, которые возвращаются в процесс. Кроме того, источником таких веществ является вторичное сырье, содержащее фрагменты органических полимерных соединений. Это обстоятельство необходимо учитывать и осуществлять сортировку сырья.

3.4 Текущие уровни эмиссий на аффинажных предприятиях Российской Федерации

Данные по выбросам вредных веществ в зависимости от применяемых способов производства и технологий на аффинажных предприятиях Российской Федерации приведены в таблицах 3.2–3.9.

ИТС 14–2016

В таблицах применяются следующие обозначения:

ЗВ — наименование загрязняющего вещества;

Г — выброс загрязняющего вещества в год, т;

$K_{\text{ср}}$ — средняя концентрация загрязняющего вещества, мг/м³;

$K_{\text{макс}}$ — максимальная концентрация загрязняющего вещества, мг/м³;

Пыль — неорганическая пыль с содержанием кремния менее 20 %, 20–70 %, а также более 70 %;

Ni — никельрастворимые соли (в пересчете на никель);

As — мышьяк и его соединения, кроме мышьяковистого водорода;

Pb — свинец и его соединения, кроме тетраэтилсвинца, в пересчете на свинец;

Cd — кадмий и его соединения;

As — мышьяк и его соединения, кроме мышьяковистого водорода;

Hg — ртуть и ее соединения, кроме диэтилртути.

Таблица 3.2 – Применяемые технологии и уровни эмиссий на аффинажном предприятии № 1

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт/полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ ¹⁾	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования
1. Золото — гидрохлорирование	1. Хлорирование (раствор после хлорирования). 2. Восстановление (аффинированное золото). 3. Плавка готовой продукции (золото в слитках)	1. Вскрытие сырья методом гидрохлорирования с последующей фильтрацией пульпы. 2. Восстановление золота из полученного золотосодержащего раствора. 3. Плавление золота. Получение слитков	NO _x	61,4	18,1	19,5	Газы проходят локальные системы газоочистки, включая одно- и двухстадийную очистку в аппаратах абсорберах, скрубберах (полых и насадочных), капле-отстойниках. После этого применяется двухступенчатая пылегазоочистка. Первая ступень включает шесть электрофильтров типа КМ-21, установленных параллельно. После первой ступени газы направляются во вторую ступень очистки, состоящую из десяти пенных аппаратов, расположенных также параллельно. Очищенные газы выбрасываются в атмосферу через вентиляционную трубу высотой 120 м, с диаметром устья 4 м
			NH ₃	21,9	4,9	7	
			SO ₂	10,5	1,7	3,3	
			CO	70,4	20,1	22,3	
			Cl ₂	6,6	1,13	2,1	
			HCl	2,4	0,1	0,8	

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт/полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ ¹⁾	Г, т	K _{ср} , мг/м ³	K _{макс} , мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования
2. Серебро — технология с электроэкстракцией целевого компонента	1. Плавка (аноды). 2. Электролиз (аффинированное серебро). 3. Плавка готовой продукции (серебро в слитках)	1. Плавка с флюсами на серебрянозолотой сплав, который направляется на аффинаж. 2. Электролитическое рафинирование серебрянозолотого сплава с получением катодного серебра. 3. Плавка на слитки (при необходимости)					
¹⁾ В анкете предприятие указало данные по выбросам по производству в целом из-за невозможности разделить их на отдельные этапы или по продукции.							

Таблица 3.3 – Применяемые технологии и уровни эмиссий на аффинажном предприятии № 2

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт/полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ ¹⁾	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование источника выброса (объем отходящих газов) и используемого пыле-газоочистного оборудования
1. Серебро — получение серебряного концентрата из медно-никелевых шламов	Этап 1	Сернокислотное выщелачивание огарков медных шламов после окислительного обжига	Ni	0,022	2,052	Нет данных	Дефлектор (0,011 млн м ³) — пресс-фильтр
			Пыль	0,018	1,677	Нет данных	
	Этап 2	Осаждение серебра из сернокислых растворов. Полученный концентрат направляется на аффинаж					
	Этап 3	Отделение нерастворимого остатка фильтрацией пульпы, его промывка и сушка					
¹⁾ В анкете предприятие указало данные по выбросам по производству в целом из-за невозможности разделить их на отдельные этапы или по продукции.							

Таблица 3.4 – Применяемые технологии и уровни эмиссий на аффинажном предприятии № 3

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	$K_{\text{ср}}$, мг/м ³	$K_{\text{макс}}$, мг/м ³	Наименование источника выброса (объем отходящих газов) и используемого пыле-газоочистного оборудования	
1. Золото — царсководочный аффинаж	1. Приемная плавка лигатурного золота (слитки или гранулы)	1. Плавление сырья	Взвеш. в-ва	0,01/ 0,018	10	16	Индукционная печь — фильтр ФВГ-Т-0,37	
			CO	0,25/ 0,346	250	400		
			SO ₂	0,00001/ 0,000006	0,011	0,016		
			NO _x	0,0007/ 0,0035	0,9	1,0		
	2. Плавка золотосодержащих материалов на гранулы (гранулы)	2. Плавка золотосодержащих материалов	Взвеш. в-ва	0,047/0,066	19,730	25,860	Индукционная печь — фильтр ФВГ-Т, ЦБА	
	3. Растворение гранул золотых в царской водке (золотосодержащий раствор)	3. Растворение сырья в царской водке с последующей фильтрацией полученной пульпы	NO ₂	0,65/3,004	743,7	1225	Реактор растворения — фильтры ФАВ-2000, ФВГ-Т-0,37	
			HCl	0,007/0,012	9,265	18		
	4. Разрушение азотной кислоты карбамидом (золотосодержащий раствор)	4. Упаривание золотосодержащего раствора до полного удаления азотной кислоты	Нет данных					

Продолжение таблицы 3.4

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	$K_{ср},$ мг/м ³	$K_{макс},$ мг/м ³	Наименование источника выброса (объем отходящих газов) и используемого пыле-газоочистного оборудования
65	5. Осаждение золота аффинированного пиросульфитом натрия (аффинированное золото)	5. Восстановление золота из полученного золотосодержащего раствора	Нет данных				Реактор осаждения — фильтры ФАВ-2000, ФВГ-Т-0,37
	6. Осаждение золота оборотного пиросульфитом натрия (оборотное золото)	6. Восстановление золота из полученного золотосодержащего раствора	Нет данных				Реактор осаждения — фильтры ФАВ-2000, ФВГ-Т-0,37
	7. Цементация драгметаллов из золотосодержащих растворов железом (в виде пластин, трубок) (цементат)	7. Цементация золота железом	Нет данных				Баковая аппаратура — фильтры ФАВ-2000, ФВГ-Т-0,37
	8. Плавка золота в слитки (золото в слитках)	8. Плавление золота. Получение слитков	NO _x	0,0007/ 0,0035	0,9	1	Индукционная печь — фильтр ФВГ-Т-0,37
		Взвеш. в-ва	0,01/0,018	6,793	12,987		
		SO ₂	0,00001/ 0,000006	0,011	0,016		
		CO	0,25/0,346	250	400		
2. Серебро — технология с электроэкстракцией целевого компонента	1. Растворение серебряно-золотого сплава (золотистый шлам, раствор)	1. Растворение сырья в азотной кислоте	NO ₂	0,45/2,974	458,237	789,474	Реактор растворения серебряно-золотого сплава — абсорберы, ЦБА
	2. Сорбционная очистка растворов азотнокислого серебра от металлов платиновой группы (раствор)	2. Сорбционная очистка полученного раствора нитрата серебра от палладия и платины	NH ₃	0,0025/ 0,034	4,970	8,333	Ванна электролиза металлов платиновой группы (0,001 млн м ³) — фильтр ФВГ-Т-0,37 (выбросы совместные от этапов 2 и 3)

Продолжение таблицы 3.4

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование источника выброса (объем отходящих газов) и используемого пыле-газоочистного оборудования
	3. Гидролитическая очистка растворов азотно-кислого серебра (раствор)	3. Гидролитическая очистка раствора нитрата серебра от примесей меди, теллура и прочих неблагородных примесей	NO ₂	0,006/0,34	1,1	1,34	Реактор гидролитической очистки — фильтр ФВГ-Т-0,37
	4. Электроэкстракция серебра из электролита производства серебра (кристаллическое серебро)	4. Электроэкстракция серебра из очищенного раствора нитрата серебра					Ванна электроэкстракции — фильтр ФВГ-Т
	5. Плавка кристаллического серебра в слитки (серебро в слитках)	5. Плавление катодного серебра. Получение слитков	Взвеш. в-ва	0,03/0,018	18	46	Индукционная печь (0,0026 млн м ³) — фильтр ФВГ-Т-0,37
			СО	0,035/0,018	31,800	54	
3. Серебро — производство золотосеребряного сплава	1. Сульфатизирующая разварка необезмеженного шлама в серной кислоте	1. Перевод содержащихся в необезмеженном шламе нерастворимых соединений меди в воднорастворимые соединения (пульпа, раствор)	H ₂ SO ₄	0,016/0,093	12,503	18,750	Реактор обезмеживания (0,0035 млн м ³)
	2. Выщелачивание сульфатизированного необезмеженного шлама	2. Перевод водорастворимых соединений меди в раствор (пульпа, раствор)	SO ₂	1/7,776	919,750	1100	
			SO ₂	1/7,776	919,750	1562,500	Выщелачиватель (0,0035 млн м ³) (совместно с 1 этапом)

Окончание таблицы 3.4

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование источника выброса (объем отходящих газов) и используемого пыле-газоочистного оборудования
67	3. Фильтрация раствора установки выщелачивания	3. Получение отфильтрованного обезмеженного шлама (обезмеженный шлам)	Нет выброса Выброс идет в отделение пылеулавливания и газоочистки				Нет данных
	4. Сушка обезмеженного шлама	4. Снижение влажности обезмеженного шлама (обезмеженный шлам)					
	5. Плавка обезмеженного шлама	5. Плавка сырья (золотосеребряный сплав)					
	6. Пылеулавливание и газоочистка	6. Достижение норм ПДВ (отходящие газы)					
			NO _x	0,279/5,4	13	17	Плавильные печи, щековая дробилка, шаровая мельница, электрическая печь, возгоночный аппарат, электролизная ванна, вакуумсушилка, циркуляционный бак (0,06 млн м ³) — электрофильтры — 2 шт., скруббер Вентури — 3 шт., скруббер орошения — 2 шт.
			Ni	0,0015/ 0,047	0,045	0,085	
			As	0,02/0,315	0,500	0,903	
			Пыль	0,646/ 14,311	25,378	30,756	
			Pb	0,012/0,283	0,51	0,63	
			H ₂ SO ₄	0,2/6,307	7,434	11,287	
			SO ₂	5/2,8	100	282,167	
			TeO ₂	0,015/0,205	0,323	0,9	
			CO	15,516	34,399	56,433	
		Seобщ	0,031/0,59	1,5	1,8		
		Cu	0,0025/0,05	0,1	0,15		
		Zn	0,00015/ 0,05	0,02	0,03		

Таблица 3.5 – Применяемые технологии и уровни эмиссий на аффинажном предприятии № 4

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	$K_{\text{ср}}$, мг/м ³	$K_{\text{макс}}$, мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования	
1. Золото — Царсководочный аффинаж	1. Плавка (гранулы)	1. Плавка гранул	NO ₂	0,054	8,011	16,022	Модульный фильтр с автоматической очисткой кассет	
			NO	0,009	1,950	3,899		
			Cd	$4 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-4}$	0,001		
			Ni	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$3 \cdot 10^{-5}$		
			Пыль	$1,2 \cdot 10^{-4}$	0,026	0,053		
			CO	0,087	19,369	38,526		
	2. Аффинаж (губка)	2. Получение золота	NO ₂	0,002	0,064	0,128	Центробежно-барботажный аппарат — 2 ступени	
			NO	$2,8 \cdot 10^{-4}$	0,01	0,021		
			CO	0,019	0,800	1,600		
			Cl ₂	0,003	0,121	0,242		
			HCl	0,002	0,273	0,447		
	3. Плавка (слиток)	3. Плавка золотой губки	Cd	10^{-5}	0,014	0,028	Стационарный механический фильтр MF-3000	
			Ni	10^{-6}	$5 \cdot 10^{-4}$	0,001		
			Пыль	$4 \cdot 10^{-4}$	0,314	0,628		
	Производство в целом			NO ₂	0,056	8,075	16,150	
				NO	0,009	1,960	3,920	
				Cd	$1,4 \cdot 10^{-5}$	0,0145	0,029	
				Ni	$1,1 \cdot 10^{-6}$	0,0005	0,001	
				Пыль	$5,2 \cdot 10^{-4}$	0,340	0,681	
			CO	0,106	20,169	40,126		
			Cl ₂	0,003	0,121	0,242		
			HCl	0,002	0,273	0,447		

Продолжение таблицы 3.5

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования
2. Серебро — электролиз	1. Аффинаж — растворение серебра на электролит, электролиз серебра, промывка катодных осадков, сушка (катодный осадок)	1. Электролиз серебра	NO ₂	0,537	0,064	0,128	0,004 млн м ³ Центробежно-барботажный аппарат
			O	2,8·10 ⁻⁴	0,010	0,021	
			CO	0,019	0,800	1,600	
			Cl ₂	0,003	0,121	0,242	
	2. Плавка — плавка серебра (слиток)	2. Плавка серебра	NO ₂	0,054	23,865	12	0,006 млн м ³ Модульный фильтр с автоматической очисткой кассет
			NO	0,009	3,878	1,500	
			Cd	5·10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	0,004	
			Ni	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	0,001	
			Пыль	6·10 ⁻⁵	0,005	0,053	
			CO	0,043	19,300	38,317	
Производство в целом			NO ₂	0,591	12,064	23,993	
			NO	0,001	1,500	3,900	
			Cd	5·10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	0,004	
			Ni	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	0,001	
			Пыль	6·10 ⁻⁵	0,005	0,053	
			CO	0,062	39,917	27,300	
			Cl ₂	0,0033	0,242	0,121	
			HCl	0,002	0,500	0,200	
3. Палладий — осадительная технология	1. Аффинаж (губка палладия)	1. Аффинаж палладия	NO ₂	0,001	0,100	0,200	Центробежно-барботажный аппарат
			NO	10 ⁻⁴	0,015	0,030	
			CO	0,001	0,120	0,250	
			HCl	0,003	0,400	0,790	

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	$K_{\text{ср}}$, мг/м ³	$K_{\text{макс}}$, мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования
	2. Плавка (слиток)	2. Плавка палладия	NO ₂	0,050	0,460	0,925	Модульный фильтр с автоматической очисткой кассет
			NO	0,005	0,750	1,500	
			CO	0,050	4,850	10,500	
			Cd	4·10 ⁻⁶	0,001	0,002	
			Пыль	10 ⁻⁴	0,010	0,020	
	Производство в целом		NO ₂	0,051	0,560	1,125	
			NO	0,005	0,765	1,530	
			CO	0,051	4,970	10,750	
			Cd	10 ⁻⁶	0,001	0,002	
			Пыль	10 ⁻⁴	0,010	0,020	
			HCl	0,003	0,400	0,790	
4. Платина — осадительная технология	1. Аффинаж (губка платины)	1. Аффинаж платины	NO ₂	0,001	0,100	0,200	Центробежно-барботажный аппарат
			NO	10 ⁻⁴	0,015	0,030	
			CO	0,001	0,120	0,250	
			HCl	0,003	0,400	0,790	
	2. Плавка (слиток)	2. Плавка гранул	NO ₂	0,050	0,460	0,925	Модульный фильтр с автоматической очисткой кассет
			NO	0,005	0,750	1,500	
			CO	0,050	4,850	10,500	
			Cd	4·10 ⁻⁶	0,001	0,002	
			Пыль	10 ⁻⁴	0,010	0,020	

Окончание таблицы 3.5

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полу-продукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования
	Производство в целом		NO ₂	0,051	0,560	1,125	
			NO	0,005	0,765	1,530	
			CO	0,051	4,970	10,750	
			Cd	4·10 ⁻⁶	0,001	0,002	
			Пыль	10 ⁻⁴	0,010	0,020	
			HCl	0,003	0,400	0,790	

Таблица 3.6 – Применяемые технологии и уровни эмиссий на аффинажном предприятии № 5

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования (объем отходящих газов)
1. Золото — хлорирование расплава золотосодержащего сырья + электрохимическое рафинирование золота	1. Приемное опробование золотосодержащего сырья (приемная плавка, приемное растворение) (слитки, гранулы, раствор, нерастворимые остатки)	1.1. Плавка сырья с флюсами (сода, бура, селитра, уголь и др.). 1.2. Кислотное выщелачивание золотосодержащего сырья. 1.3. Фильтрация растворов. 1.4. Сушка нерастворимого остатка	NO ₂	0,001	0,387	0,550	Пылевой 2-ступенчатый малогабаритный фильтр ВЭМ-II-б, абсорбер ФАБ-2000, скруббер (155,83 млн м ³)
			NO	2·10 ⁻⁴	0,063	0,090	
			Взвеш. в-ва	0,521	3,570	6,690	
			Hg	0,001	0,0179	0,0318	
			Pb	0,002	0,037	0,070	
			CO	0,328	6,970	10	

Продолжение таблицы 3.6

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования (объем отходящих газов)
	2. Хлорное рафинирование расплава (процесс Миллера) (аноды для электролиза, первичные хлоридные шлаки)	2.1. Подача газообразного хлора в расплав золота с примесями. 2.2. Удаление из расплава (слив) примесей в виде первичных хлоридных шлаков. 2.3. Отливка анодов для электролиза из рафинированного золота	NO ₂	0,023	1,469	2,330	(120,51 млн м ³) рукавный фильтр КФЕ-144А, рукавный фильтр КФЕ-48Б
			NO	0,004	0,230	0,370	
			Взвеш. в-ва	0,164	4,800	9,400	
			Pb	0,001	0,034	0,064	
			CO	0,893	7,459	10	
			Cl ₂	0,004	0,373	0,690	
	3. Приготовление электролита (электролит)	3.1. Приготовление электролита растворением гранул золота в растворе царской водки (смесь азотной и соляной кислот). 3.2. Фильтрация электролита с последующей корретировкой содержания золота и кислот	NO ₂	1,012	19,585	39,060	98,07 млн м ³ — волоконный фильтр, насадочный скруббер, пленочные абсорберы
			Взвеш. в-ва	0,035	0,690	1,180	

Продолжение таблицы 3.6

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	K _{ср} , мг/м ³	K _{макс} , мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования (объем отходящих газов)
	4. Переработка отработанного электролита (восстановленный осадок золота, маточный раствор, содержащий МПГ, аноды, гранулы)	4.1. Разложение остаточной азотной кислоты карбамидом. 4.2. Селективное осаждение золота из раствора восстановителями, передача маточного раствора для последующего извлечения металлов платиновой группы. 4.3. Фильтрация, сушка осадка восстановленного золота. 4.4. Плавка восстановленного золота в аноды для электролиза или в гранулы для приготовления электролита	Выбросы от оборудования по данному этапу в связи с невозможностью более детального их разделения по этапам учтены в составе выбросов от оборудования, указанных в третьем этапе				
	5. Электрохимическое рафинирование золота (царсководочный электролиз) (катодное золото)	5.1. Электролиз с растворимыми анодами в царсководочном электролите с получением катодного золота требуемой для готовой продукции чистоты. 5.2. Промывка, сушка катодного золота. 5.3. Электрохимическое рафинирование золота (царсководочный электролиз). 5.4. Фильтрация, промывка, сушка катодного золота	Выбросы от оборудования по данному этапу в связи с невозможностью более детального их разделения по этапам учтены в составе выбросов от оборудования, указанных в третьем этапе				

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	$K_{\text{ср}}$, мг/м ³	$K_{\text{макс}}$, мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования (объем отходящих газов)
	6. Изготовление готовой продукции из катодного (аффинированного) золота готовой продукции (слитки, гранулы)	6.1. Плавка катодного золота с получением слитков, гранул. 6.2. Опробование гранул					
	7. Переработка первичных хлоридных шлаков (слитки, вторичные хлоридные шлаки)	7.1. Разделительная плавка шлаков с целью извлечения остаточного количества золота. 7.2. Удаление из расплава (слив) серебросодержащих вторичных хлоридных шлаков для последующего извлечения серебра					
	8. Переработка шламов электролиза (концентрат МПГ)	8.1. Фильтрация электролита, промывка, сушка концентрата для последующего извлечения МПГ					

Продолжение таблицы 3.6

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования (объем отходящих газов)
	9. Переработка низкопробного золотосодержащего сырья (гранулы, слитки)	9.1. Плавка низкопробного сплава в гранулы методом диспергирования расплава. 9.2. Азотнокислое выщелачивание, фильтрация нерастворимого остатка, сушка. 9.3. Плавка золотосодержащего нерастворимого остатка в слитки. 9.4. Хлорное рафинирование расплава (процесс Миллера)	Нет данных				
2. Серебро — переработка серебряносодержащего сырья	1. Приемное опробование серебряносодержащего сырья (приемная плавка, приемное растворение) (слитки, гранулы, раствор, нерастворимые остатки)	1.1. Плавка сырья с флюсами (сода, бура, селитра, уголь и др.). 1.2. Кислотное выщелачивание серебряносодержащего сырья. 1.3. Фильтрация растворов. 1.4. Сушка нерастворимого остатка	NO ₂	1,2·10 ⁻⁴	0,011	0,087	214,086 млн м ³ Рукавный фильтр КФЕ-48-Б, циклон-осадитель
			NO	1,9·10 ⁻⁴	0,078	0,013	
			Взвеш. в-ва	0,435	2,450	4,700	
			Pb	0,002	0,005	0,010	
			CO	0,244	5,070	10	
	2. Плавка слитков (аноды)	2.1. Плавка высокопробного сырья и слитков, полученных по 1-му и 8-му этапам с отливкой анодов	NO ₂	0,004	0,311	0,550	108,841 млн м ³ Рукавный фильтр КФЕ-48Б
			NO	6,3·10 ⁻⁴	0,051	0,090	
			Взвеш. в-ва	0,272	3,300	6,400	
			Pb	0,002	0,020	0,040	

75

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования (объем отходящих газов)	
76	3. Приготовление электролита (электролит)	3.1. Растворение высокопробного серебра в азотной кислоте.	NO ₂	0,008	14,850	29,590	150,389 млн м ³ Орошаемый скруббер, рамные фильтры Д-28	
		3.2. Фильтрация электролита с последующей корретировкой содержания серебра и кислоты	Взвеш. в-ва	0,015	0,320	0,440		
	4. Электрохимическое рафинирование (катодное серебро в кристаллах)	4.1. Электролиз с растворимыми анодами с получением катодного серебра. 4.2. Промывка, сушка катодного серебра	NO ₂	1,280	22,990	42,900	116,464 млн м ³ Волокнистый фильтр	
			Взвеш. в-ва	0,012	0,200	0,200		
	5. Изготовление готовой продукции из катодного (аффинированного) серебра (слитки, гранулы, кристалл, пластины)	5.1. Плавка катодного серебра с получением слитков, гранул, пластин аффинированного серебра. 5.2. Сушка, рассев и опробование катодного серебра с целью получения готовой продукции аффинированного серебра в кристаллах. 5.3. Прокат пластин из аффинированного серебра в размер с целью получения готовой продукции из аффинированного серебра в виде анодов	Выбросы от оборудования по данному этапу в связи с невозможностью более детального их разделения по этапам учтены в составе выбросов от оборудования, указанных в первом этапе					

Продолжение таблицы 3.6

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования (объем отходящих газов)
	6. Переработка шламов электролиза (золотосодержащий концентрат (слитки))	6.1. Азотнокислое выщелачивание, фильтрация нерастворимого остатка, сушка. 6.2. Плавка нерастворимого остатка в слитки для последующего извлечения золота. 6.3. Осаждение хлорида серебра из фильтрата, фильтрация, промывка, сушка. 6.4. Восстановительная плавка хлорида серебра в слитки для последующего переплава в аноды для электрохимического рафинирования	Выбросы от оборудования по данному этапу в связи с невозможностью более детального их разделения по этапам учтены в составе выбросов от оборудования, указанных в четвертом этапе				
	7. Переработка вторичных хлоридных шлаков (слитки, третичные хлоридные шлаки) — третичные хлоридные шлаки отгружаются на перерабатывающие предприятия с целью извлечения ДМ	7.1. Восстановительная плавка серебра в слитки для последующего переплава в аноды для электрохимического рафинирования. 7.2. Измельчение и опробование третичных хлоридных шлаков	Выбросы от оборудования по данному этапу в связи с невозможностью более детального их разделения по этапам учтены в составе выбросов от оборудования, указанных в первом этапе.				

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	K _{ср} , мг/м ³	K _{макс} , мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования (объем отходящих газов)
	8. Переработка низкопробного серебро-содержащего сырья (гранулы, слитки, шлаки) — шлаки отгружаются на перерабатывающие предприятия с целью извлечения ДМ	8.1. Плавка низкопробного сплава в гранулы методом диспергирования расплава. 8.2. Азотнокислое выщелачивание, фильтрация нерастворимого остатка, сушка. 8.3. Плавка нерастворимого остатка в слитки для последующего извлечения золота. 8.4. Осаждение хлорида серебра, фильтрация, промывка, сушка, восстановительная плавка в слитки	Выбросы от оборудования по данному этапу в связи с невозможностью более детального их разделения по этапам учтены в составе выбросов от оборудования, указанных в первом этапе.				
	9. Сорбционная очистка отработанного электролита (раствор, содержащий МПГ, очищенный электролит)	9.1. Сорбционная очистка отработанного электролита ионообменной смолой. 9.2. Десорбция (регенерация) смолы с целью получения платино-, палладийсодержащего раствора. 9.3. Переработка раствора, содержащего МПГ, по действующей технологии осаждения солей МПГ	Нет данных				

Продолжение таблицы 3.6

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования (объем отходящих газов)	
3. Платина — экстракционная технология	1. Вскрытие платиносодержащего сырья и оборотных промпродуктов с содержанием платины (раствор платиносодержащий, нерастворимый остаток)	1.1. Гидрохлорирование сырья и промпродуктов в растворе соляной кислоты под действием хлора. 1.2. Фильтрация, сушка, прокаливание нерастворимого остатка. 1.3. Восстановление золота из платиносодержащего раствора сульфитом натрия. 1.4. Восстановление иридия из платиносодержащего раствора сахаром	Cl ₂	0,075	2,045	4,035	(148,14 млн м ³) пленочный адсорбер, насадочный скруббер, волокнистый фильтр	
			HCl	0,210	2,965	5,530		
			NH ₃	0,007	0,110	0,120		101,18 млн м ³
			Взвеш. в-ва	0,025	0,290	0,380		
	Cl ₂	0,004	0,061	0,062				
	HCl	0,041	0,720	0,840				
	2. Экстракционная очистка платиносодержащего раствора (реэкстракт платины, рафинат МПГ)	2.1. Экстракционная очистка платины от вульгарных примесей неблагородных металлов и МПГ.	NH ₃	0,007	0,110	0,120	101,18 млн м ³	
			Взвеш. в-ва	0,025	0,290	0,380		
			Cl ₂	0,004	0,061	0,062		
			HCl	0,041	0,720	0,840		
3. Осаждение хлорплатината аммония (хлорплатинат аммония (ХПА), платиновая губка)	3.1. Осаждение ХПА хлористым аммонием из реэкстракта платины. 3.2. Прокалка ХПА с получением платиновой губки	NH ₃	0,003	0,108	0,109	119,22 млн м ³ Насадочный скруббер, волокнистый фильтр		
		Взвеш. в-ва	7,4·10 ⁻⁴	0,385	0,570			
		Cl ₂	0,001	0,053	0,054			
		HCl	0,006	0,495	0,840			

Продолжение таблицы 3.6

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования (объем отходящих газов)
	4. Получение готовой продукции в виде платины аффинированной в порошке (ГП в виде платины в порошке)	4.1. Измельчение платиновой губки. 4.2. Опробование порошка на соответствие требованиям ГОСТ	Выбросы от оборудования по данному этапу в связи с невозможностью более детального их разделения по этапам учтены в составе выбросов от оборудования, указанных в первом этапе				
	5. Получение готовой продукции в виде платины аффинированной в слитках (ГП в виде платины в слитках)	5.1. Вакуумная плавка платиновой губки в среде аргона. 5.2. Механическая обработка слитков фрезерованием. 5.3. Опробование слитков на соответствие требованиям ГОСТ	Взвеш. в-ва	0,001	0,205	0,210	105,26 млн м ³
	6. Электрохимическая переработка отработанных растворов (катодный осадок, содержащий ДМ, сбросной раствор для утилизации, соли утилизации)	6.1. Электролиз отработанных растворов с получением катодного осадка, содержащего ДМ. 6.2. Промывка, фильтрация, сушка с последующей передачей на гидрохлорирование для дальнейшего извлечения ДМ. 6.3. Утилизация сбросных растворов упариванием с получением отходов производства в виде солей	Нет данных				

Продолжение таблицы 3.6

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования (объем отходящих газов)
4. Палладий — осадительная технология	1. Вскрытие палладийсодержащего сырья и оборотных промпродуктов, содержащих палладий	1.1. Гидрохлорирование сырья и промпродуктов в растворе соляной кислоты под действием хлора. 1.2. Фильтрация, сушка, прокаливание нерастворимого остатка. 1.3. Восстановление золота из платиносодержащего раствора сульфитом натрия. 1.4. Восстановление иридия из платиносодержащего раствора сахаром	Cl ₂	0,037	2,045	4,035	148,14 млн м ³ Пленочный адсорбер, насадочный скруббер, волокнистый фильтр
			HCl	0,052	2,965	5,530	
	2. Осаждение хлорплатината аммония	2.1. Осаждение ХПА хлористым аммонием из раствора гидрохлорирования. 2.2. Прокалка ХПА с получением черновой платиновой губки для последующего извлечения платины	NH ₃	0,001	0,108	0,109	119,22 млн м ³ Насадочный скруббер, волокнистый фильтр
			Взвеш. в-ва	3,7·10 ⁻⁴	0,385	0,570	
			Cl ₂	7·10 ⁻⁴	0,053	0,054	
			HCl	0,003	0,495	0,840	
		3. Осаждение хлорпалладата аммония	3.1. Осаждение ХПДА хлористым аммонием. 3.2. Фильтрация раствора от нерастворимого остатка ХПДА	Выбросы от оборудования по данному этапу в связи с невозможностью более детального их разделения по этапам учтены в составе выбросов от оборудования, указанных во втором этапе			

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	$K_{\text{ср}}$, мг/м ³	$K_{\text{макс}}$, мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования (объем отходящих газов)	
	4. Аммиачное выщелачивание ХПДА	4.1. Растворение ХПДА в аммиачном растворе. 4.2. Фильтрация, сушка, прокаливание нерастворимого остатка	NH ₃	0,003	0,110	0,120	101,18 млн м ³	
			Взвеш. в-ва	0,013	0,290	0,380		
			Cl ₂	0,002	0,061	0,062		
			HCl	0,021	0,720	0,840		
	5. Очистка от примесей палладийсодержащего раствора	5.1. Восстановление золота раствором сульфата железа. 5.2. Фильтрация, сушка нерастворимого остатка. 5.3. Окисление платины раствором персульфата аммония. 5.4. Фильтрация, сушка нерастворимого остатка	Выбросы от оборудования по данному этапу в связи с невозможностью более детального их разделения по этапам учтены в составе выбросов от оборудования, указанных в четвертом этапе					
	6. Осаждение хлорпалладозоамина (ХПЗ)	6.1. Осаждение ХПЗ соляной кислотой из раствора после окисления платины. 6.2. Фильтрация, сушка ХПЗ	NH ₃	0,001	0,108	0,109	119,22 млн м ³ Насадочный скруббер, волокнистый фильтр	
			Взвеш. в-ва	$3,7 \cdot 10^{-4}$	0,385	0,570		
			Cl ₂	$6,3 \cdot 10^{-4}$	0,053	0,054		
			HCl	0,003	0,495	0,840		

Окончание таблицы 3.6

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	$K_{\text{ср}}$, мг/м ³	$K_{\text{макс}}$, мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования (объем отходящих газов)
	7. Получение готовой продукции в виде палладия аффинированного в порошке	7.1. Восстановление ХПЗ муравьиной кислотой и гидроксидом натрия. 7.2. Фильтрация, промывка порошка водой и азотной кислотой. 7.3. Сушка восстановленного порошка палладия. 7.4. Прокаливание, восстановление в токе азотно-аммиачной смеси, измельчение и опробование	Выбросы от оборудования по данному этапу в связи с невозможностью более детального их разделения по этапам учтены в составе выбросов от оборудования, указанных в первом этапе				
	8. Получение готовой продукции в виде палладия аффинированного в слитках	8.1. Плавка в среде вакуума под действием инертного газа (аргон). 8.2. Механическая обработка слитков фрезерованием. 8.3. Опробование слитков на соответствие требованиям ГОСТ	Нет данных				105,26 млн м ³
	9. Электрохимическая переработка отработанных растворов	9.1. Электролиз отработанных растворов с получением катодного осадка, содержащего ДМ. 9.2. Промывка, фильтрация, сушка с последующей передачей на гидрохлорирование для дальнейшего извлечения ДМ. 9.3. Утилизация сбросных растворов упариванием с получением солей	Нет данных				Нет данных

Таблица 3.7 – Применяемые технологии и уровни эмиссий на аффинажном предприятии № 6

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт/полупродукт)	Применяемая технология	ЗВ	Г, т	К _{ср} , мг/м ³	К _{макс} , мг/м ³	Наименование источника выброса (объем отходящих газов) и используемого пыле-газоочистного оборудования
1. Золото — гидрохлорирование	1. Растворение золота (раствор) — растворение в соляной кислоте	1. Экзотермическое растворение золота	HCl	0,014	3	3	4,65912 млн м ³ Промывная башня
	2. Осаждение золота (золотой песок) — осаждение пиросульфитом натрия	2. Восстановительное осаждение	Пыль	0,223	82,200	82,200	0,465 912 млн м ³ Рукавный фильтр
2. Серебро — переработка шлама, образующегося при рафинировании черновой меди	1. Растворение меди и никеля (обезмеженный шлам)	1. Автоклавное выщелачивание	SO ₂	0,129	6	6	21,5975 млн м ³ КЦТ-500
	2. Обжиг шлама (огарок)	2. Термическая обработка шлама	Пыль	3,727	114	114	116,30544 млн м ³ КЦТ-400
			SO ₂	0,058	3	3	
	3. Получение сплава серебряно-золотого (серебряно-золотой сплав)	3. Пирометаллургическая плавка	NO ₂	1,616	6,670	6,670	259,0128 млн м ³ ФРИ-500-1
			NO	5,706	23,550	23,550	
Пыль			12,449	70	70		
			Pb	0,275	3	3	
			SO ₂	20,111	83	83	
			CO	35,981	148	148	
	4. Электролиз серебра (кристаллическое серебро)	4. Электролитическое рафинирование	NO ₂	0,784	77,930	77,930	45,58428 млн м ³ Промывная башня, каплеуловитель КЦТ-400
NO			0,894	80,990	80,990		
SO ₂			0,006	0,500	0,500		
	5. Плавление (слитки и гранулы)	5. Плавка в электропечи	Пыль	2,011	82,200	82,200	4,193 208 млн м ³ Рукавный фильтр

Таблица 3.8 – Применяемые технологии на аффинажном предприятии № 7

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология
1. Золото — царсководочный аффинаж	1. Прием посылок с сырьем содержащим драгоценные металлы и выдача сырья на приемную плавку или головное опробование сухим методом	
	2. Проведение приемной плавки и/или головного опробования (сухого материала) сырья, содержащего драгоценные металлы, в производство	
	3. Лигатурная плавка минерального и вторичного золотосодержащего сырья	Расплавление принятого на аффинаж золотосодержащего сырья с богатыми оборотными полупродуктами и медным ломом или порошком. Отливка металла в гранулы или аноды.
	4. Электролиз с растворимым анодом в растворах хлороводородной кислоты	Электролиз с растворимым анодом в растворах хлороводородной кислоты
	5. Растворение сырья в царской водке с последующей фильтрацией полученной пульпы	Растворение сырья в царской водке с последующей фильтрацией полученной пульпы
	6. Восстановление золота из полученного золотосодержащего раствора сульфитом натрия	Восстановление золота из полученного золотосодержащего раствора сульфитом натрия
	7. Доосаждение золота из обедненных маточных растворов	Доосаждение золота из обедненных маточных растворов
	8. Плавка аффинированного катодного золота и золотого порошка	Плавка аффинированного катодного золота и золотого порошка, в стандартные слитки и гранулы
	9. Восстановление хлористого серебра с последующей фильтрацией пульпы	Восстановление хлористого серебра
	10. Очистка отработанных технологических растворов аффинажа золота	

Способ производства	Наименование этапа технологического процесса (продукт / полупродукт)	Применяемая технология
2. Серебро — электролиз серебра	Прием посылок с сырьем содержащим драгоценные металлы и выдача сырья на приемную плавку или головное опробование сухим методом	
	Проведение приемной плавки и/или головного опробования (сухого материала) сырья, содержащего драгоценные металлы и выдача сырья содержащего драгоценные металлы в производство	
	Лигатурная плавка серебрясодержащего сырья, и оборотных полупродуктов	Лигатурная плавка серебрясодержащего сырья, и оборотных полупродуктов
	Приготовление электролита для проведения электролиза серебра	Приготовление электролита для проведения электролиза серебра
	Электролиз серебра	Электролиз серебра
	Доработка растворов электролиза серебра	Осаждение хлорида серебра из отработанных электролитов
	Восстановление хлористого серебра с последующей фильтрацией пульпы	Восстановление хлористого серебра
	Очистка отработанных технологических растворов аффинажа серебра	Нейтрализация отработанных технологических растворов
	Плавка отходов производства на кондиционный шлак	Окислительно-восстановительная плавка
	Дробление и измельчение отходов производства	Дробление и измельчение отходов производства
	Плавка аффинированного кристалла серебра	Плавка аффинированного кристалла серебра в стандартные слитки и гранулы

Таблица 3.9 – Источники и уровни эмиссий на аффинажном предприятии № 7

Наименование этапа технологического процесса (продукт/полупродукт)	Наименование источника выброса (объем отходящих газов)	Выбросы	Годовая масса, т	Средняя концентрация, мг/м ³	Наименование используемого пыле-газоочистного оборудования
Производство в целом	1. Печь ДС-05 (бортовой отсос) (0,00000211 млн м ³)	NO ₂	3,4·10 ⁻⁴	0,16	ФРИГ-144, рукавный фильтр
		Cd	2,9·10 ⁻⁵	0,009	
		Pb	1,3·10 ⁻⁴	0,044	
		Пыль	0,019	6,950	
		SO ₂	0,009	2,670	
		TeO ₂	2,2·10 ⁻⁵	2,2·10 ⁻⁵	
		CO	0,039	16,9	
	2. Общеобменная вентиляция от печи ДС-05, отсос от изложницы-ванны к печи ДС-05 (0,00000704 млн м ³)	Пыль	0,007	0,7	ФРИГ-288, рукавный фильтр
		Pb	7·10 ⁻⁶	7·10 ⁻⁴	
	3. Дробилка, вибросито, место пересыпки с транспортера, стол разделки проб, мельница, ступка, сито, мельница, мешалка (0,00000335 млн м ³)	Пыль	0,007	1,780	ФРИГ-144, рукавный фильтр
		Pb	6,5·10 ⁻⁵	0,014	
	4. Электролиз золота 0,0000018 млн м ³	Cl ₂	0,003	0,160	Ватный фильтр по режимным требованиям, Центробежный барбатажный аппарат
		HCl	0,002	1,080	

3.5 Экологический контроль текущих эмиссий

Для обеспечения экологической безопасности и защиты окружающей среды осуществляется:

- входной контроль поступающего сырья на наличие вредных и токсичных веществ;
- контроль работы систем пылегазоулавливания и очистки отходящих газов;
- контроль очистки отработанных технологических растворов;
- контроль радиационной безопасности поступающего и перерабатываемого сырья;
- производственный экологический контроль сбросов сточных вод, выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от источников, на промышленной площадке, в санитарно-защитной зоне.

3.5.1 Состояние проблемы газовых выбросов на предприятиях Российской Федерации

Согласно представленной на рисунке 3.1 общей схеме производства драгоценных металлов на каждой стадии процесса происходит выделение газов и пыли, которые должны улавливаться и очищаться.

Система газоочистки неразрывно связана с физико-химическими основами протекающих на каждой стадии процессов, т. е. зависит от состава пылегазовой фазы. Поэтому системы газоочистки и применяемое оборудование на каждой стадии разные.

Для очистки технологических газов аффинажного производства на предприятии № 1, например, применяется многоступенчатый автоматизированный процесс очистки выбросов от твердых частиц (пыли) и отходящих в процессе производства газов. Вначале газы проходят локальные системы газоочистки, включая одно- и двухстадийную очистку в аппаратах абсорберах, скрубберах (полых и насадочных), каплеотбойниках, рукавных фильтрах, установках термokatалитического разложения загрязняющих веществ, где они разлагаются на безвредные компоненты. Далее через систему газоулавливания газоздушная смесь проходит очистку в газовом тоннеле. Здесь происходит взаимная нейтрализация кислых и щелочных газов. После этого применяется двухступенчатая пылегазоочистка. Первая ступень включает шесть электрофильтров, установленных параллельно, где происходят предварительное увлажнение газа в скрубберной части электрофильтра и очистка от мелкой пыли и твердых частиц. После первой ступени газы направляются во вторую ступень очистки, состоящую из десяти пенных аппаратов, расположенных также параллельно.

Очищенные газы выбрасываются в атмосферу через вентиляционную трубу высотой 120 м, диаметром устья 4 м.

3.5.1.1 Очистка отходящих газов процесса проведения приемной плавки

Пылегазовая фаза, образующаяся в процессе проведения приемной плавки на индукционных печах, через систему вытяжных газоходов подается на предварительную

очистку в блок стекловолоконных ватных фильтров вытяжных вентиляционных камер плавильных помещений. При ухудшении эффективности очистки стекловолоконные фильтры заменяют. Отработанные фильтры направляют на переработку (плавку). Пылегазовая фаза, прошедшая предварительную очистку по системе газоходов, поступает на электрофильтр, где полностью доочищается. Накопившаяся пыль фильтра дополнительно смывается со стенок труб коронирующих электродов орошающим раствором каустической соды. Осадок пыли в виде пульпы фильтруют, сушат и проводят дальнейшее опробование и затаривание в мешки.

3.5.1.2 Очистка отходящих газов процесса головного «сухого» опробования сырья

Очистка пылевой фазы в процессе проведения головного опробования сырья производится через систему вытяжных газоходов на рукавных фильтрах. Очищенные газы вентилятором выбрасываются в атмосферу, либо направляются в коллективную систему очистки газов, где производится их глубокая доочистка.

3.5.1.3 Очистка отходящих газов процесса аффинажа золота

Для очистки отходящих газов процесса аффинажа золота используются:

1) Установка очистки кислых газов отделения аффинажа золота.

Газовая фаза, образующаяся в процессах аффинажа золота, состоит из тонкодисперсных частиц, летучих соединений драгоценных металлов в смеси с парами воды, кислот и др. Принцип действия установки основан на нейтрализации отходящих кислых газов, орошаемых раствором щелочи в пенных скрубберах.

Основные операции очистки включают:

- приготовление раствора щелочи с заданной концентрацией;
- подготовку установки к пуску (проверка наружного состояния аппаратов очистки, насосов, вентиляторов, газоходов, уровня орошающего раствора);
- пуск установки;
- контроль за работой установки в течение рабочей смены (контроль за работой вентиляторов, герметичностью шиберов и газоходов, работой насоса орошения, уровнем орошающего раствора в расходном баке, концентрацией едкого натра в растворе путем ежесменного анализа отобранной пробы);
- остановку работы аппарата.

Например, используется скрубберная установка, состоящая из двух центробежных барботеров. Газы из отделения аффинажа золота поступают в два центробежных барботера. Орошающий раствор подается насосом на завихритель. Газожидкостная смесь, проходя через завихритель, создает пенное кольцо, в котором происходит очистка газов. За счет центробежных сил жидкость отбрасывается к внутренней стенке аппарата и стекает в расходный бак. Очищенный газ через выходной патрубок попадает в каплеуловитель, где происходит окончательное улавливание капельной влаги, которая стекает в расходный бак. Газы выбрасываются в атмосферу. Отработанный орошающий раствор направляется в отделение очистки технологических растворов.

Для контроля за работой установки на входном и выходном газоходах оборудованы штуцерами для замера аэродинамики и содержания улавливаемых компонентов. Контроль за содержанием в орошающих растворах улавливаемых компонентов, едкого натра осуществляется раз в смену.

2) Электрофильтр — предназначен для очистки от пыли газов бортовых отсосов индукционных печей плавильных помещений и вытяжных зонтов.

Газовая фаза, образующаяся в плавильных отделениях, состоит из продуктов неполного сгорания в виде твердых частиц (сажа), возгонов в виде тумана, паров различных химических веществ, металлов, содержащихся в продуктах плавки, в том числе драгоценных металлов. Пылегазовая фаза, прошедшая предварительную очистку в стекловолоконных ватных фильтрах, поступает на электрофильтр. При работе электрофильтра газ из газоходов поступает на очистку в скруббер, орошаемый водным раствором. Из скруббера газ поступает в газоход, смонтированный между двумя патрубками электрофильтра. Уловленные частицы смываются орошающим щелочным раствором каустической соды и удаляются из электрофильтра через патрубок, находящийся в нижней части электрофильтра. Очищенные газы выбрасываются в атмосферу.

Осадок пыли в виде пульпы фильтруют, сушат и проводят последующее опробование и затаривание.

3.5.1.4 Очистка отходящих газов процесса аффинажа серебра

Согласно схеме аффинажа серебра, необходима прежде всего установка очистки от диоксида и оксида азота, содержащихся в выделяемых газах.

Установка включает:

- абсорбер;
- два бака с орошающим раствором;
- мешалку для приготовления раствора;
- два насоса орошения;
- шламовый уловитель.

Газы от технологического оборудования, используемого на перееде аффинажа серебра, проходят через два стекловолоконных ватных фильтра и очищаются от твердых частиц. При ухудшении эффективности очистки стекловолоконные фильтры заменяют, а отработанные фильтры направляют на переработку (плавку) в плавильное отделение.

Газы собираются в сборный газоход и поступают в насадочный абсорбер, орошаемый раствором соды, где очищаются от оксидов азота. Очищенные газы вентилятором выбрасываются в атмосферу. Раствор с конусной части абсорбера стекает в один из расходных баков. Из бака раствор поступает к насосу через шламовую ловушку. Отработанный раствор и твердые осадки по мере накопления передаются на дальнейшую переработку в помещения очистки технологических растворов и твердых отходов.

3.5.1.5 Очистка отходящих газов помещения очистки технологических растворов

Установка очистки газов предназначена для очистки от хлористого водорода, оксидов азота, газов, поступающих от технологического оборудования помещения очистки технологических растворов.

Установка очистки состоит из:

- системы отсоса газов от технологического оборудования;
- центробежного барботера;
- системы орошения;
- вытяжного вентилятора и выхлопной шахты.

Газы от отсосов технологического оборудования поступают в систему орошения, которая орошается раствором 1,5–10 %-ным раствором щелочи. Насос орошения обеспечивает орошение центробежно-барботажного аппарата (ЦБА). Входной патрубок газов расположен в верхней части аппарата. В верхней части аппарата также смонтирован завихритель, на который подается орошающий раствор через форсунку. Газожидкостная смесь, проходя через завихритель, создает пенное кольцо, в котором происходит очистка газов. За счет центробежных сил жидкость отбрасывается к внутренней стенке аппарата и стекает через патрубок в расходный бак. Очищенные газы вентилятором выбрасываются в атмосферу.

Технологические операции по обслуживанию установки включают:

- подготовку установки к работе (проверка наружного состояния аппарата очистки, насоса, бака, газоходов);
- подготовку орошающего раствора в расходном баке с ежесменной проверкой концентрации щелочи методом отбора пробы и анализом;
- запуск и обслуживание установки (откачка отработанного раствора при высадке, зачистка расходного бака от шламов, приготовление и заливка свежего раствора);
- остановку аппарата очистки (после окончания технологического процесса).

3.5.1.6 Очистка отходящих газов, образующихся в процессе переработки твердых отходов производства

Пылевая фаза, образующаяся в процессе переработки отходов производства, удаляется через систему вытяжных газоходов, поступает на рукавный фильтр, где полностью очищается. Процесс очистки заключается в следующем: под разрежением пылевая фаза попадает в секции рукавов из фильтровальной ткани — иглопробивной тefлон, где полностью оседает на ней. Пылевые осадки по мере накопления периодически встряхивают с рукавов в накопительный бункер. По мере накопления бункеров их разгружают, пыль подвергают дальнейшему опробованию и затариванию.

Рукавные фильтры предназначены для очистки от пыли:

- газов бортовых отсосов дуговой электропечи;

- газов верхней зоны, отсос от разливочной летки;
- воздуха дробильных комплексов сорового отделения и ОТК, разделки сыпучих проб.

При работе рукавных фильтров запыленный газ поступает в камеру грязного газа и на внешнюю поверхность ткани рукавов. Газ проходит через ткань, а осевшая пыль создает фильтрующий слой. По мере накопления пыли на ткани возрастает гидравлическое сопротивление фильтра. При достижении гидравлического сопротивления, установленного на приборах КИПиА, происходит срабатывание системы регенерации ткани. Пыль после регенерации рукавов накапливается в бункерах. Пыль разгружают и опробуют контролеры ОТК, затаривают в мешки и направляют на склад. Затем кондиционные отходы направляются на предприятие, проводящее переработку отходов, а некондиционные отходы производства — на плавку в печи или в переработку на технологических переделах.

3.5.2 Сбросы

Предприятия, имеющие право на аффинаж драгоценных металлов, как правило, не имеют водовыпусков и не сбрасывают сточные воды в различные водные объекты, подземные горизонты, поля фильтрации, земледельческие поля орошения, накопители. Сброс сточных вод осуществляется в централизованную систему водоотведения (канализации), в том числе в централизованную систему водоотведения поселений или городских округов. Контроль состава сточных вод перед сбросом в централизованную систему водоотведения проводится аккредитованной санитарной экологической лабораторией предприятий, а также контролирующими организациями, в том числе и Горводоканалом.

Растворы поступают на очистку с целью извлечения остаточного количества драгоценных металлов.

Технология очистки и утилизации растворов, поступающих из отделений аффинажа золота, серебра, МПГ, отработанных растворов газоочистных систем включает следующие операции:

- цементация драгоценных металлов из растворов;
- фильтрация, сушка цементных осадков;
- осаждение цветных металлов и железа из раствора путем нейтрализации щелочью;
- фильтрация осадка на пресс-фильтре, сушка осадка, затаривание;
- сброс очищенных промышленных сточных вод в централизованную систему водоотведения.

В ходе процесса контролеры ОТК ведут отбор проб растворов из цементаторов для анализа на содержание кислоты, золота, меди и МПГ. Если драгоценные металлы отсутствуют, раствор фильтруют, фильтрат направляют на нейтрализацию щелочным раствором. Цементный осадок сушат и направляют на лигатурную плавку серебросодержащих полупродуктов.

В процессе нейтрализации растворов щелочью в них понижается содержание свободной кислоты, вследствие увеличения рН раствора происходит осаждение гидроксидов цветных металлов и железа. После окончания осаждения пульпу отфильтровывают. Отфильтрованный осадок сушат, подвергают измельчению и опробованию. Полученные осадки направляют на другие профильные предприятия, преимущественно на в пирометаллургические переделы (плавка).

Очищенные растворы накапливают в буферных емкостях. Перед сбросом в систему канализации отбирают пробу из пробоотборной линии на содержание загрязняющих веществ, нормируемых в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 29 июня 2013 № 644.

Следует отметить, что на этом переделе также образуются газовые эмиссии. Газовая фаза, образующаяся в процессе обработки отработанных растворов, представляет собой пары соляной и азотной кислот, хлора, диоксида серы и других газов, образующихся при работе технологического оборудования помещения очистки технологических растворов.

Газы от отсосов технологического оборудования поступают на очистку в центробежный барботер.

Важно подчеркнуть, что информация по сбросам в производстве драгоценных металлов крайне ограничена. Так, известно, что на отдельных предприятиях (например, предприятие № 5) технологические процессы имеют замкнутый цикл и растворы, образующиеся в процессе их проведения, в систему канализации не поступают. На предприятии № 4 сброс сточных вод не предполагается, стоки выпариваются до влажных солей.

Чрезвычайно интересная информация приведена в одной из анкет по производству МПГ: имеются данные по составу растворов, концентрации и годовой массе загрязняющих веществ. Они сведены в таблицу 3.10. Именно растворы подобного состава поступают на очистку с целью снижения концентрации загрязняющих веществ до значения ПДК. Безусловно, налицо связанная со спецификой технологии аффинажа МПГ повышенная концентрация в отработанных растворах хлорид-ионов, иона аммония, нитрат- и нитрит-ионов, сульфат-ионов.

Т а б л и ц а 3.10 – Сведения о составе и количестве (по отдельным компонентам) сбросов

Наименование загрязняющего вещества	Годовая масса сброса, т	Средняя концентрация, мг/л	Максимальная концентрация, мг/л
Ион аммония	3,89	15,533	26,9
Железо	0,0225	0,085	0,188
Кадмий	0,0021	0,009	0,0137
Медь	0,0129	0,09	0,051
Мышьяк	0,0015	0,006	0,0077
Никель	0,005	0,002	0,0039
Нефтепродукты	0,0264	0,104	0,31
Нитрат-ион	1,005	3,839	5,35
Нитрит-ион	0,4667	1,91	4,46

Наименование загрязняющего вещества	Годовая масса сброса, т	Средняя концентрация, мг/л	Максимальная концентрация, мг/л
Свинец	0,0061	0,026	0,084
Сульфат-ион	8,005	32,425	73,6
Хлорид-ион	36,027	149,958	341
Хром (III)	0,0014	0,006	0,044
Хром (VI)	0,0003	0,002	0,018
Цинк	0,0073	0,028	0,076
Взвешенные вещества	4,374	17,667	50,8

Что касается присутствия прочих загрязняющих веществ, то их наличие, несомненно, обусловлено составом перерабатываемого сырья.

3.5.3 Отходы

Отходы производства обычно представляют собой:

- шлаки после плавки приемного металла, оборотные шлаки, золы мусоросжигательной печи от сжигания сгораемых материалов, стекловата;
- осадки нейтрализации растворов;
- строительные сора;
- бой тиглей, зачищенный от шлаков видимого металла;
- отходы аналитической лаборатории: бой тиглей, химической посуды, остатки капелей, полученных в процессе проведения анализов;
- выломки печных агрегатов — остатки футеровки печей;
- пыль циклонов, газоходов, рукавных и электрофильтров;
- бой керамического и фарфорового оборудования, плитки пола, футеровки емкостей.
- Основные операции переработки отходов производства:
 - плавка;
 - дробление и измельчение;
 - просеивание;
 - отбор пробы;
 - затаривание;
 - завешивание.

После проведения операций плавки, дробления, измельчения, просеивания, загрузки отходов, отбора пробы, проведения подготовки проб партии отходов производства либо направляют на предприятие, проводящее переработку отходов, либо некондиционные отходы производства идут на переработку в цехах предприятия.

Подобно предыдущему разделу, информация по отходам еще более скудна: она либо отсутствует, либо приводится наименование отхода без указания количества.

На предприятии № 2 в качестве отходов рассматриваются отходы фильтроткани (загрязненный текстиль, отходы тканей лавсан, ТФХЛ, хлорин) в количестве 0,566 т в год, которые идут на переработку в обжиговых и плавильных печах.

В анкете предприятия № 5 подчеркнуто, что промпродукты, содержащие драгоценные металлы и не подлежащие дальнейшей переработке по принятым технологиям, передают сторонним организациям для дальнейшего извлечения драгоценных металлов.

Раздел 4 Определение наилучших доступных технологий

Термин «наилучшие доступные технологии» (НДТ) определен в Федеральном законе «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ [2].

Под технологией в целом понимают совокупность методов обработки, изготовления, изменения состояния, свойств и формы сырья, материалов или полупродуктов, осуществляемых 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 не уникальную технологию, которая достигла уровня, позволяющего обеспечить ее внедрение в той отрасли цветной металлургии, которая отвечает за производство драгоценных 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 (ресурсы здесь — сырье, вода, энергия) в максимальной мере.

Порядок определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии 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» [6], 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 наименьшие отрицательные воздействия на окружающую среду, рекомендовано считать воздействие от отходов, затем сбросов в водный объект 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 производства драгоценных металлов, сведения, полученные в результате анкетирования предприятий отрасли, результаты научно-исследовательских работ, а также информация, полученная в ходе консультаций с профильными экспертами.

Наилучшие доступные технологии и методы, а также — в необходимых случаях — соответствующие им технологические показатели (значения концентрации выбросов) определены технической рабочей группой применительно к следующим основным процессам производства драгоценных металлов:

1) процессы подготовки сырья и его опробование: сушка, смешение, просеивание, приемная плавка, пробоотбор;

2) процесс плавки сырья и получения лигатурных сплавов в индукционных печах ИСТ;

3) электролитическое рафинирование с получением катодного металла:

а) электролиз с растворимыми анодами с получением кристаллического металла;

б) переработка побочных продуктов и сырья с низким содержанием драгоценных металлов;

в) плавка кристаллического золота и/или серебра с получением слитков и гранул в индукционных и вакуумных (МПГ) печах;

4) гидрометаллургические технологии:

а) растворение сырья и полупродуктов;

б) автоклавное выщелачивание;

в) осаждение труднорастворимых соединений — применительно к технологии производства МПГ;

г) цементация;

д) сорбционная очистка растворов;

е) экстракционная очистка (извлечение).

Раздел 5 Наилучшие доступные технологии

В соответствии с Федеральным законом от 21 июля 2014 г. № 219 ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [27] НДТ — это технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения. При этом к НДТ могут быть отнесены как технологические процессы, оборудование, технические способы, так и другие методы защиты окружающей среды.

Перечень методов, перечисленных ниже в описаниях НДТ, не является предписывающим или исчерпывающим. Могут применяться и иные методы, обеспечивающие по меньшей мере такой же уровень охраны окружающей среды.

Технологические показатели установлены в виде концентраций (значения определены как среднесуточное или среднее за период пробоотбора) и удельных значений, что соответствует положениям нормативной правовой базы.

Наименования веществ приведены в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 8 июля 2015 г. № 1316-р [28].

Уровни выбросов в атмосферный воздух, приведены для стандартных / нормальных условий: сухой газ при температуре 0 °С и давлении 101,3 кПа.

5.1 Системы экологического менеджмента (СЭМ)

НДТ 1. Повышение общей результативности природоохранной деятельности. Внедрение и поддержание системы экологического менеджмента (СЭМ), соответствующей требованиям ГОСТ Р ИСО 14001 или ISO 14001. Соответствие систем менеджмента указанным стандартам не означает их обязательную сертификацию.

5.2 Повышение энергоэффективности и сокращение ресурсопотребления

НДТ 2. Эффективное использование энергии путем применения комбинации следующих методов:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Система энергетического менеджмента (СЭНМ)	Общеприменим
2	Регенеративные или рекуперативные горелки	
3	Использование избыточного тепла (например, пара, горячей воды или горячего воздуха), образующегося при реализации основных процессов	Применим для пирометаллургических процессов
4	Регенеративные дожигающие устройства	Применим, когда требуется очистка выбросов от горючих загрязняющих веществ
5	Предварительный разогрев шихты, подаваемого в камеру сгорания воздуха или топлива с помощью горячих газов, образующихся при плавке	Применим при обжиге или плавке сульфидной руды / концентрата и для других пирометаллургических процессов
6	Повышение температуры выщелачивающих растворов с использованием пара или горячей воды за счет избыточного тепла	Применим для гидрометаллургических процессов
7	Предварительный разогрев подаваемого в камеру сгорания воздуха с помощью горячих газов из литейных желобов	Применим только для пирометаллургических процессов
8	Подача на горелки воздуха, обогащенного кислородом, или чистого кислорода для уменьшения потребления энергии за счет автогенной плавки или полного сгорания углеродистого материала	Применим для печей, в которых используется сырье, содержащее серу или углерод
9	Низкотемпературная сушка концентратов и влажного сырья перед плавкой	Общеприменим
10	Использование химической энергии оксида углерода, образующейся в электрической печи, после очистки отходящих газов от пыли в качестве топлива в других производственных процессах, для производства пара / горячей воды или электроэнергии	Применим при содержании CO > 10 % от общего объема отходящих газов. На применимость также влияет наличие постоянного потока отходящих газов
11	Рециркуляция загрязненных отходящих газов через кислородно-топливную горелку для использования энергии общего органического углерода	Общеприменим
12	Теплоизоляция объектов, функционирующих при высоких температурах, например, трубопроводов пара и горячей воды	
13	Использование высокоэффективных электродвигателей, оборудованных частотными преобразователями, для таких устройств, как, например, вентиляторы	Общеприменим
14	Системы контроля, которые автоматически активируют включение местных отсосов пыли или отходящих газов только при возникновении выбросов	

5.3 Контроль технологических процессов и мониторинг эмиссий

НДТ 3. Мониторинг выбросов в атмосферный воздух — это регулярный мониторинг выбросов, проводимый по нормативным документам, определенным в установленном порядке, приведенным ниже показателям и с установленной частотой.

№	Показатель	Минимальная частота мониторинга	Связь с НДТ
1	Пыль	В соответствии с категорией источника	НДТ 20,21
2	Взвешенные вещества	В соответствии с категорией источника	НДТ 20,21
3	Серы диоксид	В соответствии с категорией источника	НДТ 20,21
4	Азота оксид	В соответствии с категорией источника	НДТ 21
5	Азота диоксид	В соответствии с категорией источника	НДТ 21
6	Аммиак	В соответствии с категорией источника	НДТ 21
7	Хлористый водород	В соответствии с категорией источника	НДТ 21
8	Хлор	В соответствии с категорией источника	НДТ 21

НДТ 4 Мониторинг сбросов сточных вод в водные объекты — это регулярный мониторинг сбросов, проводимый по нормативным документам, определенным в установленном порядке, приведенным ниже показателям и с установленной частотой.

№	Показатель	Минимальная частота мониторинга
1	Серебро	Не реже одного раза в месяц
2	Мышьяк и его соединения	
3	Кадмий	
4	Медь	
5	Никель	
6	Свинец	
7	Ртуть и ее соединения	

Если предприятие не имеет собственного водовыпуска и не сбрасывает сточные воды в различные водные объекты, подземные горизонты, поля фильтрации, земельные поля орошения, накопители, то соответствующий мониторинг не проводят.

При сбросе сточных вод в централизованную систему канализации контроль состава сточных вод перед сбросом в централизованную систему ведется санитарной экологической лабораторией предприятий, а также контролирующими организациями.

5.4 Эмиссии от неорганизованных источников

5.4.1 Предотвращение эмиссий от неорганизованных источников

НДТ 5. Улавливание эмиссий в атмосферный воздух и водные объекты по возможности максимально близко к источнику с последующей их очисткой.

НДТ предназначена для предотвращения или, где это нецелесообразно, сокращения неорганизованных эмиссий в воздух и водные объекты.

НДТ 6. Разработка и реализация в качестве составной части системы экологического менеджмента (см. НДТ 1) плана мероприятий по неорганизованным выбросам, предусматривающего, кроме прочего:

а) инвентаризацию наиболее характерных источников неорганизованных выбросов;

б) определение и реализацию соответствующих мероприятий и методов по предотвращению и сокращению неорганизованных выбросов в течение определенного периода времени.

НДТ предназначена для предотвращения или, где это нецелесообразно, сокращения неорганизованных выбросов пыли.

НДТ 7. Сокращение неорганизованных эмиссий, образующихся при хранении сырья, путем применения комбинации следующих методов:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Использование закрытых помещений или емкостей / бункеров	Применяется для пылящих материалов
2	Сооружение укрытий над площадками хранения	Применяется для всех видов материалов
3	Герметичная упаковка	Применяется для хранения пылящих материалов, а также вторичного сырья, содержащего растворимые в воде органические соединения
4	Сооружение укрытий над пролетами	Применяется при гранулировании / агломерации материала
5	Разбрызгивание воды	Не применяется для процессов, в которых используются сухие материалы или руды / концентраты, содержащие достаточное количество естественной влаги, чтобы предотвратить пылеобразование. Применение также ограничено в регионах с нехваткой воды или с очень низкими зимними температурами
6	Размещение устройств для улавливания пыли / газов в точках загрузки и перегрузки	Применяется в местах складирования пылящих материалов

№	Метод / оборудование	Применимость
7	Использование сертифицированных сосудов под давлением для хранения газообразного хлора или смесей, которые содержат хлор	Общеприменим
8	Использование для сооружения емкостей строительных материалов, устойчивых к загружаемым материалам	
9	Применение 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 должны 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 8. Сокращение неорганизованных эмиссий, образующихся при переработке и транспортировке сырья, путем применения комбинации следующих методов:

	Метод / оборудование	Применимость
1	Замена сравнительно опасных химических веществ на химические вещества более низкого класса опасности* и обладающих сравнимыми (или более высокими) технико-экономическими параметрами применения, в т. ч. с целью достижения минимумов материальных потоков между процессами, как соответствующими критерию технологичности и экологичности	Общеприменим
2	Сооружение закрытых конвейеров или пневматических систем для транспортировки и переработки материалов	Общеприменим
3	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
4	Использование для обращения с измельченными или водорастворимыми материалами закрытых мешков или бочек	Общеприменим
5	Использование специальных контейнеров для обработки уложенных на поддонах материалов	
6	Разбрызгивание воды для увлажнения материалов в местах их обработки	
7	Использование максимально коротких маршрутов транспортировки	
8	Уменьшение высоты падения с конвейерных лент, механических лопат или захватов	
9	Регулировка скорости открытых ленточных конвейеров (<3,5 м/с)	Применяется при использовании открытых ленточных конвейеров
10	Проведение плановых кампаний по уборке дорог	Общеприменим
11	Разделение несовместимых материалов (например, окислителей и органических материалов)	
12	Минимизация материальных потоков между процессами	

*1) Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности химической продукции (ТР ЕАЭС 041/2017)». VI. Требования безопасности химической продукции: п. 28.

НДТ 9. Предупреждение или сокращение неорганизованных выбросов путем оптимизации параметров эффективности улавливания и очистки отходящих газов при применении комбинации следующих методов:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Использование закрытых печей, оснащенных системами пылеулавливания, или оснащение печей и другого технологического оборудования вытяжными системами	Применение может быть ограничено соображениями безопасности (например, типом / конструкцией печи, наличием угрозы взрыва)
2	Оснащение печей и конверторов вторичными системами отведения газов в точках загрузки и выгрузки	
3	Сбор пыли и испарений в местах перегрузки пылящих материалов (например, в точках загрузки и выгрузки печей, на литейных лотках)	Общеприменим
4	Оптимизация конструкции и технологии эксплуатации вытяжных устройств и газоходов с целью улавливания газов, возникающих при загрузке шихты и отходящих от разогретого металла; выдача и перемещение расплавов сульфидов или шлаков по закрытым желобам	Для существующих заводов применение может быть ограничено имеющимся пространством и сложившейся планировкой размещения объектов в цехах
5	Сооружение укрытий печей / реакторов, например, с помощью кессонов, для улавливания выбросов при загрузочных операциях и выдаче расплавов	
6	Использование систем, позволяющих подавать сырье небольшими порциями	Применяется только для полузакрытых печей

5.4.2 Предотвращение неорганизованных выбросов при производстве драгоценных металлов

НДТ 10. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу от процедур предварительной обработки сырья (дробление, просеивание, смешивание), содержащего драгоценные металлы, путем применения одного из следующих методов или их комбинации:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Закрытые зоны предварительной обработки и системы транспортировки	Применимо только для пылящих материалов
2	Организация системы пылеулавливания на участке предварительной обработки сырья и при проведении погрузочно-разгрузочных работ	Применимо только для пылящих материалов
3	Электроблокировка, обеспечивающая невозможность эксплуатации оборудования без системы пылеулавливания	Для любых материалов

НДТ 11. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу при осуществлении пирометаллургических операций (получение сплава Доре и другие) путем применения следующих методов:

№	Метод / оборудование
1	Закрытые помещения и/или зоны плавильных печей
2	Проведение процессов под вакуумом
3	Организация для плавильных печей системы пылеулавливания
4	Электроблокировка, обеспечивающая невозможность эксплуатации оборудования без системы пылеулавливания

НДТ 12. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу при осуществлении процессов выщелачивания и электролиза золота путем применения одного из следующих методов или их комбинации:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Использование других (заменяемых) типов электролитов, обеспечивающих осуществление технологических процессов (выщелачивания, растворения и электролиза) и имеющих более низкие газовые проявления (свойства электролита)	Общеприменим
2	Закрытые резервуары / аппараты и изолированные трубопроводы для транспортировки растворов	Для всех указанных процессов
3	Вытяжные системы для электролизеров	Применимо для электролиза золота
4	Водная завеса ¹⁾	Применимо для производства золота

¹⁾ Водная стена (завеса), которая может использоваться для предотвращения выделения газообразного хлора при выщелачивании анодных шламов соляной кислотой или другими реагентами.

НДТ 13. Сокращение неорганизованных выбросов от реализации гидрометаллургических процессов путем применения следующих методов:

№	Метод / оборудование
1	Меры по уменьшению уровня выбросов, таких как применение закрытых емкостей и резервуаров, аппаратов и баков с регуляторами уровня, изолированных труб, закрытых дренажных систем, планирование программ обслуживания оборудования
2	Реакционные сосуды и резервуары, подключенные к общей системе воздухопроводов для утилизации отходящих газов (резервная система автоматически подключается в случае отказа основной)

НДТ 14. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу от сжигания, прокаливания и сушки путем применения следующих методов:

№	Метод / оборудование
1	Подсоединение всех прокалочных и мусоросжигательных печей, сушильных шкафов к общей вытяжной системе
2	Применение системы электронного контроля, обеспечивающей в случае отключения электроэнергии запуск резервного генератора, который обеспечивает через автоматизированную систему управления эксплуатацию оборудования, запуск и завершение работы, удаление отработанной кислоты, подачу свежей кислоты в скрубберы

НДТ 15. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу при плавке готовой продукции путем применения следующих методов:

№	Метод / оборудование
1	Изолированные печи, работающие под вакуумом
2	Эффективные вытяжные и вентиляционные системы

5.5 Выбросы в атмосферный воздух от организованных источников

5.5.1 Выбросы пыли

НДТ 16. Снижение выбросов пыли и металлов в атмосферный воздух на всех участках, где возможно их образование, в том числе измельчение, просеивание, смешивание, плавка, сжигание, обжиг, сушка и переработка, путем применения одной или несколько газоочистных установок

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Рукавный фильтр	Неприменим для газовых выбросов с высоким содержанием селена
2	Мокрый скруббер	Общеприменим
3	Мокрый электрофильтр	Общеприменим
4	Циклон	Общеприменим

5.5.2 Выбросы NO, NO₂

НДТ 17. Снижение выбросов NO, NO₂ в атмосферный воздух от гидрометаллургических процессов, включая растворение / выщелачивание азотной кислотой, путем применения одного из следующих методов или их комбинации:

№	Метод / оборудование
1	Щелочной скруббер с каустической содой
2	Скруббер с окислителем (кислород, пероксид, аммоний и т. п.) или восстановителем (мочевина и др.) ¹⁾
¹⁾ Часто применяется в сочетании с щелочным скруббером с каустической содой.	

НДТ 18. Предотвращение выбросов NO, NO₂ от пирометаллургических процессов путем применения одного из следующих методов.

	Метод / оборудование	Применимость
1	Кислородно-топливные горелки	Общеприменим
2	Повторное прохождение отходящих газов через горелки для снижения температуры пламени	Применяется для кислородно-топливных горелок

5.5.3 Снижение выбросов SO₂

НДТ 19. Снижение выбросов SO₂ в атмосферный воздух в процессах подготовки сырья, выбросов от процессов получения сплава Доре, включая процессы сжигания, обжига и сушки, а также гидрометаллургических процессов путем применения одного из следующих методов или их комбинации:

№	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	Мокрый электрофильтр	Общеприменим

5.5.4 Технологические показатели

НДТ 20. Снижение выбросов при осуществлении комплекса технологических процессов переработки шламов.

В комплекс технологических процессов входят измельчение, обжиг, выщелачивание, плавка кеков выщелачивания в электропечах, осаждение концентратов, содержащих драгоценных металлов.

НДТ подразумевает применение одной или несколько газоочистных установок (примеры применимости установок приведены в НДТ 16 – 19, при этом могут применяться и другие методы или комбинация методов).

Технологические показатели НДТ 20

Технологический показатель	Единица измерения	Значение	Единица измерения	Значение
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20 %, 20–70 %, а также более 70 %	мг/нм ³	≤ 120	кг/т золото-серебряных сплавов	≤ 50
Взвешенные вещества	мг/нм ³	≤ 120	кг/т золото-серебряных сплавов	≤ 50
Серы диоксид	мг/нм ³	≤ 1500	кг/т золото-серебряных сплавов	≤ 100
При определении значений технологических показателей для выбросов маркерных веществ и расчете технологических нормативов для действующего объекта технологического нормирования необходимо использовать технологические показатели НДТ в одних единицах измерения.				

Мониторинг выбросов проводят согласно НДТ 3.

НДТ 21. Снижение выбросов при осуществлении комплекса технологических процессов аффинажа.

В комплекс технологических процессов входят измельчение, плавка, просеивание металлического порошка (конечного продукта аффинажа), электролиз, цементация, избирательное растворение (выщелачивание), осаждение, прокаливание

НДТ подразумевает применение одной или несколько газоочистных установок (примеры применимости установок приведены в НДТ 16 – 19, при этом могут применяться и другие методы или комбинация методов).

Технологические показатели НДТ 21

Технологический показатель	Единица измерения	Значение	Единица измерения	Значение
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20 %, 20–70 %, а также более 70 %	мг/нм ³	10	кг/т драгоценных металлов	≤ 10
Взвешенные вещества	мг/нм ³	10	кг/т драгоценных металлов	≤ 40
Азота диоксид	мг/нм ³	≤ 840	кг/т драгоценных металлов	≤ 80
Азота оксид	мг/нм ³	≤ 360	кг/т драгоценных металлов	≤ 75
Серы диоксид	мг/нм ³	≤ 100	кг/т драгоценных металлов	≤ 25
Хлористый водород	мг/нм ³	≤ 10	кг/т драгоценных металлов	≤ 15
Хлор	мг/нм ³	≤ 2,5	кг/т драгоценных металлов	≤ 10
Аммиак	мг/нм ³	≤ 5	кг/т драгоценных металлов	≤ 40
При определении значений технологических показателей для выбросов маркерных веществ и расчете технологических нормативов для действующего объекта технологического нормирования необходимо использовать технологические показатели НДТ в одних единицах измерения.				

Мониторинг выбросов проводят согласно НДТ 3.

5.5.5 Выбросы ртути

НДТ 22. Сокращение выбросов ртути от пирометаллургических процессов, в которых применяется сырье, содержащее ртуть, путем применения комбинации следующих методов:

№	Метод / оборудование
1	Использование сырья с низким содержанием ртути
2	Использование адсорбентов в сочетании с фильтрацией пыли
3	Мокрое улавливание с последующей сорбцией или осаждением ртути и переводом ртути в труднорастворимые соединения

НДТ 22.1 Предполагается также сотрудничество с поставщиками сырья с целью удаления ртути из сырьевых материалов.

5.6 Сбросы сточных вод

НДТ 23. Предотвращение образования сточных вод путем применения одного из следующих методов или их комбинации:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Измерение объемов используемой и сбрасываемой воды	Общеприменим
2	Возврат в технологический процесс воды, использованной для промывки (в том числе промывки анодов и катодов), и разлитой воды	
3	Повторное использование слабых кислот из стоков	Применяется в зависимости от содержания в сточных водах металлов и твердых веществ на предприятиях, имеющих сбросы
4	Повторное использование сточных вод от грануляции шлака	
5	Использование поверхностных стоков	Общеприменим для предприятий, имеющих сбросы
6	Повторное использование воды, проходящей через очистные сооружения	Применяется в зависимости от содержания солей

НДТ 24. Предотвращение загрязнения незагрязненных вод и сокращение сбросов загрязняющих веществ в водные объекты путем отделения незагрязненных стоков от других сточных вод, которые требуют очистки.

Отделение незагрязненных ливневых стоков может быть неприменимо на существующих установках.

НДТ 25. Сокращение сбросов загрязняющих веществ со сточными водами путем очистки сточных вод, образующихся при производстве цветных и драгоценных металлов с целью удаления металлов, путем применения следующих методов:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Химическое осаждение	Общеприменим
2	Фильтрация	
3	Фильтрация через активированный уголь или ионообменную смолу	

Значения концентраций загрязняющих веществ в прямых сбросах при производстве драгоценных металлов в принимающие водные объекты:

Показатель	Средний уровень концентраций загрязняющих веществ, мг/дм ¹⁾
Серебро	≤ 0,6
Мышьяк и его соединения	≤ 0,1
Кадмий	≤ 0,5
Медь	≤ 0,3
Ртуть и ее соединения	≤ 0,05
Никель	≤ 0,5
Свинец	≤ 0,5
1) Среднесуточное значение.	

НДТ 26. Предотвращение образования сточных вод путем применения одного из следующих методов или их комбинации:

№	Метод
1	Утилизация отработавших жидкостей из скрубберов и других реагентов, образующихся на гидрометаллургических стадиях выщелачивания или других операциях аффинажа
2	Утилизация растворов процессов выщелачивания, экстракции и осаждения

5.7 Защита почвы и грунтовых вод

НДТ 27. Предотвращение загрязнения почвы и грунтовых вод путем применения следующих методов:

№	Метод / оборудование
1	Использование герметизированной дренажной системы
2	Использование двойного ограждения или упорной стены
3	Использование кислотостойкого непроницаемого пола
4	Автоматический контроль уровня в реакционных аппаратах
5	Использование гидроизоляционного пленочного покрытия в основании и откосах карт хранения промышленных отходов

5.8 Обращение с отходами, полупродуктами и оборотными материалами

НДТ 28. Организация системы обращения с отходами, полупродуктами и оборотными материалами, способствующей их повторному использованию, а в случае

ИТС 14–2020

невозможности — вторичной их переработки или утилизации, включая использование одного или нескольких методов, приведенных в таблице:

№	Метод / оборудование
1	Извлечение металлов из шлаков, пылевых фильтров, систем влажного обеспыливания
2	Извлечение селена из систем мокрого обеспыливания, содержащих селен, перешедший в газовую фазу
3	Извлечение серебра из отработанных электролитов и растворов промывки шламов
4	Извлечение металлов из продуктов очистки электролитов (например, серебряный цементат, осадок основного карбоната меди и т. п.)
5	Извлечение золота, серебра и МПГ из электролитов, шламов и растворов после выщелачивания
6	Извлечение металлов из остатков анодов

НДТ по шуму и запаху отсутствуют, так как шум и запах для отрасли, производящей драгоценные металлы, не являются приоритетными.

Раздел 6 Перспективные технологии

6.1 Перспективные технологии производства золота и серебра

Основным методом извлечения золота и серебра из руд и концентратов различного состава пока остается цианидное выщелачивание в щелочной среде. Вместе с тем не прекращаются работы по созданию технологий, не использующих этот чрезвычайно токсичный растворитель. Серьезного рассмотрения с точки зрения возможности применения заслуживают исследования, направленные на использование таких реагентов, как тиокарбамид, тиосульфаты, галогены (хлор, бром, иод) в щелочных растворах, некоторые органические соединения (например, гуматы и аминокислоты) [29].

Наиболее перспективным вариантом из перечисленных является технология, основанная на тиокарбамидном (тиомочевинном) выщелачивании материалов, содержащих золото и серебро, в кислой среде. Исходное сырье подвергают выщелачиванию тиокарбамидом в кислом (как правило, серноокислом) растворе в присутствии окислителя (чаще всего хлорида или сульфата железа(III)). Затем из полученного раствора извлекают драгоценные металлы в виде смешанных тиокарбамидных и тиоцианатных комплексов смесью экстрагентов: три-*n*-бутилфосфата и дифенилтиокарбамида в керосине. Реэкстракцию золота и серебра из органической фазы ведут растворами восстановителей (формальдегид, соли гидразина, щавелевая кислота, тетрагидробораты и пр.). Следует подчеркнуть, что введение в раствор на стадии экстракции тиоцианат-ионов обеспечивает полноту извлечения драгоценных металлов в органическую фазу. Образовавшаяся после реэкстракции водная фаза, содержащая тиокарбамид, может быть направлена в оборот на стадию выщелачивания или промывки кека выщелачивания.

Широкое промышленное применение тиокарбамидных растворов взамен цианидных сдерживается, безусловно, более высокой стоимостью данного реагента по сравнению с цианидом натрия.

Тиокарбамидным выщелачиванием можно воспользоваться при переработке свинцово-цинковых кеков, причем эффективность процесса повысится при электровыщелачивании. Золото- и/или серебросодержащий осадок выделяется на катоде, а на аноде происходит выделение газообразного кислорода.

Представляет интерес технология вакуумной дистилляции применительно к золотосеребряным сплавам с содержанием серебра > 10 % [30]. Метод основан на разделении металлов при их испарении (конденсации) за счет различий в давлении насыщенных паров в зависимости от температуры. Так, парциальное давление серебра в интервале температур 1000–1200 °С в 1000 раз больше, чем золота. В результате реализации этого процесса, который упоминается в литературе как процесс ACID LESS SEPARATION (ALS) (рис. 6.1), образуется золотой слиток и серебряные возгоны, поступающие на аффинаж по технологиям, описанным в разделе 2. В случае если сплав содержит значительное количество легкоплавких и легколетучих примесей (Zn, Se, Pb, Sn), процесс ведут в несколько стадий [30].

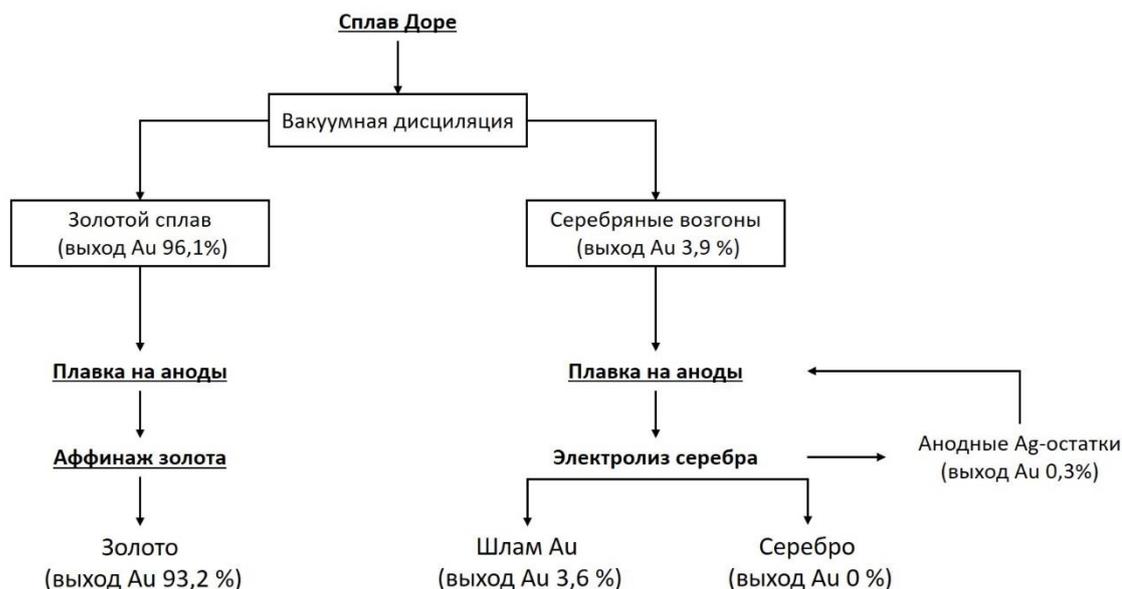


Рисунок 6.1 – Принципиальная технологическая схема переработки сплава Доре с применением вакуумной дистилляции

Технология вакуумной дистилляции имеет значительные преимущества:

- высокая скорость переработки сплава (10–40 мин при остаточном давлении $133,3 \cdot 10^{-4}$ Па);
- низкие операционные затраты;
- отсутствие опасных выбросов в рабочую зону и окружающую среду.

6.2 Перспективные технологии производства металлов платиновой группы

Существующая в России технология аффинажа металлов платиновой группы базируется преимущественно на осадительных методах и приемах. Такая технология неизбежно сопровождается образованием промежуточных продуктов и маточных растворов, что делает ее многооперационной и приводит к уменьшению сквозного извлечения драгоценных металлов.

Экстракционные методы, внедренные на отдельных предприятиях Российской Федерации, также обладают рядом недостатков, к которым следует отнести прежде всего неизбежные потери экстрагентов и растворителей, вследствие их частичной растворимости в воде и испарения; невысокие коэффициенты распределения; медленную кинетику.

Перечисленные недостатки могут быть преодолены при условии закрепления реагента, взаимодействующего с извлекаемым ценным компонентом, на не растворимой в воде матрице с развитой поверхностью.

С учетом неоспоримых преимуществ сорбции по сравнению с экстракцией ее необходимо организовать в сорбционном колоночном варианте. Она даст возможность

осуществить разделение близких по свойствам МПГ и их отделение от сопутствующих цветных металлов, железа, свинца, титана, серебра.

Общее число производимых сорбентов измеряется десятками тысяч, причем постоянно появляются новые сорбенты и одновременно развиваются научные исследования по их синтезу и применению для решения тех или иных задач.

Наиболее прогрессивной в настоящее время представляется «технология молекулярного распознавания» (TMP) (в зарубежной литературе обозначается термином MRR — method of molecular recognition) [31].

Технология молекулярного распознавания наиболее перспективна для селективного извлечения МПГ из сложных по составу технологических растворов. TMP обеспечит такую высокую эффективность разделения МПГ, как ни одна из известных технологий (рисунок 6.2).

Мировой лидер этого направления — американская компания IBC Advanced Technologies [www.ibcmrt.com], которая, среди прочего, запустила линию по переработке концентрата платиновых металлов на заводе компании IMPALA в Южной Африке и процесс селективного извлечения родия на заводе компании Tanaka Kinkinzoku в Японии.

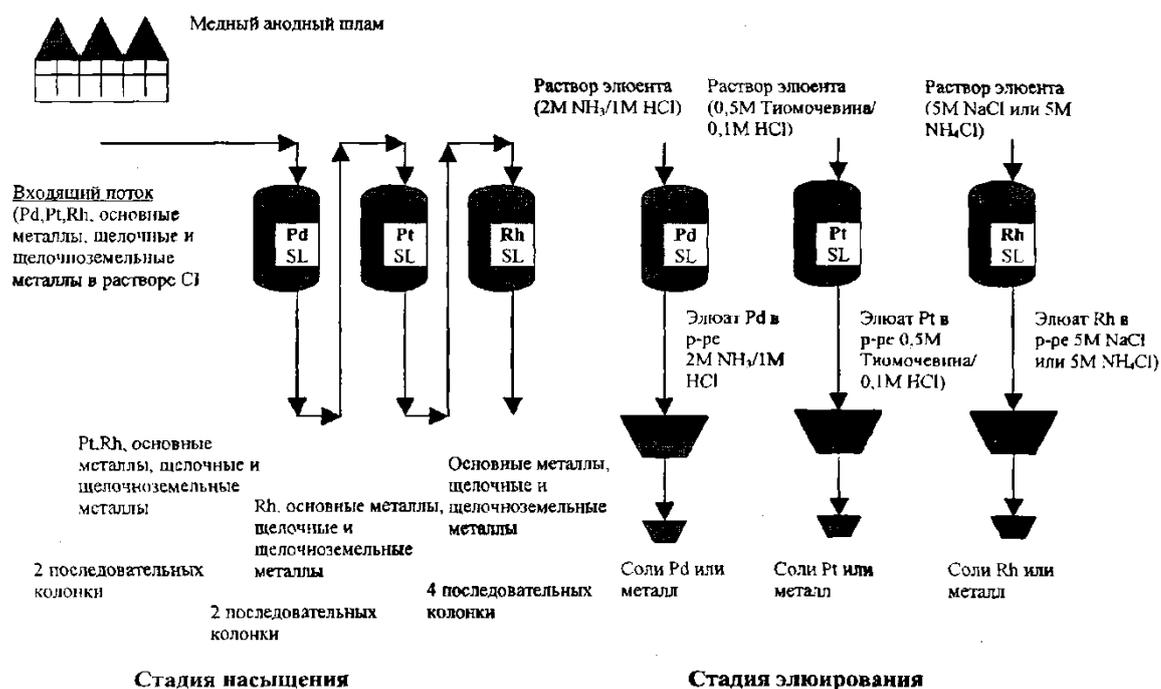


Рисунок 6.2 – Технологическая схема разделения платиновых металлов методом молекулярного распознавания

В качестве сорбентов используются кремнеземы (силикагели) с химически привитыми к его поверхности органическими лигандами, способными к молекулярному распознаванию целевых ионов металлов.

Применение TMP для выделения и разделения МПГ позволит:

– значительно сократить время процесса за счет быстрой кинетики разделения и в цикле насыщения, и в цикле элюирования;

- сократить объем использованных реагентов;
- осуществлять работу в непрерывном режиме;
- существенно увеличить коэффициенты разделения между отдельными металлами платиновой группы и между МПГ и примесями неблагородных металлов;
- фактически в одну стадию получить высокочистый металл.

Необходимо обратить внимание на то, что в качестве элюентов в процессе ТМР используются широко распространенные дешевые реагенты (соляная кислота, хлорид аммония, гидрат аммиака, хлорид натрия и т. п.), обеспечивающие выделение МПГ в виде труднорастворимых солей, получение из которых самих металлов детально изучено и трудностей не вызывает. Следует также отметить, что технология применяется и для очистки от меди цианидных растворов, содержащих золото и серебро.

Безусловно, у данного метода есть и недостатки, одним из которых является обводнение технологического процесса, однако этот недостаток может быть устранен при использовании новых вариантов выделения металлов платиновой группы — целевых ионов — из элюатов взамен традиционного осаждения трудно растворимых солей и их последующим прокаливанием.

Развитие технологии молекулярного распознавания пойдет по пути конструирования реагентов, максимально «настроенных» на заданный ион или молекулу за счет тонкого сочетания энергетических и пространственных факторов. Это позволит удовлетворить требования времени по селективности и эффективности выделения драгоценных металлов из технологических растворов и минимизации отходов и выбросов в окружающую среду.

Заключительные положения и рекомендации

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям «Производство драгоценных металлов» подготовлен в соответствии с распоряжением от 30 апреля 2019 г. № 866-р «Об утверждении поэтапного графика актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям» [1] и правилами определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 23 декабря 2014 г. № 1458 [6].

Состав ТРГ 14 «Производство драгоценных металлов» утвержден приказом Министерства промышленности и торговли от 16 апреля 2020 г. № 1255 [8].

№ п/п	Фамилия, имя, отчество	Организация
1	Авраамова Елена Арслановна	АО «Уралэлектромедь»
2	Буслаева Татьяна Максимовна	МИРЭА — Российский технологический университет
3	Бутовский Руслан Олегович	ФГБУ «ВНИИ Экология»
4	Быстрова Елена Анатольевна	АО «Приокский завод цветных металлов»
5	Гришаев Сергей Иванович	Минпромторг России
6	Знаменская Ольга Сергеевна	АО «Полиметалл Инжиниринг»
7	Ивачев Игорь Владимирович	Минприроды России
8	Игашова Надежда Викторовна	АО «Приокский завод цветных металлов»
9	Ковалева Ольга Васильевна	АО «Новосибирский аффинажный завод»
10	Колодкина Ольга Александровна	ООО «УК Полюс»
11	Лавров Анатолий Андреевич	АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов»
12	Маганов Дмитрий Дмитриевич	АО «Приокский завод цветных металлов»
13	Макаров Юрий Александрович	ЗАО «Русская медная компания»
14	Олейникова Мария Игоревна	ФГБУ «ВНИИ Экология»
15	Пелипенко Олег Владимирович	ООО «Исток»
16	Прокопьев Сергей Амперович	ООО ПК «Спирит»
17	Проценко Сергей Анатолькович	Минприроды России
18	Рябушкин Антон Игоревич	ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»
19	Сидин Евгений Геннадьевич	АО «Приокский завод цветных металлов»
20	Совка Сергей Марцианович	ООО «Исток»
21	Сухов всеволод Вадимович	ФГБУ «ВНИИ Экология»
22	Тимофеев Константин Леонидович	АО «Уралэлектромедь»
23	Урманцев Салават Шамильевич	Минпромторг России
24	Федичкин Сергей Анатольевич	АО «Екатеринбургский завод по обработке цветных металлов»
25	Шульгин Дмитрий Романович	АО «Новосибирский аффинажный завод»

Также над справочником работали представители ОАО «Красцветмет» Друзь Дмитрий Витальевич, Собачинский Николай Николаевич, Переварюха Валентина Вадимовна.

Публичное обсуждение проекта настоящего справочника было проведено в срок с 04 сентября 2020 г. по 04 октября 2020 г.

Для определения условий нормирования отечественных предприятий необходима оценка достигнутых отраслью показателей ресурсо- и энергоэффективности и экологической результативности. В целях сбора информации о применяемых на промышленных предприятиях технологических процессах, оборудовании, об источниках загрязнения окружающей среды, технологических, технических и организационных мероприятиях, направленных на снижение загрязнения окружающей среды и повышение энергоэффективности и ресурсосбережения, подготовлена «Анкета для предприятий, содержащая формы для сбора данных, необходимых для разработки проекта отраслевого справочника НДТ», которая была направлена в адреса всех предприятий по производству драгоценных металлов. В качестве основы для формирования анкеты использована унифицированная анкета, утвержденная Бюро НДТ.

В связи с тем, что обмен информацией осуществлялся в чрезвычайно сжатые сроки, по ряду показателей при написании справочника НДТ были использованы также зарубежные материалы — европейский справочник НДТ для предприятий цветной металлургии, статистические сборники, результаты научно-исследовательских и диссертационных работ, иные источники, а также информация, полученная в ходе консультаций с экспертами в области производства драгоценных металлов.

Несмотря на большое количество полученной информации и замечаний, следует отметить некоторые проблемы:

- имеется недостаток информации относительно частоты измерений в случае периодических измерений;
- за небольшим исключением имеется недостаток достоверной информации относительно системы контроля и способов измерения выбросов.

Дальнейшая работа к последующему изданию должна продолжаться в следующих направлениях:

- сбор (накопление) данных, чтобы оценить состояние определенных технических решений на заводском уровне, особенно потенциальные НДТ;
- сбор данных по стоимости (инвестиции, эксплуатационные расходы), относящихся ко всем техническим решениям, учитываемым при определении НДТ;
- сбор данных по стоимости и эффективности всех технических решений, снижающих выбросы.

Общее заключение, которое можно сделать в результате подготовки настоящего справочника НДТ, состоит в том, что ведущие отечественные компании активно занимаются внедрением современных технологических процессов и оборудования, разрабатывают программы повышения энергоэффективности и экологической результативности

производства драгоценных металлов. Однако цели, задачи и ожидаемые результаты перехода к технологическому нормированию на основе НДТ руководители предприятий понимают и оценивают по-разному. Ожидания промышленников связаны с уменьшением административной нагрузки и упрощением системы государственного регулирования в сфере охраны окружающей среды, опасения — с неопределенным порядком правоприменения и вероятностью установления недостижимых технологических нормативов.

Поэтому важным шагом вперед на пути достижения комплексного предотвращения и контроля загрязнения окружающей среды в промышленности должен стать позитивный обмен информацией.

Для продвижения идеи перехода к НДТ необходимо организовать масштабную информационно-просветительскую кампанию и систему подготовки (повышения квалификации, дополнительного профессионального образования) кадров. Обсуждение сути перемен призвано подготовить к ним предприятия и разъяснить основные мотивы и стимулы экологической модернизации отечественной экономики.

Приложение А
(обязательное)
Перечень маркерных веществ и технологических
показателей

Таблица А.1 – Маркерные вещества

№	Для атмосферного воздуха	Для водных объектов ¹⁾
1	Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20 %, 20–70 %, а также более 70 %	Серебро
2	Взвешенные вещества	Мышьяк и его соединения
3	Серы диоксид	Кадмий
4	Азота оксид	Медь
5	Азота диоксид	Ртуть и ее соединения
6	Аммиак	Никель
7	Хлористый водород	Свинец
8	Хлор	

¹⁾ Если предприятие не имеет собственного водовыпуска и не сбрасывает сточные воды в различные водные объекты, подземные горизонты, поля фильтрации, сельскохозяйственные поля орошения.

Таблица А.2 Технологические показатели выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, соответствующие НДТ

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Величина	Единица измерения	Величина
Комплекс технологических процессов переработки шламов (НДТ 20)	Пыль (пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20 %, 20–70 %, а также более 70 %):	мг/нм ³	≤ 120	кг/т золото-серебряных сплавов	≤ 50
	Взвешенные веществ	мг/нм ³	≤ 120	кг/т золото-серебряных сплавов	≤ 50
	Серы диоксид	мг/нм ³	≤ 1500	кг/т золото-серебряных сплавов	≤ 100
Комплекс технологических процессов аффинажа (НДТ 21)	Пыль (пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20 %, 20–70 %, а также более 70 %):	мг/нм ³	10	кг/т драгоценных металлов	≤ 10
	Взвешенные вещества	мг/нм ³	10	кг/т драгоценных металлов	≤ 40

Окончание таблицы А.2

Производственный процесс	Наименование загрязняющего вещества	Единица измерения	Величина	Единица измерения	Величина
	Азота диоксид	мг/нм ³	≤ 840	кг/т драгоценных металлов	≤ 80
	Азота оксид	мг/нм ³	≤ 360	кг/т драгоценных металлов	≤ 75
	Серы диоксид	мг/нм ³	≤ 100	кг/т драгоценных металлов	≤ 25
	Хлористый водород	мг/нм ³	≤ 10	кг/т драгоценных металлов	≤ 15
	Хлор	мг/нм ³	≤ 2,5	кг/т драгоценных металлов	≤ 10
	Аммиак	мг/нм ³	≤ 5	кг/т драгоценных металлов	≤ 40

При определении значений технологических показателей для выбросов маркерных веществ и расчете технологических нормативов для действующего объекта технологического нормирования необходимо использовать технологические показатели НДТ в одних единицах измерения.

Технологические показатели загрязняющих веществ в сбросах в водные объекты, соответствующие НДТ.

Наименование загрязняющего вещества / показателя	Единица измерения	Величина ¹⁾
Серебро	мг/дм ³	≤ 0,6
Мышьяк и его соединения	мг/дм ³	≤ 0,1
Кадмий	мг/дм ³	≤ 0,5
Медь	мг/дм ³	≤ 0,3
Ртуть и ее соединения	мг/дм ³	≤ 0,05
Никель	мг/дм ³	≤ 0,5
Свинец	мг/дм ³	≤ 0,5

¹⁾ Среднесуточное значение.

Приложение Б (обязательное)

Перечень НДТ

НДТ 1. Повышение общей результативности природоохранной деятельности. Внедрение и поддержание системы экологического менеджмента (СЭМ), соответствующей требованиям ГОСТ Р ИСО 14001 или ISO 14001.

НДТ 2. Эффективное использование энергии.

НДТ 3. Мониторинг выбросов в атмосферный воздух.

НДТ 4. Мониторинг сбросов сточных вод в водные объекты.

НДТ 5. Улавливание эмиссий в атмосферный воздух и водные объекты по возможности максимально близко к источнику с последующей их очисткой.

НДТ 6. Разработка и реализация в качестве составной части системы экологического менеджмента плана мероприятий по неорганизованным выбросам.

НДТ 7. Сокращение неорганизованных эмиссий, образующихся при хранении сырья.

НДТ 8. Сокращение неорганизованных эмиссий, образующихся при переработке и транспортировке сырья.

НДТ 9. Предупреждение или сокращение неорганизованных выбросов путем оптимизации параметров эффективности улавливания и очистки отходящих газов.

НДТ 10. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу от процедур предварительной обработки сырья (дробление, просеивание, смешивание), содержащего драгоценные металлы.

НДТ 11. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу при осуществлении пирометаллургических операций (получение сплава Доре и другие).

НДТ 12. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу при осуществлении процессов выщелачивания, растворения и электролиза драгоценных металлов.

НДТ 13. Сокращение неорганизованных выбросов от реализации гидрометаллургических процессов.

НДТ 14. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу от сжигания, прокаливания и сушки.

НДТ 15. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу при плавке готовой продукции.

НДТ 16. Снижение выбросов пыли и металла в атмосферный воздух на всех участках, где возможно их образование, в том числе измельчение, просеивание, смешивание, плавка, сжигание, обжиг, сушка и переработка.

НДТ 17. Снижение выбросов NO, NO₂ в атмосферный воздух в гидрометаллургических процессах, включая растворение / выщелачивание азотной кислотой.

НДТ 18. Предотвращение выбросов NO, NO₂ от пирометаллургических процессов.

НДТ 19. Снижение выбросов SO₂ в атмосферный воздух в процессах подготовки сырья, выбросов от процессов получения сплава Доре, включая процессы сжигания, обжига и сушки, а также гидрометаллургических процессов.

НДТ 20. Снижение выбросов при осуществлении комплекса технологических процессов переработки шламов.

НДТ 21. Снижение выбросов в атмосферный воздух, образующихся в результате осуществления комплекса технологических процессов аффинажа.

НДТ 22. Сокращение выбросов ртути от пирометаллургических процессов, в которых применяется сырье, содержащее ртуть.

НДТ 22.1 Сотрудничество с поставщиками сырья с целью удаления ртути из сырьевых материалов.

НДТ 23. Предотвращение образования сточных вод.

НДТ 24. Предотвращение загрязнения незагрязненных вод и сокращение сбросов загрязняющих веществ в водные объекты путем отделения незагрязненных стоков от других сточных вод, которые требуют очистки.

НДТ 25. Сокращение сбросов загрязняющих веществ со сточными водами путем очистки сточных вод, образующихся при производстве цветных и драгоценных металлов с целью удаления металлов.

НДТ 26. Предотвращение образования сточных вод.

НДТ 27. Предотвращение загрязнения почвы и грунтовых вод.

НДТ 28. Организация системы обращения с отходами, полупродуктами и оборотными материалами, способствующей их повторному использованию, а в случае невозможности — вторичной их переработки или утилизации.

Приложение В (обязательное)

Энергоэффективность и ресурсная эффективность

В.1 Краткая характеристика отрасли с точки зрения ресурсо- и энергопотребления

Уникальность драгоценных металлов, их неоспоримые преимущества по сравнению с другими металлами и материалами, невозможность замены более дешевыми металлами и материалами, наконец, высокая стоимость золота, серебра и МПГ позволяют утверждать, что производство драгоценных металлов не является ресурсо- и энергоемким процессом.

В производстве драгоценных металлов используются такие виды топлива, как природный газ, дизельное топливо, мазут, кокс и др.

Сырьевая база для производства золота и серебра представлена сырьем, добытым из недр, лигатурными сплавами, самородным золотом, промежуточными продуктами обогачительно-металлургического производства (шламы, катодные осадки, цинковые цементаты); вторичным сырьем (лом и отходы, полученные в результате использования драгоценного металла при производстве из него готовой продукции, в технике и быту (ювелирный лом, лом радиоэлектронной аппаратуры), собираемые (сдаваемые) для последующей переработки и частично переработанные). Для МПГ сырьевая база представлена платиновыми концентратами, полученными из медно-никелевых шламов (КП), природным концентратом, так называемой «сырой» или шлиховой платиной, вторичным сырьем (отработанные автомобильные катализаторы, электронный лом, катализаторные сетки, отходы стекольной промышленности, изделия электротехнической промышленности, отходы химической промышленности). Наряду с этим используются химические реагенты для осуществления процессов плавки, растворения, выщелачивания, электролитического рафинирования, восстановления, осаждения, экстракции, вспомогательные материалы и минеральные добавки (см. раздел 2).

Приоритетными задачами отрасли является внедрение технологий, обеспечивающих сокращение числа стадий производственного процесса, сокращение времени процесса, замена энергоемкого электролиза на энергосберегающие процессы (например, восстановление и осаждение), сокращение объема химических реагентов, улучшение экологического состояния за счет вовлечения в оборот вторичных сырьевых ресурсов, использование экологически чистого оборудования и технологий.

В.2 Основные технологические процессы, связанные с использованием энергии

Современный завод по производству драгоценных металлов перерабатывает 150 до 2500 кг сырья в сутки.

Основные характеристики используемого топлива, технологические процессы, связанные с его использованием, использование отходов в качестве сырья приведены в разделах 2 и 3.

В.3 Уровни потребления

Информация по материальному и энергетическому балансу процесса производства драгоценных металлов приведена в разделе 3.

В.4 Наилучшие доступные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

Таблица В.1 – НДТ 2. Эффективное использование энергии путем применения комбинации следующих методов:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Система энергетического менеджмента (СЭнМ)	Общеприменим
2	Регенеративные или рекуперативные горелки	
3	Использование избыточного тепла (например, пара, горячей воды или горячего воздуха), образующегося при реализации основных процессов	Применим для пирометаллургических процессов
4	Регенеративные дожигающие устройства	Применим, когда требуется очистка выбросов от горючих загрязняющих веществ
5	Предварительный разогрев шихты, подаваемого в камеру сгорания воздуха или топлива с помощью горячих газов, образующихся при плавке	Применим при обжиге или плавке сульфидной руды / концентрата и для других пирометаллургических процессов
6	Повышение температуры выщелачивающих растворов с использованием пара или горячей воды за счет избыточного тепла	Применим для гидрометаллургических процессов
7	Предварительный разогрев подаваемого в камеру сгорания воздуха с помощью горячих газов из литейных желобов	Применим только для пирометаллургических процессов
8	Подача на горелки воздуха, обогащенного кислородом, или чистого кислорода для уменьшения потребления энергии за счет автогенной плавки или полного сгорания углеродистого материала	Применим для печей, в которых используется сырье, содержащее серу или углерод
9	Низкотемпературная сушка концентратов и влажного сырья перед плавкой	Общеприменим
10	Использование химической энергии оксида углерода, образующейся в электрической печи, после очистки отходящих газов от пыли в качестве топлива в других производственных процессах, для производства пара / горячей воды или электроэнергии	Применим при содержании $CO > 10\%$ от общего объема отходящих газов. На применимость также влияет наличие постоянного потока отходящих газов

№	Метод / оборудование	Применимость
11	Рециркуляция загрязненных отходящих газов через кислородно-топливную горелку для использования энергии общего органического углерода	Общеприменим
12	Теплоизоляция объектов, функционирующих при высоких температурах, например, трубопроводов пара и горячей воды	
13	Использование высокоэффективных электродвигателей, оборудованных частотными преобразователями, для таких устройств как, например, вентиляторы	Общеприменим
14	Системы контроля, которые автоматически активируют включение местных отсосов пыли или отходящих газов только при возникновении выбросов	

НДТ 2а. Разработка, внедрение, поддержание в рабочем состоянии и постоянное выполнение определенных требований системы энергетического менеджмента (СЭНМ).

В.5 Целевые показатели ресурсной и энергоэффективности

Таблица В.1 – Показатели ресурсной и энергоэффективности

Показатель ресурсной или энергоэффективности (материальные ресурсы, энергопотребление, продукт/полупродукт, отходы, вторичные ресурсы и т.д.)	Ед. измерения	Значение
Переработка шлама		
Удельный расход электроэнергии	кВт/кг драгоценных металлов	≤39
Удельный расход пара	Гкал/кг драгоценных металлов	≤0,038
Удельный расход сжатого воздуха	м ³ /кг драгоценных металлов	≤20,35
Удельный расход природного газа	тут/кг драгоценных металлов	≤0,007
Аффинаж (производство драгоценных металлов)		
Удельный расход сырьевых материалов	т/кг драгоценных металлов	≤0,92
Удельный расход топлива	кг/кг драгоценных металлов	≤17,7
Удельный расход электроэнергии	кВт/кг драгоценных металлов	≤7,1
Удельный расход пара	Гкал/кг драгоценных металлов	≤0,005
Удельный расход сжатого воздуха	м ³ /кг драгоценных металлов	≤1,0
Удельный расход природного газа	кг/т/кг драгоценных металлов	≤0,01

В.6 Экономические аспекты реализации НДТ, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

Затраты на электроэнергию и энергетические ресурсы не играют значительную роль в расходах заводов по производству драгоценных металлов.

Принципиально важна для производства драгоценных металлов конъюнктура рынка: стоимость сырья и используемых в производстве материалов, цена конечной продукции и ее динамика, объем спроса и возможности для расширения производства.

Основной вклад в повышение энергоэффективности вносит внедрение перспективных технологий, обеспечивающих оптимизацию соотношения количества произведенных драгоценных металлов и энергетических затрат.

В.7 Перспективные технологии, направленные на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления

К перспективным технологиям, направленным на повышение энергоэффективности и оптимизацию и сокращение ресурсопотребления, относятся:

- технологии, позволяющие исключить стадии электролиза, — для производства золота и серебра.
- технология «молекулярного распознавания» — для производства МПГ.

Приложение Г (справочное)

Технологическое оборудование

Технологическое оборудование и основные этапы производства драгоценных металлов приведены в таблице ниже

Г.1 Основное оборудование

Технологический этап	Наименование оборудования	Технические характеристики
1	2	3
Классификация и фильтрация шламовой пульпы	Гидроциклон	Производительность — 75 м ³
	Фильтр - пресс	Фильтрующая поверхность — 41,39 м ²
Сульфатизирующая разварка и выщелачивание шлама	Реактор сульфатизирующей разварки	Объем — 2,78 м ³
	Бак выщелачиватель	Объем — 9,0 м ³
Фильтрация растворов выщелачивания	Фильтр - пресс	Фильтрующая поверхность — 41,39 м ²
Обжиг, сушка и плавка шлама	Печь обжига шлама	Мощность — 320 кВт
	Печь обжига шлама	Мощность — 240 кВт
	Печь плавильная отражательная	Д*Ш*В, мм — 4630*2440*2880 Площадь пода — 5,07 м ²
Приемка сырья, приемная плавка	Индукционная печь ⁶⁾	Загрузка — до 25 кг. Мощность — 25 кВт. Напряжение — 380 В
	Индукционная печь (плавка на гранулы)	Загрузка — до 50 кг. Мощность — 100 кВт. Напряжение — 380 В
	Индукционная печь	Загрузка — до 30 кг. Мощность — 85 кВт. Напряжение — 380 В
	Индукционная печь	Загрузка — до 300 кг. Мощность — 125 кВт. Напряжение — 380 В. Сила тока — 1100 А
	Индукционная печь	Загрузка — до 30 кг. Мощность — 100 кВт. Напряжение — 380 В
	Индукционная печь	Загрузка — до 5 кг. Мощность — 320 кВт. Напряжение — 380 В. Сила тока — 3800–4100 А

⁶⁾ Применяется и для лигатурной плавки, и для плавки готовой продукции.

Технологический этап	Наименование оборудования	Технические характеристики
	Электродуговая печь	Загрузка по объему — до 0,5 м ³ . Мощность — 400 кВт. Напряжение — 380 В. Сила тока — 1100 А
	Валковая дробилка	Мощность — 7,5 кВт. Напряжение — 380 В
	Дробильно-измельчительный комплекс	Мощность — 15 кВт. Напряжение — 380 В
	Щековая дробилка	Мощность — 7,5 кВт. Напряжение — 380 В
Гидрометаллургические операции	Реактор с мешалкой	Объем — от 50 до 1000 л
	Нутч-фильтр	Объем — от 50 до 500 л
	Вакуумный насос	Производительность — 12 м ³ /ч
	Фильтр-пресс	Производительность по фильтрату — не менее 0,1 м ³ /ч
	Турило (вакуумный сборник)	Объем — от 50 до 500 л
	Нитрит-реактор	Объем — 0,8 м ³
	Цементатор	Объем — от 1,5–2,0 м ²
	Реактор растворения ССЗ	Объем — 2,0 м ³
	Реактор кондиционирования	Объем — 0,3 м ³
	Реактор гидролитической очистки	Объем — 2,0 м ³
	Реактор растворения гранул золотых	Объем — 0,15 м ³
	Реактор осаждения золота аффинированного	Объем — 0,15 м ³
Реактор осаждения золота обратного	Объем — 0,3 м ³	
Электролиз золота и серебра	Электролизная ванна	Объем — 0,04 м ³ (для золота), 0,5 м ³ (для серебра)
	Электролизная ванна	1,25 м ³ (для серебра)
	Выпрямитель	Напряжение — 90 В. Сила тока — 400 А
	Ванна электролиза платиновых металлов	Объем — 0,16 м ³
Получение готовой продукции	Разливочный станок	Жаростойкость — не ниже 1500 °С
	Гидравлический пресс	Мощность — 40 т
	Вырубной пресс	
	Индукционная печь (для золота)	Загрузка — до 25 кг. Мощность — 25 кВт. Напряжение — 380 В
	Индукционная печь (для серебра)	Загрузка — до 400 кг. Мощность — 320 кВт. Напряжение — 380 В

Г.2 Вспомогательное оборудование

Назначение оборудования	Наименование оборудования	Технические характеристики
1	2	3
Сушка, прокаливание тиглей	Электрическое горно	Температура — 500 °С
Нагрев огнеупорных крышек для равномерной кристаллизации слитков золота	Селитовая печь	Температура — 1200 °С
Подъем и перемещение грузов	Электротельфер	Грузоподъемность — 1 т
Сушка продуктов	Сушильный шкаф	Температура — 500 °С
Взвешивание продуктов	Крановые весы	Грузоподъемность — 1 т
Перевозка полупродуктов	Трехколесная тележка	Грузоподъемность — 0,5 т

Г.3 Газоочистное оборудование

Назначение оборудования	Наименование оборудования	Технические характеристики
1	2	3
Дробильный комплекс	Рукавные фильтры	Скорость потока — 10 000–13 000 м ³ /ч
Зонты печей		Скорость потока — 26 000 м ³ /ч
Электролиз, растворение, цементация	Ватные фильтры	Скорость потока — 14 000 м ³ /ч. Размеры — 600 × 1200
Гидрометаллургические операции, включая растворение в азотной кислоте		Скорость потока — 40 000 м ³ /ч. Размеры — 1400 × 1800
Аффинаж МПГ		Скорость потока — 1500–1600 м ³ /ч. Размеры — 500 × 700
Аналитическая лаборатория. Пробирное отделение		Скорость потока — 7000 м ³ /ч. Размеры — 1000 × 1400
Аналитическая лаборатория. Спектральное отделение		Скорость потока — 3600 м ³ /ч. Размеры — 600 × 1200
Шламовое отделение		Скорость потока — 12 000 м ³ /ч. Размеры — 2200 × 1400
Литейный корпус. Зонты печей		Скорость потока — 11 000 м ³ /ч. Размеры — 1000 × 1400
Литейный корпус. Разливочный станок		1. Скорость потока — 8700 м ³ /ч. Размеры — 1000 × 900 2. Скорость потока — 4700 м ³ /ч. Размеры — 900 × 800
Гидрометаллургические операции	Фильтры ФАВ ФВГ Фильтры ФВГ Фильтры ФВГ Абсорберы ЦБА	1. Скорость потока — 1000 м ³ /ч 1. Скорость потока — 1100 м ³ /ч 1. Скорость потока — 1100 м ³ /ч. 2. Материал — полипропилен

Окончание таблицы Г.3

Назначение оборудования	Наименование оборудования	Технические характеристики
1	2	3
Электролиз золота и серебра	Фильтры ФВГ	1. Скорость потока — 15000 м ³ /ч
Получение готовой продукции	Фильтры ФВГ	1. Скорость потока — 3500 м ³ /ч
Переработка шлама	Скруббер Вентури	1. Скорость потока — 15000 м ³ /ч. 2. Материал — стеклопластик. 3. Диаметр горловины — 210 мм
	Электрофильтр	1. Скорость потока — 11000 м ³ /ч. 2. Размер — 3,69 × 5,938 м

Приложение Д

(обязательное)

Заключение по наилучшим доступным технологиям

«Производство драгоценных металлов»

Область применения

Область применения настоящего заключения совпадает с областью применения информационно-технического справочника по НДТ для производства драгоценных металлов (ИТС 14–2020 «Производство драгоценных металлов») и распространяется на предприятия, имеющих право осуществлять аффинаж драгоценных металлов⁷, и включает следующие виды деятельности:

- производство драгоценных металлов из шламов, концентратов, природных концентратов (шлиховое золото, шлиховая платина), шлаков, кеков, вторичных сырьевых ресурсов посредством гидрометаллургических, пирометаллургических и электрохимических процессов;
- производство порошков и слитков драгоценных металлов, производство сплавов на основе драгоценных металлов.

Заключение распространяется на методы производства первичных и вторичных драгоценных металлов. Между этими производствами практически невозможно провести четкую грань. Нередко при производстве первичных металлов в рамках общих производственных процессов с целью экономии энергии, минимизации производственных затрат и вторичного использования образующихся отходов используется вторичное сырье. Вторичное производство драгоценных металлов включает производство металла из вторичного сырья (электронного лома, отработанных катализаторов, отходов изделий и сплавов и т. п.) гидрометаллургическими, пирометаллургическими и электрохимическими методами.

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

- хранение и подготовка сырья;
- хранение и подготовка топлива;
- производственные процессы (пирометаллургические, гидрометаллургические и электролитические);
- методы предотвращения и сокращения эмиссий и образования отходов;
- хранение и подготовка продукции.

⁷ Перечень организаций, имеющих право осуществлять аффинаж драгоценных металлов утверждается Правительством Российской Федерации.

Заключение не распространяется на:

- виды деятельности, установленные в ИТС 49–2017 «Добыча драгоценных металлов»;
- вопросы, которые касаются исключительно обеспечения промышленной безопасности или охраны труда.

Вопросы обеспечения промышленной безопасности и охраны труда частично рассматриваются только в тех случаях, когда оказывают влияние на виды деятельности, включенные в область применения Заключения.

Дополнительные виды деятельности при производстве драгоценных металлов и соответствующие им справочники НДТ приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Дополнительные виды деятельности при производстве драгоценных металлов и соответствующие им справочники НДТ

Вид деятельности	Соответствующий справочник НДТ
Применение методов и управленческих решений для повышения энергоэффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности на предприятиях (объектах) I категории	ИТС 48–2017 «Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности»
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 46–2019 «Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)»
Обращение с отходами	ИТС 9–2015 «Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание отходов)» ИТС 15–2016 «Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов)» ИТС 17–2016 «Размещение отходов производства и потребления»
Методы добычи драгоценных металлов	ИТС 49–2017 «Добыча драгоценных металлов»

Сфера распространения Заключения приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Сфера распространения Заключения

ОКПД*	Наименование продукции по ОКПД	Наименование вида деятельности по ОКВЭД	ОКВЭД**
24	Металлы основные	Раздел D. Обрабатывающие производства. Подраздел DJ. Металлургическое производство и производство готовых металлических изделий. Металлургическое производство	24
24.4	Металлы основные драгоценные и цветные прочие; топливо ядерное переработанное	Производство цветных металлов	24.4
24.41***	Металлы драгоценные	Производство драгоценных металлов	24.41
24.41.1	Серебро необработанное или полуобработанное, или в виде порошка	—	
24.41.2	Золото необработанное или полуобработанное, или в виде порошка	—	
24.41.3	Платина и металлы платиновой группы необработанные или полуобработанные, или в виде порошка	—	
<p>* ОК 034–2014 (КПЕС 2008) Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности.</p> <p>** ОК 029–2014 (КДЕС РЕД. 2) Общероссийский классификатор видов экономической деятельности.</p> <p>*** в соответствии с областью применения настоящего справочника.</p>			

1 Наилучшие доступные технологии

Заключение содержит перечень кратких описаний НДТ, применяемых при производстве драгоценных металлов.

В соответствии с Федеральным законом от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» [27] НДТ — это технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения. При этом к НДТ могут быть отнесены как технологические процессы, оборудование, технические способы, так и другие методы защиты окружающей среды.

Перечень методов, перечисленных ниже в описаниях НДТ, не является предписывающим или исчерпывающим. Могут применяться и иные методы, обеспечивающие по меньшей мере такой же уровень охраны окружающей среды.

Технологические показатели приняты в виде концентраций, что соответствует положениям нормативной правовой базы. Значение показателей определено как среднесуточное или среднее за период пробоотбора.

Наименования веществ приведены в соответствии с распоряжением Правительства РФ от 8 июля 2015 г. № 1316-р [28].

Уровни выбросов в атмосферный воздух, приведены для стандартных / нормальных условий: сухой газ при температуре 0 °С и давлении 101,3 кПа.

1.1 Системы экологического менеджмента (СЭМ)

НДТ 1. Повышение общей результативности природоохранной деятельности. Внедрение и поддержание системы экологического менеджмента (СЭМ), соответствующей требованиям ГОСТ Р ИСО 14001 или ISO 14001. Соответствие систем менеджмента указанным стандартам не означает их обязательную сертификацию.

1.2 Повышение энергоэффективности и сокращение ресурсопотребления

НДТ 2. Эффективное использование энергии путем применения комбинации следующих методов:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Система энергетического менеджмента (СЭМ)	Общеприменим
2	Регенеративные или рекуперативные горелки	
3	Использование избыточного тепла (например, пара, горячей воды или горячего воздуха), образующегося при реализации основных процессов	Применим для пирометаллургических процессов
4	Регенеративные дожигающие устройства	Применим, когда требуется очистка выбросов от горючих загрязняющих веществ
5	Предварительный разогрев шихты, подаваемого в камеру сгорания воздуха или топлива с помощью горячих газов, образующихся при плавке	Применим при обжиге или плавке сульфидной руды / концентрата и для других пирометаллургических процессов
6	Повышение температуры выщелачивающих растворов с использованием пара или горячей воды за счет избыточного тепла	Применим для гидрометаллургических процессов
7	Предварительный разогрев подаваемого в камеру сгорания воздуха с помощью горячих газов из литейных жёлбов	Применим только для пирометаллургических процессов

№	Метод / оборудование	Применимость
8	Подача на горелки воздуха, обогащенного кислородом, или чистого кислорода для уменьшения потребления энергии за счет автогенной плавки или полного сгорания углеродистого материала	Применим для печей, в которых используется сырье, содержащее серу или углерод
9	Низкотемпературная сушка концентратов и влажного сырья перед плавкой	Общеприменим
10	Использование химической энергии оксида углерода, образующейся в электрической печи, после очистки отходящих газов от пыли в качестве топлива в других производственных процессах, для производства пара / горячей воды или электроэнергии	Применим при содержании CO > 10 % от общего объема отходящих газов. На применимость также влияет наличие постоянного потока отходящих газов
11	Рециркуляция загрязненных отходящих газов через кислородно-топливную горелку для использования энергии общего органического углерода	Общеприменим
12	Теплоизоляция объектов, функционирующих при высоких температурах, например, трубопроводов пара и горячей воды	
13	Использование высокоэффективных электродвигателей, оборудованных частотными преобразователями, для таких устройств как, например, вентиляторы	Общеприменим
14	Системы контроля, которые автоматически активируют включение местных отсосов пыли или отходящих газов только при возникновении выбросов	

1.3 Контроль технологических процессов и мониторинг эмиссий

НДТ 3. Мониторинг выбросов в атмосферный воздух — это регулярный мониторинг выбросов, проводимый по нормативным документам, определенным в установленном порядке, приведенным ниже показателям и с установленной частотой.

№	Показатель	Минимальная частота мониторинга	Связь с НДТ
1	Пыль	В соответствии с категорией источника	НДТ 20, 21
2	Взвешенные вещества	В соответствии с категорией источника	НДТ 20, 21
3	Серы диоксид	В соответствии с категорией источника	НДТ 20, 21
4	Азота оксид	В соответствии с категорией источника	НДТ 21
5	Азота диоксид	В соответствии с категорией источника	НДТ 21
6	Аммиак	В соответствии с категорией источника	НДТ 21
7	Хлористый водород	В соответствии с категорией источника	НДТ 21
8	Хлор	В соответствии с категорией источника	НДТ 21

НДТ 4. Мониторинг сбросов сточных вод в водные объекты — это регулярный мониторинг выбросов, проводимый по нормативным документам, определенным в установленном порядке, приведенным ниже показателям и с установленной частотой.

№	Показатель	Минимальная частота мониторинга
1	Серебро	Не реже одного раза в месяц
2	Мышьяк и его соединения	
3	Кадмий	
4	Медь	
5	Никель	
6	Свинец	
7	Ртуть и ее соединения	

Если предприятие не имеет собственного водовыпуска и не сбрасывает сточные воды в различные водные объекты, подземные горизонты, поля фильтрации, земельные участки орошения, накопители, то соответствующий мониторинг не проводят.

При сбросе сточных вод в централизованную систему канализации контроль состава сточных вод перед сбросом в централизованную систему ведется санитарной экологической лабораторией предприятий, а также контролирующими организациями.

1.4 Эмиссии от неорганизованных источников

1.4.1 Предотвращение эмиссий от неорганизованных источников

НДТ 5. Улавливание эмиссий в атмосферный воздух и водные объекты по возможности максимально близко к источнику с последующей их очисткой.

НДТ предназначена для предотвращения или, где это нецелесообразно, сокращения неорганизованных эмиссий в воздух и водные объекты.

НДТ 6. Разработка и реализация в качестве составной части системы экологического менеджмента (см. НДТ 1) плана мероприятий по неорганизованным выбросам, предусматривающего, кроме прочего:

в) инвентаризацию наиболее характерных источников неорганизованных выбросов;

г) определение и реализацию соответствующих мероприятий и методов по предотвращению и сокращению неорганизованных выбросов в течение определенного периода времени.

НДТ предназначена для предотвращения или, где это нецелесообразно, сокращения неорганизованных выбросов пыли.

НДТ 7. Сокращение неорганизованных эмиссий, образующихся при хранении сырья, путем применения комбинации следующих методов:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Использование закрытых помещений или емкостей / бункеров	Применяется для пылящих материалов
2	Сооружение укрытий над площадками хранения	Применяется для всех видов материалов
3	Герметичная упаковка	Применяется для хранения пылящих материалов, а также вторичного сырья, содержащего растворимые в воде органические соединения
4	Сооружение укрытий над пролетами	Применяется при гранулировании / агломерации материала
5	Разбрызгивание воды	Не применяется для процессов, в которых используются сухие материалы или руды / концентраты, содержащие достаточное количество естественной влаги, чтобы предотвратить пылеобразование. Применение также ограничено в регионах с нехваткой воды или с очень низкими зимними температурами
6	Размещение устройств для улавливания пыли / газов в точках загрузки и перегрузки	Применяется в местах складирования пылящих материалов
7	Использование сертифицированных сосудов под давлением для хранения газообразного хлора или смесей, которые содержат хлор	Общеприменим
8	Использование для сооружения емкостей строительных материалов, устойчивых к загружаемым материалам	
9	Применение 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	

№	Метод / оборудование	Применимость
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 должны 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 8. Сокращение неорганизованных эмиссий, образующихся при переработке и транспортировке сырья, путем применения комбинации следующих методов:

	Метод / оборудование	Применимость
1	Замена сравнительно опасных химических веществ на химические вещества более низкого класса опасности* и обладающих сравнимыми (или более высокими) технико-экономическими параметрами применения, в т. ч. с целью достижения минимумов материальных потоков между процессами, как соответствующими критерию технологичности и экологичности	Общеприменим
2	Сооружение закрытых конвейеров или пневматических систем для транспортировки и переработки материалов	Общеприменим
3	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
4	Использование для обращения с измельченными или водорастворимыми материалами закрытых мешков или бочек	Общеприменим
5	Использование специальных контейнеров для обработки уложенных на поддонах материалов	
6	Разбрызгивание воды для увлажнения материалов в местах их обработки	

	Метод / оборудование	Применимость
7	Использование максимально коротких маршрутов транспортировки	
8	Уменьшение высоты падения с конвейерных лент, механических лопат или захватов	
9	Регулировка скорости открытых ленточных конвейеров (< 3,5 м/с)	Применяется при использовании открытых ленточных конвейеров
10	Проведение плановых кампаний по уборке дорог	Общеприменим
11	Разделение несовместимых материалов (например, окислителей и органических материалов)	
12	Минимизация материальных потоков между процессами	
*) Технический регламент Евразийского экономического союза «О безопасности химической продукции (ТР ЕАЭС 041/2017)». VI. Требования безопасности химической продукции: п. 28.		

НДТ 9. Предупреждение или сокращение неорганизованных выбросов путем оптимизации параметров эффективности улавливания и очистки отходящих газов при применении комбинации следующих методов:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Использование закрытых печей, оснащенных системами пылеулавливания, или оснащение печей и другого технологического оборудования вытяжными системами	Применение может быть ограничено соображениями безопасности (например, типом / конструкцией печи, наличием угрозы взрыва)
2	Оснащение печей и конверторов вторичными системами отведения газов в точках загрузки и выгрузки	
3	Сбор пыли и испарений в местах перегрузки пылящих материалов (например, в точках загрузки и выгрузки печей, на литейных лотках)	Общеприменим
4	Оптимизация конструкции и технологии эксплуатации вытяжных устройств и газоходов с целью улавливания газов, возникающих при загрузке шихты и отходящих от разогретого металла; выдача и перемещение расплавов сульфидов или шлаков по закрытым желобам	Для существующих заводов применение может быть ограничено имеющимся пространством и сложившейся планировкой размещения объектов в цехах
5	Сооружение укрытий печей / реакторов, например, с помощью кессонов, для улавливания выбросов при загрузочных операциях и выдаче расплавов	
6	Использование систем, позволяющих подавать сырье небольшими порциями	Применяется только для полужакрытых печей

1.4.2 Предотвращение неорганизованных выбросов при производстве драгоценных металлов

НДТ 10. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу от процедур предварительной обработки сырья (дробление, просеивание, смешивание), содержащего драгоценные металлы, путем применения одного из следующих методов или их комбинации:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Закрытые зоны предварительной обработки и системы транспортировки	Применимо только для пылящих материалов
2	Организация системы пылеулавливания на участке предварительной обработки сырья и при проведении погрузочно-разгрузочных работ	Применимо только для пылящих материалов
3	Электроблокировка, обеспечивающая невозможность эксплуатации оборудования без системы пылеулавливания	Для любых материалов

НДТ 11. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу при осуществлении пирометаллургических операций (получение сплава Доре и другие) путем применения следующих методов:

№	Метод / оборудование
1	Закрытые помещения и/или зоны плавильных печей
2	Проведение процессов под вакуумом
3	Организация для плавильных печей системы пылеулавливания
4	Электроблокировка, обеспечивающая невозможность эксплуатации оборудования без системы пылеулавливания

НДТ 12. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу при осуществлении процессов выщелачивания и электролиза золота путем применения одного из следующих методов или их комбинации:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Использование других (заменяемых) типов электролитов, обеспечивающих осуществление технологических процессов (выщелачивания, растворения и электролиза) и имеющих более низкие газовые проявления (свойства электролита)	Общеприменим
2	Закрытые резервуары / аппараты и изолированные трубопроводы для транспортировки растворов	Для всех указанных процессов
3	Вытяжные системы для электролизеров	Применимо для электролиза золота
4	Водная завеса ¹⁾	Применимо для производства золота
¹⁾ Водная стена (завеса), которая может использоваться для предотвращения выделения газообразного хлора при выщелачивании анодных шламов соляной кислотой или другими реагентами.		

НДТ 13. Сокращение неорганизованных выбросов от реализации гидрометаллургических процессов путем применения следующих методов:

№	Метод / оборудование
1	Меры по уменьшению уровня выбросов, таких как применение закрытых емкостей и резервуаров, аппаратов и баков с регуляторами уровня, изолированных труб, закрытых дренажных систем, планирование программ обслуживания оборудования
2	Реакционные сосуды и резервуары, подключенные к общей системе воздухопроводов для утилизации отходящих газов (резервная система автоматически подключается в случае отказа основной)

НДТ 14. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу от сжигания, прокаливания и сушки путем применения следующих методов:

№	Метод / оборудование
1	Подсоединение всех прокалочных и мусоросжигательных печей, сушильных шкафов к общей вытяжной системе
2	Применение системы электронного контроля, обеспечивающей в случае отключения электроэнергии запуск резервного генератора, который обеспечивает через автоматизированную систему управления эксплуатацию оборудования, запуск и завершение работы, удаление отработанной кислоты, подачу свежей кислоты в скрубберы

НДТ 15. Сокращение неорганизованных выбросов в атмосферу при плавке готовой продукции путем применения следующих методов:

№	Метод / оборудование
1	Изолированные печи, работающие под вакуумом
2	Эффективные вытяжные и вентиляционные системы

1.5 Выбросы в атмосферный воздух от стационарных источников

1.5.1 Выбросы пыли и металлов

НДТ 16. Снижение выбросов пыли и металла в атмосферный воздух на всех участках, где возможно их образование, в том числе измельчение, просеивание, смешивание, плавка, сжигание, обжиг, сушка и переработка, путем применения одной или несколько газоочистных установок.

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Рукавный фильтр	Неприменим для газовых выбросов с высоким содержанием селена
2	Мокрый скруббер	Общеприменим
3	Мокрый электрофильтр	Общеприменим
4	Циклон	Общеприменим

1.5.2 Выбросы NO, NO₂

НДТ 17. Снижение выбросов NO, NO₂ в атмосферный воздух в гидрометаллургических процессах, включая растворение / выщелачивание азотной кислотой, путем применения одного из следующих методов или их комбинации:

№	Метод / оборудование
1	Щелочной скруббер с каустической содой
2	Скруббер с окислителем (кислород, пероксид, аммоний и т. п.) или восстановителем (мочевина и др.) ¹⁾
¹⁾ Часто применяется в сочетании с щелочным скруббером с каустической содой.	

НДТ 18 Предотвращение выбросов NO, NO₂ от пирометаллургических процессов путем применения одного из следующих методов.

	Метод / оборудование	Применимость
1	Кислородно-топливные горелки	Общеприменим
2	Повторное прохождение отходящих газов через горелки для снижения температуры пламени	Применяется для кислородно-топливных горелок

1.5.3 Выбросы SO₂

НДТ 19. Снижение выбросов SO₂ в атмосферный воздух в процессах подготовки сырья, выбросов от процессов получения сплава Доре, включая процессы сжигания, обжига и сушки, а также гидрометаллургических процессов путем применения одного из следующих методов или их комбинации:

№	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	Мокрый электрофильтр	Общеприменим

1.5.4 Технологические показатели

НДТ 20. Снижение выбросов при осуществлении комплекса технологических процессов переработки шламов.

В комплекс технологических процессов входят измельчение, обжиг, выщелачивание, плавка кеков выщелачивания в электропечах, осаждение концентратов, содержащих драгоценных металлов.

НДТ подразумевает применение одной или несколько газоочистных установок (примеры применимости установок приведены в НДТ 16–19, при этом могут применяться и другие методы или комбинация методов).

Технологические показатели НДТ 20

Технологический показатель	Единица измерения	Значение	Единица измерения	Значение
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20 %, 20–70 %, а также более 70 %	мг/нм ³	≤ 120	кг/т золото-серебряных сплавов	≤ 50
Взвешенные вещества	мг/нм ³	≤ 120	кг/т золото-серебряных сплавов	≤ 50
Серы диоксид	мг/нм ³	≤ 1500	кг/т золото-серебряных сплавов	≤ 100
При определении значений технологических показателей для выбросов маркерных веществ и расчете технологических нормативов для действующего объекта технологического нормирования необходимо использовать технологические показатели НДТ в одних единицах измерения.				

Мониторинг выбросов проводят согласно НДТ 3.

НДТ 21. Снижение выбросов при осуществлении комплекса технологических процессов аффинажа.

В комплекс технологических процессов входят измельчение, плавка, просеивание металлического порошка (конечного продукта аффинажа), электролиз, цементация, избирательное растворение (выщелачивание), осаждение, прокаливание

НДТ подразумевает применение одной или несколько газоочистных установок (примеры применимости установок приведены в НДТ 16–19, при этом могут применяться и другие методы или комбинация методов).

Технологические показатели НДТ 21

Технологический показатель	Единица измерения	Значение	Единица измерения	Значение
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20 %, 20–70 %, а также более 70 %	мг/нм ³	10	кг/т драгоценных металлов	≤ 10
Взвешенные вещества	мг/нм ³	10	кг/т драгоценных металлов	≤ 40
Азота диоксид	мг/нм ³	≤ 840	кг/т драгоценных металлов	≤ 80
Азота оксид	мг/нм ³	≤ 360	кг/т драгоценных металлов	≤ 75
Серы диоксид	мг/нм ³	≤ 100	кг/т драгоценных металлов	≤ 25
Хлористый водород	мг/нм ³	≤ 10	кг/т драгоценных металлов	≤ 15
Хлор	мг/нм ³	≤ 2,5	кг/т драгоценных металлов	≤ 10
Аммиак	мг/нм ³	≤ 5	кг/т драгоценных металлов	≤ 40
При определении значений технологических показателей для выбросов маркерных веществ и расчете технологических нормативов для действующего объекта технологического нормирования необходимо использовать технологические показатели НДТ в одних единицах измерения.				

Мониторинг выбросов проводят согласно НДТ 3.

1.5.5 Выбросы ртути

НДТ 22. Сокращение выбросов ртути от пирометаллургических процессов, в которых применяется сырье, содержащее ртуть, путем применения комбинации следующих методов:

№	Метод / оборудование
1	Использование сырья с низким содержанием ртути
2	Использование адсорбентов в сочетании с фильтрацией пыли
3	Мокрое улавливание с последующей сорбцией или осаждением ртути и переводом ртути в труднорастворимые соединения

НДТ 22.1. Предполагается также сотрудничество с поставщиками сырья с целью удаления ртути из сырьевых материалов.

1.6 Сбросы сточных вод

НДТ 23. Предотвращение образования сточных вод путем применения одного из следующих методов или их комбинации:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Измерение объемов используемой и сбрасываемой воды	Общеприменим
2	Возврат в технологический процесс воды, использованной для промывки (в том числе промывки анодов и катодов), и разлитой воды	
3	Повторное использование слабых кислот из стоков	Применяется в зависимости от содержания в сточных водах металлов и твердых веществ на предприятиях, имеющих сбросы
4	Повторное использование сточных вод от грануляции шлака	
5	Использование поверхностных стоков	Общеприменим для предприятий, имеющих сбросы
6	Повторное использование воды, проходящей через очистные сооружения	Применяется в зависимости от содержания солей

НДТ 24. Предотвращение загрязнения незагрязненных вод и сокращение сбросов загрязняющих веществ в водные объекты путем отделения незагрязненных стоков от других сточных вод, которые требуют очистки.

Отделение незагрязненных ливневых стоков может быть неприменимо на существующих установках.

НДТ 25. Сокращение сбросов загрязняющих веществ со сточными водами путем очистки сточных вод, образующихся при производстве цветных и драгоценных металлов с целью удаления металлов, путем применения следующих методов:

№	Метод / оборудование	Применимость
1	Химическое осаждение	Общеприменим
2	Фильтрация	
3	Фильтрация через активированный уголь или ионообменную смолу	

Значения концентраций загрязняющих веществ в прямых сбросах при производстве драгоценных металлов в принимающие водные объекты:

Показатель	Средний уровень концентраций загрязняющих веществ для данной НДТ, мг/л ¹⁾
Серебро	≤ 0,6
Мышьяк и его соединения	≤ 0,1
Кадмий	≤ 0,5
Медь	≤ 0,3
Ртуть и ее соединения	≤ 0,05
Никель	≤ 0,5
Свинец	≤ 0,5
¹⁾ Среднесуточное значение.	

НДТ 26. Предотвращение образования сточных вод путем применения одного из следующих методов или их комбинации:

№	Метод
1	Утилизация отработавших жидкостей из скрубберов и других реагентов, образующихся на гидрометаллургических стадиях выщелачивания или других операциях аффинажа
2	Утилизация растворов процессов выщелачивания, экстракции и осаждения

1.7 Защита почвы и грунтовых вод

НДТ 27. Предотвращение загрязнения почвы и грунтовых вод путем применения следующих методов:

№	Метод / оборудование
1	Использование герметизированной дренажной системы
2	Использование двойного ограждения или упорной стены
3	Использование кислотостойкого непроницаемого пола
4	Автоматический контроль уровня в реакционных аппаратах
5	Использование гидроизоляционного пленочного покрытия в основании и откосах карт хранения промышленных отходов

1.8 Обращение с отходами, полупродуктами и обоотными материалами

НДТ 28. Организация системы обращения с отходами, полупродуктами и оборотными материалами, способствующей их повторному использованию, а в случае невозможности — вторичной их переработки или утилизации, включая использование одного или нескольких методов, приведенных в таблице

№	Метод / оборудование
1	Извлечение металлов из шлаков, пылевых фильтров, систем влажного обеспыливания
2	Извлечение селена из систем мокрого обеспыливания, содержащих селен, перешедший в газовую фазу
3	Извлечение серебра из отработанных электролитов и растворов промывки шламов
4	Извлечение металлов из продуктов очистки электролитов (например, серебряный цементат, осадок основного карбоната меди и т. п.)
5	Извлечение золота, серебра и МПГ из электролитов, шламов и растворов после выщелачивания
6	Извлечение металлов из остатков анодов

НДТ по шуму и запаху отсутствуют, так как шум и запах для отрасли, производящей драгоценные металлы, не являются приоритетными.

2 Производственный экологический контроль

Производственный экологический контроль эмиссий проводится с целью подтверждения соблюдения требований КЭР в части обеспечения соответствия фактических технологических показателей технологическим нормативам.

2.1 Показатели выбросов, соответствующие НДТ

Показатели выбросов, соответствующие НДТ, указанные в соответствующих заключениях по НДТ, приведены для стандартных / нормальных условий: сухой газ при температуре 0 °С и давлении 101,3 кПа.

2.2 Периоды усреднения показателей выбросов

Для периодов усреднения показателей выбросов применяются следующие определения:

Среднесуточное значение	Среднее значение взятых в течение 24 часов получасовых или почасовых средних значений, полученных при непрерывном измерении
Среднее значение за период пробоотбора ¹	Среднее значение трех последовательных замеров, если не указано иное ²
¹ В таблицах, содержащих значения показателей воздушных выбросов, соответствующие НДТ, если не указано иное, приведены средние значения за период пробоотбора. ² Для периодических процессов могут использоваться средние значения из представительного числа замеров, выполненных за соответствующий период производственного цикла.	

2.3 Периоды усреднения показателей сбросов в водные объекты

Для периодов усреднения показателей сбросов в водные объекты, применяется следующее определение:

Среднесуточное значение	Среднее значение измерений, проведенных за период 24 часа составных проб, пропорционально потоку (или составных проб пропорционально времени при условии, что наблюдается достаточная стабильность потока) ¹
¹ Для прерывистых потоков может использоваться иная процедура пробоотбора, обеспечивающая репрезентативные результаты (например, отбор разовых проб).	

2.4 Измеряемые показатели эмиссий и их нормативные значения

Перечень маркерных веществ, определенных для производства драгоценных металлов в качестве технологических показателей, приведен в таблице Д.2.1

Т а б л и ц а Д . 2 . 1 – Перечень маркерных веществ

Для атмосферного воздуха	Для водных объектов
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20 %, 20–70 %, а также более 70 %	Серебро
Взвешенные вещества	Мышьяк и его соединения
Серы диоксид	Кадмий
Азота оксид	Медь
Азота диоксид	Ртуть и ее соединения
Аммиак	Никель
Хлористый водород	Свинец
Хлор	

Значения указанных технологических показателей приведены в таблицах, включенных в заключения по НДТ (см. выше раздел 1).

Значения технологических показателей по выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух установлены в заключениях по следующим НДТ: НДТ 20 и НДТ 21. Состав технологических показателей, а также их значений для конкретной НДТ индивидуален и определяется особенностями соответствующих технологических процессов.

Значения технологических показателей по сбросам загрязняющих веществ в водные объекты установлены в заключении по НДТ 4.

2.4 Периодичность измерений

Периодичность измерений определяется исходя как минимум из следующих факторов:

– положений методических указаний (руководящих документов — РД) по взятию проб и измерению концентрации соответствующих загрязняющих веществ;

ИТС 14–2020

- практической целесообразности с учетом свойств и объемов соответствующих загрязняющих веществ;
- экономической эффективности (неизбыточности затрат).

Кроме того, выбор методов и периодичности контроля зависит от наличия соответствующих аппаратных методов. Соответствующая информация для технологических показателей выбросов и сбросов приведена ниже в таблицах Д.2.2 и Д.2.3.

Т а б л и ц а Д. 2.2 – Наличие методов контроля технологических показателей для выбросов

Технологический показатель	Наличие методов контроля	
	Непрерывный с применением АСК	Периодический (разовые пробы)
Пыль неорганическая с содержанием кремния менее 20 %, 20–70 %, а также более 70 %	Да	Да
Взвешенные вещества	Да	Да
Серы диоксид	Да	Да
Азота диоксид	Да	Да
Азота оксид		

Наиболее характерными технологическими показателями выбросов для производства драгоценных металлов являются *взвешенные вещества, пыль неорганическая, диоксид серы, оксиды азота*, которые рекомендуется, когда это предусмотрено нормативными документами, контролировать с помощью АСК.

Производственный экологический контроль технологических стоков, сбрасываемых в природные водные объекты, должен предусматривать следующие параметры и частоту контроля:

Т а б л и ц а Д. 2.3 – Наличие методов контроля технологических показателей для сбросов

Технологический показатель	Наличие методов контроля	
	Непрерывный с применением АСК	Периодический (разовые пробы)
Металлы	Нет	Да

Показатели должны контролироваться на основе отбора периодических проб в рамках программы производственного экологического контроля.

Системы автоматического контроля выбросов/сбросов создаются в соответствии с:

- постановлением Правительства РФ от 13 марта 2019 N 262 «Об утверждении Правил создания и эксплуатации системы автоматического контроля выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ»;
- постановление Правительства РФ от 13 марта 2019 N 263 «О требованиях к автоматическим средствам измерения и учета показателей выбросов загрязняющих ве-

ществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, к техническим средствам фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду»;

– распоряжением Правительства РФ от 13 марта 2019 N 428-р «Об утверждении видов технических устройств, оборудования или их совокупности (установок) на объектах I категории, стационарные источники выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ которых подлежат оснащению автоматическими средствами измерения и учета показателей выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ, а также техническими средствами фиксации и передачи информации о показателях выбросов загрязняющих веществ и (или) сбросов загрязняющих веществ в государственный реестр объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду».

Библиография

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30 апреля 2019 г. № 866-р «Об утверждении поэтапного графика актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям».
2. Федеральный закон от 10 января 2002 года №7–ФЗ (ред. от 28 ноября 2015) «Об охране окружающей среды» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01 января 2016).
3. ГОСТ Р 113.00.03-2019 Наилучшие доступные технологии. Структура информационно-технического справочника.
4. ГОСТ Р 113.00.04-2020 Наилучшие доступные технологии. Формат описания технологий.
5. ГОСТ Р 56828.15-2016 Наилучшие доступные технологии. Термины и определения.
6. Постановление 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».
7. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 24 декабря 2014 г. № 2674-р «Об утверждении Перечня областей применения наилучших доступных технологий».
8. Приказ Минпромторга России от 16 апреля 2020 г № 1255 «О создании технической рабочей группы «Производство драгоценных металлов».
9. Приказ Минпромторга России от 18 декабря 2019 г. № 4841 «Об утверждении порядка сбора и обработки данных, необходимых для разработки и актуализации информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям».
10. Федеральный закон от 26 марта 1998 № 41-ФЗ «О драгоценных металлах и драгоценных камнях» в редакции от 02 мая 2015.
11. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов российской федерации в 2018 году / под ред. Е.А. Киселева ; ФГБУ «ВИМС», 2019. – 425 с.
12. Состояние рынка золота [Электронный ресурс] : https://gold.tanaka.co.jp/market_data/gold_2019_digest.pdf (дата обращения : 25.04.20)
13. Состояние рынка золота [Электронный ресурс] : <https://www.gold.org/goldhub/data/gold-supply-and-demand-statistics> (дата обращения : 25.04.20).
14. Состояние рынка серебра [Электронный ресурс] : <https://ru-precious-met.livejournal.com> (дата обращения : 30.05.2020).
15. Состояние рынка серебра [Электронный ресурс] : <https://www.silverinstitute.org/wp-content/uploads/2020/04/World-Silver-Survey-2020.pdf> (дата обращения : 30.05.2020).

16. Обзор рынка металлов платиновой группы – 2019 <https://matthey.com/en> (дата обращения 30.05.2020)
17. <https://www.minfin.ru/ru/> (дата обращения : 30.05.2020).
18. Постановление Правительства Российской Федерации от 20 января 2018 г. №35 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации».
19. Котляр, Ю. А. Металлургия благородных металлов / Ю. А. Котляр, М. А. Меретуков. – М. : АСМИ, 2002. – 466 с.
20. Патент Российской Федерации 2110592.
21. ГОСТ 6835–2002 Золото и сплавы на его основе.
22. ГОСТ 6836–2002 Серебро и сплавы на его основе.
23. Электронный ресурс: www.polymetal.ru.
24. Ламуев, В. А., Гуляшинов А. Н. Получение серебра из свинцово-цинковых руд // Фундаментальные исследования. – 2005. – № 9. – С. 36.
25. Масленицкий И. Н. Металлургия благородных металлов : учебник для вузов / под общ. ред. Л. В. Чугаева. – М. : Металлургия, 1987. – 432 с.
26. Патент Российской Федерации 2200132. Оpubл. 10 марта 2003 г.
27. Федеральный закон от 21 июля 2014 г. № 219-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и другие отдельные законодательные акты Российской Федерации».
28. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 июля 2015 г. № 1316-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды (с изменениями и дополнениями)».
29. Бочаров, В.А., Игнаткина, В.А., Абрютин, Д.В. Технология переработки золото-содержащего сырья. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2011. – 328 с.
30. Хлебников, А.И. Современный промышленный опыт применения вакуумной дистилляции серебра // Цветные металлы. – 2014. – № 7. – С. 42–48.
31. Буслаева, Т.М., Дробот, Д.В. Технология «молекулярного распознавания» в аффинаже платиновых металлов // Цветные металлы. – 2005. – № 10. – С. 77.