

РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН
НАВОИЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ
КОМБИНАТ
НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 631.85.66

ФУЗАЙЛОВ ОМОН УБАЙДУЛЛОЕВИЧ

**Оценка технико-технологического параметра
переработки промежуточных и сбросных отходов
переработки золотосодержащих руд**

Специальность 5А310301 – «Металлургия»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание академической степени магистра

Научный руководитель
д.т.н. проф. Сатторов Г.С.

Навои – 2014 г.

АННОТАЦИЯ

Диссертационная работа посвящена на исследованию механизма изменения формы нахождения золота в техногенных продуктах, к уяснению механизма образование цианируемой формы золота в техногенном сырье за счет происходящего физико-химических воздействий в процессе длительного его хранения и на основании вышесказанных исследований разработана методология оценки целесообразности извлечение золота из лежалых хвостов сорбционного цианирования гидрометаллургических заводов комбината.

Для достижения цели проведены исследование по :

- разработке методик отбора представительных проб из различной глубины залегание пород, характеризующие равномерное распределение металлов;
- определению валового содержания золота в отобранных пробах, путем составления карты пространственного распределения золота в различных глубинах;
- определению формы нахождения золота в пробах отобранных из различных глубин залегание от поверхности;
- исследование зависимости изменение концентрации золота в зависимости от глубины их залегание от поверхности;
- по установление механизма образование свободной (цианируемой) формы образования золота в условиях длительного хранения отходов;
- оценки критерийные значение применимости методов обогащения и извлечения золота из лежалых хвостов в процессе гидрометаллургии.

ABSTRACT

The dissertation is devoted to the study of the mechanism of changes in the structure of gold-bearing minerals in technological products to the elucidation of the mechanism of the formation of cyanided gold in the technogenic raw materials due to what is happening physicochemical actions during prolonged storing and based on the aforementioned studies has developed a methodology to assess the practicability of gold extraction from old tailings of sorption-cyanidation of hydrometallurgical plants of the combinat.

In order to achieve the goal, the study carried out by:

- Developing methods of selection of representative probes in different depth of bedding rocks that characterize a uniform distribution of metals;
- Defining total content of gold in the probes taken by mapping the spatial distribution of gold in various depths;
- Defining the form of gold in probes taken from different depth from the surface;
- Dependence of the change in the concentration of gold, depending on their depth from the surface;
- To establish the mechanism of the formation of free (cyanided) forms of gold in long-term storing of waste;
- assessing the criterion value of applicability of concentration and extraction of gold from the old tailings of the process of hydrometallurgy;

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	6
Глава 1.СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	
1.1.Классификация отходов.....	11
1.2.Понятие о техногенных отходах.....	14
1.2.1. Техногенные россыпное месторождение.....	16
1.2.2.Техногенные коренные месторождение.....	17
1.2.3..Геотехнологическая оценка техногенного сырья.....	20
1.3. Современное состояние и развитие комплексного использования техногенных отходов	21
1.4. Анализ современного состояния бактериального выщелачивания металлов из техногенного сырья.....	23
1.5. Состояние техногенного сырья горно-рудного производства	27
1.6. Утилизация магнитной фракции – промежуточного отхода производства.....	31
1.7. Поставка задач.....	34
Глава 2. МЕТОДОЛОГИЯ ДЕТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ	
2.1. К вопросу отбора представительных техногенных проб к анализу.....	36
2.2. К вопросу методологии исследования свойств руд.....	37
2.3. Методика гранулометрического анализа.....	39
2.4. Минералогической и структурный анализ руд.....	40
2.5. Анализ состава вещества и аналитический контроль технологического процесса	43
2.6. Методика рационального анализ руд.....	49

Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА В ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДАХ

3.1. Исследование возможности переработки отходов переработки МЗИУ.....	53
3.1.1. Пространственно-объемное распределение золота в хвостохранилище.....	53
3.1.2. Гранулометрический состав сырья и формы нахождения золота.....	57
3.1.3. Извлечение золота методом прямого цианирования.....	60
3.1.4. Флотационное обогащение техногенного сырья	64
3.2. Исследование состояние золота на хвостохранилище ГМЗ-3.....	69
3.3. К вопросу методологии исследования хвостохранилищ.....	72
3.4. Поведение микрофлоры в процессе деструкции пород.....	74

Глава 4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТА

4.1. Требования к строительству хвостохранилищ.....	77
4.2. Хвостохранилища как потенциальный загрязнитель природы.....	79
4.3. Природоохранные мероприятия в хвостохранилище.....	80
4.4. Техника безопасности при выполнении исследований в хвостохранилище.....	83
4.5. Оценка уровня рентабельности переработки руд различного состава в зависимости от содержания золота.....	84
4.6. Экономическая оценка целесообразности извлечения золота из лежалых отходов различными методами	88
Заключение.....	89
Выводы.....	90
Литература.....	92

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. Истощение сырьевой базы цветных, редких, благородных и радиоактивных металлов в качестве неотложной актуальной задачи выдвигает разработать научные основы и оценки целесообразности извлечение вышеперечисленных металлов из отходов добычи руды их обогащения, гидрометаллургической и пирометаллургической переработки.

Особое необходимо отметить, что содержание ценных металлов в забалансовых рудах (даже в некоторых случаях в товарной руде) и лежалых отходах производства стало практически одинаково за счет переработки основной массы существующих богатых руд в течение многие десятилетие.

Поэтому исследование, посвященные изучению состояния распределения золота в лежалых отходах производства и оценка экономической целесообразности его извлечения является актуальным направлением гидрометаллургии, с целью рационального использования сырьевых ресурсов.

Состояние проблемы. В настоящее время более 40 лет на ГМЗ-2 золота извлекается из руд месторождение Мурунтау гравитационно-сорбционным методом, на ГМЗ-1 почти 20 лет из руд различных месторождений, более 30 лет Марджанбулакском ЗИУ, и вот уже 4 года на ГМЗ-4 гравитационно-сорбционным методом из руд месторождение Зармитан.

Золота на ГМЗ-4 извлекали из окисленных и полуокисленных руд месторождение Кокпатас в период 1995-2008 гг. В настоящее время с 2008 года золота извлекает флотационно-биоксидно-сорбционным методом.

Сквозное извлечение золота из окисленных руд составило 85-95% в зависимости от окисленности руд и содержание в них золота. Содержание золота в лежалых хвостах ГМЗ-2 составляет 0,2-0,3 г/т, что в настоящее время нецелесообразно их перерабатывать с точки зрения себестоимости удельной переработки руды и стоимости золота в мировом рынке.

С экономической и технической точки зрения представляет интерес оценка технико-экономической целесообразности извлечения золота из лежалых хвостов МЗИУ и ГМЗ-3.

Цель работы. На основании исследований по переработки техногенного сырья установить механизм изменение формы нахождения золота в техногенных продуктах, уяснения механизма образование цианируемой формы золота в техногенной сырье за счет происходящего физико-химических воздействий в процессе длительного его хранения и на основании вышесказанных исследований разработать методологии оценки целесообразности извлечение золота из лежалых хвостов сорбционного цианирования гидрометаллургических заводов комбината.

Идея работы заключается в наличие соизмеримой концентрации золота в товарной руде и лежалых продуктах хвостохранилища гидрометаллургических заводов.

Объектом исследований являлись: хвостохранилищ гидрометаллургических заводов НГМК

В работе приведены результаты исследований по:

- разработке методик отбора представительных проб из различной глубины залегание пород, характеризующие равномерное распределение металлов;
- определению валового содержания золота в отобранных пробах, путем составления карты пространственного распределения золота в различных глубинах;
- определению формы нахождения золота в пробах отобранных из различных глубин залегание от поверхности;
- исследование зависимости изменение концентрации золота в зависимости от глубины их залегание от поверхности;
- по установлению механизма образование свободной (цианируемой) формы образования золота в условиях длительного хранения отходов;

- оценке критерийного значения применимости методов обогащения и извлечения золота из лежалых хвостов в процессе гидрометаллургии.

Научная новизна работы:

1. Предложен оригинальное устройство для ручного экспрессного пробоотбора техногенного сырья в хвостохранилище, дающий возможность делать представительный отбор исследуемой массы по глубины залегание проб.

2. Исследован механизм деструкции пород, и на основании этого объясняется возможность «раскрытие» золота путем образования цианируемой формы золота.

3. Показан вероятные условие концентрирования золота по глубины их залегания.

Научное и практическое значение предложенного проекта. Для оценки технико-экономических показателей различной технологии извлечение золота из техногенного сырья необходимо определить: пространственно-объемное распределение валовое содержание золота в хвостохранилище; геохимии золота и формы их нахождения; возможности различных методов обогащения и гидрометаллургической извлечение золота; возможные варианты дезинтеграции и деструкции пород содержащие тонковкрапленное золото.

От ускорения процесса деструкции пород природными бактериями в хвостохранилище можно ожидать существенное увеличение эффективности технологических процессов переработки техногенного сырья.

Апробация: По теме диссертации опубликован 2 тезиса докладов в материалах VI-Международной научно-технической конференции «Современные техника и технологии горно-металлургической отрасли и пути их развития». г. Навои, 2013., и в материалах научно-технической конференции «Перспективы науки и производства химической технологии в Узбекистане» 2014

Структура диссертации. Диссертация состоит из 85 страниц машинописного текста, включая введение, 4-х глав, заключение и списка использованной литературы

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Актуальность проблемы. Ежегодно мировая промышленность извлекает из недр Земли около 10 миллиардов тонн твердых веществ, 70% которых впоследствии становятся отходами при производстве промышленной продукции. Под отвалы и хвосты отчуждаются огромные площади с ценными землями, твердые отходы засоряют водный и воздушный бассейны.

Принятый в США в 1976 г. закон о борьбе с твердыми отходами (с поправками 1980 и 1984 гг.) ориентирует на производство из них вторичных материалов. В стране действуют стандарты по обязательному минимальному содержанию вторичного сырья в товарной продукции[1].

Техногенные месторождения представляют собой класс месторождений, сформировавшихся в районах горнорудной промышленности (Украина, Казахстан, Северо-запад и Юго-восток европейской части России, Урал, Юго-восток и Восток азиатской части, Центр Сибири и др.). Эти месторождения обычно обладают своеобразным минеральным составом и являются потенциальным источником разнообразных полезных ископаемых, в частности цветных, редких и благородных металлов, а также строительных материалов (щебень, песок, гравий и т.д.).

Рост интереса промышленности к техногенному золотосодержащему минеральному сырью в последние два десятилетия во многом предопределен появлением новых технологий извлечения благородных металлов.

Ресурсный потенциал техногенных золотосодержащих объектов, расположенных на территории России, оценивается неоднозначно. Анализируя общую структуру запасов и ресурсов золота, Б.И. Беневольский отводит на долю техногенных объектов 7–12%. По его мнению, только прогнозные ресурсы техногенных россыпей могут составить более 50% от всего добытого в России золота [2-3]. Из других техногенных образований, кроме отвального комплекса собственно золоторудных месторождений, высоко оцениваются

перспективы извлечения золота из отходов переработки руд черных и цветных металлов, отходов сернокислотного производства, некоторых видов нерудного сырья и др.

Многочисленные исследования показывают, что объекты вторичного золотосодержащего сырья разнообразны по своей природе, содержанию металла, масштабам накопления и экономической значимости. Данное обстоятельство выдвигает в разряд актуальных проблему всестороннего изучения такого сырья и, в первую очередь, решение трех задач: выяснение условий формирования техногенных золотосодержащих объектов; разработку их классификации; выработку методических основ для геолого-технологического изучения и оценки; разработка методологии исследования пространственно-объемное распределение золота; разработка методов обогащения и переработки техногенного сырья.

1.1. Классификация отходов

В литературе, посвященной проблемам комплексного использования минерального сырья и освоения отходов горного производства, ряд горно-геологических терминов и категорий трактуется неоднозначно.

Техногенные минеральные образования (объекты) — скопления минеральных веществ на поверхности Земли или в горных выработках, образовавшиеся в результате их отделения от массива и складирования в виде отходов горного, обогатительного, металлургического и другого производства.

Техногенные месторождения (ТМ) – техногенные образования (отвалы горнодобывающих предприятий, хвостохранилища обогатительных фабрик, шлакозольные отвалы топливно-энергетического комплекса, шлаки и шламы металлургического производства, шламо-, шлако- и т.д. отвалы химической отрасли) на поверхности Земли по количеству и качеству содержащегося в них минерального сырья пригодные для промышленного использования в настоящее время или в будущем по мере развития науки и техники и изменения экономических условий [4].

Природно-техногенные объекты — минеральные объекты, представленные неотделенным от массива природным веществом в виде целиков, вскрытых недоработанных (оставленных) блоков на отрабатываемых ранее месторождениях [4].

Вопросы классификации техногенного минерального сырья, горнопромышленных отходов и техногенных месторождений затрагиваются в многочисленных публикациях [5, 6-9]. Как правило, это целевые классификации, создаваемые для учета и анализа потерь и отходов в различных производственных отраслях. Так, Л.Ф. Наркелюн (1996 г.), проводя типизацию горно-технологических отходов, разделяет их по месту образования и типу отходов (породы вскрыши, шлаки, золы, кеки и т.д.). Л.А. Барский (1981 г.) отходы и потери горно-металлургического цикла классифицирует по нескольким признакам: по производственным отраслям; по фазовому составу (твердые, жидкие, газообразные); по производственным циклам: при добыче (вскрышные и другие безрудные породы), при обогащении (хвосты, шламы, сливы), при гидрометаллургии (растворы, кеки), при пирометаллургии (шлаки, возгоны).

Классификации техногенных месторождений детально рассмотрены также в работах [6,7,9,10]. Краткий обзор классификаций объектов техногенного сырья показывает, что большинство их носит общий характер, и направлены они на ревизию и паспортизацию техногенного минерального сырья отдельных горнодобывающих регионов. Специальных классификаций техногенного минерального сырья для нужд конкретных отраслей, за исключением стройиндустрии, не создавалось.

По систематике техногенных золотосодержащих объектов выделены две группы — «литотехногенные» и «остаточные».

В «литотехногенные» группу включены классы объектов, сформированных при переработке руд (песков) и пород, отделенных от массива: техногенные россыпи, хвосты обогащения, отвалы забалансовых руд и вскрышных пород, золоотвалы, остаточные кучи после цианирования и др.

К группе «остаточных» отнесены месторождения и их части, испытавшие техногенное воздействие в горном массиве — целики и вскрытые забалансовые руды, сульфидные и угольные горельники, блоки подземного выщелачивания (природно-техногенные объекты по Г.В. Секесову и др., 1987 г.). Виды и подвиды техногенных золотосодержащих объектов выделяются внутри классов в соответствии технологией переработки руд и их составом.

В техногенной россыпи золото локализуется в оставленных забалансовых песках, нетронутых целиках, отвалах, то есть, по существу, представляет геологические и технологические потери.

Различные подходы к классификации отходов базируются на следующих классификационных признаках[12],: место образования отходов (отрасль промышленности); стадия производственного цикла; вид отхода; степень ущерба окружающей среде и здоровью человека; направление использования; эффективность использования; величина запаса и объемы образования; степень изученности и разработанности технологий утилизации.

Так, твердые отходы классифицируют по отраслям промышленности (отходы химической, металлургической, электротехнической и других отраслей) и по видам производств (отходы сернокислотного производства, автосборочного производства, подшипникового производства и др.).

Отходы горно-металлургической промышленности классифицируется следующим образом: - заскладированные забалансовые руды; - вскрышные породы (минерализированные массы); - промежуточные отходы процесса рудоподготовки и гидрометаллургии; - отвальные хвосты процесса флотации и сорбции; - шлаки процесса пирометаллургии.

Краткий обзор классификаций объектов техногенного сырья показывает, что большинство их носит общий характер, и направлены они на ревизию и паспортизацию техногенного минерального сырья отдельных горнодобывающих регионов. Специальных классификаций техногенного минерального сырья для нужд конкретных отраслей, за исключением стройиндустрии, не создавалось.

Запасы отходов, сконцентрированных в виде отвалов балансовых руд, хвостохранилищ и шлакоотвалов, составляют один из видов минеральных ресурсов и классифицируются как техногенные месторождения.

Обеспечение минерально-сырьевыми ресурсами является основополагающим условием развития мирового сообщества. При этом известно, что и на достаточно отдалённую перспективу материальные потребности человечества 75-80% будут покрываться за счёт переработки полезных ископаемых с ростом количества отходов в виде вскрышных пород и не кондиционного полезного ископаемого.

Таким образом, на примере развитых стран можно видеть, что ресурсосбережение и утилизация отходов, а в идеальном случае организация экономики на принципах рециклирования – реальный шанс общества в сохранении природной среды и её ресурсов.

1.2. Понятие о техногенных отходах

В последние десятилетия значительное увеличение производства золота произошло вследствие вовлечения в переработку техногенного золотосодержащего сырья: хвостов золотоизвлекательных фабрик, легкой фракции гравитационного обогащения россыпей, забалансового сырья, пиритных огарков и других продуктов.

Получающиеся отходы, складываемые в отвалах, хвостохранилищах, оставляемые в недрах, — это источники получения золота в будущем, из которых для получения 1 г золота необходимо переработать в десятки раз больше техногенного сырья, чем природного минерального. Из всех отходов наиболее подготовленными считаются хвосты золотоизвлекательных обогатительных фабрик. Варианты утилизации хвостов выбираются на основе технико-экономического анализа их переработки по различным технологиям.

Техногенные отходы производства золота можно классифицировать на несколько групп: минерализованные породы, забалансовые руды, которые при

вскрытии рудных тел месторождения складироваться в отвалах; содержание золота составляет 0,3 — 2,0 г/т, присутствуют серебро, медь, цинк, молибден;

К техногенному сырью относят шлиховые материалы, получаемые на драгах и промприборах, хвосты шлихообоганительных установок, хвосты золото-урановых предприятий, хвосты и пиритные продукты переработки колчеданных руд цветных металлов, хвосты обогащения железных руд и др. Шлиховые продукты характеризуются высоким содержанием благородных металлов (5 — 50 г/т), тяжелых породных и полезных фракций; значительная часть золота в этих продуктах представлена тонкодисперсными и чешуйчатыми частицами. Для переработки техногенных материалов возможно применение двухуровневых схем переработки с получением на первой стадии грубого золото-шлихового продукта с последующей его переработкой на специальных шлихообоганительных фабриках.

Разработка технологии обогащения техногенных продуктов не может быть качественно выполнена без исследования геохимических процессов, происходящих при длительном хранении этих продуктов на разрабатываемых месторождениях. В условиях хранения техногенных продуктов возможен механический перенос, химическое растворение, переотложение и повторное растворение золота. Растворение, миграция и осаждение золота зависят от площади его выделений, минерального состава и текстурно-структурных особенностей пород, физико-химических свойств среды.

Так, чем крупнее золотины, тем меньше вероятность растворения золота. В растворы переходит микроскопическое и тонкодисперсное золото. Основными растворяющими компонентами золота являются водные растворы FeCl_2 , $\text{Fe}_2(\text{SO})_3$, CuCl_2 , CuSO_4 , NaCl , HCl , H_2SO_4 , которые образуются непосредственно в отвальном массиве. Золото растворяется также водами отвала, содержащими галогенидные, азотно- и серноокислые соли щелочных металлов, органические кислоты и др.

В серноокислых растворах в присутствии диоксида марганца, кислорода, трехвалентного железа и двухвалентной меди растворение золота идет

интенсивно. Способность золота к комплексообразованию значительно повышает его миграционную способность. В присутствии галогенидионов, даже при небольших концентрациях, происходит окисление золота с последующим его растворением более слабыми окислителями. Очень часто в массиве отвалов образуются высококонцентрированные растворы кислородных соединений серы низшей валентности.

Локализованное техногенное концентрирование золота в результате его переотложения из растворов зависит от возможных геохимических барьеров: кислородного, восстановительного, сульфатного, карбонатного, щелочного, углеродистого, сульфидного, сорбционного или их комбинаций. Повышение концентрации кислорода увеличивает вероятность распада всех форм золота, кроме коллоидных миграционных, и осаждение его в самородном состоянии.

1.2.1. Техногенные россыпные месторождение

Наиболее высок ресурсный потенциал техногенных россыпных месторождений в сибирском регионе. Так, в структуре активных запасов золота Красноярского края на начало 21 столетия доля россыпей составляла 9,4%. Из них 85% приходилось на техногенные россыпи. Для запасов и ресурсов ближайшего резерва это соотношение составляет, соответственно, 11,4% и 70% [11]. Такая тенденция характерна не только для Красноярского края, но и для большинства золотодобывающих регионов Сибири и Дальнего Востока (Мамаев и др., 1995 г.). О распределении ресурсов золота по видам техногенных россыпей можно косвенно судить по объемам добычи металла тем или иным способом.

На территории Сибири в различное время получили распространение мускульный, дражный, гидравлический и гидромеханический способы отработки золотоносных россыпей. Применение тех или иных способов определялось сочетанием горно-геологических, географо-экономических и политических факторов. Чаще всего, россыпные объекты испытывали неоднократную отработку. Повторная и последующие разработки россыпи,

как правило, осуществлялись с применением более совершенных и производительных технологий.

Распределение металла внутри техногенной россыпи имеет свои особенности. Как показывает опыт ревизионных работ на россыпное золото в старых золотодобывающих районах, для геологической переоценки техногенных россыпей и локализации остаточных запасов необходимы знания условий их формирования и особенностей строения. В техногенной россыпи золото локализуется в оставленных забалансовых песках, нетронутых целиках, отвалах, то есть, по существу, представляет геологические и технологические потери [13].

Оценке геологических потерь должен предшествовать тщательный анализ способов отработки россыпи. Важно иметь представление о существовавших на момент отработки кондициях и применяемых технических средствах, особенно для дражного и гидромеханического способов. Уровень кондиций определяет содержание металла в отвалах вскрыши и бортах россыпи. От применяемых при отработке технических средств зависит глубина взятия пласта, а также качество зачистки плотика и, соответственно, потерь золота на нем. Обобщение материалов по геологической оценке и повторной отработке техногенных россыпей различных типов позволяет отразить условия их формирования и особенности геологического строения.

1.2.2. Техногенные коренные месторождение

Согласно предлагаемой классификации золотосодержащие хвосты обогащения коренных руд металлических полезных ископаемых выделяются в самостоятельный класс. Некоторые исследователи относят данные образования к техногенным россыпям [14]

Техногенные месторождения, представленные хвостами обогащения, являются достаточно специфическими образованиями, отличающимися от других техногенных объектов вещественным составом, условиями накопления и хранения, набором остаточных реагентов и влиянием микроорганизмов определенных видов.

Сведения о промышленном содержании золота и других благородных металлов в хвостах обогащения руд различных металлических полезных ископаемых многочисленны. Это хвосты обогащения руд месторождений золота различных геологопромышленных типов [15,16,17], месторождений цветных и редких металлов [18,19,20,21], месторождений черных металлов [22, 23, 24] и алюминиевого сырья [25, 26].

Масштабы, уровень содержания золота и значимость данных техногенных объектов для золотодобывающей отрасли различны. За рубежом хвосты собственно золоторудных месторождений с содержанием золота от 0,5 до 1,5 г/т активно вовлекаются в повторную переработку. Запасы золота на отдельных хвостохранилищах в ЮАР составляют десятки тонн, а годовая производительность вновь созданных предприятий по извлечению золота из хвостов достигает 3–5 т. В Сибири, по опубликованным данным, наиболее значимым объектом такого рода являются хвосты обогатительных фабрик объединения Балейзолото. По результатам разведочного бурения, масса хвостов здесь оценена в 42 млн. т, а запасы золота в 37 тонн (Armada gold ..., 1994 г.). Объемы золотосодержащих хвостов на других действующих и законсервированных золотодобывающих рудниках Сибирского региона — золотоизвлекающие фабрики Северо-Енисейского и Артемовского рудников, Майского рудника (Малошущенское месторождение), Туманной, Ивановской и Приисковой ЗИФ Саралинского рудника, а также современного хвостохранилища этого предприятия значительно меньше. Запасы золота в них составляют первые тонны, при уровне содержания металла 1–2 г/т, редко более.

Большой интерес как источник благородных металлов представляют хвосты обогащения руд цветных и редких металлов. Уровни накопления золота здесь сопоставимы с отходами переработки руд собственно золоторудных месторождений. Причем о повышенных концентрациях золота и других благородных металлов иногда не было известно, либо уровень их содержания в исходной руде на момент отработки не представлял

экономического интереса. Так, после отработки некоторых ртутных месторождений в США было установлено, что содержание золота в отвалах составляет около 5 г/т, а запасы его в хвостохранилищах достигают 30 тонн [27]. Близкая ситуация отмечается для хвостохранилищ Норильского горно-металлургического комбината, где при переработке сульфидных медно-никелевых руд сформировано крупное по запасам (первые сотни тонн) техногенное месторождение благородных металлов [20, 28]. Уровень содержания суммы платиновых металлов и золота в отдельных разновидностях хвостов здесь достигает нескольких граммов (иногда — десятков граммов) на тонну. Высоко (по предварительным данным, более сотни тонн) оцениваются ресурсы золота и других благородных металлов в шламах Ачинского глиноземного комбината. Концентрация золота и платиноидов здесь достигает первых граммов на тонну [26].

Значительны запасы золота в хвостах обогащения железных руд. В хвостах мокрой магнитной сепарации Мундыбашской и Абагурской обогатительных фабрик присутствует около 30 т золота при содержании около 1 г/т. Запасы золота в хвостах сухой магнитной сепарации Абаканского рудника составляют около 20 т. Отходы обогащения железистых кварцитов повсеместно содержат золото в количестве 0,5–0,6 г/т. Ресурсы его, учитывая огромные объемы хвостохранилищ, могут составить сотни тонн [2, 29]

Наряду с практическим интересом к золотосодержащим хвостам как к источнику дешевого сырья, в последние годы многие хвостохранилища рассматриваются с природо-охранных позиций как объекты повышенной опасности для окружающей среды. Особое внимание в этом плане заслуживают хвосты золотоизвлекающих фабрик, где на протяжении многих лет использовались весьма токсичные реагенты — ртуть, цианиды, и извлечение золота было сопряжено с высвобождением и поступлением в хвосты в больших количествах мышьяка, сурьмы, серы и других вредных компонентов.

1.2.3. Геотехнологическая оценка техногенного сырья

Проблемы геолого-технологической оценки техногенного золотосодержащего сырья начали активно обсуждаться в печати в последние два десятилетия. Нормативно-методические основы изучения и оценки техногенных месторождений наиболее полно проработаны для хвостохранилищ, рудных и породных отвалов [8, 10]. Вопросы методики изучения техногенных россыпных месторождений золота надлежащего освещения в литературе не получили. Из нормативных документов по изучению техногенных россыпей следует отметить составленное ВНИИ-1 «Временное руководство по методике повторной разведки россыпей для дражной отработки» [30] и рекламируемые в последние годы, но не опубликованные разработки АО «Иргиредмет» — «Временные методические указания по переоценке „остаточных“ запасов техногенных россыпей мелкозалегающих дражных полигонов» [32, 41]. Вопросы методики оценки остаточных техногенно-целиковых золоторудных объектов, как и проблема их повторной отработки, актуальны, но находятся на стадии постановки [13, 39].

В отличие от природных рудных и россыпных месторождений золота, изучение и оценка техногенных золотосодержащих объектов имеет свою специфику Эта специфика определяется тем, что:

- техногенные объекты, обладая определенным набором ценных потребительских свойств, одновременно являются мощными загрязнителями окружающей среды;
- место локализации и пространственные границы объектов в большинстве случаев известны;
- сырье, прошедшее через стадию обогащения, упорно для последующей переработки, поэтому при технико-экономическом обосновании повторного его освоения требуется проведение углубленных геолого-технологических исследований под новые, более совершенные технологии;
- по физико-механическим свойствам техногенное сырье хорошо подготовлено для применения геотехнологических методов отработки

(скважинной гидродобычи, кучного выщелачивания, внутриотвального обогащения и др.), и при оценке должно изучаться на предмет возможности их использования.

Очевидно, роль и доля собственно технологических исследований при оценке техногенных месторождений золота весьма высока. Углубленные технологические исследования должны начинаться уже на первой стадии геологической оценки — ревизионно-оценочных работах — для того, чтобы определить весь необходимый перечень оценочных параметров и оптимально выбрать технические средства разведки.

1.3. Современное состояние и развитие комплексного использования техногенных отходов

Переработка сырья состоит из ряда взаимосвязанных единичных технологических процессов. Теория единичных процессов (систем) изучается физической химией и теорией металлургических процессов. Однако при переходе от единичных процессов к их сложным сочетаниям, составляющим основу технологических схем современных предприятий, мы сталкиваемся с большим объемом неупорядоченных сведений эмпирического характера.

Хорошее обобщение научных принципов изучения отдельных химических процессов дано в монографии П. Бенедика и А. Ласло. Многие ее положения могут быть использованы для металлургической технологии.

Общепризнанным критерием оценки технологических схем при переработке техногенного сырья является экономика.. С позиций экологии технология должна быть, то есть сокращение выбросов - одно из основных направлений совершенствования производств цветной металлургии. Малоотходные технологии реализованы для многих видов сырья. Они характерны, например, для производства глинозема.

Максимально полное использование сырья возможно только при объединении в единую структуру нескольких перерабатывающих предприятий. Следовательно, для рационального использования сырьевых

ресурсов необходимо создание территориальных межотраслевых производственных объединений, состоящих из предприятий разных отраслей[49]..

В США государственное регулирование как на федеральном, так и на штатном уровнях играет все более заметную роль в стимулировании производства вторичного сырья из отходов. Ежегодные расходы правительства и предприятий США на защиту окружающей среды от загрязнений уже превысили 90 млрд. долл., причем 60% этой суммы расходуется самими предпринимателями. В 1998 г. предприятиями и организациями всех форм собственности в России израсходовано на охрану окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов около 9,1 млрд. руб.

Принятый в США в 1976 г. закон о борьбе с твердыми отходами (с поправками 1980 и 1984 гг.) ориентирует на производство из них вторичных материалов. В стране действуют стандарты по обязательному минимальному содержанию вторичного сырья в товарной продукции. Наиболее важным экономическим стимулом переработки отходов является то обстоятельство, что утилизация становится самым дешевым способом борьбы с отходами. В США запрещена организация новых открытых свалок, а захоронение и сжигание отходов с учетом соблюдения всех экологических норм оказывается в три раза дороже, чем их переработка во вторичное сырье. В Японии уделяют проблеме переработки отходов чрезвычайное внимание. Уже к 1985г. в японской промышленности утилизировалось до 60% отходов.

Основные задачи в развитии мало- и безотходных технологий в цветной металлургии и комплексной переработки отходов с целью снижения себестоимости получаемой продукции заключаются в разработке принципиально новых направлений, нетрадиционных способов и усовершенствовании существующих технологий металлургического производства в целях сокращения на всех его стадиях вредных выбросов и полного использования образующихся отходов.

1.4. Анализ современного состояния бактериального выщелачивания металлов из техногенного сырья

В последнее время во всём мире особенно остро встала проблема переработки низкосортного сырья, отвалов, флотационных хвостов и других отходов металлургического производства. Так, за последние 50 лет в горнорудных районах США накопилось более 45 млрд.т различных отвальных продуктов, содержащих 4,5-5,5 млн.т меди. Переработка техногенных отходов бактериальными методами успешно разрабатывается на многих рудниках юго-западных районов США. В настоящее время эта технология на стадии внедрения в Канаде. Благодаря разработке дешёвых и эффективно извлекающих металлы технологий появилась возможность возобновлять работы на заброшенных рудниках и отвалах. Био-гидрометаллургической обработке, как правило, подвергают также обогащённые рудные материалы (концентраты) [46-47].

Успехи теоретической микробной биогеохимии явились основой для возникновения новой области биотехнологии, которую принято называть «биогеотехнологией». Под этим термином объединяются технологии добычи и переработки различных видов минерального сырья с использованием активности специфических групп природных непатогенных микроорганизмов. Для переработки забалансовых руд эффективным может оказаться способ кучного бактериального выщелачивания, широко используемый за рубежом.

Комплексное биовыщелачивание металлов. Установлено, что бактерии выщелачивают железо, медь, цинк, никель, сурьму, свинец, золото, молибден, мышьяк, индий, уран, ускоряя их растворение в десятки раз по сравнению с химическим выщелачиванием. На этом свойстве бактерий основан новый биотехнологический процесс выщелачивания металлов из сульфидных руд.

Наиболее изучен вопрос бактериального выщелачивания меди. В этом процессе участвуют аутотрофные тионовые бактерии *Acidithiobacillus thiooxidans* и *Acidithiobacillus ferrooxidans*, окисляющие сульфиды и

восстановленные соединения серы и железа. Бактерии способствуют извлечению меди как из сульфидных, так и из окисленных руд. И если из окисленных руд медь можно извлечь с помощью серной кислоты, то для извлечения из сульфидов эффективными оказываются только бактерии. При развитии тионовых бактерий в руде образуются, с одной стороны, ферменты, разрушающие кристаллическую решётку сульфидов, с другой – сульфат окиси железа, участвующий в окислении пирита и халькопирита, а также серная кислота, растворяющие окисленные минералы меди.

В настоящее время эти методы широко используются за рубежом. В США, Канаде, Австралии, Мексике, Испании, Болгарии, в странах бывшей Югославии на множестве предприятий действуют более 50 промышленных установок, где получают до 27% добываемой меди ежегодно [50].

В странах СНГ этот метод также начинает интенсивно развиваться. Опытно-промышленные установки кучного выщелачивания из забалансовых руд и отвалов созданы в Казахстане, России, где показаны несомненные преимущества бактериального метода перед химическим. При кучном выщелачивании руд, содержащих 0,3-0,5% меди, её себестоимость в 2-5 раз ниже себестоимости меди, полученной пирометаллургическим путём. Опыт Болгарии показал, что эффективно выщелачивать руду даже с содержанием 0,1-0,15% меди [51].

Технология биогидрометаллургических способов переработки зависит, прежде всего, от вещественного состава выщелачиваемых минеральных субстратов, а также от тех задач, которые должны быть решены при использовании процессов с участием микроорганизмов.

Технология кучного бактериального выщелачивания меди включает следующие операции: дробление, классификация и складирование руды в кучу; орошение руды и извлечение меди в раствор; цементация меди; бактериальная регенерация растворов в продуктах с их возвратом на орошение.

Разработаны концепции двухстадийной рециркулярной технологии бактериального выщелачивания сульфидных концентратов цветных металлов на примере упорного сульфидного медно-цинкового промпродукта флотационного обогащения руд Учалинского горно-обогатительного комбината, содержащего 10-17% цинка, 8,8-1,62% меди, а также 35-40% железа и серы.

Результаты исследований показали, что при плотности суспензии на первой стадии процесса 30-40% твёрдой фазы за 24 часа из сырья извлекается 91-93% цинка, а его содержание в выщелоченном материале снижается до 1,7-1,3% [45].

При бактериальном выщелачивании металлов, прежде всего, следует создавать условия, оптимальные для микроорганизмов, от численности и активности которых зависит скорость процесса. Известно, что только условия непрерывного культивирования обеспечивает микроорганизмам высокий уровень жизнедеятельности. Для этого требуется постоянство всех факторов окружающей среды. Период накопления бактерий в руде характеризуется постоянным снижением расхода серной кислоты с 4,2 до 0,4 кг/л при снижении её концентрации с 10 до 0,1г/т.

В процессе кучного выщелачивания на активность бактерий немаловажную роль оказывают такие параметры как: pH, температура, интенсивность орошения и аэрация. Так, известно, что при pH ниже 0,5 и выше 4,5 бактерии неактивны. Оптимальное значение pH для бактериальных окислительных процессов является 1,5-2,5.

Приведённые литературные данные показывают перспективность разработанной технологии кучного бактериального выщелачивания меди из забалансовых сульфидных руд месторождения Кальмакыр [43-44].

Биовыщелачивание меди из хвостов флотации. При разработке технологий переработки отвальных хвостов медной обогатительной фабрики определена пригодность текущих и лежалых хвостов флотации к переработке биотехнологическим методом. При бактериальном выщелачивании меди за 30

дней из текущих, лежалых хвостов флотации и кека после тиосульфатного выщелачивания благородных металлов извлечение меди составляет 67,75%, 75-82%, 77,4%, соответственно. Разработан способ переработки хвостов медно-обогатительных фабрик, на который получен патент № IAP 02800 Республики Узбекистан..

В результате проведенных полупромышленных испытаний биотехнологии на 55 т текущих хвостов флотации, отработаны методы закисления хвостов, способы крупномасштабного культивирования бактерий в емкостях 1 м³ и 2 м³, режимы цементации меди из продуктивных растворов на железном скрапе. Получено 65 кг цементной меди с содержанием 70% по основному металлу. На основании фазового и химического анализов установлено, что за 6 месяцев разрушено более 50% первичных сульфидов, что свидетельствует о высокой скорости окисления халькопирита и пирита и активности промышленной культуры железо - и сероокисляющих бактерий. Данные опытно-промышленных испытаний бактериального выщелачивания меди из отходов МОФ методом кучного выщелачивания (5400 т) подтвердили данные лабораторных исследований и полупромышленных испытаний. Получено 5080 кг цементной меди, что позволяет сделать вывод о перспективности извлечения меди из отходов МОФ методом бактериального выщелачивания [42,53,54] .

Таким образом, бурно развивающиеся в последнее время процессы биогидрометаллургии, обладающие технологическими, экологическими и экономическими преимуществами перед традиционными методами извлечения металлов из минерального сырья, являются весьма перспективным направлением и для переработки отходов горно-металлургического производства.

1.5. Состояние техногенного сырья горно-металлургического производство

По данным 2009 года имеющаяся сырьевая база месторождений Мурунтау, Даугызтау, Кокпатас, Каракутан, Зармитан позволяет удержать достигнутые показатели извлечения золота на Навоийском ГМК на уровне не менее показателей 2008 г. в ближайшие 10 лет.

В перспективе возможно вовлечение в переработку более десяти месторождений, находящихся в районе Мурунтау. Перевозка руды из этих месторождений на ГМЗ-2 затруднительна из-за отсутствия автомобильных и железных дорог.

Кроме того, автомобильная перевозка руды на расстояние 20-70 км резко увеличивают себестоимость получаемого золота. Переработка руды непосредственно на месте нахождения месторождений по традиционной технологии требует больших капитальных вложений, особенно связанных со строительством водоводов. Поэтому разработка и внедрение экспрессных методов сортировки и мобильных подвижных сухих методов обогащения руд малых месторождений с получением концентратов и полуфабрикатов является наиболее приемлемым и перспективным направлением освоения таких месторождений.

Научные исследования, нацеленные на переработку отвалов действующих добывающих предприятий, хвостов кучного выщелачивания и гидрометаллургических заводов на основе современных технологий для добычи благородных металлов является актуальным направлением горно-перерабатывающей промышленности, которое частично решается в Навоийском ГМК.

Сведения о техногенном сырье НГМК приведены в табл. предлагаемая принципиальная схема управления техническими сырьевыми ре-сурсами (отходами) горно-металлургических производств НГМК заключается в следующем.

Забалансовые руды месторождения Мурунтау перерабатываются в настоящее время методом кучного выщелачивания. Существующая технология не обеспечивает высокой степени извлечения золота.

Балансовые сульфидные руды месторождения Кокпатас перерабатываются на ГМЗ-3 по технологии Биокс. Задача переработки забалансовых сульфидных руд в настоящее время является актуальной задачей. Магнитная фракция - промежуточный отход производства. При переработке магнитной фракции был испытан пирометаллургический метод. Испытания показали, что даже использование современных методов плавки, таких как магнитное перемешивание, не позволяет отнести пирометаллургические методы утилизации магнитной фракции плавкой на слитки к эффективным.

Для решения задачи переработки магнитной фракции с получением в качестве готовой продукции соли сернокислого железа используются гидрометаллургический метод.

Фактическая производительность действующей установки (500 т/год) не позволяют утилизировать ежегодно накапливающего количество (7 тыс.т.) магнитной фракции. Жидкие отходы - цианидные хвостовые пульпы золотоизвлекательных фабрик. Известные методы деструкции цианидов: хлорирование, озонирование, электроокисление и др. предполагают большой расход дорогостоящих реагентов и электроэнергии. Поэтому задача деструкции цианидов в хвостовых пульпах золотоизвлекательных фабрик с одновременным доизвлечением золота является актуальной.

В частности, объектами переработки будущих периодов могут служить склады отвалов вскрышных пород карьеров Мурунтау, Кокпатас, Даугызтау, Марджанбулак, Зармитан, Аджибугут, в которых накоплено 2,12 млрд. т техногенного сырья с содержанием золота 0,22-0,35 г/т (~700 т золота).

Технология переработки бедного (0,2-0,3 г/т) золотосодержащего минерального сырья к настоящему времени полностью не разработана.

Таблица 1.1.

Техногенная сырьевая база Навоийского ГМК по состоянию на 01.01.2009 г.

Месторождение	Запасы, тыс.т.	Содержание Au, г/т	Технология переработки
Забалансовые руды			
Аджибугут - окисл.+смешан.	1825,0	0,82	Проводится исследование по КВ золота
Зармитан, скл. №1, 14	72,4	0,75	Рекомендована рудосортировка
Итого:	1897,4		
Отвалы добычи руд			
Мурунтау	1973679,1	0,33	Рекомендована к рудосортировке и переработке гидрометаллургическим способом
Кокпатас (уч. «Восточный»)	60200	0,23	Технология отсутствует
Даугызтау	12320,0	0,22	Технология отсутствует
Аджибугут	5740,0	0,22	Технология отсутствует
Марджанбулак	35000,0	0,35	Технология отсутствует
Зармитан	36540,0	0,30	Технология отсутствует
Каракутан	400,4	0,3	Технология отсутствует
Итого:	2123879,5		
Промежуточные отходы			
Магнитная фракция ГМЗ-2	13,8	14,76	Сернокислотное выщелачивание магнитной фракции, получение сульфата железа, извлечение золота из кека сорбционным цианированием
Итого:	13,8	14,76	
Отвалы процесса сорбции и кучного выщелачивания			
ГМЗ-1			Используются для экранирования радиоактивных отходов производства урана
ГМЗ-2, хвостохранилища	716662,0	0,14	Технология отсутствует
Отходы КВ золота, ЦКВЗ Центрального РУ	157000,0	0,6	Предложено обогащение бортовой и верхней части кучи методом глубокой гравитации
ГМЗ-3, хвосто-хранилища	51500,0	0,16	Технология отсутствует
Марджанбулакская ЗИФ, хвостохранилища	10000,0	0,8	Рекомендована сорбционная технология извлечения золота в смеси с рудой
Итого:	778162,0		

В этом направлении ведутся целенаправленные исследования по совершенствованию технологических процессов рудосортировки и

обогащению техногенных руд с целью извлечения золота с удовлетворительными показателями.

Проводится паспортизация отвалов минерализованной массы, обогащение техногенных руд с применением различных методов сортировки, извлечение золота по технологии глубокой гравитации, кучного выщелачивания, биовыщелачивания золотосодержащих руд и других методов.

Исследованиями подтверждена целесообразность переработки забалансовых руд забойной крупности (1825 тыс. т) месторождения Аджибугут методом кучного выщелачивания (содержание 0,82 г/т, 1494 кг золота).

Переработка более 10 млн. т хвостов Марджанбулакской ЗИФ с содержанием золота около 0,8 г/т по действующей технологии МЗИФ (совместно с исходной рудой или в отдельности) позволит продлить срок службы фабрики на 8-10 лет.

В настоящее время имеются отходы цеха кучного выщелачивания золота (ЦКВЗ) (бывший СП «Зарафшан-Ньюмонт») в количестве 157 млн. т со средним содержанием 0,6 г/т (94,2 т золота).

Проблему извлечения золота предлагается решить в два этапа: на первом этапе поверхностные и боковые части кучи с неполным выщелачиванием золота обогащают методом глубокой гравитации, а на втором этапе - сортировка оставшейся части отходов для последующей переработки по заводской технологии.

Для решения экологической проблемы хвосты переработки золотосодержащей руды на ГМЗ-1 используются для экранирования радиоактивных отходов производства урана.

В хвостохранилищах ГМЗ-2 и ГМЗ-3 находится 768,2 млн. т отработанной руды с содержанием около 0,2 г/т (108,5 т золота). В перспективе она также может оказаться техногенным сырьем для получения продукции.

Таким образом, в настоящее время заскладированные забалансовые руды, вскрышные породы (минерализированные массы), промежуточные отходы процесса рудоподготовки и гидрометаллургии, отвальные хвосты процесса кучного выщелачивания, флотации и сорбции, шлаки процесса пирометаллургии можно рассматривать как техногенные месторождения.

Создание производств для комплексной переработки техногенных месторождений позволит решить ряд проблем городов и районов с моно-производством: уменьшить нагрузку на местные рынки труда, увеличить объемы средств, поступающих в местные бюджеты, снизить экологическое загрязнение окружающей среды, вернуть в оборот земли, находящиеся в настоящий момент под отвалами и хвостохранилищами, получить ценную продукцию, востребованную на рынке.

Разработка техногенных месторождений позволит перейти к рациональному природопользованию с обеспечением взаимосвязей разных экологических и социально-экономических факторов, для снижения негативного влияния последствий деятельности горных предприятий на окружающую среду с учетом социально-экономических интересов региона.

1.6. Утилизации магнитной фракции - промежуточного отхода производство

В процессе измельчения золотосодержащих руд в шаровой мельнице образуется магнитная фракция. Магнитная фракция (МФ) – это продукт, который получается в процессе измельчения руды в мельнице, где частицы свободного золота и серебра за счёт механических сил (нажима, втирания, вдавливания) переходят из руды в кристаллическую решетку металла. МФ представляет собой мелкодисперсное, в значительной степени окисленное железо. Основное поступление магнитного железа в МФ происходит за счет износа шаров (сталь 65Г) частично из руды. Железо представляющее продукт износа футеровки (сталь 110Г13Л) при магнитной сепарации практически не выводится, так как является немагнитным.

Расход металлических шаров при рудаподготовки составляет 2,2-2,4 кг/т перерабатываемого сырья. В НГМК в настоящее время при существующей объем переработки руды ежегодно расходуется более 120 тыс.т. металлических шаров. Из них методом магнитной сепарации улавливается около 9 тыс. тон. Остальное количество безвозвратно уходит в хвостохранилищу.

Содержание общего железа в МФ 70-80%, золота 3-10г/т. Необходимость вывода из процесса МФ связана с тем, что возврат ее в процесс уменьшает производительность по руде, ведет к увеличению расхода электроэнергии в цикле измельчения и химических реагентов на операциях «сорбция-десорбция». Для переработки магнитной фракции предложен ряд методов: гидрометаллургические, пирометаллургические и комплексные, сочетающие эти процессы.

Пирометаллургический способ утилизации. Вопросы переработки МФ пирометаллургическими методами были в 2004-2010 гг сотрудниками ЦНИЛ и ПО НМЗ. Плавка проводилась в печи ИСТ 016. Переплавить магнитную фракцию самостоятельно не представлялось возможным из-за низкой электропроводности, поэтому плавки проводились со сталью. Магнитная фракция содержала 7,5г/т золота. После плавки золото перешло в металл с неравномерным распределением. Содержание золота колебалось от 0,40 до 13,0г/т. В шлаках распределение золота было равномерным при содержании 0,20-0,30 г/т.

В настоящее время налажена технология получения футеровочной стали из магнитной фракции, предварительно обработанные интенсивным цианированием на предмет отделения золота. Недостатком метода является высокое самодержание сульфидов который требует дополнительную десульфидизацию в процессе плавки магнитной фракции.

Технология получения соли сернокислого железа. Самая оптимальная гидрометаллургическая схема утилизации магнитной фракции, заключающаяся в обработке МФ серной кислотой, была проведена в

лабораторных условиях и реализована в опытно промышленном цехе №1 ГМЗ-1. По схеме с 1т МФ получается 2,4т сернокислого закисного железа и золотосодержащий кек 80-120 г/т против 9-20г/т в исходной МФ. Золотосодержащий кек перерабатывается в технологической схеме ГМЗ-1 и ГМЗ-2 Сернокислое закисное железо используется для обезвреживания цианистых стоков ГМЗ-1 и очистки питьевой воды на ОЭС. Следует отметить, что цех №1 ГМЗ-1 получает сернокислое железо, соответствующее ГОСТ-6891-94, представляющее собой кристаллы зеленовато-голубого цвета, содержание железа 47%, содержание свободной серной кислоты не более 1%, содержание нерастворимого остатка не более 1%.

Области применения сернокислого закисного железа достаточно обширны: очистка промышленных сточных вод от цианидов, хромовых солей, изготовление пигментов; приготовление минеральных красок (берлинская лазурь); изготовление чернил, крашение шерсти, окраска кожи в кожевенной промышленности; обогащение многосернистых углей; средство для борьбы с вредителями сельского хозяйства и др.

Получение железосодержащих пигментов методом биовыщелачивания .

Микробиологическое выщелачивание в сочетании с применением физико-химических, обогатительных методов и методов биогидрометаллургии является перспективным направлением, которое способствует уменьшению потерь рудных и нерудных компонентов в отходах, оптимизации технологических схем переработки различных отходов горно-металлургической промышленности, тем самым существенно снижая техногенную нагрузку на окружающую среду. Применение такого комплекса подхода к решению проблемы утилизации отходов позволит расширить сырьевую базу, сохранив при этом запасы рудного сырья.

Вещественный состав магнитной фракции представляет: арсенопирит, пирит – 0,59%; кварц, кальцит, доломит, обломки пород – 1,71 %; металлический скрап – 97,70 % золото – 17,70 г/т. Все минералы покрыты окисными пленками.

В результате наклепа в ходе измельчения золото весьма прочно связано с железом, и механическим путём выделить его невозможно. В работе использовались тионовые железоокисляющие бактерии: *Acidithiobacillus ferrooxidans* КСБ. [46]. Биотехнологические исследования проводили в литровых пачуках при механическом перемешивании и подаче воздуха от компрессора в отливно-доливном режиме.

Следует отметить, что увеличение количества циклов обработки и применение перемешивания с использованием импеллера способствует обогащению исходного продукта по золоту до 100-127 г/т. Количество микроорганизмов вносимых в гетерогенную среду колебалось от $6,0 \cdot 10^7$ до $2,5 \cdot 10^8$ клеток в мл.

1.7. Постановка задач

Таким образом, в литературном обзоре показана, что появилось новый термин «техногенное сырьё» и новое направление «извлечение полезных компонентов из техногенного сырья». Для создания благоприятного условия для переработки техногенного сырья рассмотрены комплексное использование сырья, то есть отходы одного производства становится сырьём для другого производства. При этом в едином аспекте рассматриваются общие затраты: энергетические, дорожные, водные ресурсы и др.

Техногенное (вторичное) сырьё образуется при добычи руды (забалансовые, минерализованные массы), при обогащении (рудасортировка, гравитационное и флотационное обогащение с получением отвальных хвостов), гидрометаллургии (пульпа) и пирометаллургии (шлаки, летучие пыли).

За последние 50 лет в горнорудных районах США накопилось более 45 млрд.т различных отвальных продуктов, содержащих 4,5-5,5 млн.т меди. В США, Канаде, Австралии, Мексике, Испании, Болгарии, в странах бывшей

Югославии на множестве предприятий действуют более 50 промышленных установок, где получают до 27% добываемой меди ежегодно.

Расход металлических шаров при истирании золотосодержащих руд составляет 2,2-2,4 кг/т перерабатываемого сырья. В НГМК в настоящее время при существующей объем переработки руды ежегодно расходуется более 120 тыс.т. металлических шаров. Из них методом магнитной сепарации улавливается около 9 тыс. тон. Остальное количество безвозвратно уходит в хвостохранилище.

Анализ состояния исследования возможности переработки техногенного сырья показывают, что следующие вопросы не изучены в достаточной степени:

- извлечение золота из забалансовых сульфидных руд методом кучного бактериального выщелачивания;
- увеличение полноты извлечение обломки металлических шаров содержащие золота;
- усовершенствование процесса разрушение сульфидов перед пирометаллургического процесса переработки магнитной фракции;
- геохимические особенности залегание пород в хвостохранилище ГМЗ-3;
- пространственное - объемное распределение валовое содержание золота в хвостохранилище ГМЗ-3;
- определение объемное распределение различной формы золота в хвостохранилище ГМЗ-3;
- исследование механизма образование свободной (цианируемой) формы золота в лежалых хвостах гидрометаллургического процесса;
- экономическая оценка извлечение золота из лежалых хвостов гидрометаллургии с учетом геохимической особенности и содержание золота;
- сравнение технико-экономических показателей различных методов переработки лежалых хвостов гидрометаллургии.

Глава 2. МЕТОДОЛОГИЯ ДЕТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

2.1. К вопросу отбора представительных техногенных проб к анализу

Зависимость массы представительной пробы от размера неоднородных частиц приведена в таблице 2.1[60]

Таблица 2.1

Зависимость массы представительной пробы от размера частиц

d , мм	40 - 50	25	10	5	3	2	1
Q , кг	$50 - 3 \cdot 10^3$	10 – 700	2 – 100	0,5 – 25	0,2 – 10	0,1 – 5	0,02 – 1

Для расчета оптимальной массы представительной пробы часто используют приближенную формулу Р. Ричардса – Г. Чечота:

$$Q = K \cdot d^2,$$

где Q – масса генеральной пробы, кг;

K – эмпирический коэффициент, характеризующий степень неоднородности распределяемого компонента в материале (от 0,02 до 1);

d – наибольший диаметр неоднородных частиц, мм.

Если твердое вещество представляет собой слиток, стержень, прутья и т.п., следует учитывать, что целый твердый объект может быть неоднороден.

Поэтому объект дробят или распиливают, или высверливают в разных местах.

При отборе сыпучих проб следует помнить, что в пробе должны быть представлены куски разного размера, наиболее полно отражающие состав образца. Для этого массу сыпучего вещества перемешивают, пробу отбирают в разных местах емкости и на различной глубине. Если материал транспортируется, пробу отбирают с транспортера через равные отрезки времени.

После отбора генеральной или лабораторной пробы твердого вещества проводят ее **гомогенизацию**, дробят, просеивают. В процессе измельчения

периодически отделяют крупные частицы от мелких, крупные измельчают отдельно.

После измельчения проводят **усреднение** пробы. Пробу перемешивают и сокращают (методом квартования, конуса и кольца, шахматным способом и т.п.) Сокращение пробы – многостадийный процесс, его повторяют несколько раз до тех пор, пока размер пробы не достигнет размера, необходимого для проведения анализа.

На рис.2.1 показаны устройство которое было разработано для отбора проб. С его помощью можно отбирать пробы до 3 метра глубины и больше если соединить ещё дополнительный стержень.

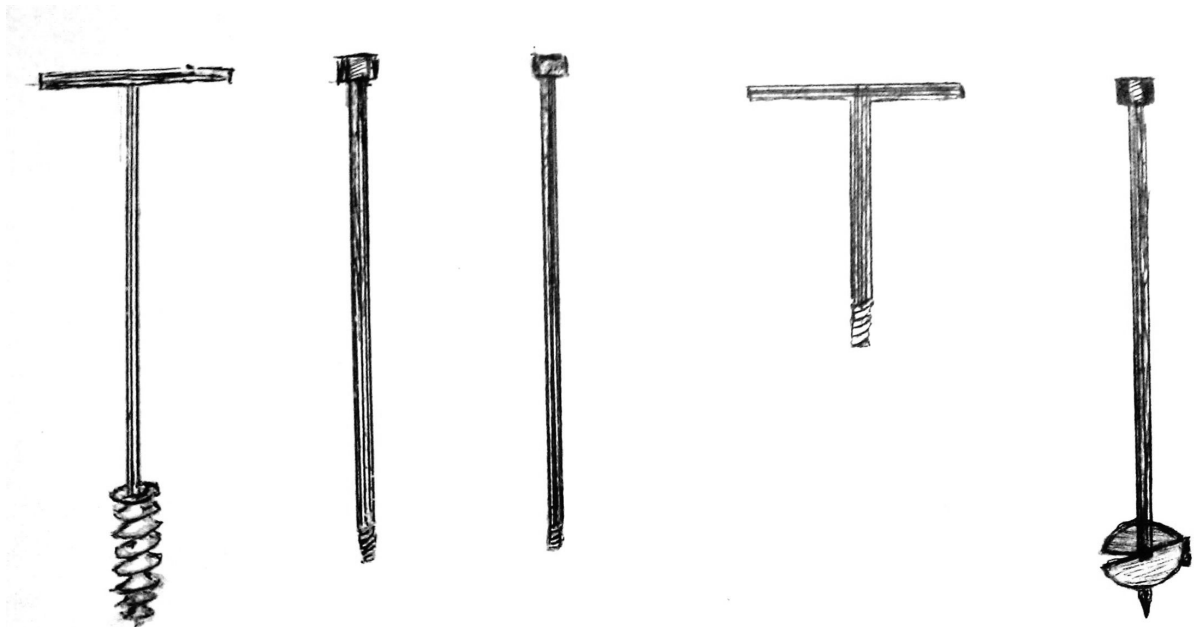


Рис.2.1 Устройство для отбора проб.

Устройство хорошо подходит для отбора глубинных проб, позволяя получать пробы из каждой 50 см глубины

2.2. К вопросу методологии исследования свойств техногенного сырья

К особенностям руд характеризующие его технологические свойства относятся: минерало-геохимические, физические, химические, физико-химические факторы, характеризующие свойства сырья.

Главным критерием определения технологических свойств сырья - степень сквозного извлечения золота, который в свою очередь зависит от формы нахождения золота в руде и влияют на степень цианирования. Если золота находится в цианируемой форме, то тогда необходимо оценить возможности и целесообразности применения метода сорбционного цианирования без гравитации.

Обычно исходя из результатов рационального анализа применяют флотационные методы обогащения, если золото приурочено к сульфидам и углистым веществам. Флотационного обогащения применяют с целью получения коллективного концентрата, состоящего из сульфидных минералов и углеродсодержащих компонентов. Затем из него селективно отделяют уголь, путем применения селективной угольной флотации. Флотации можно осуществить последовательно: сначала отделяют уголь гидроциклоном, затем применяют сульфидную флотации.

До настоящего времени процесс селективного отделения угля от сульфидных минералов до конца не отработан, поэтому в промышленности получают коллективный флотоконцентрат. Это, в свою очередь отрицательно влияет на показатели процесса биоксидно-сорбционной технологии. В таких случаях наиболее целесообразным применением селективной добычи и переработки руд по геотехнологическим типам. Сульфидную руду целесообразно переработать по биоксидно-сорбционной технологии, а углистую руду по обжигово-сорбционной технологии.

Если технологический режим не позволяет разделить углистую фракцию от сульфидных минералов, то тогда лучше всего концентрат необходимо переработать по обжиговой схеме или необходимо подвергать к автоклавному вскрытию.

Если упорная углеродисто-сульфидная руда перерабатывается по существующей биоксидно-сорбционной технологии, то для достижения полноты сквозного извлечения золота необходимо применение обжигово-сорбционной технологии хвостов биоксидно-сорбционной технологии.

Обжиг кека биоокисления с последующим цианированием золота не позволяют достижение полноты сквозного извлечения золота, так как при обжиге свободное золота будет покрыто пленками и образуются трудноцианируемые минералы, таких как гематит и скордит.

До последнего времени, когда рассчитывали степень сквозного извлечения золота из флотоконцентрата брали за основу 90%-ную биоокисление флотоконцентрата в оптимально установленных режимах биоокисления. Детальное биогеохимическое исследование руд показывают, что степень сквозного извлечения золота из кека биоокисления зависит также от формы нахождения золота. Если золото находится существенно в углистом веществе, или покрыто пленками или входит в структуру породообразующих минералов, то тогда трудно достичь требуемое максимальное значение сквозного извлечения золота. Это в свой очередь диктует целесообразность биогеотехнологической паспортизации руд.

Выбор и реализации эффективной технологии для переработки смешанных руд на основе их биогеотехнологических параметров позволить увеличение степени сквозного извлечения золота и тем самым расширить сырьевого ресурса страты.

2.3. Методика гранулометрического анализа

Гранулометрический состав руды определяют грохочением или рассеиванием, гидравлической классификацией (включая отмучивание), микроскопическим и другими методами. Рассеиванию (или ситовому анализу) подвергают пробы, масса которых зависит от размера наибольших кусков. Просеяв исходную навеску через первое сито, материал, прошедший через сито, перед дальнейшим просеиванием можно сократить, если это не нарушит условия сохранения минимальной массы пробы. На ситах крупнее 6—8 мм обычно материал просеивают без промывки. Мелкий материал рассеивают с предварительной промывкой, т. е. мокро-сухим методом. Для этого навеску

материала размешивают с водой в стакане, конической колбе или ведре. Затем воду с шламами сливают через самое мелкое сито в приемник. Эту операцию повторяют до тех пор, пока слив не станет прозрачным. Шламы отстаивают и после удаления воды декантацией сушат и взвешивают. Зернистый материал с сита объединяют с обесшламленным, сушат, взвешивают и рассеивают в сухом виде на наборе сит, включая и то сито, через которое производили отмывку. Каждый класс взвешивают, самый мелкий класс объединяют с отмытыми шламами. Результаты ситового анализа заносят в таблицу с указанием выхода в процентах каждого класса (частный выход) и суммы выходов в процентах всех классов крупнее данного сита (суммарный выход). Гранулометрическую характеристику материала по данным ситового анализа удобно выражать графически на простой, полулогарифмической или логарифмической сетке.

Материал рассеивают на лабораторных плоских или вращающихся барабанных грохотах различных типов и на наборах сит вручную или механическими встряхивателями. Известно использование ультразвукового вибратора для ускорения просеивания через тонкие сита.

Таблица.2.1

Минимальная масса проб для ситового анализа (по С. И. Митрофанову)

Размер наибольших	Минимальная масса пробы, кг	Размер наибольших кус-	Минимальная масса пробы, кг
40	180	4	1,0
30	120	3	0,75
20	65	2	0,5
10	10	1	0,25
5	1,2	0,5	0,12

2.4. Минералогической и структурный анализ руд.

Наиболее типичные формы выделения минералов и характер их сростаний между собой необходимо иллюстрировать фотографиями. Фотографии можно выполнять как с образцов в натуральном виде, так и под

микроскопом при различном увеличении. Более наглядными являются цветные фотографии. При обнаружении в руде двух или более генераций одного минерала желательно установить различие их свойств, состава, строения. Специфические задачи решают при минералогическим изучении продуктов обработки руд.

Минералогическое изучение обычно проводят несколькими методами:

Микроскопическое изучение, как правило, позволяет уверенно диагностировать все наиболее распространенные в золотых и комплексных золотосодержащих рудах минералы.

Рентгенографические методы часто имеют решающее значение при диагностике минералов, когда по внешним признакам и оптическим свойствам распознать их трудно, а для химического анализа недостаточно материала. Анализуют подвергают монокристаллы минерала размером не менее 0,1—0,5 мм или пробу порошка в количестве 10—50 мг. В первом случае устанавливают сингонию, размеры элементарной ячейки, вид симметрии и уточняют химическую формулу, во втором — определяют межплоскостные расстояния и интенсивность отражения различными плоскостями в кристалле. Полученные результаты сравнивают с рентгенометрическими константами, имеющимися в специальных справочниках, с помощью рентгенографии определяют также форму нахождения элемента-примеси в минерале-носителе. Анализ тонкодисперсных глинистых минералов, а также сложных полиметаллических руд и продуктов металлургической обработки эффективно осуществляют методом дифрактометрической рентгенографии.

Электронная микроскопия позволяет увеличивать объекты в 150—200 тыс. раз. Помимо собственно электронно-микроскопических снимков можно получать электронограммы исследуемых объектов в проходящих и отраженных лучах. При работе с электронным микроскопом пользуются прямым или косвенным методом. Первый применяют при исследовании тонкодисперсных минералов (глинистых, гидроокислов железа), второй — при исследовании металлов, сульфидов, окислов и других кристаллически плотных

минералов. С помощью электронной микроскопии диагностируют ряд минералов и определяют форму примесных образований.

Термический анализ широко применяют для качественного и, в меньшей степени, количественного определения глинистых минералов, слюд, хлоритов, карбонатов, органических веществ. Анализ прост по технике выполнения и не требует значительных затрат времени. Люминесцентный анализ служит для визуальной диагностики

и количественного подсчета в шлифах и измельченных рудах люминесцирующих минералов: шеелита, урановых минералов, корунда, алмаза, битумов, циркона и некоторых других. Люминесценцию можно наблюдать и под микроскопом с ультрафиолетовым осветителем. Электродиализ успешно применяют для изучения форм вхождения элементов-примесей в минералы-носители, для анализа сорбционных процессов на поверхностях минеральных фаз, а также для определения относительной растворимости минералов в различных электролитах.

Микрорентгеноспектральный анализ основан на регистрации характеристического рентгеновского излучения атомов исследуемой минеральной фазы, возникающего под влиянием облучения образца острофокусированным (до 3 мкм и менее) пучком электронов. Сканирование (перемещение) пучка позволяет изучать морфологию минеральных включений, граней кристаллов и срастаний. Микрорентгеноспектральным анализом определяют состав минералов концентрацию примесей (начиная от 0,01% и выше).

Фазовым (рациональным) анализом, основанным на селективном растворении минералов, количественно определяют минеральные формы золота, меди, свинца, цинка, молибдена. Фазовый анализ постоянно используют при исследовании золотых и комплексных золотосодержащих руд.

2.5. Анализ состава вещества и аналитический контроль технологического процесса

Для детального исследования руд и технологических продуктов применяется высокочувствительные методики анализа. Для контроля технологических процессов необходимо использование оперативных методов инструментального анализа твердых и жидких проб. Ниже кратко рассмотрены различные методы анализа.

Физико-химические методы анализа.

1. *Пробирный анализ (классический метод)* - в основном применяется для анализа благородных металлов (золота, серебра, платины, палладия и др). Применяется для определения содержания золота и серебра в геологических и технологических (золотосодержащие руды, насыщенная и отрегенированная смола, гравеоконцентрат, флотоконцентрат и готовая продукция золота) пробах.

Достоинством пробирного анализа является возможность определять содержание благородных металлов из больших навесок (до 100 г). Чем больше навески, тем она представительней и тем выше точность анализа. Если материал содержит золота не выше 2—3 г/т, то для пробирной плавки следует брать навеску 100 г. При анализе бедных продуктов (0,1—0,4 г/т и менее) целесообразно проводить 4—5 и более плавок параллельных навесок. Корточки от навесок следует объединить и взвесить совместно. Плавку нескольких навесок с объединением корточек практикуют при анализе материалов с крупным золотом, когда навески в 50-100 г могут оказаться непредставительными. В других случаях такие материалы анализируют после выделения крупного золота амальгамацией. Этот метод нельзя рекомендовать для руд, а которых хотя бы часть крупного золота не поддается амальгамации. Лучшим способом выделения крупного золота перед пробирным анализом является обогащение на концентрационном столе.

Широкие возможности для определения благородных металлов в различных продуктах обеспечивают комбинированные методы, включающие, помимо пробирной плавки и купелирования, другие методы — активационные, химические, атомно-абсорбционные. При этом купелирование свинцового сплава (веркблея) проводят не до конца, а до массы 0,2—2 г, чем устраняют потери золота в конце операции и исключают необходимость присадок серебра.

2. *Гравиметрический метод* - основан на растворении образца и определении элементов осаждением в виде конкретных соединений (например сульфидов, сульфатов и др.).

3. *Титриметрический метод* - в основном применяется для определения количеств элементов в растворах. При анализе твердых образцов, их предварительно переводят в раствор. В виде титраторов используются оксидиметрические, йодометрические, броматометрические, германганометрические, бихроматметрические и другие титраторы. По концентрации определяемого и титрирующего раствора получают количественные данные по содержанию исследуемого элемента в растворе.

4. *Электрохимический метод* - основан на определении содержаний элементов по электрофизическим параметрам химической реакции. Метод подразделяется на: кондуктометрический, потенциометрический, полярографический, амперометрический и кулонометрический. Эти методы более всего пригодны для анализа растворов с химическими элементами в ионной форме.

Физические методы анализа основаны на измерении свойства элементов (интенсивность излучений или поглощения света, радиоактивного излучения, поток альфа, бета частиц от пробы и др.), непосредственно зависящие от природы атомов и их концентраций в веществе. При этом химические реакции или совсем не играют роли, или имеют второстепенное значение.

1. Фотометрические методы - широко применяется в аналитической практике, особенно для определения элементного состава жидких проб. Метод основан на изменении цвета растворов в зависимости от содержания определяемого элемента в специально созданных условиях. Существуют серийные многочисленные спектрофотометры типа СФ-1, СФ-3 и другие. Методы пригодны для работы с образцами природных проб (подземные, надземные, сточные воды) и позволяет анализировать химические элементы с чувствительностью до $n \cdot 10^{-3}\%$. Применяются для контроля технологических процессов и мониторинга экологической обстановки вокруг промышленных предприятий. При колориметрическом методе анализа измеряют поглощение монохроматического света. Это усложняет конструкцию приборов, но дает большие аналитические возможности по сравнению со спектрометрическим методом. Спектрофотометрический метод используется не только для видимой, но и для ультрафиолетовой и инфракрасной областей спектра.

2. Атомно-абсорбционный метод - основан на поглощении атомов проходящих через газовый слой. Этот метод широко применяется для анализа растворов и основан на зависимости поглощения света раствором какого-либо вещества от природы этого вещества и его концентрации в растворе. Концентрацию вещества в растворе определяют по степени поглощения светового потока, прошедшего через раствор. Существуют различные серийные приборы, работающие на основе метода атомной абсорбции. Данный метод нашел широкое применение при анализе большого числа элементов, особенно в жидких фазах. Порог определения элементов $n \cdot 10^{-4}\%$.

3. Люминесцентный (флуоресцентный) метод - основан на определении содержания элементов, путем регистрации свечения, образующегося при облучении растворов ультрафиолетовым излучением. Метод применяется как в прямом, так и в косвенном вариантах. Прямой метод применяется для некоторых элементов (ионов) дающих флуоресцентное или люминесцентное свечение.

4. Атомно-эмиссионный спектральный - метод основан на определении содержаний элементов по спектральным линиям, образующимся при переводе элементов в атомы с использованием электрической дуги. Если анализируемое вещество испарять в пламени электрической дуги, т.е. сообщать его атомам энергию, переводя их в возбужденное состояние, то оно начинает светиться. Атомы каждого элемента испускают волны определенной длины, позволяя определять элементы, входящие в состав анализируемого вещества. Интенсивность излучения при прочих равных условиях зависит от количества излучающих атомов. Следовательно, спектр испускания дает информацию, позволяющую вести и качественный и количественный анализ: по наличию или отсутствию в спектре определенных полос делают вывод о качественном составе образца. По интенсивности полос с помощью калибровочной кривой определяют содержание отдельных элементов, т.е. ведут количественный анализ.

Спектральный анализ позволяет быстро получать качественную характеристику элементного состава руды. Обычным оптическим спектральным анализом обнаруживают и полуколичественно оценивают содержание около 60 элементов. В их число не входят сера, селен, галоиды, кислород, азот. Анализ выполняют с небольшими навесками— десятки или сотни миллиграмм. Ряд элементов (Си, Pb, Sn, Mo, Ti, Nb, Ge, In, Cd, Ga, Ta, Te и др.) можно определять количественно. Метод широко применяется для определения тяжелых металлов в жидкой фазе, в рудах и других технологических объектах. Чувствительность метода $\cdot 10^{-3}\%$.

5. Ионоплазменный спектральный метод – основан на наблюдении спектральных линий, появляющихся при переходе определяемых атомов или ионов из возбужденного состояния в состояние с меньшей энергией. В качестве источника возбуждения используют ионосвязанная плазма (ИСП), то есть раскаленная плазма аргона, нагреваемая высокочастотным излучением. При достигаемых в этом случае очень высоких температурах (порядка 10^4 К) становится возможным определение большого числа элементов (около 30). В

данном методе взаимное влияние элементов значительно меньше и чувствительность, в основном лучше, чем в случае атомизации в пламени. Чувствительность метода $\cdot 10^{-5}\%$..

6. Масс-спектрометрический метод - не зависит от химической формы элемента и способен разделять индивидуальные изотопы, имеет высокую чувствительность. Необходимая аппаратура стоит дорого, но зато время разделения составляет порядка нескольких минут. Это значительно быстрее, чем с помощью большинства многостадийных процессов химического разделения. С помощью масс-спектрометрического метода анализа можно определить все изотопы химических элементов, в том числе в готовой продукции урана - ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U и экологических объектах изотопы - ^{234}Pa , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{214}Po , ^{210}Po и др.

Кроме того метод позволяет определить количественное содержание более 40 элементов с порогом определения $\cdot 10^{-6}\%$..

Ядерно-физические методы анализа.

1. Рентгеноспектральный метод - основан на измерении рентгеновского излучения, испускаемого при переходе электрона с внешней оболочки на образовавшуюся вакансию во внутренней оболочке. Эти вакансии возникают при бомбардировке образца частицами высокой энергии (например, рентгеновским излучением, γ -лучами, протонами). Полученный спектр дает качественную и количественную информацию: длина волны испускаемого излучения может использоваться для идентификации элементов, а интенсивность – для измерения их количества. Рентгеновские спектры регистрируются с помощью измерительных систем путем измерения длины волны. Метод применяется для экспрессного определения содержания железа, мышьяка и других элементов в твердых пробах. Метод применим для определения содержания золота в смоле и активированном угле. К преимуществам метода следует отнести возможность проведения многоэлементного анализа и работы в заводских и полевых условиях. К

недостаткам относятся необходимость и сложность учета матричного эффекта и невысокая ($10^{-2} - 10^{-3} \%$) чувствительность анализа.

2. *Рентгенофлуоресцентный энергодисперсный метод* - основан на определении содержаний элементов путем регистрации вторичного излучения, энергодисперсным способом с использованием различных сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов. В качестве источника первичного излучения используют источники рентгеновского и мягкого гамма-излучения Co-57, Am-241, Fe-59 и др или катодные трубки. Порог определения элементов составляет 0,001-0,0001 %

3. Фотоактивационный метод - основан на определении содержаний элементов по регистрации интенсивности радионуклидов образующихся при облучении проб высокоэнергичным гамма-излучением. Метод широко применяется для серийного анализа золота в окисленных рудах Мурунтау НГМК. Порог определения золота 0,5 г/т

4. Нейтронно-активационный анализ - основан на регистрации гамма-излучения радионуклидов, образующийся при облучении проб нейтронами различных энергий от реактора, нейтронных генераторов и ампульных источников нейтронов. В качестве ампульных источников нейтронов используют ^{252}Cf , $^{124}\text{Sb-Be}$ источники нейтронов. Порог определения метода с использованием реактора $\cdot 10^{-5}\%$. с использованием ампульных источников нейтронов $\cdot 10^{-3}\%$.

5. Гамма-абсорбционный метод - основан на определении содержания тяжелых элементов по регистрации ослабления мягкого гамма-излучения, проходящего через образец. Метод применяется для определения содержания Au, U, W в смоле регенерате. Порог определения 0,01%.

6. Радиоиндикаторный метод - применяется для определения относительного распределения элементов в технологических операциях и основан на изотопном обмене меченных нуклидов со стабильными атомами исследуемых элементов. Относительный порог определения элементов $1 \cdot 10^{-8} \%$. Недостатком метода является необходимость полного растворения пробы и

неприменимость для анализа твердых образцов и абсолютных содержаний элементов.

В основном для контроля процесса флотации проводят информативный анализ типов руд и шихты. Проводят оперативный систематический анализ содержание золота, мышьяка, железа и серы (сульфидный, общий), углерода (общий, органический) в исходной руде (питание флотации), во флотоконцентрате, в хвостах флотации, в кеке биоокисления, в пенах, огарке после обжига, в хвостах сорбции кека биоокисления и сбросных хвостах. В жидкой фазе содержание золота определяют в процессе сорбции биокека и хвостов флотации. Кроме того фрагментарно проводят анализ качества воды используемые в технологическом процессе и в обороте. Для экспрессного определения содержание серы (сульфидный, общий), углерода (общий, органический) используется анализатор “Leco –SC-144DR” (фирмы «Лекко», США), Метод определения содержание серы общий и серы сульфидной основан на обжиг пробы в токе кислорода и инфракрасной абсорбции окиси серы с целью определения общего содержание серы. Для определения сульфидной серы дубликат пробы предварительно обрабатывает 5%-ным раствором карбоната натрия при кипячении в течение 30 мин., после декантации, промывки и сушки проб определяют содержание серы сульфидной в том же анализаторе.

2.6. Методика рационального анализа руд

Руда, после дробления, измельчается в лабораторной шаровой мельнице (измельчении мокрое) до 80% класса 0,074мм. Поступившая руда дробится, измельчается в лабораторной шаровой мельнице (измельчение мокрое) до 100% класса - 0,074мм.. Исходя из вещественного состава, определяются следующие формы нахождения золота:

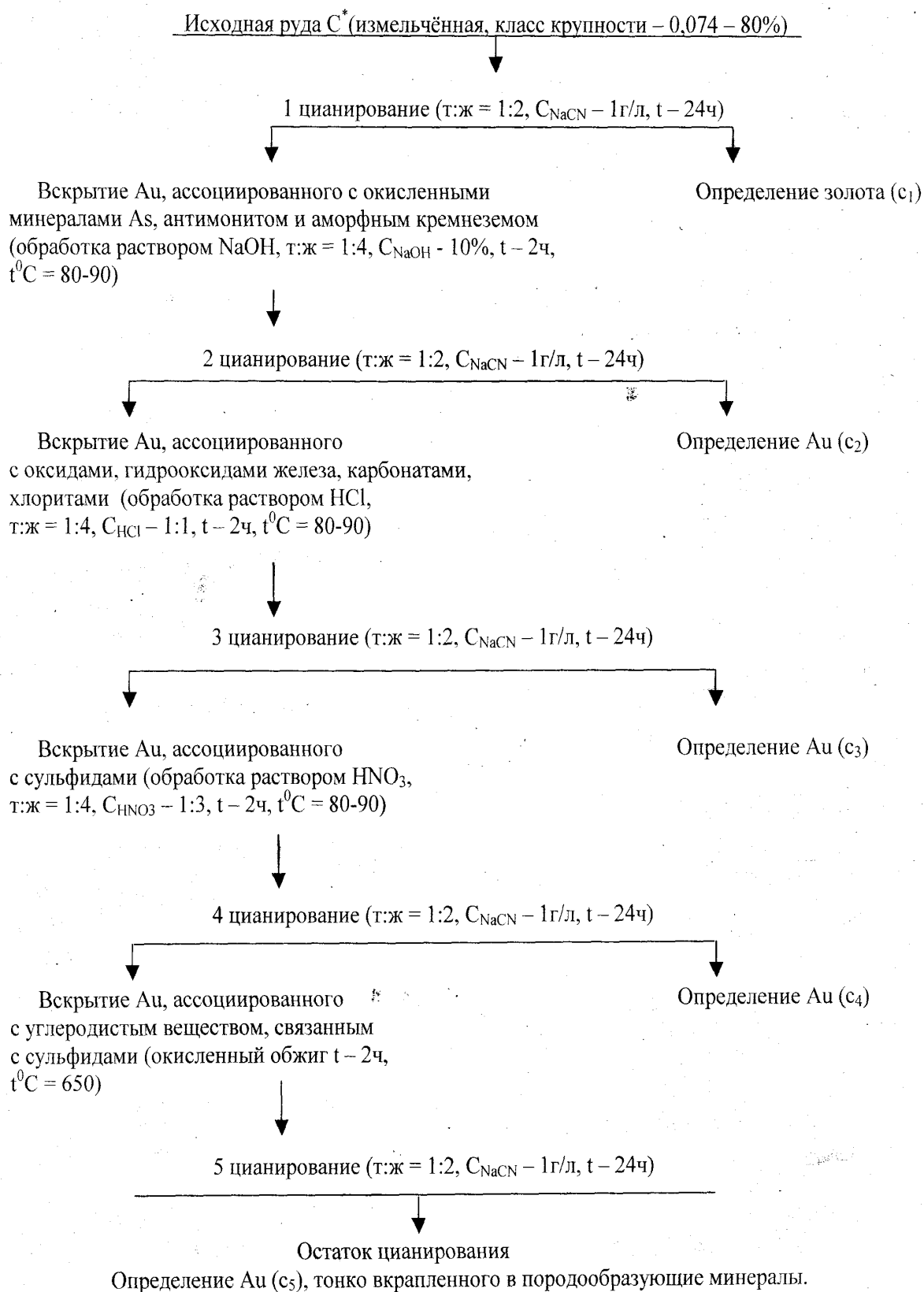


Рис.2.1 Рациональный анализа упорных золото-сульфидных руд различных месторождений.

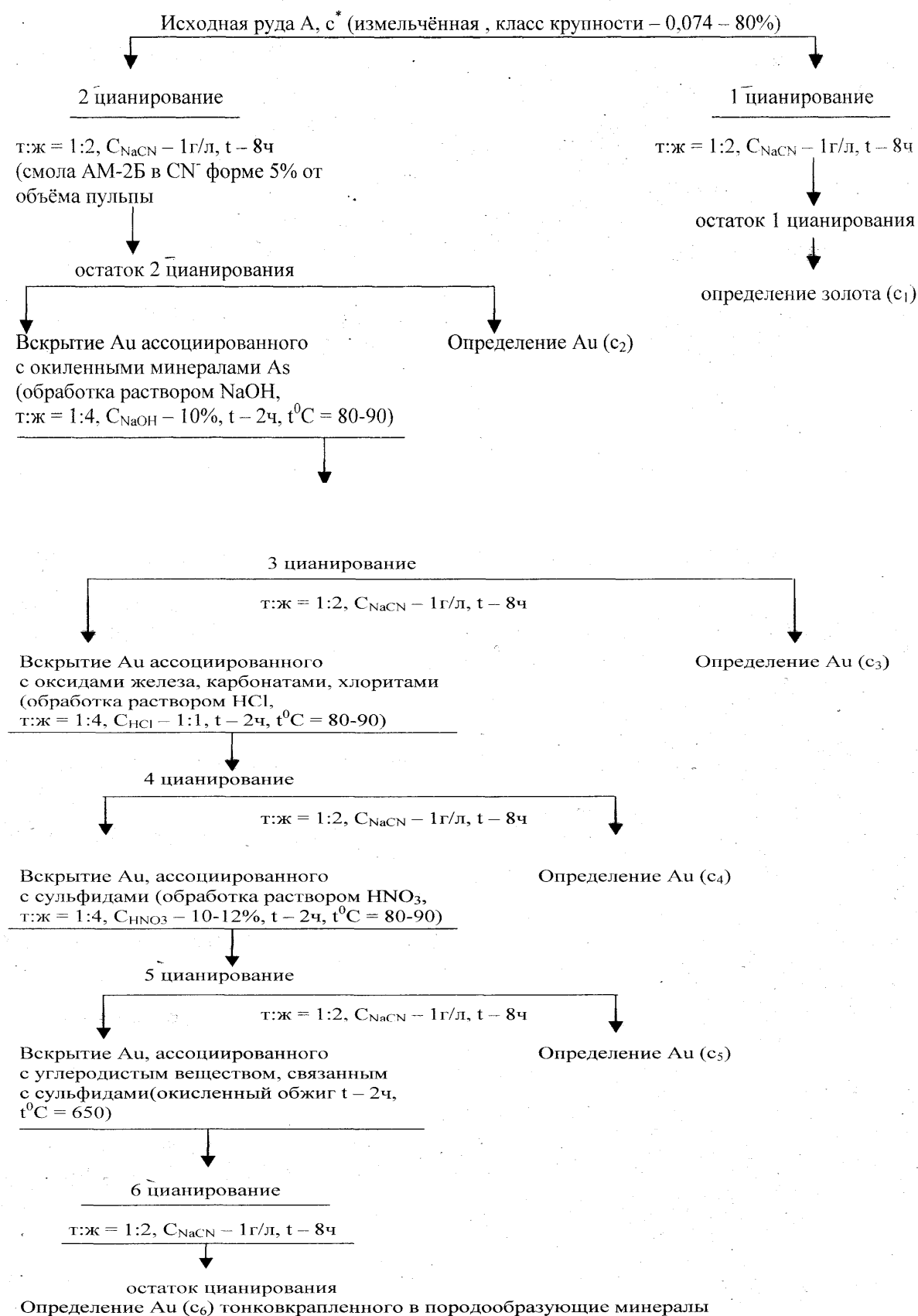


Рис.2.2 Рационального анализа упорных углисто-сульфидных руд различных месторождений.

- свободное в виде сростков (цианируемое);
- цианируемое после обработки NaOH (покрытое пленками, ассоциированное с антимонитом и аморфным кремнеземом);
- цианируемое после обработки HCl (связанное с оксидами гидроксидами железа, карбонатами, хлоритами);
- ассоциированное с сульфидами и углеродистым веществом в том числе:
 - а) извлекаемое цианированием после обработки HNO_3 (ассоциированное с сульфидами) ,
 - б) извлекаемое цианированием после окислительного обжига при $t=650^\circ\text{C}$;
- тонко вкрапленное в породообразующие минералы.

3.3. К вопросу методологии исследования хвостохранилищ

Как обычно принято, сотрудниками заводских лабораторий систематически проводится определение содержания золота в твердой и жидкой фазе направляемые на хвостохранилища. Кроме того, сотрудниками ЦНИЛ проводится тестовых испытаний по определению цианируемое количество золота в усредненных среднемесячных пробах и проводится рациональный анализ по определению формы нахождения золота в твердых фазах хвостовой пульпы.

По методике Иргиредмета (рис. 3.5.) определяют типов руд отличающийся по способности цианирование. Из рис.3.5. видно, что в технологическом типе А золота в основном находится в свободном состоянии и подается на гравитационное обогащение и сорбционное цианирование

По типу цианируемости и содержание золота в сульфидах золотосодержащие руды классифицируют на следующие типы: окисленные, полуокисленные, упорные (сульфидные, углеродистые).

Многолетнее исследование показывают, что в установленных заводских режимах методом сорбционного цианирования достигается полностью извлечь цианируемое формы золота. Анализ формы нахождения золота в лежалых отходах хвостохранилища показывает, что золота в цианируемой форме находится в МЗИУ от 30 до 60% в зависимости от глубины нахождения техногенного сырья. Для оценки целесообразности технической возможности извлечения золота из техногенного сырья (хвостохранилища) нами разработаны методологии исследования, включающие в себя следующие позиции:

- первичное (пробное) определение валового содержания золота в пробах, отобранные из поверхности и из глубин 1 м.;
- выбор метода анализа (пробирный, гамма-активационный, атомно-абсорбционный и др.) для картирования хвостохранилищ по валовому содержанию золота;

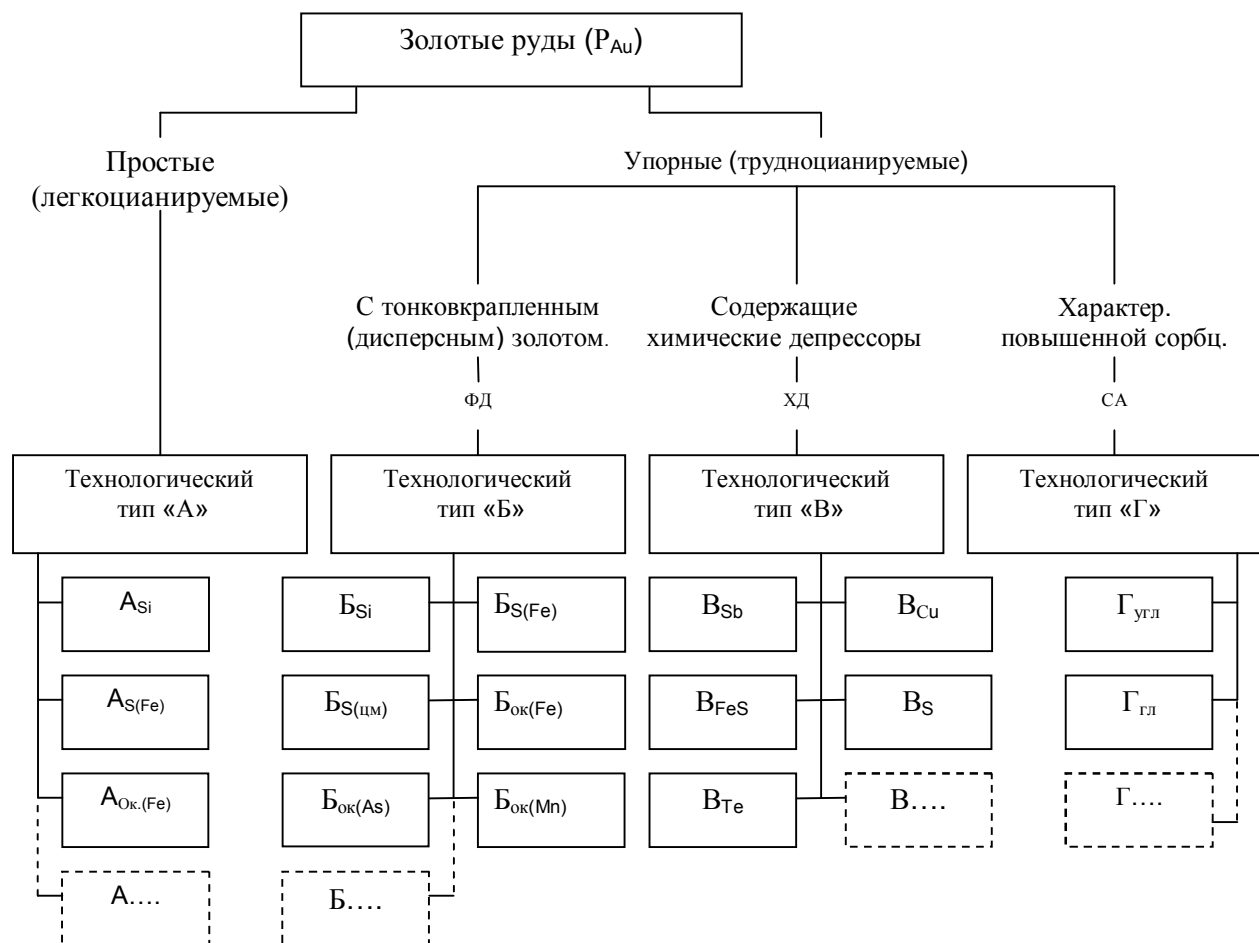


Рис. 3.6. Оценка упорности руд по цианированию

- составление карты пространственно-объемное распределение золота в хвостохранилище;
- исследование накопление свободной формы по глубине залегание отходов и установление их механизма образования;
- определение формы нахождения золота по объемам локализации техногенного сырья;
- оценка ожидаемых показателей технологии извлечения золота;
- выдача рекомендации к промышленному освоение технологии извлечения.

3.4. Поведение микрофлоры в процессе деструкции пород

Многочисленными исследованиями установлено, что органические вещества иловых отложений принимают самое прямое участие в связывании и осаждении ионов тяжелых цветных металлов в виде металлорганических комплексов – хелатов. Цинк осаждается при связывании его с гуминовыми и фульвокислотами, свинец – с фульвокислотами и медь – с гуминовыми кислотами.

Было проведено также микробиологическое исследование трех хвостохранилищ ЗИФ (Ангренской, Маржанбулакской и Чадакской) [56] сбросы, которых подвергались обеззараживанию сернокислым железом (хлорной известью), а также хвостохранилища ГМЗ-2 НГМК, цианистые стоки которого без обезвреживания складировались в хвостохранилище.

Характерным для микрофлоры хвостохранилищ ЗИФ и НГМК является наличие во всех пробах роданидоокисляющих бактерий, в отличие от микрофлоры золоторудных месторождений. Промышленные стоки ЗИФ представляют собой сложную систему содержащую. В промышленных стоках ЗИФ и ГМЗ-2 присутствуют тиосульфатоокисляющие нейтрофилы, как автотрофные, так и миксотрофные, нитрифицирующие, денитрифицирующие, аммонифицирующие бактерии, олигонитрофилы и микроскопические грибы. Характерными для микрофлоры всех обследованных хвостохранилищ является доминирующее положение гетеротрофных бактерий и отсутствие ацидофильных тионовых бактерий.

В лежалых хвостах можно отметить аналогичную, выявленную ранее при обследовании месторождений, взаимосвязь между вещественным составом руд и физиологическими группами микроорганизмов. Лежалые хвосты характеризуются наличием таких ассоциаций микроорганизмов как аммонификаторы, денитрификаторы и олигонитрофилы, что свидетельствует о том, что в хвостохранилищах создаются благоприятные условия для развития микроорганизмов, вследствие чего происходят различные превращения

металлов, их рассеивание и концентрирование. Из ассоциаций тионовых бактерий во всех хвостохранилищах выделены миксотрофные тионовые бактерии, из гетеротрофных – бактерии, относящиеся к родам *Bacillus* и *Pseudomonas*. В отличие от хвостохранилищ ЗИФ в хвостохранилище ГМЗ-2 НГМК обнаружены тионовые автотрофные нейтрофилы. Среди микроскопических грибов доминируют представители родов *Penicillium* и *Aspergillus* [56].

Микрофлора прудов-окислителей чрезвычайно разнообразна. Она представлена в виде *Bacterium liguefaciens*, *Bacterium album*, *Pseudomonas fluorescens* и *Bacillus brevis*. В хвостохранилищах и в начале биологических прудов, где невысокое содержание гетеротрофных микроорганизмов, металлы из состава комплексов осаждаются в результате физико-химических процессов и накапливаются в донных отложениях прудков в виде минеральных кислоторастворимых соединений, в то время как в биологических прудках основную роль играют биологические процессы [57-59].

Из отвальных хвостов и свежей хвостовой пульпы, были выделены микроорганизмы, обладающие различной степенью устойчивости к ионам металлов и цианидов в среде. Штаммы *Bacillus cereus* и *Bacillus subtilis*, полученные из зон с малыми концентрациями цианидов были резистентными к 10–15 мг/л цианидов. Штаммы этих же бактерий, выделенные из зоны сильного цианидного загрязнения были устойчивы к 25–35 мг/л. Бактерии *B.cereus* и *B.subtilis*, выделенные из проб, отобранных за пределами хвостохранилища, менее всех способны расти на средах с цианидами. Все вышеперечисленные концентрации не подавляли рост штаммов, изолированных из свежей хвостовой пульпы. В экстремальных условиях эти концентрации сдвинуты в сторону более высоких значений (45 мг/л) [56-57].

Следует отметить, что численность бактерий находится в обратной зависимости от концентрации цианидов: чем больше цианидов (Маржанбулакская ЗИФ и НГМК), тем меньше микроорганизмов. После хлорирования сбросов микроорганизмы практически отсутствовали во всех

исследованных нами образцах стоков ЗИФ. Из свежих промышленных цианистых стоков различных ЗИФ было выделено 28 культур, которые обладали способностью расти за счёт использования углерода и азота цианидов. Наиболее активным разрушителем является *B. cereus*, с которым были проведены дальнейшие исследования по подбору различных питательных сред на основе отходов производства.

Из отвалных хвостов и свежей хвостовой пульпы были выделены микроорганизмы, обладающие различной степенью устойчивости к ионам металлов и цианидов в среде. Чувствительность бактерий к металлам и цианидам является важным критерием оценки их роли в биогенной миграции элементов и трансформации цианидов, показателем степени их адаптации к неблагоприятным факторам окружающей среды.

Полученные экспериментальным путем активные штаммы бактерий, устойчивых к комплексу металлов и цианидов в среде способствуют максимальной деструкции загрязнителя, усилению процессов естественного самоочищения и позволяют создать сбалансированные экосистемы, так как, токсичные соединения не будут накапливаться, а будут разлагаться и рециклироваться.

Глава 4. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТА

4.1. Требование к строительству хвостохранилищ

Хвостохранилище – специальный комплекс оборудования и сооружений, предназначенный для захоронения токсичных, радиоактивных и других типов отходов, формирующихся при обогащении горных пород и полезных ископаемых различными химическими элементами. Такой сорт отходов имеет название – «хвост». В большинстве случаев в хвостохранилище помещают отходы переработки горно-обогатительных и горнодобывающих комбинатов.

Проектированию и строительному процессу хвостохранилища уделяют пристальное внимание. Под наблюдением оказывается: исходное и проектируемое состояние сооружения; надежность работы хвостохранилища; возможность своевременно обнаружить дефекты любого рода; возможность своевременно провести комплекс ремонтных мероприятий по устранению дефектов; возможность предотвращения аварий различного рода; возможности улучшения эксплуатационных условий хвостохранилища

Для осуществления всех вышеперечисленных натуральных наблюдений хвостохранилище предусмотрительно оборудуют специальными поверхностными и глубинными марками.

Более 30-40% от всех капиталовложений в рудное обогащение в цветной металлургии расходуется на строительство хвостохранилищ. Чаще всего для размещения хвостохранилищ выбирают заглубленные участки земли – распадки, ущелья и котловины. Хвостохранилище располагают на доступном расстоянии от горно-обогатительной фабрики (несколько километров).

Хвостохранилище огораживается дамбой, которая намывается из хвостов. В процессе отстаивания загрязненная вода разделяется на твердую осадочную фазу хвостов и чистую воду, которая может заново использоваться на фабрике или пройти дополнительную очистку и направится в стоки. Для

того чтобы ускорить процесс разделения и сделать его более эффективным могут быть применяться различные реагенты – флокулянты и коагулянты.



Рис. 4.1. Общий вид процесса подготовки хвостохранилища.

Выделяют несколько типов хвостохранилищ. Основной принцип разделения – рельеф местности, где расположено сооружение. Итак, хвостохранилища бывают: косогорные; шахтные; карьерные; пойменные; овражные; равнинные. Помимо воды, хвостохранилища являются генераторами и других типов вторичного сырья. Современные технологии позволяют более эффективно разделять компоненты веществ, содержащихся в хвостохранилище. По причине того, что требования к сырью, используемому в промышленности, становятся более жесткими, а источники минералов и драгоценных металлов истощаются, появляется необходимость в разработке хвостохранилищ, на территории которых находятся тонны редких химических элементов и ценного сырья.

Хвостохранилища, при строительстве которых не использовали специальные фильтрующие и изолирующие материалы, становятся источником серьезной экологической опасности, источником загрязнения атмосферы и почвенных вод.

Для того чтобы полностью обезопасить окружающую среду от влияния вредных химических веществ, содержащихся в хвостохранилище, используют современные и высокотехнологичные геотекстильные материалы (строительный геотекстиль ГТС; ландшафтный геотекстиль). Прекрасные

эксплуатационные показатели и отменные характеристики позволяют применять геотекстиль в дренажных и противоэрозийных комплексах и обладает следующими положительными качествами: долговечностью, простотой монтажа, прочностью, износостойкостью. Немаловажным моментом является то, что применение геотекстиля не подразумевает под собой никаких работ по обслуживанию и ремонту данного материала.

4.2. Хвостохранилища как потенциальный загрязнитель природы

Хвостохранилище несет под собой опасность нанесения вреда окружающей среде. В первую очередь речь идет о загрязнении поверхностных и грунтовых вод, а также воздушной среды, за счет испарения. Территории под строительство хвостохранилища выбирают в соответствии с условиями конкретной местности и согласовывают с Государственными органами санитарного надзора.

Одним из самых распространенных растворителей золота в гидрометаллургических процессах является цианид. Хвосты процессов цианирования содержат комплекс токсичных веществ: остаточных количеств вводимого реагента, продуктов реакции цианида с рудными минералами — цианидных комплексов металлов, а также тиоцианатов.

На присутствие перечисленных веществ в природных средах установлены экологические ограничения (предельно допустимые концентрации), по требовательности, не уступающие мировым экологическим нормативам, а в ряде случаев и превосходящие их. Так, предельная концентрация синильной кислоты в воздухе рабочей зоны не должна превышать $0,3 \text{ мг/м}^3$, в воздухе населенных мест $0,01 \text{ мг/м}^3$ (среднесуточная проба). В воде водоемов рыбохозяйственного значения предельно допустимой концентрации цианидов установлены уровнем $0,05 \text{ мг/дм}^3$, тиоцианатов — уровнем $0,09 \text{ мг/дм}^3$.

Для того чтобы выделить из многих тонн золотосодержащей руды крупинцы драгоценного металла, применяются высокотоксичные вещества — цианиды, которые затем вместе с отходами обогащения складываются в

специальный резервуар для хранения на десятки или сотни лет. Отходы обогащения на языке горняков называются хвостами, а огромные, площадью до нескольких сот гектаров, искусственные озера – отстойники, предназначенные для хранения миллионов тонн отходов – хвостохранилищами. Золотообогатительные фабрики производят хвостов в 100 тысяч – миллион раз больше, чем золота. Хвосты состоят из произведенных в результате дробления и переработки пустых пород, потерянных полезных ископаемых, а также воды и реактивов, использованных при обогащении.

Хвосты обогащения могут храниться веками, пока под воздействием антропогенных или природных сил не разрушатся ограждающие их дамбы или не появятся технологии, позволяющие извлечь мельчайшие драгоценные частицы, перемешанные с рудной пылью.

Постепенно ядовитые вещества, содержащиеся в отходах, оседают на дно хранилища или разлагаются под солнцем и вымываются водой, но значительная часть токсикантов всегда сохраняется и представляет опасность для окружающей среды. Однако катастрофические последствия при разрушении дамб и плотин хвостохранилищ могут быть вызваны не только цианидами, но и миллионнами тонн жидкой грязи, вырывающейся наружу.

4.3. Природоохранное мероприятие в хвостохранилище

Защита окружающей среды от техногенного воздействия технологий цианирования золотосодержащих материалов является обязательной для действующих предприятий, а развитие и использование наиболее эффективных природоохранных решений актуально как в научном, так и в практическом плане. Важное значение имеют экономические показатели применяемых природоохранных технологий. При эксплуатации дорогих процессов детоксикации загрязнений снижаются конкурентные возможности предприятия, оно имеет меньше средств для развития технологий, в том числе и природоохранных.

С целью максимально возможного сокращения или полного исключения сбросов сточных вод необходимо применение систем полного оборотного водоснабжения. При этом свежая вода используется только в случаях технической необходимости и для восполнения потерь обычно ее количество не превышает 8–12 % от общего водопотребления.

Для сложных случаев, при отрицательном влиянии водооборота на процессы извлечения золота из-за высоких концентраций металлов (в основном меди), разработаны и применяются технологии кондиционирования оборотных вод с регенерацией цианида в активной форме, способной эффективно растворять золото, и с извлечением металлов в виде ликвидных концентратов. Как показал опыт промышленной эксплуатации, такие технологии экономически выгодны и дают ощутимую прибыль.

Экологически безопасное хранение отходов технологии цианирования может решаться несколькими путями: полное обезвреживание цианидов перед складированием; частичное обезвреживание до рекомендуемых нормативов; размещение необезвреженных хвостов на полигоне с детоксикацией сбросов сточных вод с этого полигона в окружающую среду. С экономической точки зрения наиболее часто предпочтительным является последний вариант.

Частичное обезвреживание применяют для снижения концентрации цианида до уровней, безопасных для местных животных и птиц и рекомендуемых, в частности, международным документом Cyanide Management Code.

При полном обезвреживании расход реагентов максимален, что приводит к вторичному загрязнению очищаемых вод: при хлорировании — хлоридом кальция, при применении метабисульфита — сульфатом натрия. Вторичное загрязнение в ряде случаев может существенно осложнить использование обезвреженных вод в системе водооборота или их сброс в окружающую среду.

Хранение отходов без обезвреживания в большинстве случаев практикуют при низких концентрациях токсичных веществ в складироваемых хвостах и допустимом техногенном воздействии, не превышающем

установленные нормативы. Примерами такого хранения являются полигоны по складированию кеков фильтрации.

Наиболее эффективным методом обезвреживания отходов процесса цианирования является хлорирование с применением в качестве обезвреживающего реагента гипохлорита кальция. Главное достоинство этого метода — возможность практически полной, вплоть до нулевых концентраций, и необратимой окислительной деструкции не только токсичных цианидов, но и не менее токсичных тиоцианатов. Недостатками хлорирования являются высокая стоимость реагентов (гипохлорита и щелочи — гидроксида натрия или негашеной извести) и существенное вторичное загрязнение очищаемых отходов хлоридами.

Технология с использованием железного купороса, получаемые при утилизации магнитной фракции также используются в технологии особенно га ГМЗ-1, ГМЗ-4 и МЗИУ и отличается минимальными экономическими затратами..

При соблюдении разработанных технологических приемов складирования и хранения хвостов процессы обезвреживания цианидов под действием природных факторов до безопасных содержаний длятся от 3 до 5 лет. При этом никакие реагенты не применяются. Технология эффективна для хвостов переработки относительно простых по составу руд.

Безреагентной технологии обезвреживания цианидсодержащих отходов под действием природных факторов применяется на ГМЗ-2 и ГМЗ-3. В основу технологии обезвреживания под действием природных факторов заложена система специальных правил по складированию и хранению хвостов с регулированием водного баланса..

Защита подземных вод осуществляется организацией противофильтрационных экранов из местных водоупорных материалов. Такие материалы проходят предварительное тестирование и для хвостохранилищ выбираются образцы, обладающие максимальной сорбционной способностью

к поглощению токсичных соединений. При отсутствии местных водоупорных материалов организуют сплошные сварные полимерные экраны.

Перечисленные мероприятия позволяют организовать хранение отходов процессов цианирования в соответствии с национальными экологическими стандартами.

4.4. Техника безопасности при выполнении исследований в хвостохранилище

При эксплуатации и обслуживании хвостохранилищ золотоизвлекательных заводов надо соблюдать меры безопасности, включающие в себя следующие позиции: защита от прямого попадания пульпы в тело работника; меры безопасности при нахождении в самом хвостохранилище; проверка «иллюзионное нахождение твердой поверхности»; защита от летающей пыли в хвостохранилище специальными устройствами (лепестки, противогазы и т.д.), использование спецодежды и резиновые сапоги.

Токсичность воздуха в хвостохранилище зависит от условий и специфики нахождения отходов в хвостохранилище. Кроме того в хвостохранилище явно ощущается неприятный запах за счет образования органических летучих соединений связанных с испарениями газов содержащие органические компоненты (углекислый газ, цианильная кислота, органические компоненты флотореагентов и др).

Время нахождения персонала в зону вливания пульпы надо свести к минимуму, так при этом в локальной зоне хвостохранилища наблюдается максимальная концентрация вредных газов. При проведении исследовательских работ в хвостохранилище необходимо провести следующие мероприятия: установление места для исследования (удельная сопротивляемость верхней поверхности, грузоподъемность поверхности и т.д).

4.5. Оценка уровня рентабельности переработки руд различного состава в зависимости от содержаний золота

Как известно, что рентабельность предприятия определяется соотношением валового дохода (от реализации товаров) на себестоимость получаемой продукции.

Валовая выручка зависит от количество получаемой продукции и стоимость товара на мировом рынке. В настоящее время стоимость 1г золота составляет 34 \$ США или 1100 \$ за унцию (31,1г).

В себестоимость получаемой продукции входит амортизационное отчисление от стоимости основных средств, материальные затраты, зарплаты, налоги, обязательные отчисления и прочие затраты производственного характера.

В производстве принято учесть себестоимость переработки тонны руды и себестоимость получаемого 1г золота. Практически себестоимость переработки 1т золота мало зависит от содержания золота в руде, но высокое содержание золота в руде способствуют снижению удельной себестоимости получаемого золота.

Чистый прибыль после уплаты налогов распределяется по усмотрению предприятия, но при этом существенный роль играет непроизводственные затраты (административные затраты и прочие расходы периода). Поэтому кажущийся уровень рентабельности снижается с учетом инфляции и затрат непроизводственного характера.

Производственно-экономические показатели переработки окисленной и сульфидной руды представлены на рис 4.2.-4.6. Рентабельность технологии в основном зависит от содержания золота в исходной руде, от степени сквозного извлечения и себестоимости переработки 1 т. руды.

Стоимость переработки окисленной руды сорбционным цианированием составляет 16 \$/т (при кучном выщелачивание 12 \$/т); сульфидной руды 24 \$/т; техногенного сырья 10 \$/т. Эти показатели и определяют удельную

стоимость получаемого золота с учетом содержание золота в исходной руде и степени сквозного извлечения золота.

Производные показатели количество получаемого золота, содержание золота в отходах производства также в прямом зависит от исходного содержание золота и степени его сквозного извлечения. Уровень рентабельности (на уровне не ниже 25%) достигается:

- для окисленных руд методом сорбционного цианирования при содержание золота в исходной руде 1,1 г/т (при степени сквозного извлечения не менее 85%);
- для сульфидных руд- при содержание золота не менее 1,8 г/т (при сквозном извлечение не менее 80%);
- для окисленных руд методом кучного выщелачивание при содержание золота не менее 0,9 г/т (при сквозном извлечении не менее 50%);
- для техногенного сырья хвостохранилища при содержании золота 0,75 г/т (при сквозном извлечении не менее 50%).

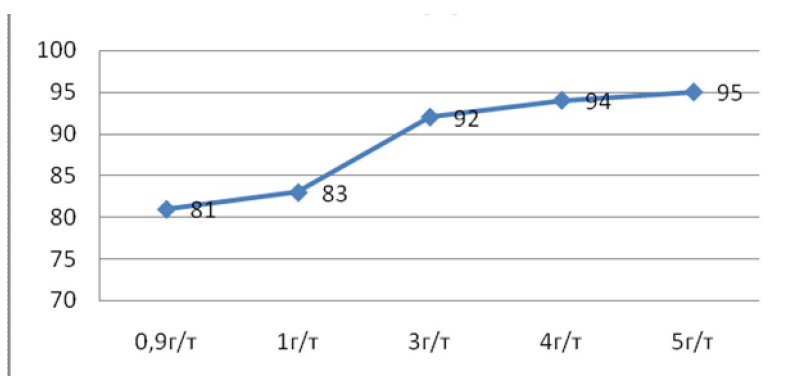


Рис. 4.2. Зависимость извлечение золота от содержание в исходной окисленной руде

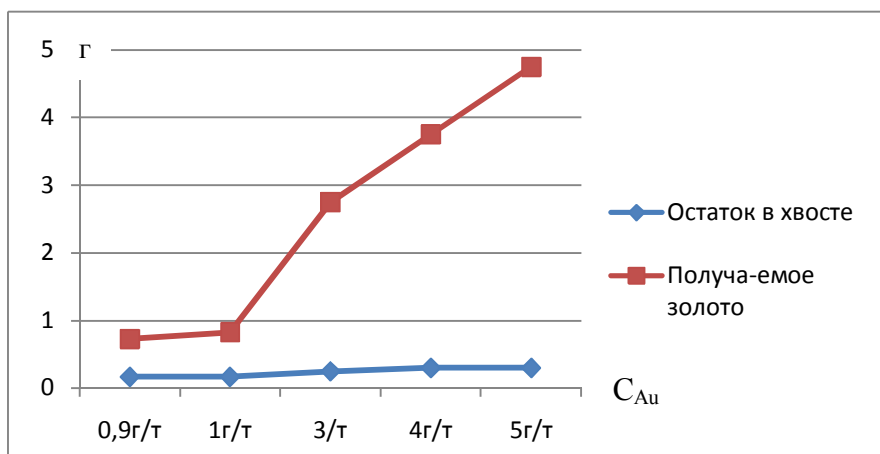


Рис. 4.3. Зависимость получаемого золота от концентрации в исходной (окисленной) руде с учетом фактического сквозного извлечения

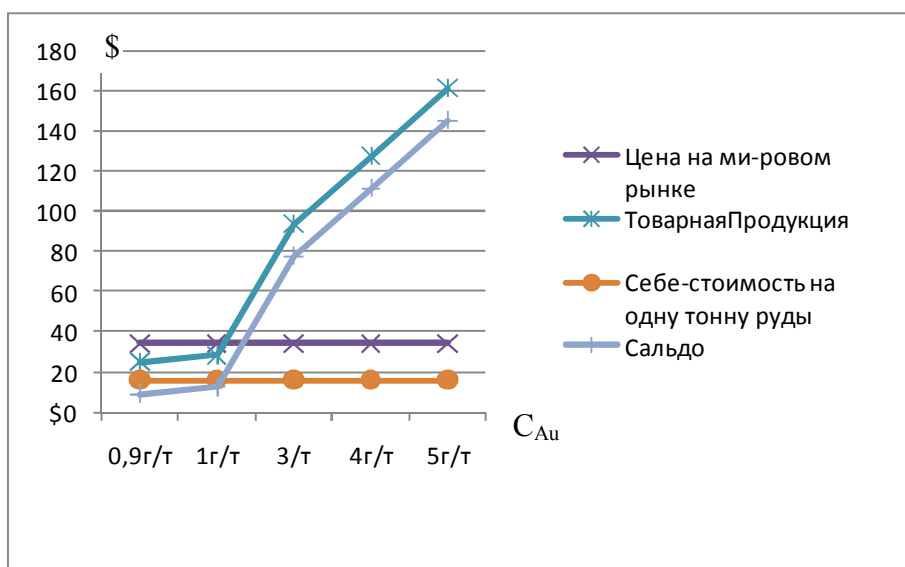
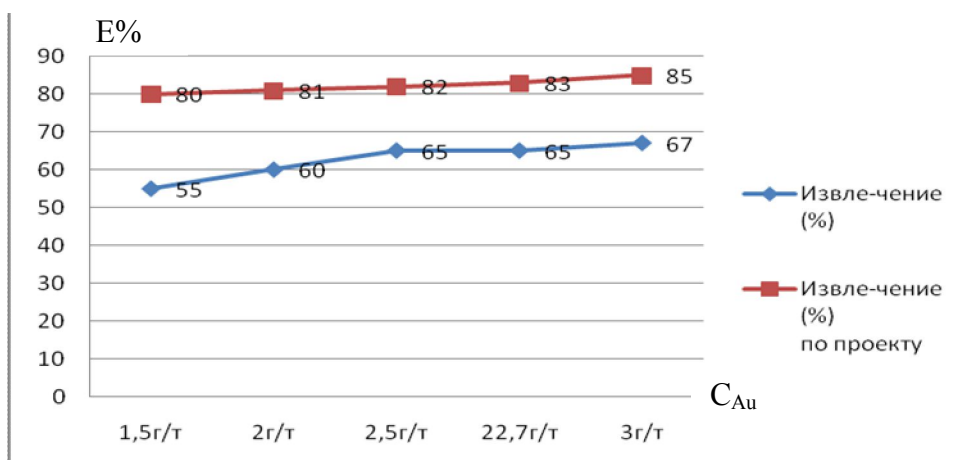


Рис. 4.4. Экономические показатели переработки окисленных золотосодержащих руд при различной концентрации золота в исходной руде



4.5. Зависимость сквозного извлечения золота сульфидных руд методом биоокисления от концентрации золота в исходном сырье

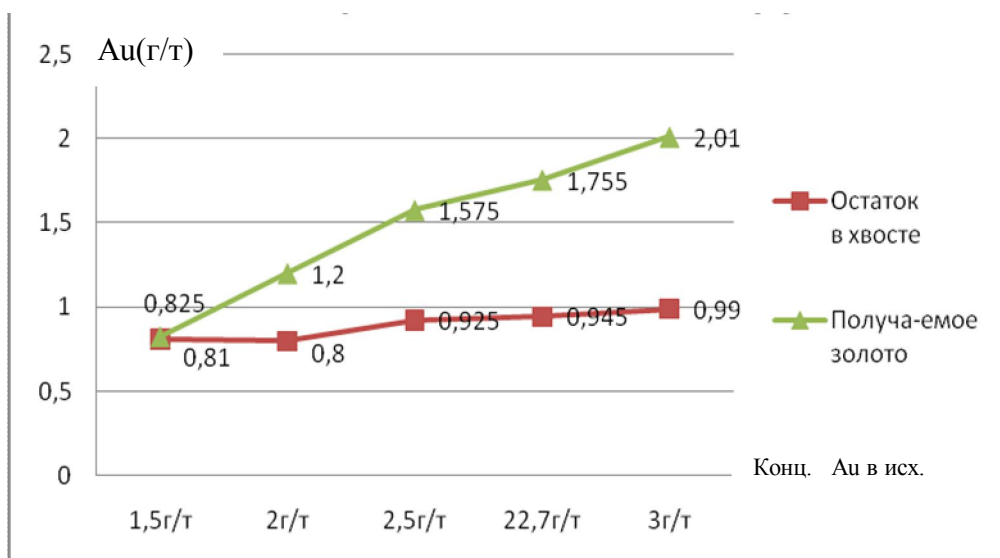


Рис. 4.6. Зависимость получаемого золота от концентрации в исходной (сульфидной) руде с учетом фактического сквозного извлечения

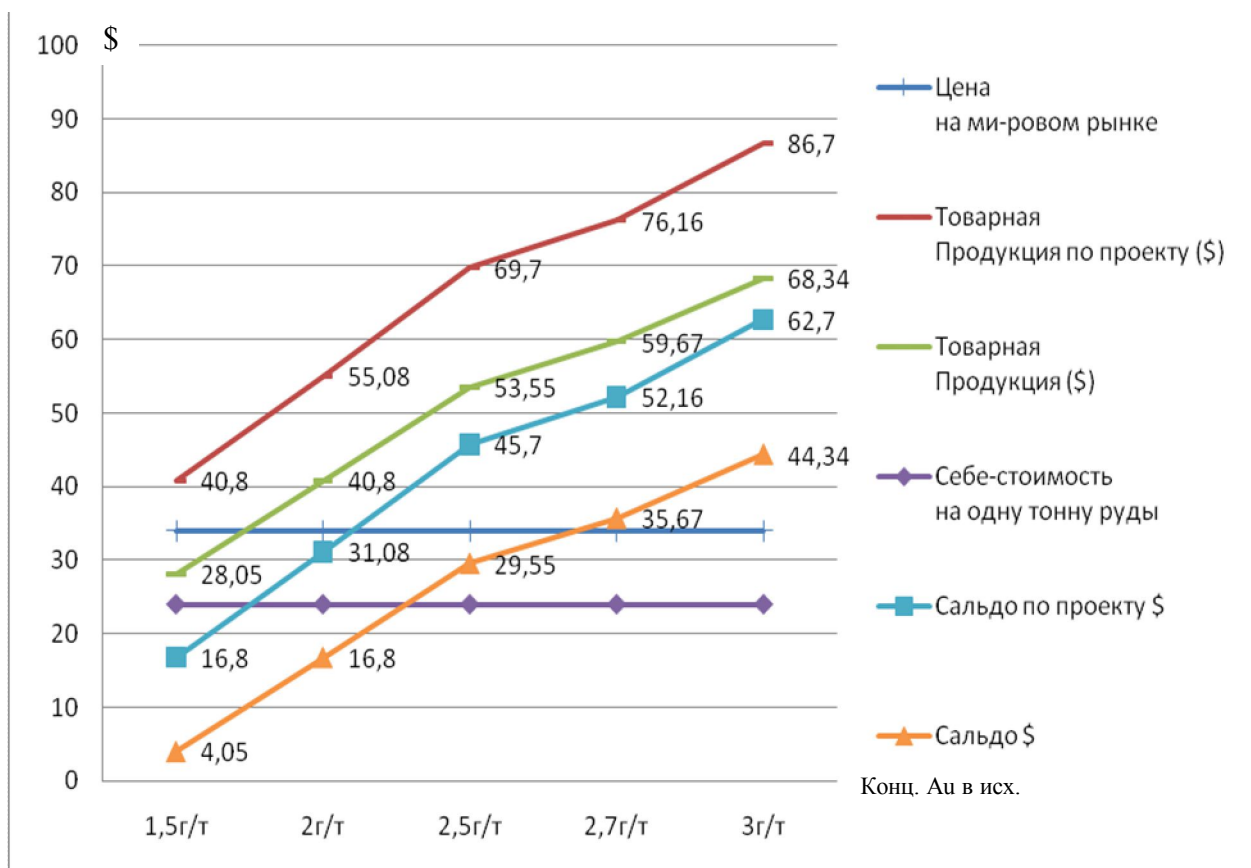


Рис. 4.7. Экономические показатели переработки сульфидных золотосодержащих руд в зависимости от содержания золота в исходной руде

На рис. 4.7. показаны экономические показатели переработки сульфидных золотосодержащих при извлечении 80-85%(по проекту) и 55-

67%(фактический). Как видно при концентрации золота 2,5г/т в исходной руде разница получаемого дохода составляет 16,15\$ (1,5 раза).

4.6. Экономическая оценка целесообразности извлечение золота из лежалых отходов различными методами

Рентабельность получения золота из техногенного сырья в основном зависит от концентрации золота в техногенном сырье и степени окисленности(рис. 4.7-4.8).

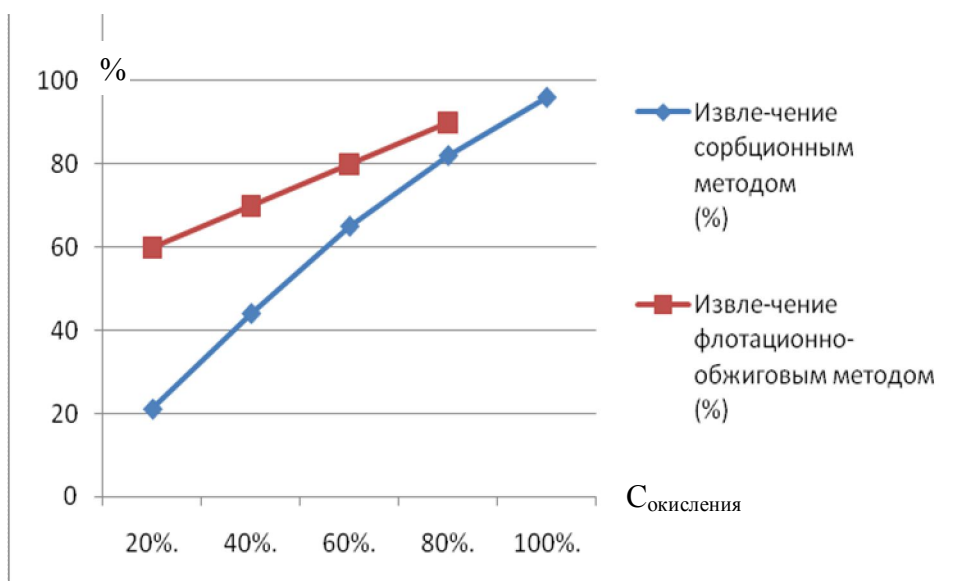


Рис. 4.8.Зависимость извлечения золото из техногенного сырья от степени окисления сырья.

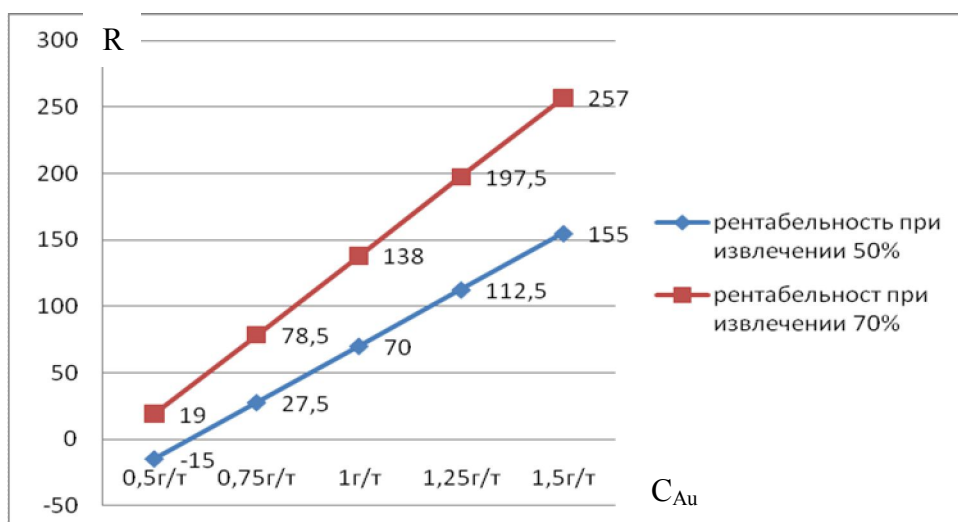


Рис. 4.9.Зависимость рентабельности извлечения от содержания золота в техногенном сырье.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Техногенное (вторичное) сырье образуется при добычи руды (забалансовые, минерализованные массы), при обогащении (рудасортировка, гравитационное и флотационное обогащение с получением отвальных хвостов), гидрометаллургии (пульпа) и пирометаллургии (шлаки, летучие пыли).

Анализ состояние исследование возможности переработки техногенного сырья показывают, что следующие вопросы не изучены в достаточной степени:

- геохимические особенности залегание пород и золота в хвостохранилище МЗИУ и ГМЗ-3;
- пространственное - объемное распределение валовое содержание золота в хвостохранилище МЗИУ и ГМЗ-3;
- определение объемное распределение различной формы золота в хвостохранилище МЗИУ и ГМЗ-3;
- исследование механизма образование свободной (цианируемой) формы золота в лежалых хвостах гидрометаллургического процесса;
- экономическая оценка извлечение золота из лежалых хвостов гидрометаллургии с учетом геохимической особенности и содержание золота;
- сравнение технико-экономических показателей различных методов переработки лежалых хвостов гидрометаллургии.
- усовершенствование процесса разрушение сульфидов перед пирометаллургического процесса переработки магнитной фракции;

Нами проведен комплекс исследований по решению вышеперечисленных проблем. Полученные результаты исследований можно представить в виде следующие

ВЫВОДЫ

1. Исследован состояние хвостохранилищ комбината. Содержание золота на хвостохранилище ГМЗ-1 и ГМЗ-2 составляет на уровне 0,2-0,3 г/т и с технической и экономической точки зрения в настоящее время извлечения из них золота считается нецелесообразным. Наиболее целесообразным считается оценка возможности традиционной и альтернативной технологии извлечения золота из техногенного сырья из лежалых отходов МЗИУ и ГМЗ-3.

2. Проведенные обширные исследования возможности извлечения золота из вторичного сырья МЗИУ показывают: золото, по площади и глубинам хвостохранилища МЗИУ распределено неравномерно, концентрации варьируют в диапазоне $\approx 0,4 \div 3,0$ г/т; среднее содержание золота по всему объему составляет 0,97 г/т и среднее сквозное извлечение составляет 48 %; в режиме сорбционного цианирования на МЗИУ извлекается $15 \div 30$ % золота из проб отобранных с глубин $1 \div 2$ м, $40 \div 45$ % золота из проб, отобранных с глубин $3 \div 5$ м, $50 \div 60$ % золота из проб, отобранных с глубин более 5 м.

3. На основании проведенных исследований найдены основные технологические показатели процесса флотационного обогащения вторичного сырья: выход флотоконцентрата – 8,1 % с содержанием золота – 7,26 г/т (извлечение золота в концентрат флотации – 40,0 %); содержание сульфидной серы в флотоконцентрате – 2,61 % (извлечение сульфидной серы в концентрат флотации – 62,2 %); доизвлечение золота из хвостов флотации – 27,2 %. Золото из флотоконцентрата можно извлекать путем цианирования огарка после окислительного обжига. Флотоконцентрат по составу непригоден для биоксидной технологии.

4. Исследован механизм образования цианируемой формы золота в хвостохранилищах. Он состоит из следующих последовательных этапов: соосаждение золотосодержащих ионов твердыми фазами при испарении сточных вод; динамическая адсорбция ионов золота породами при просачивании растворов; разрушение трудноцианируемых соединений золота

во время длительного хранения пульпы в хвостохранилище; деструкция пород природными бактериями.

5. Исследован микрофлоры в хвостохранилищах золотоизвлекательных заводах комбината. Из отвальных хвостов и свежей хвостовой пульпы были выделены микроорганизмы, обладающие различной степенью устойчивости к ионам металлов и цианидов в среде. Полученные экспериментальным путем активные штаммы бактерий, устойчивых к комплексу металлов и цианидов в среде способствуют максимальной деструкции пород тем самым появляется возможность образование цианируемой формы золота в лежалых хвостах производства.

6. Формы нахождения золота в хвостохранилище ГМЗ-3 крайне неоднородны. Золото в свободном состоянии находится, относительно от исходного, в пробах отобранных из северной части хвостохранилища-28,5%, в западной части хвостохранилища-17,5% и восточной части хвостохранилища-10,2%. Для увеличения доля цианируемого золота с сырье рекомендуется использование природной бактерии работающие в нейтральных и щелочных средах для деструкции пород.

7. Разработана методология исследования хвостохранилищ переприий для оценки состояние техногенного сырья и способов их переработки состоящие из следжующих этапов исследования: первичное (пробное) определение валового содержания золота в пробах, отобранные из поверхности и из глубин 1 м.; выбор метода анализа (пробирный, гамма-активационный, атомно- абсорбционный и др.) для картирования хвостохранилищ по валовому содержанию золота; составление карты пространственно-объемное распределение золота в хвостохранилище; исследование накопление свободной формы по глубине залегание отходов и установление их механизма образования;определение формы нахождения золота по объемамам локализации техногенного сырья; оценка ожидаемых показателей технологии извлечения золота; выдача рекомендации к промышленному освоение технологии извлечения.

8. Наиболее целесообразным считается удаление сульфидной серы из магнитной фракции с использованием биотехнологии в экстенсивном режиме (в траншеях), с целью предварительной очистки магнитной фракции от серы и мышьяка для получения футеровочной стали пирометаллургическими способами.

Литература

1. Состояние, перспективы и технико-экономические показатели производства меди за рубежом. ЦНЦМЭИ, 1988. 140 с.
2. Алгебраистова Н.К., Алексеева Е.К., Коляго Е.К. Минералогия и технология обогащения лежалых хвостов ЗИФ // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2000. — № 6. С. 191–197.
3. Афанасенко С.И., Лазариди А.Н., Лапухов А.С. и др. Хвосты обогатительных фабрик железорудных месторождений Алтае-Саянской области как нетрадиционный источник золота: Тез. докл. Международный симпозиум «Золото Сибири: геология...». Красноярск, 1999. С.176.
4. Беневольский Б.И. Золото России: Проблемы использования и воспроизводства минерально-сырьевой базы. М.: АОЗТ «Геоинформарк», 1995. 88 с.
5. Беневольский Б.И. Эффективность использования распределенного фонда недр и обеспеченность его воспроизводства прогнозными ресурсами золота // Руды и металлы. — 2000. — № 5. С. 5–9.
6. Борисович В.Т., Чайников В.В. Геолого-экономическая оценка техногенных месторождений // Итоги науки и техники, серия «Техника геологоразведочных работ», т. 15. — М.: ВИНТИ, 1991. С. 3–22.
7. Бортникова С.Б., Айриянц А.А., Колонин Е.В. и др. Геохимия и минералогия техногенных месторождений Салаирского ГОКа.//Геохимия. — 1996. — № 2. С. 171–185.
8. Брагин Ю.Н., Добровольская Т.И. Товарные продукты в отходах переработки бокситов на глинозем: Тез. докл. XII международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. М.: 2000. С. 57–58.
9. Васильев В.С., Сибгатулин В.Г., Сердюк С.С. и др. Состояние и перспективы развития золотодобывающей промышленности Красноярского края // Разведка и охрана недр. 1997. — №10. С. 4–8
- 10.Макаров В.А. Золото техногенных минеральных объектов — ресурсы и проблемы геолого-технологической оценки журнал «Золото и технологии» № 3(13)/август 2011 г.
- 11.Временное руководство по методике повторной разведки россыпей для дражной отработки. Магадан: ВНИИ-1, 1959.
- 12.Демидов В.И. Извлечение драгоценных металлов на полиметаллических фабриках // Цветные металлы. — 1983. — № 2. С. 82–85.
- 13.Додин Д.А., Додина Т.С. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения Норильского района — главный объект платинодобывающей отрасли России второй половины XX и первой четверти XXI в: Сб. научн. трудов / Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI в. — т. III. кн. 1 и 2. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. С. 124–139.
- 14.Замятин О.В., Пятаков В.Г., Чемезов В.В. Оценка запасов техногенных россыпей и опыт их отработки // Разведка и охрана недр. — 1997. — № 2. С. 9–

15. Комплексная оценка и разработка песчано-гравийных месторождений: Тез. докл. Всесоюзное совещание. — Пермь, 1983. С. 62.
16. Кузнецов А.П., Шелехов А.Н. Золото в железных рудах и пути его извлечения // Обз. Инф. Сер. обогащ. Руд. ЦНИИ инф. Техн.-экон. Исслед. Черн. Metallургии. — 1990. — № 1. С. 1–35.
17. Лапухов А.С., Меельникова Р.Д., Павлова Л.К. и др. Технологии извлечения попутного золота из железных руд Сибири // Физ.-техн. проблемы разработки полезных ископаемых. — 1998. — № 4. С. 84–93.
18. Леонов С.Б., Федотов К.В., Сенченко А.Е. Промышленная добыча золота из золошлаковых отвалов тепловых электростанций // Горный журнал. — 1998. — № 5. С. 67–68.
19. Макаров В.А. Золото техногенных россыпей Красноярского края // Разведка и охрана недр. — 1997. — №10. С. 10–14.
20. Макаров В.А. Золотоносность месторождений песчано-гравийных смесей и перспективы комплексного освоения объектов в Красноярском крае и Хакасии // Геология и разведка. — 2000. — № 6. С. 68–77.
21. Макаров В.А. Потенциал техногенных месторождений золота в Красноярском крае и республике Хакасия и перспективы их освоения: Тез. докл. Международный симпозиум «Золото Сибири: геология...». Красноярск, 1999. С. 28–29.
22. Макаров В.А. Техногенное золотосодержащее сырье: Условия формирования, вопросы систематики и методики переоценки: Тез. докл. Международная научно-техническая конференция. — Екатеринбург: УГГГА, 1999. С. 76–78.
23. Макаров В.А. Золото техногенного минерального сырья. Условия образования техногенных золотоносных объектов и особенности методики их геолого-технологической оценки. LAMBERT Academic publishing, 2011. 332 с.
24. Михнев А.Д., Рюмин А.И. Применение концентратора Knelson для обогащения различных золотосодержащих материалов // Горный журнал. — 1998. — № 5. С. 41–43.
25. Наркелюн Л.Ф. Комплексное использование минерального сырья и горно-технологических отходов. — Чита: ЧитГТУ, 1996. 139 с.
26. Платиноносность месторождений Средней Сибири / А.М. Сазонов, Н.К. Алгебраистова, В.И. Сотников и др. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. 35 с.
27. Сазонов А.М., Шведов Г.И., Гринев О.М. и др. Платиноидно-золотоносные нефелиновые фойдолиты Кузнецкого Алатау в связи с проблемой создания нового глобального источника благородных металлов XXI в: Сб. науч. тр. / Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI в — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. — Т. III, кн. 1 и 2. С. 277–288.
28. Сайтов Ю. Г. Закономерности изменения геологических параметров золоторудных месторождений Восточного Забайкалья на разных этапах их освоения. Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. — Чита, 1999. 24 с.

- 29.Секисов Г.В., Таскаев А.А., Секисов А.Г. Природно-техногенные минеральные объекты // Изв. АН Кирг. ССР. Физ.-техн. и матем. науки. — 1987. — № 4. С. 49–56.
- 30.Середин В.В., Поваренных М.Ю., Шпирт М.Я. Платиновая минерализация в угольных месторождениях России: Тез. докл. VII Международный платиновый симпозиум. — М., 1994. 102 с.
- 31.Спорыхина Л.В. Типизация техногенных россыпей: Тез. докл. XII международное совещание по геологии россыпей и месторождений кор выветривания. — М., 2000. С. 33–339.
- 32.Степанов В.А., Моисеенко В.Г. Геология золота, серебра и ртути. — Владивосток: Дальнаука, 1993. 227 с.
- 33.Стехнин А.И., Кунилов В.Е., Олешкевич О.И. Техногенные месторождения благородных и цветных металлов в Норильском районе: Недра Таймыра, Норильск, 1995. С. 85–93.
- 34.Трубецкой К. Н., Уманец В.Н., Никитин М.Б. Классификация техногенных месторождений и основные факторы их комплексного освоения // КИМС. — 1987. — № 12. С. 18–23.
- 35.Трубецкой К. Н., Уманец В.Н., Никитин М.Б. Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия // Горный журнал. — 1989. — № 12. С. 6–9
- 36.Уманец В.Н. Научно-методические основы комплексной оценки месторождений: Автореф. дис. д-ра техн. наук, Алма-Ата, 1992. 45 с.
- 37.Шегай Г.И. Техногенные месторождения // Изв. АН Каз. ССР, серия геологическая. — 1990. — № 3. С. 81–86.
- 38.Ускоренная оценка остаточных запасов техногенных россыпей / Блинников А.И., Искандаров Р.В., Гурулев В.С., и др. // Горный журнал. — 1994. — № 11. С. 19–20
- 39.Черных С.И. К повышению извлечения благородных металлов на вольфрам-молибденовых фабриках // Цветные металлы — 1980. — № 1. С. 102–104.
- 40.Шелехов А.Н., Лючкин В.А., Ляховкин Ю.С. Месторождения железистых кварцитов и продукты их передела — новый перспективный источник золото-платиносодержащего сырья в XXI в.(на примере Центральной России) // Платина России. — Т.III. — Кн.2. Проблема развития МСБ платиновых металлов в XXIв. (Платиноидное сырье России XXI в.) — М.: ЗАО «Геоинформарк», 1999. С. 289–294.
- 41.Armada gold assays conform grades in Siberia // Skill. Mining Rev. — 1994. — 83, № 28. — p. 7.
- 42.Санакулов К.С. Научно-технические основы переработки отходов горно-металлургического производства. Ташкент, «Фан». 2009г.
43. Живаева А.Б. Исследования кучного бактериального выщелачивания меди из забалансовых руд АГМК (отчет по АГМК) Ташкент, 1984. 66 с.

44. Вологдин Н.Ф., Каширский С.А. Техногенные месторождения резерв минерально-сырьевой баз действующих горнодобывающих предприятий //Алмалык, 1997. с. 5-7.
45. Фомченко Н.В., Славкин О.В., Бирюков и др. Двухстадийная рециркуляционная технология бактериального выщелачивания цветных металлов из сульфидного сырья// Материалы II Международного конгресса Биотехнологии. Москва, 2003, с. 468.
46. Адамов Э.В., Панин В.В. Бактериальное и химическое выщелачивание металлов из руд // Итоги науки и техники, серия “Обогащение полезных ископаемых“, 1974, №8, 124 с.
47. Каравайко Г.И., Кондратьева Т.Ф., Пивоваров Т.А., Мунтян Л.Н. Физиологические и генетические характеристики некоторых штаммов *Thiobacillus ferrooxidans*, используемых в биогидрометаллургии // журнал Прикладная биохимия и микробиология. 1997. т. 33, №5, стр.532-538,
48. Митрофанов С.И., Мещанинова В.И. и др. Комбинированные процессы переработки руд цветных металлов М.: «Недра». 1988. 230с.
49. Состояние, перспективы и технико-экономические показатели производства меди за рубежом. ЦНЦМЭИ, 1988. 140 с.
50. Clark M.E., Batty J., van Buuren, Dew D., Eamon M.. Biotechnology in Mineral Processing: Technological Breakthroughs creating value // Processings IBS-16, Cape Town, South Africa, 2005, p. xvii-xxiv.
51. Адамов Э.В., Панин В.В.. Биотехнология металлов // Москва. Изд-во “Учеба“, 2003. 146с.
- 52.Михин О.А., Саттаров Г.С., Лильбок Л.А, Акопян Ю.М., Блохин Н.Н. К вопросу извлечения золота из вторичного сырья Марджанбулакского золотоизвлекательного участка НГМК// Горный вестник Узбекистана, 2007. № 1, с. 77-81.
- 53.Сагдиева М.Г., Борминский С.И., Аранович В.Л., Санакулов К.С. Способ переработки хвостов медно-обогатительных фабрик // Патент Республики Узбекистан № IAP 02800, 2005.16.06.
- 54.Санакулов К.С. Проблемы и практика комплексной переработки медно-молибденовых руд на АГМК на современном этапе // Материалы Республиканского научно-технического семинара «Проблемы переработки минерального сырья Узбекистана. Ташкент.2005. с.13-18.
55. Петров В.Ф., Петров С.В., Сравнение технологий и стоимости обезвреживания отходов гидрометаллургических процессов извлечения золота Золотодобыча, №164, Июль, 2012 Отдел охраны окружающей среды ОАО «Иргиредмет».
56. Пулатова О.М., Куканова С.И., Лильбок Л.А., Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Кутлиев Д.К. Экологическая характеристика хвостохранилища золотоизвлекательного производства и микробная трансформация цианидов. // Горный Вестник Узбекистана, 2004г. т.18, № 3, с.88-90.

57.Перфильев О.Г., Чикин Ю.М., Милошунас СП. Обратное водоснабжение на золотоизвлекательной фабрике с комбинированной системой переработки // Цветные металлы. 1980.№5. с.105-107 .

58.Knowles C.J. Microorganisms and cyanide // Bacteriological Reviews. - 1976. V. 40. - 652-680 p.

59. Энкер П.Б., Илялетдинов А.Н., Якубовский С.Е., Власова З.Т. Изучение принципиальной возможности биохимической очистки промстоков в условиях отстойных прудов хвостохранилища // Труды НИИПроект по обогащению руд. 1978.