

ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Д. Серикбаева

УДК 669.431

На правах рукописи

ВАН ЕЛЕНА ЮРЬЕВНА

**Совершенствование технологии переработки и обезвреживания
высокотоксичных мышьяксодержащих растворов
свинцово-цинкового производства**

25.00.36. – Геоэкология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Республика Казахстан
г. Усть-Каменогорск, 2010

Работа выполнена в Восточно-Казахстанском государственном техническом университете им. Д. Серикбаева

Научные руководители

доктор технических наук
Адрышев А.К.

кандидат технических наук
Куленова Н.А.

Официальные оппоненты

доктор технических наук
Жалгасулы Н.Ж.

кандидат технических наук
Тажигулова Б. К.

Ведущая организация

Алматинский институт
энергетики и связи (АИЭС)

Защита диссертации состоится «23» июня 2010 г. в 14⁰⁰ час. на заседании диссертационного совета Д 14.15.07 при Казахском национальном техническом университете имени К.И. Сатпаева по адресу 050013, г. Алматы ул. Сатпаева, 22, ауд. 813.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева по адресу 050013, г. Алматы ул. Сатпаева, 22-а или на сайте.

Отзывы на автореферат диссертации можно направить по факсу 8(7272)92-60-25

Автореферат разослан «21» мая 2010 года

Ученый секретарь
Диссертационного совета
доктор технических наук



Д.М. Шейх-Али

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы. В «Концепции экологической безопасности Республики Казахстан», предусмотрена экологизация экономики путем развития ресурсосберегающих технологий и совершенствования экономических механизмов природопользования, а в стратегии индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2003-2015 годы» указано на стимулирование деятельности по переработке и использованию отходов.

Мышьяк является одним из постоянных примесей в сырье тяжелых, цветных и благородных металлов.

В природных условиях мышьяк образует более 100 минералов, входит в состав полиметаллических руд, содержащих цинк, свинец, никель, кобальт, медь, серебро, золото, олово, вольфрам и серу.

При переработке руд данных металлов мышьяк концентрируется в полупродуктах, некоторые из них являются оборотными и служат источником получения ценных компонентов и металлов.

Мышьяк является примесью, значительно усложняющей технологию металлургического производства по извлечению основных элементов, что приводит к потерям цветных и редких металлов. При сложившейся кооперации по комплексному использованию сырья между свинцовыми и цинковыми заводами мышьяк циркулирует в технологических схемах, накапливаясь в оборотах, вызывает нарушение производственных процессов.

Основными мышьяксодержащими полупродуктами медных, цинковых и свинцовых производств являются различного рода пыли, медные шликеры, шпейза и др. Извлечение ценных компонентов из этих полупродуктов без предварительного удаления мышьяка затруднено. Это требует разработки специальных технологических переделов по их переработке.

Решению этой проблемы в цветной металлургии был посвящен достаточно большой объем научно-прикладных работ. К наиболее значительным из них следует отнести работы Козьмина Ю.А., Луганова В.А., Чучалина Л.К., Сербы Н.Г., Адрышева А.К., Исабаева С.М., Пашкова Г.Л., Шоинбаева А.Т. и др.

Однако, несмотря на достигнутые научные и технологические результаты, на действующих предприятиях эта проблема не решена.

Удаление мышьяка из процессов производства цветных металлов на металлургических предприятиях, как правило, завершается переводом его в форму арсенат-арсенита кальция в условно-отвальные продукты 2 класса опасности. Так за время работы на отвальных площадках Усть-Каменогорского металлургического комплекса – (УК МК), Чимкентского свинцового завода (ЧСЗ) и завода «Электроцинк» (г. Орджоникидзе) к 2005 году накопилось, соответственно, 220, 30, 35 тыс. т. мышьяксодержащих отходов. Ежегодное поступление в отвалы мышьяксодержащих отходов на этих предприятиях 11, 3-6, 3,3 тыс. т., соответственно. Основную часть этих отходов составляют арсенат-арсениты кальция.

При получении и складировании мышьяксодержащих кальциевых отходов возникают определенные трудности:

- 1 Большие объемы образующихся отходов, за счет избытка извести.
- 2 Высокая токсичность получаемых отходов.
- 3 Высокая влажность до 60%.
- 4 Выветривание мышьяка в атмосферу, в связи с эрозией.
- 5 Вследствие, достаточно высокой растворимости, проникновение его в подземные воды.

При переработке мышьяксодержащего сырья оптимальным может быть процесс, который обеспечивает максимальный перевод мышьяка в отдельный продукт, в форме пригодной для захоронения или утилизации. Текущие мышьяксодержащие отходы не отвечают этим требованиям.

В связи с этим большую актуальность приобретают установление эколого-экономического ущерба, наносимого текущими мышьяксодержащими отходами окружающей среде и разработка эффективной технологии по обезвреживанию мышьяка, как из отходов (жидких и твердых), так и промпродуктов.

Объект исследования: мышьяксодержащие растворы химико-металлургического цеха УК МК АО «Казцинк».

Основная идея работы заключается в снижении негативного влияния токсичных мышьяксодержащих отходов на окружающую среду путем обезвреживания мышьяксодержащих промышленных растворов.

Цель работы – совершенствование технологии переработки и обезвреживания, высокотоксичных мышьяксодержащих растворов свинцово-цинкового производства с переводом мышьяка в стабилизированную менее токсичную форму по сравнению с арсенитом и арсенатом кальция.

Основные задачи работы.

Опираясь на результаты проведенных ранее научно-исследовательских работ в области обезвреживания мышьяка [1-58], сформулированы задачи и определены пути их решения:

- исследование и оценка экологических характеристик соединений мышьяка, позволяющих определить их воздействие на окружающую среду;
- анализ влияния мышьяксодержащих отходов отвального поля УК МК АО «Казцинк» на подземные воды;
- разработка эффективной технологии обезвреживания мышьяка из растворов свинцово-цинкового производства с переводом мышьяка в продукт 4-го класса токсичности, позволяющей снизить ПДК по мышьяку в атмо-, гидро- и литосфере региона;
- оценка экологической и экономической эффективности технологии обезвреживания и захоронения, получаемых мышьяксодержащих отходов.

Научные положения, выносимые на защиту

1 Влияния природы реагентов на полноту осаждения мышьяка из растворов, теоретические и экспериментальные результаты исследований перевода мышьяка из растворов в соединение в виде арсената железа (III). Установление оптимальных параметров данного процесса, способствующих селективному отделению мышьяка и железа от меди, цинка и кадмия;

2 Анализ и выдача принципиальной технологической и аппаратурной схемы вывода мышьяка из мышьяксодержащих растворов химико-металлургического цеха УК МК АО «Казцинк»;

3 Обоснование экологической безопасности разработанной технологии на основании характеристики полученных мышьяксодержащих продуктов и имитационной модели процесса обезвреживания мышьяксодержащих растворов, позволяющей прогнозировать состояние данной системы в зависимости от качественных и количественных характеристик;

Научная новизна работы.

- усовершенствована технология вывода мышьяка из производства в виде продукта 4-го класса опасности, аналога минерала скородит;

- предложена модель получения арсенатов железа в зависимости от различных условий;

- разработаны математические и имитационные модели получения и захоронения мышьяксодержащих отходов;

- разработана аппаратурно-технологическая схема обезвреживания мышьяка из металлургического производства при переработке свинцовых пылей методом сульфатизации, дана ее эколого-экономическая оценка.

Достоверность научных положений подтверждается

- обоснованной постановкой задач диссертационного исследования;

- использованием современных методов системного анализа, физической и аналитической химии, методов биотестирования, математической статистики и моделирования, дающих достоверные результаты;

- большим объемом лабораторных экспериментов, результаты которых свидетельствуют об эффективности предлагаемых автором технико-экологических решений.

Практическое значение работы заключается в том, что:

- предложен способ вывода мышьяка из производства, позволяющий решить проблему обезвреживания мышьяксодержащих растворов с обеспечением наибольшей экологической безопасности;

- выбор реагентов и аппаратурного оформления позволяют проводить процесс обезвреживания мышьяка с наилучшими экономическими и экологическими показателями;

- выводы и рекомендации по данной работе могут быть применены на предприятиях цветной металлургии, а также и в других отраслях, имеющих токсичные мышьяксодержащие материалы.

Реализация результатов работы заключается в следующем:

- проведены лабораторные испытания на базе ДГП «ВНИИцветмет» (г. Усть-Каменогорск). «Вывод мышьяка из растворов, полученных после отмывки селено-мышьяковых шламов ХМО УК МК АО «Казцинк». Полученные результаты обсуждены на заседаниях технического совета;

- основные научные и практические результаты диссертационной работы внедрены на предприятии ТОО Научно-исследовательская внедренческая корпорация «Адамсит».

Апробация работы

Материалы диссертационной работы представлены с обсуждением на научных семинарах кафедры «Химия, металлургия и обогащение» и ежегодных конференциях профессорско-преподавательского состава ВКГТУ им Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, 2004-2009 гг.), на республиканских и международных научно-практических конференциях (г. Усть-Каменогорск, 2004-2005 гг.), на расширенном заседании кафедры «Химия, металлургия и обогащение» (г. Усть-Каменогорск) на заседании технического совета ДГП «ВНИИцветмет».

Личный вклад автора в науку включает следующее: обоснование возможности применения в качестве реагента ионов железа (III) для осаждения мышьяка из растворов с его высокой концентрацией с улучшением экологических свойств отходов, путем изменения количественных и качественных показателей процесса осаждения мышьяка; определение показателей токсичности мышьяксодержащих осадков расчетным путем и методом биотестирования; обоснование дозы реагента, необходимого для обработки мышьяксодержащих растворов; разработку технологии получения малотоксичных мышьяксодержащих отходов; обоснование возможности применения технологии при различных производствах - отделение селенового шлама с образованием мышьяксодержащих растворов химико-металлургического цеха УК МК АО «Казцинк», цеха рафинации свинца УК МК АО «Казцинк», где отвальным мышьяксодержащим продуктом является арсенат кальция; изучение возможности получения наряду с соединениями мышьяка малорастворимых соединений селена; оценку экологической и экономической эффективности использования в качестве реагента ионов железа (III) для осаждения мышьяка из растворов с его высокой концентрацией.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 1 патент на изобретение РФ, 2 предпатента на изобретение РК, 1 статья в научном журнале рекомендованном Комитетом по надзору и аттестации в сфере образования и науки Республики Казахстан для публикации основных результатов кандидатских и докторских диссертаций, 8 статей в трудах международных конференций.

Структура и объем

Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения, списка использованных источников из 116 наименований, содержит 125 страниц машинописного текста, 43 таблицы, 28 рисунков, 3 приложения.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В первом разделе приведены статистические данные накопления мышьяксодержащих отходов и дан анализ литературных источников, касающихся удаления мышьяка из процессов производства цветных металлов на металлургических предприятиях. Мышьяксодержащие отходы составляют приблизительно 90% всех токсичных отходов цветной металлургии. Общее количество мышьяка в отвалах заводов цветной металлургии составляет примерно 395 тыс. тонн, из которых 48,2 % приходится на отходы оловянного, 21,3 % - свинцово-цинкового, 13,9 % медного, 16,6% – никель-кобальтового производства. В среднем

содержание мышьяка в отвалах заводов колеблется в пределах 8-10 %, а в возгонах 40-45%.

Удаление мышьяка из процессов производства цветных металлов на металлургических предприятиях, как правило, завершается переводом его в форму арсенат-арсенита кальция в условно-отвальные продукты 2-3 классов опасности в использовании в качестве связующих для мышьяка – окиси кальция, что подтверждается рядом исследований ученых из Казахстана, стран ближнего и дальнего зарубежья.

Во втором разделе были представлены результаты обследования арсената и арсенита кальция свинцового производства УК МК АО «Казцинк» расчетным методом и арсената кальция методом биологического тестирования. Представлены сведения о гидрохимическом воздействии отвалов мышьяковистых отходов отвального поля УК МК АО «Казцинк».

При расчете на токсичность арсенита и арсената кальция K_i приняты следующие положения:

1. При отсутствии ПДК почвы для рассматриваемых ингредиентов расчет проводят по значениям ЛД 50.

2. При отсутствии сведений о ЛД 50 расчет проводят по значению эквивалента ЛД 50, определенному по классу опасности соединения в воздухе рабочей зоны.

3. Расчет токсичности рассматриваемых ингредиентов проводят по коэффициенту летучести ингредиента, содержанию ингредиента в общей массе обследуемого материала (C_B), кг/кг; растворимости ингредиента в г/100г воды (S) при 25°C, отнесенная к 100.

4. Из рассчитанных K_i выбирают 3 минимальных значения, причем $K_1 < K_2 < K_3$. Кроме того, должно выполняться условие

$$2K_1 \geq K_3$$

Суммарный индекс токсичности рассчитывают по формуле:

$$K_{\Sigma} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n K_{\Sigma}$$

где n — число индексов токсичности ($n \leq 3$).

Если условие ($2K_1 \geq K_3$) не выполняется, то берут два минимальных значения K_i и тогда $n = 2$.

По значению K_{Σ} определяют класс токсичности обследуемого материала,

5 Для расчета используют значения ЛД 50 и класс опасности наиболее токсичных соединений возможных при данном наборе ингредиентов.

6. При расчете индексов токсичности за растворимость принято фактическое содержание ингредиента в водной вытяжке. Коэффициент F в формуле равен 0, т.к. все соединения, содержащиеся в отходах, нелетучи.

Результаты расчетов представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Результаты расчета индексов токсичности для арсенита кальция

№ п/п	вхв	КО	S	Св	ЛД50	lg ЛД 50	К _i рас- четн.
1	Ca(AsO ₂) ₂	1	0,00039	0,423	15	1,18	2,8
2	CaO	2	0,00061	0,257	150	2,18	8,5
3	ZnO	2	0,000001	0,0098	150	2,18	222
4	PbS	1	0,000001	0,0025	15	1,18	472
5	CuS	2	0,000002	0,0024	150	2,18	908
6	CdO	-	0,000001	0,0034	67	1,83	538
7	MnO ₂	2	0,000002	0,00087	150	2,18	2500
8	Sb ₂ O ₃	-	0,000004	0,0032	172	2,24	699

Таблица 2 - Результаты расчета индексов токсичности для арсената кальция

№ п/п	вхв	КО	S	Св	ЛД50	lg ЛД 50	К _i рас- четн.
1	Ca(AsO ₂) ₂	1	0,0010	0,398	15	1,18	3,0
2	CaO	2	0,00005	0,282	150	2,18	7,7
3	ZnO	2	0,000001	0,00037	150	2,18	5876
4	PbS	1	0,000001	0,00098	15	1,18	1203
5	CuS	2	0,000002	0,00005	150	2,18	41923
6	CdO	-	0,000001	0,00001	67	1,83	166364
7	MnO ₂	2	0,000002	0,00008	150	2,18	26585
8	Sb ₂ O ₃	-	0,00001	0,051	172	2,24	44

Суммарный индекс токсичности арсенита кальция.

Берем 3 наименьших значения коэффициентов

$$K_1 = 2,8, K_2 = 8,5 \text{ и } K_3 = 222$$

Условие $2K_1 \geq K_3$ не выполняется, поэтому для расчета K_{Σ} используем K_1 и K_2 .

$$K_{\Sigma} = (2,8 + 8,5)/4 = 2,8$$

Суммарный индекс токсичности арсената кальция .

Берем 3 наименьших значения коэффициентов

$$K_1 = 3,0, K_2 = 7,7 \text{ и } K_8 = 44.$$

Условие не выполняется, поэтому для расчета K_{Σ} используем K_1 и K_2 .

$$K_{\Sigma} = (3,0 + 7,7)/4 = 2,7$$

Если при расчете суммарных индексов токсичности соблюдается $1,3 < K_{\Sigma} < 3,4$, то обследуемые материалы относятся ко 2 классу токсичности (высокоопасные).

Определение класса опасности арсената кальция проводили методом биологического тестирования. Тестирование проводили, как с исходным экстрактом, так и с его разведениями 1:1000 и 1:10000. рН раствора соответственно составляли соответственно 6,5 и 6,8. Тестирование проводили с использованием представителей низших ракообразных *Daphnia magna*. Результаты тестирования показали острое токсическое воздействие всех разведений.

На основании полученных данных и в соответствии с критериями отнесения опасных отходов классу опасности для окружающей природной среды исследуемый материал (арсенат кальция) относится к 1-му классу опасности.

Далее автором приводятся сведения по гидрохимическому воздействию отвалов мышьяковистых отходов отвального поля УК МК АО «Казцинк»

В данном разделе представлены сведения о масштабах и интенсивности загрязнения токсичными компонентами аллювиальных подземных вод на участке отвального поля УК МК и шлейфе загрязнения этих вод за пределами санитарно-защитной зоны (СЗЗ) Северной промышленной площадки.

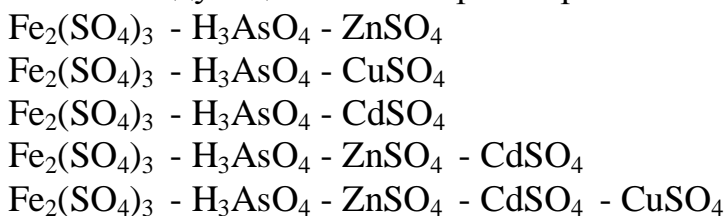
Особо опасны дренажные воды этих шламов. Водные вытяжки из них - сумма превышений ПДК по компонентам I и II класса опасности (таллий, селен, мышьяк, кадмий, свинец) над допустимыми для вод хозяйственного питьевого назначения составляет до 6800 ПДК.

В третьем разделе приведены результаты исследований по влиянию реагентов на полноту осаждения мышьяка из растворов, теоретические и экспериментальные результаты исследований перевода мышьяка из растворов в соединение в виде арсената железа (III). Установление оптимальных параметров данного процесса, способствующих селективному отделению мышьяка и железа от меди, цинка и кадмия.

В качестве модели, на которой проводились эксперименты, был принят раствор мышьяковистой кислоты заданной концентрации. Концентрация мышьяка в модельном растворе задавалась в соответствии с содержанием последнего в рабочих мышьяксодержащих растворах химико-металлургического цеха УК МК АО «Казцинк». В качестве реагентов – осадителей выбраны сульфатные растворы железа, кадмия, меди и цинка. Для выбора реагента, наиболее подходящего для осаждения мышьяка в рамках эксперимента проведены серии опытов с растворами составов:



Чтобы изучить влияние сопутствующих ионов металлов, как правило, находящихся в производственных мышьяксодержащих растворах проведены опыты следующего состава растворов:



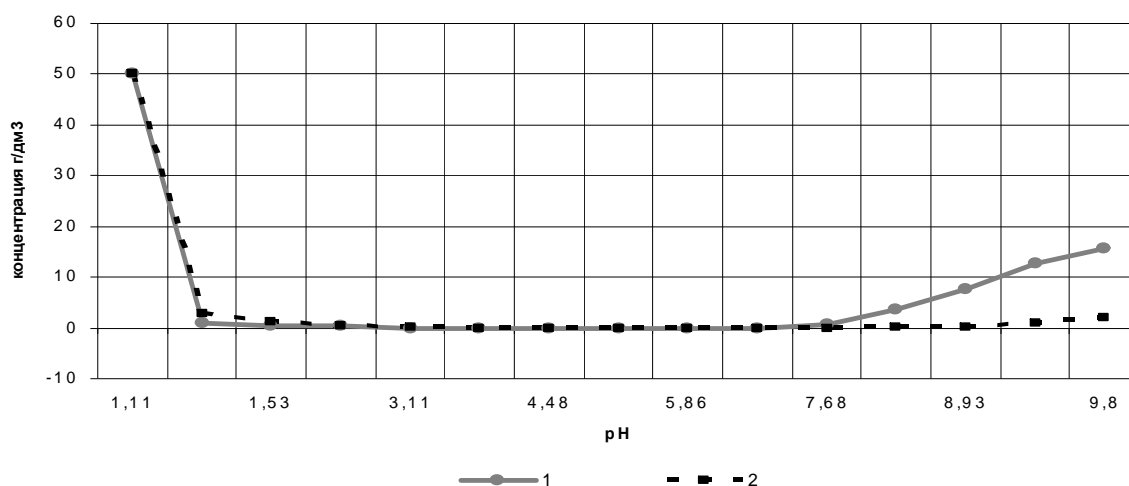
В рамках диссертационной работы приоритет исследований отдан выводу мышьяка из производства в виде арсенатов железа, в связи со следующими обстоятельствами:

1 Экологической целесообразностью – содержание мышьяка в водной вытяжке FeAsO_4 на шесть порядков ниже ПДК по As. Его аналог в виде минерала скородита существует в природе.

2 Экономической целесообразностью – в качестве реагентов осадителей можно использовать отходы металлургических предприятий.

3 Из арсенатов Fe, Cu, Zn и Cd при одном и том же значении pH, наименее растворим арсенат железа. Растворимость гидроокисей этих металлов больше растворимости их арсенатов. Этим можно воспользоваться для выделения мышьяка из растворов при помощи соответствующих гидроокисей. Из растворов, содержащих, наряду с мышьяком, сульфаты цинка, кадмия и другие, можно селективно выделить мышьяк, осаждая его при определенных pH в форме арсената железа.

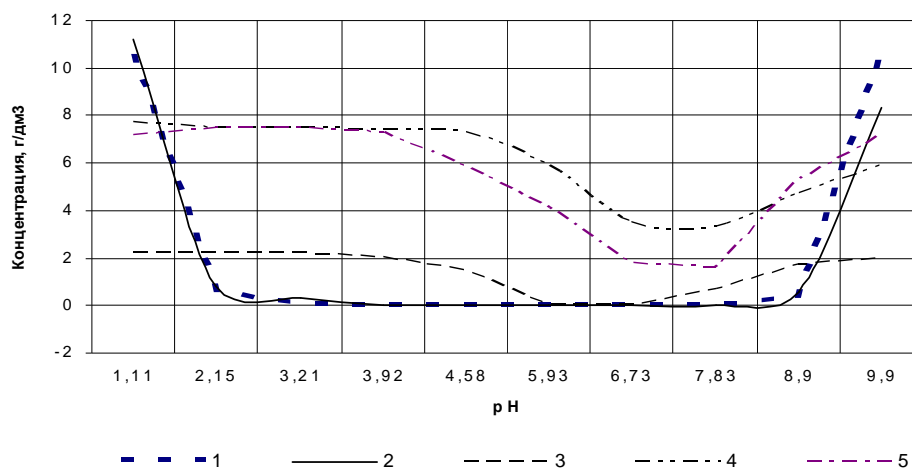
Осаждение мышьяка сульфатом железа (III) проводили на модельном растворе. Сульфат железа добавляли в соотношении Fe (III): As = 1 : 1 к растворенному мышьяку. Изменение состава раствора и извлечение мышьяка в осадок приведено на рисунке 1, осаждение мышьяка из раствора, содержащего сульфаты Fe (III), Cu, Cd, Zn на рисунке 2.



1- концентрация мышьяка г/дм³; 2- концентрация железа (III) г/дм³

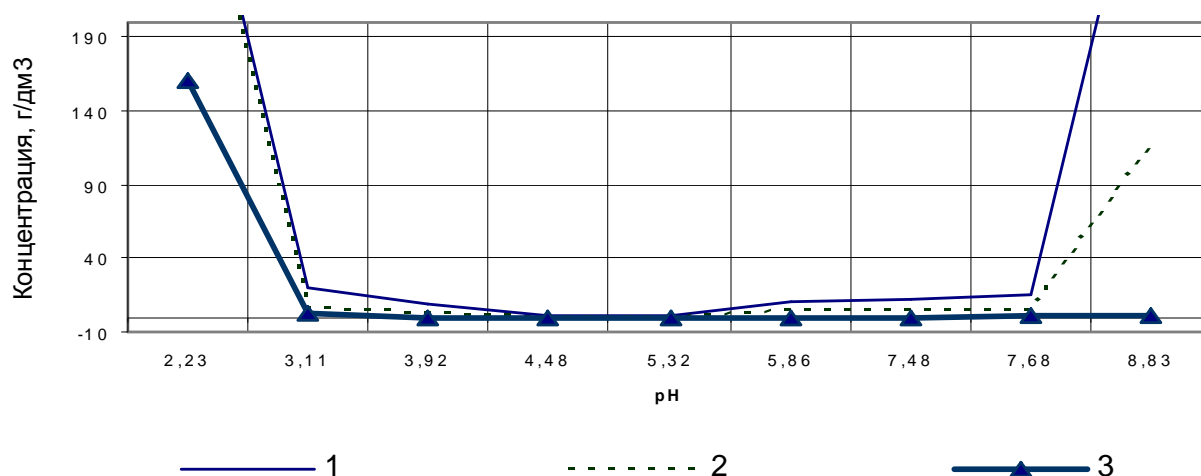
Рисунок 1 – Изменение концентрации раствора после осаждения мышьяка сульфатом железа (III) в зависимости от pH.

Для изучения влияния концентрации ионов железа (III) на осаждение мышьяка из модельного раствора была проведена серия экспериментов с следующим соотношением компонентов Fe (III): As = 1 : 1; 2 : 1; 3,5 : 1. Концентрация ионов железа (III) была взята на основании стехиометрических расчетов, графически эти данные представлены на рисунке 3.



1- концентрация мышьяка, г/дм³; 2- концентрация железа (III), г/дм³
 3- концентрация меди, г/дм³; 4- концентрация кадмия, г/дм³;
 5- концентрация цинка, г/дм³

Рисунок 2 – Осаждение мышьяка из раствора, содержащего сульфаты Fe (III), Cu, Cd, Zn



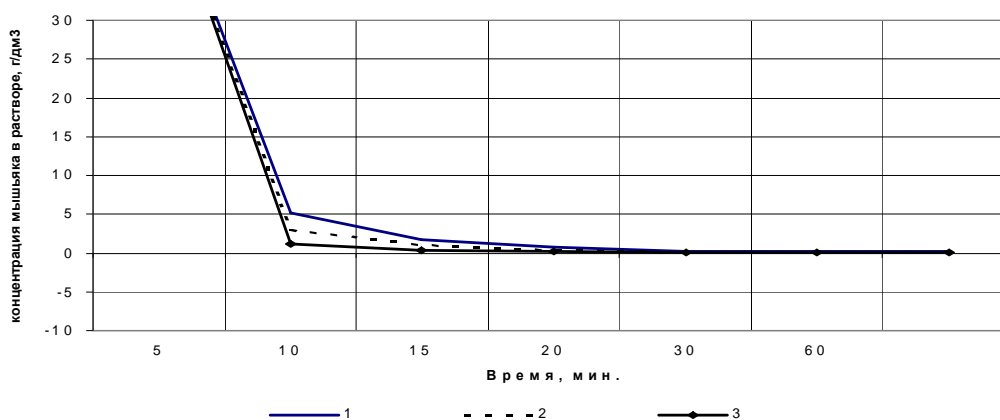
1 - концентрация ионов железа (III) к мышьяку Fe (III) : As = 1 : 1;
 2 - концентрация ионов железа (III) к мышьяку Fe (III) : As = 2 : 1;
 3 - концентрация ионов железа (III) к мышьяку Fe (III) : As = 3,5 : 1.

Рисунок 3 – Изменение концентрации мышьяка в зависимости от кислотности среды при различной величине отношения Fe : As в исходных растворах.

Для изучения влияния времени и температуры на извлечение мышьяка в твердую фазу из модельного раствора была проведена серия экспериментов с соотношением компонентов Fe (III): As = 1 : 1. Концентрация ионов железа (III) была взята на основании стехиометрических расчетов Исследования проводились с интервалом времени от 5 до 60 минут при температурах 20° С, 40° С и 60° С. Данные опытов приведены в таблице 3 и на рисунке 4.

Таблица 3 – Зависимость извлечения мышьяка от температуры и продолжительности процесса в твердую фазу при осаждении сульфатом железа (III).

№ п/п	Время от начала опыта, мин.	20° С		40° С		60° С	
		Концентрация мышьяка, г/дм ³	Извлечение мышьяка в осадок, %	Концентрация мышьяка, г/дм ³	Извлечение мышьяка в осадок, %	Концентрация мышьяка, г/дм ³	Извлечение мышьяка в осадок, %
1	0	50,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00
2	5	5,23	89,54	2,91	94,19	1,16	97,68
3	10	1,765	96,47	0,98	98,04	0,39	99,22
4	15	0,712	98,58	0,40	99,21	0,16	99,68
5	20	0,232	99,54	0,13	99,74	0,05	99,90
6	30	0,189	99,62	0,11	99,79	0,04	99,92
7	60	0,158	99,68	0,09	99,82	0,04	99,93



1 – температура процесса 20 °С;
3 – температура процесса 60 °С.

2 – температура процесса 40 °С;

Рисунок 4 – Изменение концентрации мышьяка в растворе в зависимости от времени перемешивания при различных температурах °С.

На основании графических изображений и таблицы видно, что содержание мышьяка в растворе уменьшается в связи с увеличением концентрации ионов железа (III) в растворе, температуры и времени перемешивания пульпы.

Вследствие того, что арсенаты железа осаждаются при более низких значениях рН, чем арсенаты других металлов, возможно селективное отделение мышьяка и железа от меди, цинка и кадмия.

В четвертом разделе приведены исходные данные в области переработки мышьяксодержащих промпродуктов, на основании которых разработана технологическая схема вывода мышьяка из технологических процессов в стабилизированную нетоксичную форму (рисунок 5).

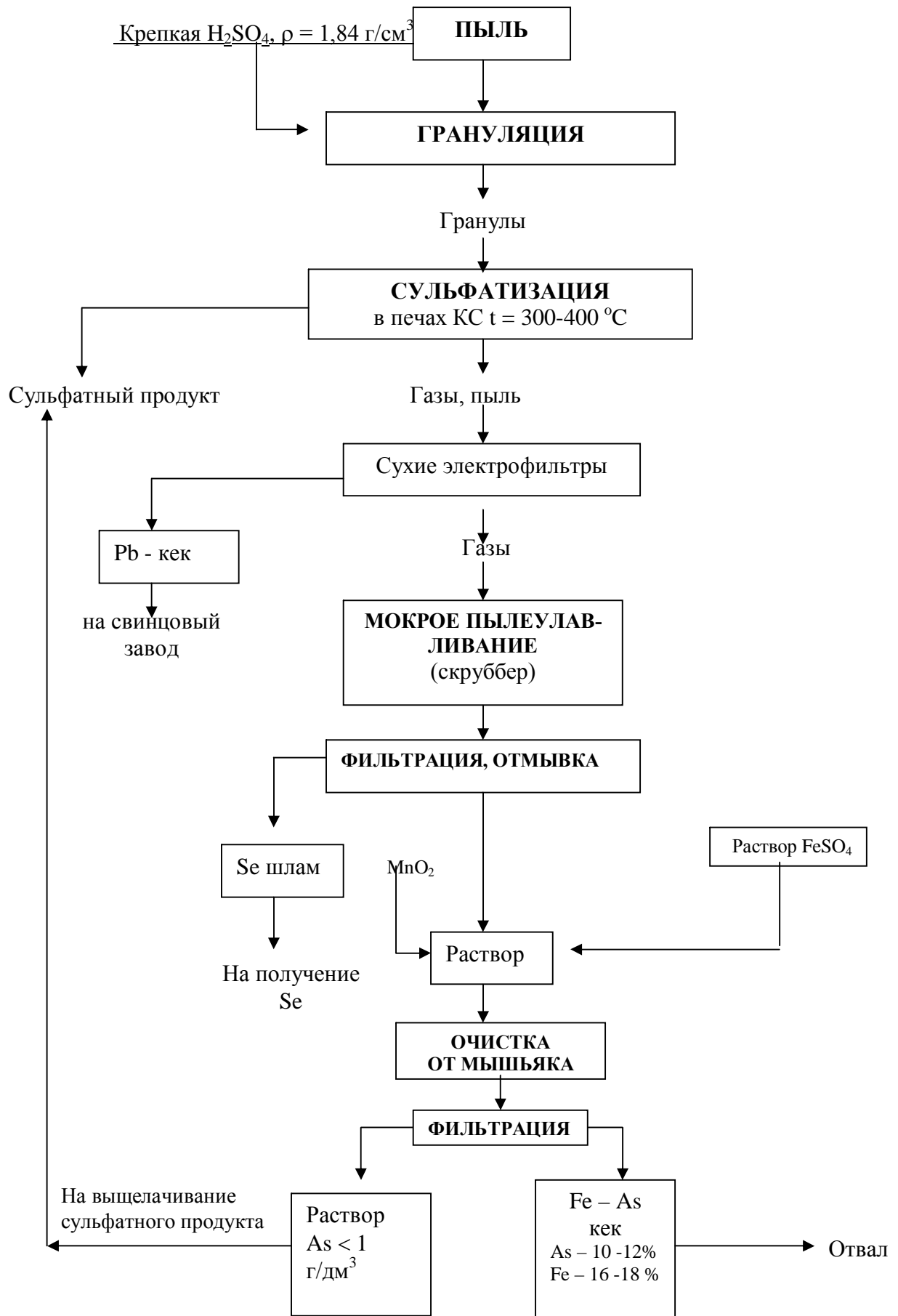


Рисунок 5 - Принципиальная технологическая схема переработки свинцовых пылей методом сульфатизации.

Объектом исследований послужили мышьяксодержащие растворы химико-металлургического цеха предприятия УК МК АО «Казцинк». Мышьяксодержащие растворы ХМЦ получены в процессе сульфатизирующего обжига. Технологический процесс вывода мышьяка при сульфатизации свинцовых продуктов (пылей) сводится к следующему:

1 Грануляция пыли с концентрированной серной кислотой.

В соответствии с количеством пыли, подаваемой на гранулятор, устанавливается необходимый расход серной кислоты, Он должен составлять 50-60% к весу пыли.

2 Термическая обработка гранул в печи «КС».

Узел термической обработки гранул состоит из печи «КС», топки под давлением (для подогрева воздуха), работающей на жидком топливе, и системы газопылеулавливания. Пылеулавливающая система, состоит из сухого электрофилтра, скруббера, мокрого электрофилтра и вспомогательного оборудования.

4 Отмывка мышьяково-селеновых шламов от мышьяка.

Основное количество мышьяка и селена, отгоняющихся при сульфатизации пылей, концентрируется в растворах и шламах мокрой системы пылеулавливания.

5 Очистка растворов от мышьяка.

Очистка проводится при температуре раствора 35-40 °С в пределах рН = 5-5,5 в течение 1 часа. После очистки пульпа фильтруется на дисковом вакуум-филтре. Твердая часть арсенат железа из бункера направляется на расфасовку в мешкотару и автотранспортом отправляется на отвал. Филтрат поступает на выщелачивание сульфатного продукта.

Разработана аппаратурно-технологическая схема вывода мышьяка из мышьяксодержащих растворов химико-металлургического цеха УК МК АО «Казцинк».

В рамках существующей и разрабатываемой технологии обезвреживания высокотоксичных мышьяксодержащих растворов проанализировано поведение селена, т.к. последний поступает с исходным сырьем (содержание селена 0,6 – 0,8 % по массе) и в процессе сульфатизирующего обжига образует оксид селена IV SeO_2 . При переработке конвертерных пылей свинцового производства, в образующихся растворах, направляемых на очистку от мышьяка, селен присутствует в виде селенистой кислоты H_2SeO_3 . Являясь двухосновой кислотой, H_2SeO_3 образует два ряда солей: средние соли, или селениты типа $(\text{Me SeO}_3, \text{Me}_2\text{SeO}_3)$ и кислые соли (MeHSeO_3) .

В существующем технологическом процессе очистки растворов от мышьяка присутствующие в растворе ионы Se^{+4} осаждаются с образованием селенитов кальция (CaSeO_3) . В разрабатываемой технологии осаждение селена происходит с образованием соединения селенита железа (III) – $(\text{Fe}_2(\text{SeO}_3)_3)$. Из показателя произведения растворимости селенита кальция и селенита железа (III) можно вычислить содержание этих солей в граммах в 1000 см^3 насыщенного раствора.

Для селенита кальция исходим из того, что концентрация ионов

$$[\text{Ca}^{2+}] = [\text{SeO}_3^{2-}].$$

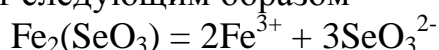
$$PP(\text{CaSeO}_3) = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SeO}_3^{2-}] = 4,7 \cdot 10^{-6}$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = [\text{SeO}_3^{2-}] = \sqrt{4,7 \cdot 10^{-6}} = 2,16 \cdot 10^{-3} \text{ моль/дм}^3$$

Молекулярная масса $M_r(\text{CaSeO}_3) = 166,9$ г/моль, решая пропорцию, получим:

$X = 166,9 \cdot 2,16 \cdot 10^{-3} = 0,04$ г/дм³ или 40 мг/ дм³ селенита кальция в насыщенном растворе, следовательно, и содержание селена в растворах может достигать до 40 мг/ дм³.

Для селенита железа (III) исходим из того, что диссоциация ионов происходит следующим образом



$$PP(\text{Fe}_2(\text{SeO}_3)) = [\text{Fe}^{3+}]^2 \cdot [\text{SeO}_3^{2-}]^3 = 2 \cdot 10^{-31}$$

растворимость моль/дм³ – S, тогда $[\text{Fe}^{3+}] = 2S$; $[\text{SeO}_3^{2-}] = 3S$

$$PP(\text{Fe}_2(\text{SeO}_3)) = (2S)^2 \cdot (3S)^3 = 36S^5$$

$$PP(\text{Fe}_2(\text{SeO}_3)) = 36 \cdot S^5$$

$$S^5 = \frac{PP}{36} = \sqrt[5]{\frac{PP}{36}} = \sqrt[5]{\frac{2 \cdot 10^{-31}}{36}} = \frac{0,3 \cdot 10^{-6}}{7,2} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ моль/дм}^3$$

Молекулярная масса $M_r(\text{Fe}_2(\text{SeO}_3)) = 493$ г/моль, решая пропорцию, получим:

$X = 5 \cdot 10^{-8} \cdot 493 = 2 \cdot 10^{-5}$ г/дм³ или 0,002 мг/ дм³ селенита железа (III) в насыщенном растворе, следовательно, концентрация селена в растворах будет ниже ПДК.

В пятом разделе произведен расчет класса опасности мышьяксодержащего продукта, полученного из растворов УК МК АО «Казцинк» расчетным методом и методом биологического тестирования. На основании полученных данных и в соответствии с критериями отнесения опасных отходов классу опасности для окружающей природной среды исследуемый образец отнесен к 4-му классу опасности.

На основании проведенных исследований, с целью повышения эффективности мероприятий, проведен анализ данных и разработана имитационная модель процесса накопления мышьяксодержащих отходов, которая позволяет прогнозировать состояние данной системы при изменении качественных и количественных характеристик отходов и ряда других факторов.

В шестом разделе проведено эколого-экономическое обоснование предлагаемого способа обезвреживания мышьяксодержащих растворов. Технико-экономические расчеты показывают, что переработка мышьяксодержащих рас-

творов по предлагаемой технологии с получением продукта 4-го класса опасности имеет значительную эколого-экономическую эффективность.

Предлагаемые мероприятия позволят сократить объемы токсичных мышьяксодержащих отходов на УК МК АО «Казцинк» в пять раз. Сокращение платы за хранение отходов позволит на предприятии УК МК АО «Казцинк» сократить расходы с 67608 USD или 10 141 200 тенге в год до 4676,4 USD или 701 460 тенге в год, то есть в 14 раз. Экономия от внедрения технологии на УК МК АО «Казцинк» позволит уже на первый год получить прибыль в размере 120 000 USD или 18 000 000 тенге.

Заключение:

В диссертационной работе изучена экологическая проблема переработки мышьяксодержащего сырья на металлургических предприятиях. Изучен отечественный и мировой опыт в области обезвреживания мышьяксодержащих отходов. Рассмотрены варианты и предложены меры по обезвреживанию и захоронению высокотоксичных мышьяксодержащих отходов, обеспечивающие снижение их отрицательного воздействия на окружающую среду.

Научные и практические результаты работы состоят в следующем:

1 Установлено экологическое влияние отвалов мышьяковистых отходов и отвального поля УК МК АО «Казцинк» на аллювиальный водоносный горизонт, подземные воды которого в г. Усть-Каменогорске используются для водоснабжения. Мышьяксодержащие отходы, подстилающие их и пропитанные дренажными водами отходов, суглинки являются чрезвычайно опасными. Подземные воды подстилающего аллювиального водоносного горизонта в результате воздействия дренажных вод отвалов имеют высокую и чрезвычайно высокую степень загрязнения. Определена экологическая характеристика текущих мышьяксодержащих отходов. Расчетным методом был определен класс опасности арсената и арсенита кальция, которые являются отходами предприятия УК МК АО «Казцинк». Методом биотестирования был определен класс опасности арсената кальция.

2 Исследована возможность перевода мышьяка из растворов в менее токсичную форму по сравнению с арсенитом и арсенатом кальция. Для этого была выбрана методика эксперимента, позволяющая решить эту проблему с максимально экологической и экономической целесообразностью. Было изучено влияние реагентов, содержащих металлы (Fe, Zn, Cd, и Cu) на извлечение мышьяка в твердую фазу. Изучено влияние pH среды на интенсивность осаждения мышьяка из раствора. Определены оптимальные условия перевода мышьяка из раствора в твердую фазу. Изучено влияние концентрации ионов железа (III) на извлечение мышьяка в твердую фазу, а также продолжительности процесса и температуры. Определено приоритетное направление для последующей разработки технологии обезвреживания мышьяка из мышьяксодержащих растворов с применением реагента, содержащего ионы трехвалентного железа.

3 Усовершенствована технология обезвреживания высокотоксичных мышьяксодержащих растворов и выбраны приоритетные направления их пере-

работки. Описана принципиальная технологическая схема переработки свинцовых пылей методом сульфатизации с переводом мышьяка в отвальный продукт 4-го класса опасности на предприятии УК МК АО «Казцинк». Разработана аппаратурно-технологическая схема данного процесса. Проведен анализ поведения селена в существующей технологии при обезвреживании мышьяка из промпродуктов в химико-металлургическом цехе УК МК АО «Казцинк» и в рамках разрабатываемой. На основании анализа можно сделать вывод о том, что по предлагаемой технологии наряду с обезвреживанием мышьяка решается проблема и обезвреживания селена, т.к. последний полностью переходит в труднорастворимое соединение.

4 Проведено исследование по определению класса опасности арсената железа, полученного из мышьяксодержащих растворов УК МК АО «Казцинк» расчетным методом. По результатам расчетов арсенат железа, аналог минерала скородит, отнесен к 4-му классу опасности. На основе экспериментальных данных определен класс опасности мышьяксодержащего продукта полученного из мышьяксодержащих растворов УК МК АО «Казцинк» методом биологического тестирования. На основании полученных данных и в соответствии с критериями отнесения опасных отходов классу опасности для окружающей природной среды, исследуемый образец отнесен к 4-му классу опасности.

5 После математической обработки полученных экспериментальных результатов определены эмпирические зависимости происходящих процессов, позволяющие рассматривать их независимо от конкретных изменяющихся условий. Разработана имитационная модель процесса обезвреживания и утилизации мышьяксодержащих растворов, которая позволяет прогнозировать состояние данной системы при изменении качественных и количественных характеристик отходов и ряда других факторов.

6 Эколого-экономическое обоснование предлагаемого способа обезвреживания мышьяксодержащих растворов подтверждает экологическую и экономическую целесообразность данной технологии. Предлагаемые мероприятия позволят сократить объемы токсичных мышьяксодержащих отходов. На УК МК АО «Казцинк», производящем в химико-металлургическом цехе арсенит кальция, относящийся ко 2-му классу опасности, объемы данных отходов сокращаются в пять раз. Сокращение платы за хранение отходов позволит на предприятии УК МК АО «Казцинк» сократить расходы с 67608 USD или 10 141 200 тенге в год до 4676,4 USD или 701 460 тенге в год, то есть в 14 раз. Экономия от внедрения технологии на УК МК АО «Казцинк» позволит уже на первый год получить прибыль в размере 120 000 USD или 18 000 000 тенге.

7 Подтверждение научных и практических результатов работы состоит в следующем:

- проведены лабораторные испытания на базе ДГП «ВНИИцветмет» (г.Усть-Каменогорск). «Вывод мышьяка из растворов, полученных после отмывки селено-мышьяковых шламов ХМО УК МК АО «Казцинк». Полученные результаты обсуждены на заседаниях технического совета (протокол и акт проведения лабораторных испытаний от 24.12.2001г.);

- основные научные и практические результаты диссертационной работы внедрены на предприятии ТОО Научно-исследовательская внедренческая корпорация «Адамсит» (справка о принятии к внедрению от 02.02.2004г., акт внедрения технологии обезвреживания высокотоксичных мышьяксодержащих отходов от 30.10.2004г.).

8 Проведенные в настоящей диссертации исследования позволяют сделать вывод о том, что предлагаемый способ утилизации и обезвреживания мышьяка универсален для таких производств, как:

- отделение селенового шлама с образованием мышьяксодержащих растворов химико-металлургического цеха УК МК АО «Казцинк»;

- цеха рафинации свинца УК МК АО «Казцинк», где отвальным мышьяксодержащим продуктом является арсенат кальция;

- получение токсичных мышьяксодержащих отходов и их обезвреживание при переработке упорных золотомышьяковых руд месторождений Бакырчик и Большевик (Восточный Казахстан).

Диссертационное исследование проведено с учетом действующих в Республике Казахстан нормативных документов, передового отечественного и зарубежного опыта обезвреживания мышьяксодержащих отходов.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1 Ван Е.Ю., Максимова Д.А. Распределение мышьяка в свинцово-цинковой подотрасли// Энергия молодых – экономике России: труды VII Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых. Часть I. – Томск: изд-во ТПУ, 2006.

2 Серба Н.Г., Ван Е.Ю., Камысбаев Д.Х.// Переработка возгонов конвертерного передела медного производства: Журнал экология ВКО: Проблемы решения 2002 г. - №1.-С.-23-25.

3 Пат. Казахстана № 15984 Способ переработки золотомышьяковых сульфидных материалов / Ван Е.Ю., Серба Н.Г. и др. - БИ 15.09.1999.-№ 9.

4 Е.Ю. Ван, О.А. Утешева, Н.Г. Серба Сокращение выбросов диоксида серы в процессе переработки полиметаллического сырья// Проблемы трансграничного загрязнения территорий: материалы международной Казахстанской – Российской научно-практической конференции, 5-6 октября 2004 г. Часть I. – г. Усть-Каменогрск: Изд-во ВКГТУ, 2004.

5 Ван Е.Ю., Куленова Н.А., Серба Н.Г., Ван А.Г. Об извлечении мышьяка из конвертерных пылей свинцового производства // Техника и технология для защиты окружающей среды: материалы международной научно-практической конференции, 4-5 октября 2005 г.- г. Усть-Каменогрск: Изд-во ВКГТУ, 2005.

6 Пат. Казахстан № 13042. Способ переработки мышьяксодержащих отходов/ Ван Е.Ю., Серба Н.Г., Ван Г.В. и др. – БИ, 2003, № 5.

7 Ван Е.Ю., Шоинбаев А.Т., Куленова Н.А. Обезвреживание мышьяксодержащих отходов металлургического производства с получением товарной продукции// Геотехнология: инновационные методы недропользования в XXI веке: материалы международной научно-технической конференции «Istiglol», 25-27 сентября 2007.

8 Ван Е.Ю., Адрышев А.К., Куленова Н.А. Экологическая характеристика мышьяксодержащих отходов УК МК АО «Казцинк» // Труды международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана» 6-7 декабря 2007 г КарГУ Караганда 2007.

9 Ван Е.Ю., Куленова Н.А, Шоинбаев А.Т. Определение класса опасности арсената кальция методом биологического тестирования//Горное, нефтяное, геологическое и геоэкологическое образование в XXI веке: труды II Международной конференции, посвященной 75-летию Кызыл-Кийского горнотехнического колледжа им. Т. Кулатова г. Кызыл-Кия, 1 – 5 октября 2007

10 Пат. России № 2226562. Способ переработки мышьяксодержащих материалов/ Ван Е.Ю., Ван А.Г. и др. – БИ, 2004, № 10.

11 Ван Е.Ю., Серба Н.Г., Ван А.Г. Возможность получения товарной продукции из мышьяксодержащих отходов металлургического производства// Проблемы трансграничного загрязнения территорий: материалы международной Казахстанской – Российской научно-практической конференции, 5-6 октября 2004 г. г. Усть-Каменогрск: Изд-во ВКГТУ, 2004.

12 Ван Е.Ю., Адрышев А.К., Куленова Н.А., Ван А.Г. Определение класса токсичности на примере арсената железа (III). // сб. ВНИИцветмет часть 2 2007.

ТҮЙІНДЕМЕ

«Қорғасын-мырыш өндірісінің жоғары улылық күшәла құрамдас ерітінділерін зиянсыздандыру және қайта өңдеу технологиясын жетілдіру»

Зерттеу объектісі: «Қазмырыш» АК Ө МК химия-металлургиялық цехының күшәла құрамдас ерітінділері.

Зерттеу нысаны: Қоршаған ортаға күшәла құрамдас қалдықтармен келтірілетін экология-экономикалық зиянды анықтау және қалдықтардан, аралық өнімдерден күшәланы зиянсыздандыру бойынша тиімді технологияны әзірлеу.

Жұмыстың мақсаты – кальций арсенаты және арсенитімен салыстыру бойынша күшәланы тұрақталған аз улылық түрге ауыстыру, қорғасын-мырыш өндірісінің жоғары улылық күшәла құрамдас ерітінділерін зиянсыздандыру және қайта өңдеу технологиясын жетілдіру.

Зерттеу әдістері Алға қойылған мәселелерді шешу үшін диссертация тақырыбы бойынша бұрын орындалған жұмыстарды жинақтап ғылыми қорыту, ерітіндіден тұнбаға күшәланы өткізетін реагенттерді қолдану бойынша алынған мәліметтердің талдауы кірген зерттеудің кешенді әдісі қолданылған; модельдеуді жүргізу, сонымен қатар, орындалған зерттеулер нәтижесіне негізделген ұсыныстарды әзірлеу.

Қорғауға ұсынылатын ғылыми жағдайлар

1 Ерітінділерден күшәланы толық тұнбаға ауыстыруға реагенттің әсер ету механизмі, ерітінділерден күшәланы темір арсенаты (III) түріндегі қосылысқа ауыстырудың теориялық және сараптамалық зерттеу нәтижелері. Мырыштан, мыстан, және кадмийден темір мен күшәланы селективті бөлу үрдістің тиімді параметрлерін бекіту;

2 «Қазмырыш» АК Ө МК химия-металлургиялық цехының күшәла құрамдас аралық өнімдерінен күшәланы шығару ұстанымдық технологиялық сұлбасының талдау және шығару;

3 Сапалық және сандық мінездемелерге тәуелді берілген жүйенің жағдайын болжауға мүмкіндік беретін күшәла құрамдас ерітінділерді зиянсыздандыру үрдісінің еліктемелік моделін және күшәла құрамдас өнімдерден алынған мінездемелер негізінде әзірленген технологияның экологиялық қауіпсіздігін дәлелдеу

Жұмыстың ғылыми жаңалықтары

– скородит минералы тәріздес, қауіпсіздігі 4-ші класс өнімі түрінде күшәланы өндірістен шығарудың жаңа технологиясы әзірленген;

– FeAsO_4 темір (III) арсенатының түзілу үрдістерінің заңдылығы анықталды;

– әр түрлі жағдайларға байланысты темір арсенаттарын алу моделі ұсынылды;

– күшәла құрамдас қалдықтарды көму және алу еліктемелік және математикалық моделдер әзірленген;

– сульфаттау әдісімен қорғасын шаңдарын қайта өңдеу кезінде металлургиялық өндірістен күшәланы зиянсыздандырудың аппаратуралық-технологиялық сұлбасы әзірленген, оның экологиялық-экономикалық бағасы берілді.

Нәтижелері Диссертация тақырыбы бойынша 12 жұмыс басылып шықты, соның ішінде: РФ өнертабысына 1 патент, ҚР өнертабысына 2 алдын ала патент, кандидаттық және докторлық диссертацияларының негізгі нәтижелерін басып шығаруға Қазақстан Республикасының ғылым және білім беру саласында аттестациялау мен қадағалау бойынша Комитет ұсынған ғылыми журналда 1 мақала және халықаралық конференциялар еңбегінде 8 мақала жарияланды.

Ғылыми маңызы камалдану үрдісінің сандық және сапалық көрсеткіштерін анықтау жолымен, тұнбалардың экологиялық құрамын жақсартумен, оның жоғары концентрациясымен ерітінділерден күшәланы тұнбалау үшін темір (III) иондарын реагент түрінде қолдану мүмкіндіктерін дәлелдеу;

биотестілеу әдісімен және есептеу жолымен күшәла құрамдас тұнбалардың улылық көрсеткіштерін анықтау;

күшәла құрамдас ерітінділерді өңдеу үшін қажетті реагенттердің мөлшерін дәлелдеу;

улылық емес күшәла құрамдас тұнбаларды алудың технологиясын әзірлеу;

әр түрлі өндірістер кезінде технологияны қолдану мүмкіндігін дәлелдеу – кальций арсенаты тастанды күшәла құрамдас өнім болып табылатын «Қазмырыш» АК Ө МК қорғасынды рафинациялау цехы, «Қазмырыш» ЖШС Ө МК химия-металлургиялық цехының күшәла құрамдас ерітінділері түзілетін селендік шлам бөлімі;

күшәла қосындыларымен қатар селеннің аз еритін қосындыларын алу мүмкіндігін талдау;

жоғары концентрациялы ерітінділерден күшәланы тұнбалау үшін темір (III) иондарын реагент ретінде қолданудың экологиялық және экономикалық тиімділігін бағалау.

Жұмыстың іс-тәжірибелік мағынасы:

– аса жоғары экологиялық қауіпсіздікті қамтамасыз етумен күшәла құрамдас ерітінділерді зиянсыздандыру мәселесін шешуге мүмкіндік беретін, күшәланы өндірістен шығару тәсілі ұсынылды;

– реагенттер мен аппаратуралық ресімдеуді таңдау жоғары экономикалық және экологиялық көрсеткіштермен күшәланы зиянсыздандыру үрдісін жүргізуге мүмкіндік береді;

– берілген жұмыс бойынша қорытындылар мен ұсыныстар түсті металлургия кәсіпорындарында, сонымен қатар, улылық күшәла құрамдас материалдар түзілетін басқа салаларда қолданылуы мүмкін.

Жұмыс нәтижелерінің қолданылуы

– «ВНИИцветмет» ЕМК (Өскемен қ.) базасында зертханалық сынақтар жүргізілді. Диссертациялық жұмыстың негізгі ғылыми және іс-тәжірибелік нәтижелері кәсіпорында енгізілген.

Summary

Van Elena Yurevna

Perfection of technology of processing and neutralization highly toxic arsenic-containing solutions of lead-zinc industry.

25.00.36 - Geoekogiya

Object of research: arsenic-containing solutions of chemico-metallurgical shop of Ust-Kamenogorsk metallurgical complex of joint-stock company «Kazzinc» .

Subject of research: Establishment of ecology-economic damage, caused current arsenic-containing waste to an environment and development of effective arsenic neutralization technology, as from waste, and middlings.

The purpose of work – perfection of technology of processing and neutralization of highly toxic arsenic-containing solutions of lead-zinc industry with change of arsenic in stabilized less toxic form in comparison with arsenite and arsenate calcium.

Methods of research

For the decision of assigned task, the complex method of the researches including scientific generalization before executed on theme of dissertation works, the analysis of the received data on application of the reagents translating arsenic from solution in sediment is applied; carrying out of modelling, and also development of the offers based on results of executed researches.

Scientific positions, submitting on protection

1 Mechanism of reagents influence on completeness of sedimentation of arsenic from solutions, theoretical and experimental results of researches of change of arsenic from solutions in connection in the form of iron arsenate (III). An establishment of optimum parameters of the given process promoting selective separation of arsenic and iron from copper, zinc and cadmium;

2 Analysis and delivery of the basic technological scheme of conclusion of arsenic from arsenic-containing middlings of chemico-metallurgical shop of Ust-Kamenogorsk metallurgical complex of joint-stock company « Kazzinc»

3 Substantiation of ecological safety of the developed technology on the basis of the characteristic received arsenic-containing products and imitating model of process of neutralization arsenic-containing solutions, allowing to predict condition of the given system depending on qualitative and quantitative characteristics;

Scientific novelty of work.

- the new technology of a conclusion of arsenic from industry in the form of product of 4-th class of danger, analogue of scorodite mineral is developed;

- law of processes of iron (III) FeAsO_4 arsenate connection formation is established;

- the model of reception iron arsenate depending on various conditions is offered;

- mathematical and imitating models of reception and a burial place arsenic-containing waste are developed;

- the hardware-technological scheme of neutralization of arsenic from metallurgical industry at processing lead dust by the method of sulphatization is developed, its ecology-economic estimation is given.

Results

On the theme of the dissertation 12 works, including 1 patent for the invention of the Russian Federation, 2 prepatents for invention of Kazakhstan, 1 clause in scientific magazine recommended by Committee on supervision and certification in sphere of formation and science of the Republic of Kazakhstan for the publication of the basic results candidate and theses for a doctor's degree, 8 clauses in works of the international conferences are published.

Scientific value

Substantiation of an opportunity of application as reagent of ions of iron (III) for sedimentation of arsenic from solutions with its high concentration with improvement of ecological properties of deposits, by definition quantitative and quality indicators of thickening process; definition of parameters of toxicity arsenic-containing deposits settlement by and a method of biotesting; substantiation of calculation of doze of the reagent necessary for processing arsenic-containing of solutions; development of technology of reception nontoxic arsenic-containing deposits; substantiation of an opportunity of application of technology by various industry - separation selenic tailings with formation arsenic-containing solutions of chemico-metallurgical shop of Ust-Kamenogorsk metallurgical complex of joint-stock company "Kazzinc", shop refining lead of Ust-Kamenogorsk metallurgical complex joint-stock company "Kazzinc" where slag-heap arsenic-containing product is arsenat calcium; analysis of an opportunity of reception alongside with connections of arsenic marginally soluble connections of selenium; Estimation ecological and economic efficiency of use as ions reagent of iron (III) for sedimentation of arsenic from solutions with its high concentration.

Practical value of work consists that:

- the way of a conclusion of arsenic from the industry is offered, allowing to solve a problem of neutralization arsenic-containing solutions with maintenance of the greatest ecological safety is offered;

- the choice of reagents and hardware registration allow to spend neutralization process of arsenic with the best economic and ecological parameters;

- conclusions and recommendations on the given work can be applied at the enterprises of nonferrous metallurgy, together with in other branches having toxic arsenic-containing materials.

Realization of work results

- laboratory researches on the basis of daughter enterprise «VNIITSVET-MET» (Ust Kamenogorsk) are lead. The basic scientific and practical results of dissertational work are introduced at the enterprise.