

На правах рукописи

Макшанин Андрей Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА ИЗ
ТЕХНОГЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ
АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ФЛОКУЛЯЦИИ**

Специальность 25.00.13 – Обогащение полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск – 2012

Работа выполнена на кафедре «Обогащение полезных ископаемых» в Институте цветных металлов и материаловедения ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель кандидат технических наук, доцент
Алгебраистова Наталья Константиновна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ястребов Константин Леонидович

кандидат технических наук
Маньков Виктор Михайлович

Ведущая организация: Институт химии и химической технологии СО РАН
г. Красноярск

Защита диссертации состоится 26.04.2012г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.073.02 при НИ «Иркутский государственный технический университет» по адресу: 664074, г.Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке НИ «Иркутский государственный технический университет» и научно-технической библиотеке ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет», с авторефератом – на официальном сайте НИ «Иркутский государственный технический университет» www.istu.edu и на официальном сайте ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» www.sfu-kras.ru.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, подписанные и заверенные печатью организации, просим высылать по адресу: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, ИрГТУ; ученому секретарю диссертационного совета Д 212.073.02 Салову В.М.
e-mail: salov@istu.edu

Автореферат разослан « 26 » __ марта _____ 2012 __ г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета
к.т.н., профессор



В.М. Салов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Необходимость решения задач по освоению месторождений золота техногенного характера связана с ухудшением минерально-сырьевой базы страны. По данным В.А. Чантурия за последние 20 лет содержание золота в рудах снизилось в 1.2-1.5 раза, доля труднообогатимых руд в общей массе сырья, поступающего на обогащение, возросла с 15 до 40%.

Во многих видах техногенного минерального сырья содержание ценных компонентов в ряде случаев находится на том же уровне или даже превышает их концентрацию в рудах природных разрабатываемых месторождений.

Целесообразность промышленного освоения техногенных ресурсов определяется не только истощением разрабатываемых месторождений, но и необходимостью крупных капитальных вложений в освоение новых объектов.

Ресурсный потенциал техногенных золотосодержащих объектов, расположенных на территории России, оценивается неоднозначно. Анализируя общую структуру запасов и ресурсов золота, Б.И. Беневольский утверждает, что на долю техногенных объектов отводится 7-12 %.

Кроме этого, хвостохранилища занимают огромные площади, ухудшают экологическое состояние районов. Обоганительные фабрики являются градообразующими предприятиями, а ряд фабрик прекратили работу из-за отсутствия руды. Таким образом, исследования, направленные на повышение эффективности извлечения золота из техногенного минерального сырья имеют не только научно-практическое, но и социальное и экологическое значение.

Проблемой разработки технологии переработки техногенного сырья занимались такие ученые как Чантурия В.А., Бочаров В.А., Вигдергауз В.Е., Козин В.З., Макаров А.Б., Щербина Н.Ф., Кочеткова Т.В., Елесева В.И., Макаров В.А., Котова О.Б. и другие исследователи. Их исследования показывают, что техногенные месторождения, представленные хвостами обогащения, являются достаточно специфическими образованиями, отличающимися от других техногенных объектов вещественным составом, условиями накопления и хранения, остаточной концентрацией реагентов.

Полезные минералы в техногенном сырье находятся в тонкодисперсной форме, их поверхностные свойства изменены, такое сырье не эффективно обогащается традиционными методами. По своим свойствам они значительно отличаются от текущих «хвостов», т.к. в процессе хранения происходят изменения минерального и гранулометрического состава, а так же изменения касаются также и технологических свойств. Гранулометрический состав характеризуется высоким содержанием ультрадисперсных частиц с размером менее 10 мкм, обладающих развитой удельной поверхностью. Вовлечение в переработку техногенных месторождений позволяет значительно уменьшить горно-подготовительные работы, сократить затраты на такие энергоемкие мероприятия как дробление, измельчение и т.п.

Основной проблемой при переработке техногенных месторождений с использованием традиционных приёмов является низкое извлечение металлов.

Исходя из вышеизложенного, исследования направленные на повышение эффективности извлечения золота из техногенного минерального сырья являются актуальными.

Цель работы: повышение эффективности извлечения золота из техногенного сырья и убогих по содержанию золотосодержащих руд с использованием технологии агломерационной флокуляции, обеспечивающей извлечение золота.

Идея работы состоит в использовании процесса сорбции золота и сульфидов, теряемых с хвостами ЗИФ, на синтетический носитель за счет гидрофобизации их сочетанием реагентов-собирателей, в результате совместного применения которых наблюдается синергетический эффект взаимодействия.

Объекты исследования: лежалые хвосты «Коммунарской» и «Артемовской» золотоизвлекательных фабрик (ЗИФ), текущие хвосты ЗИФ «Советская», работающих по комбинированным гравитационно-гидрометаллургическим и гравитационно-флотационным схемам обогащения. Кроме этого проводились исследования на убогой по содержанию золота руде одного из месторождений Красноярского края (ТП-1).

Предмет исследований: условия создания агломерата и извлечения золота при использовании технологии агломерационной флокуляции.

Связь темы с планами работы Университета и молодежными научными проектами. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планами НИР Института цветных металлов и материаловедения СФУ в рамках исполнения программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)» (проект 2.1.2/4741 «Комплексные исследования традиционных и биотехнологических методов обогащения и переработки руд цветных и благородных металлов»), федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» (проект «Поверхностные явления в переработке сырья цветных, редких и благородных металлов и создании новых материалов на их основе»), а также в рамках 6 хоздоговорных работ, выполненных по заказам предприятий.

Методы исследований.

В работе использованы методы изучения вещественного состава – химический, спектральный, фазовый, пробирный и ситовой анализы; структура и свойства минералов изучались с помощью минералогического анализа с использованием оптического микроскопа Axioskop-40-Pol, выполнены рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ; анализ и обобщение литературных и фондовых материалов, лабораторные испытания; статистические методы планирования и обработки данных; пакет математических программ, необходимых для разработки регрессионной модели; технико-экономический анализ разработанных технологических решений.

Научные положения, выносимые на защиту:

- Оптимально использование в качестве носителя при агломерационной флокуляции синтетического материала, способного к многократному (до 15 циклов) использованию, и обеспечивающего снижение общего расхода носителя до 1 кг/т и повышение извлечения до 75%;
- Максимальная эффективность процесса агломерационной флокуляции достигается при его оптимизации на основе установленных зависимостей технологических показателей от расхода и соотношения собирателей, причем наибольшая эффективность достигается при соотношении: ксантогенат : ГФУ – 1:1; ксантогенат : ТАА – 1:3; ксантогенат : каптакс – 2:3;
- Математическая модель, описывающая зависимость эффективности процесса агломерационной флокуляции от параметров процесса.

Достоверность научных положений подтверждается достаточной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, обработанных с использованием методов математической статистики при доверительной надежности не менее 95%.

Научная новизна работы:

- Обосновано применение синтетического носителя в процессе агломерационной флокуляции; определены оптимальные параметры процесса агломерационной флокуляции для убогой золотосодержащей руды (ТП-1), хвостов ЗИФ Советская, техногенных отвалов Артемовской ЗИФ и рудника Коммунар;

- Установлена закономерность влияния сочетаний реагентов ксантогенат и каптакс, ксантогенат и ГФУ, ксантогенат и ТАА на технологические показатели переработки техногенного минерального сырья и убогой золотосодержащей руды.

- Впервые предложен способ извлечения золота из техногенного минерального сырья и хвостов золотоизвлекательных фабрик на основе агломерационной флокуляции с применением синтетического носителя и сочетаний реагентов собирателей.

Практическая значимость работы:

- Обоснована и экспериментально подтверждена возможность извлечения золота из труднообогатимого сырья агломерационной флокуляцией с использованием синтетического носителя;

- Выполнены исследования в условиях ЗИФ «Советская», показана эффективность процесса и возможность доизвлечения золота из хвостов флотации и сорбции. Рассчитан ожидаемый экономический эффект от внедрения процесса агломерационной флокуляции на текущих хвостах золотоизвлекательной фабрики и на техногенном сырье;

- Разработана технология извлечения золота как из лежалых так и из текущих хвостов обогатительных фабрик;

- Получено решение о выдаче патента на заявку №2011110487 от 18.03.2011;

- Результаты данной диссертационной работы внедрены в учебный процесс СФУ ИЦМиМ, в качестве дополнения к курсу лекций.

Личный вклад соискателя: анализ состояния технологий извлечения золота из золотосодержащего и техногенного сырья; проведение исследований по изучению особенностей взаимодействия твердой и жидкой фаз, обеспечивающих возможность проведения агломерационной флокуляции; оптимизация условий разделения тонкого золота и породообразующих минералов при разработке технологической схемы обогащения золотосодержащего сырья на основе агломерационной флокуляции; испытание технологии агломерационной флокуляции на различных видах золотосодержащего и техногенного сырья с определением возможностей процесса и его места в технологических схемах в зависимости от вида и характера сырья.

Апробация работы.

Результаты данной диссертационной работы докладывались на Международных и Всероссийских конференциях: XIV Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр» (5 – 9 апреля 2010 года, г.Томск); Второй международный конгресс «Цветные металлы – 2010» (2 – 4 сентября 2010года, г. Красноярск); Международное совещание «Научные основы и современные процессы комплексной переработки труднообогатимого сырья» «Плаксинские чтения –

2010» (13 – 18 сентября 2010года, г.Казань); VIII Конгресс обогатителей стран СНГ (28 февраля – 2 марта 2011года, Москва)

Объём и структура работы: диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения, списка литературы, состоящего из 124 источников, содержит 166 страниц, в т.ч. 20 рисунков, 51 таблицу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении содержится актуальность работы, цель, основные задачи и защищаемые положения диссертационной работы.

В первой главе диссертации проведен анализ современного состояния методов и способов извлечения золота из техногенных месторождений, показана перспективность применения процесса агломерационной флокуляции.

Необходимость постоянного увеличения добычи золота за многие годы привело к образованию огромного количества отходов в виде отвалов и хвостохранилищ. Известно, что они содержат определенное количество ценных минералов, которые отнесены к разряду неизбежных потерь из-за несовершенства техники и технологий. На данный момент происходит сокращение минерально-сырьевой базы золота, снижается минимальное промышленное содержание в разрабатываемых месторождениях, в связи с этим, техногенные месторождения являются источником пополнения минерально-сырьевой базы.

В перспективе будут вовлекаться в переработку все новые месторождения, которые будут характеризоваться различным объемом запасов и небольшим содержанием металла в них. При этом возрастет потребность в более современных и эффективных технологиях переработки золотосодержащих руд. Также будет усиливаться необходимость в утилизации уже имеющихся отходов горно-металлургических комбинатов.

Данные проблемы предполагают разработку новых технологий для извлечения золота из бедных руд, рудных отвалов и хвостов различных золотоперерабатывающих предприятий.

Несмотря на многолетние исследования на данный момент проблема извлечения благородных металлов из техногенных месторождений остаётся актуальной.

Понятие агломерационной флокуляции возникло в начале XX века. Впервые этот метод, названный «Тренд-процесс», разработан и применен для обогащения угля в 20-е годы в США. В дальнейшем данный процесс улучшался различными способами. Проведено большое количество исследований по подбору аполярного масла, типа носителя и т.д. Хорошие результаты были получены при использовании в качестве носителя угля. Например, компанией British oil minerals разработан процесс агломерации золота и угля, в Австралии разработан Carbad-процесс для извлечения золота и металлов платиновой группы, и другие процессы. Недостатком данных процессов является большой расход носителя и аполярного собирателя, а также невозможность регенерирования носителя.

В Сибирском Федеральном Университете было предложено использовать в качестве носителя эластичный пенополиуретан (синтетический носитель), который имеет ряд преимуществ. Во-первых, синтетический носитель легко выдерживает знакопеременные нагрузки, во вторых - имеет развитую внешнюю поверхность. Все это дает возможность использовать данный носитель многократно.

Во второй главе представлены результаты изучения вещественного состава объектов исследования: хвостов Артемовской, Коммунаровской и Советской ЗИФ,

а также вещественный состав малосульфидной, убогой по содержанию руды одного из месторождений Красноярского края.

Хвосты Артемовской ЗИФ.

Хвосты третьей запруды формировались при обогащении руд Константиновского и Лысогорского месторождений на обогатительной фабрике, работающей по гравитационно-флотационной схеме. Пробирный анализ пробы хвостов, поступивших на исследование, показал, что содержание золота в пробе - 2,3г/т. Распределение золота по классам крупности неравномерное.

Таблица 1. Распределение золота по классам крупности

Классы крупности, мм	Выход, %	Содержание, %	Извлечение, %
+0,2	46,57	1,7	34,63
-0,2+0,16	14,85	1,9	12,32
-0,16+0,074	6,78	1,9	5,62
-0,074+0,05	22,53	2,6	25,58
-0,05+0	9,27	5,4	21,85
Итого	100,00	2,29	100,00

Как видно из таблицы 1, выход класса +0,2 мм значительный и составляет ~ 46%; содержание класса -0,074мм в пробе - 31,8%. Если учесть, что при переработке руд технология предусматривала тонину помола 65-70% класса -0,074 мм, следует предположить, что в процессе хранения частички «сцементировались». Наиболее богаты по золоту классы менее 0,074 мм. По другим классам крупности металл распределяется пропорционально выходам. Фазовый анализ показал, что золото в пробе представлено на 14,5% самородной (амальгамируемой) фазой, с сульфидами ассоциировано 76,8% металла, с силикатами 8,7%.

Химический и спектральный анализы свидетельствуют, что основными петрогенными компонентами в пробе являются SiO₂, Fe₂O₃, FeO, CaO с содержанием 35,2%, 24,2%, 13,07% и 8,51% соответственно. Содержание серебра в пробе -1,5г/т, мышьяка-0,01%, сурьма и ртуть не обнаружены.

Хвосты Коммунарской ЗИФ были сформированы от переработки руд по гравитационно-гидрометаллургической схеме. При всем многообразии рудных тел по морфологическим типам вмещающих пород, химический состав перерабатываемых руд был относительно стабильным многие годы.

Золото связано с кварцем, находится в свободном состоянии (свыше 65%). Содержание золота, связанного с сульфидами колеблется от 0,5 до 2,3 %. Распределение золота по классам крупности в изучаемой пробе представлено в таблице 2.

Таблица 2. Распределение золота по классам крупности в хвостах Коммунарской ЗИФ

Классы крупности, мм	Выход, %	Содержание, г/т	Распределение, %
+0,25	1,2	1,38	5,5
-0,25+0,15	30,1	0,09	9,1
-0,15+0,074	20,2	0,12	8,1
-0,074+0	48,5	0,48	77,3
Итого	100,00	0,3	100

Как видно, выход класса -0,074мм в пробе - более 48%, в этом продукте находится более 77% металла. Несколько обогащён класс +0,25 мм, но выход его незначителен, потери с ним составляют всего 5,5%.

Из анализа вещественного состава хвостов Коммунарковского рудника следует, что агломерационная флокуляция является перспективным способом извлечения металла из данного продукта.

Хвосты Советской ЗИФ.

Формируются от переработки руд, поступающих из нескольких месторождений: «Эльдорадо», «Татьянинское», «Северо-Западное», «Советское».

Технология переработки на ЗИФ «Советская» гравитационно-флотационно-гидрометаллургическая.

Золото в пробах мелкое, средней крупности, основная его масса находится в тонких классах - минус 0,074 мм (более 50%). На фабрике остро стоит вопрос с расширением рудной базы. Содержание золота в перерабатываемом материале 2,1 г/т. Основная масса золота находится в свободном состоянии (72,9%), в кварце и распределяется по трещинам в сростках 21,9%, связанное с сульфидами - 5,2%.

По данным рационального анализа прямым цианированием в пробе Северо-Западное извлекается 86,8 % (золота), в пробе Эльдорадо – золота в цианируемой форме 88,9 %. В пробе Северо-Западное свободного золота на 7 % меньше, чем в пробе Эльдорадо. Остальное золото в незначительных количествах связано с гидроксидами железа, сульфидами и породообразующими минералами.

Таблица 3. Распределение золота в хвостах флотации

Наименование продукта	Выход, %	Содержание Au, г/т	Извлечение Au, %
0,3 мм	0,6	0,52	1,4
0,3+0,15мм	7,6	0,23	8
0,15+0,07мм	19,1	0,23	20,0
0,07+0,04 мм	16,3	0,26	19,3
0,04+0мм	56,4	0,2	51,3
Итого:	100,00	0,22	100,0

Как видно из таблицы 3, основное количество золота, теряемое с хвостами флотации, находится в крупности -0,07+0 мм.

Из исходных хвостов флотации и гравитации золото цианированием практически не извлекается. Таким образом, известные методы доизвлечения металла из хвостов Советской ЗИФ малоэффективны.

Проба руды ТП-1.

Среднее содержание золота по данным паспорта пробы составляет 1,48 г/т.

Золото встречается в шлифах достаточно редко. Более крупные зерна золота обнаруживаются в кварце по трещинкам в сопровождении карбонатов. Размеры зерен до 0,37мм, формы его выделений зависят от комбинаций микротрещин. Более мелкие зерна золота имеют размеры до 0,05мм и менее. Формы зерен золота неправильные остроугольные, иногда изометричные и крючковатые. В качестве механической примеси в сульфидах в единичных случаях золото обнаружено в пирите и арсенопирите, размеры его выделений до 0,006мм, формы звездчатые и каплевидные.

С целью уточнения форм нахождения золота в исходной руде выполнен рациональный анализ по стандартной методике при крупности – 0,1 мм. Определено, что в самородной форме находится 72,7%, ассоциированного с сульфидами - 26,5% металла. То есть, суммарная доля самородного и

ассоциированного с сульфидами золота составляет ~99,2%. Распределение золота по классам крупности в пробе руды ТП-1 показано в таблице 4.

Таблица 4. Распределение золота по классам крупности

Класс, мм	Выход, %	Содержание Au, г/т	Распределение, %
-3+1	50,64	2,0	63,92
-1+0,5	15,44	1,0	9,75
-0,5+0,2	6,64	2,1	12,77
-0,2+0,0,71	16,98	0,6	2,64
-0,071+0	17,30	1,0	10,92
Всего	100,00	1,58	100,00

Как видно, распределение золота по классам крупности пропорционально выходам. Нет ни одного класса крупности с отвальным содержанием в нём металла, основная масса металла находится в крупности -3+0,5 мм: ~74%. В сравнении с крупными классами несколько ниже содержание металла в классе -0,074+0 мм.

Таким образом, во всех изучаемых объектах золото находится в тонких классах, хотя фазовый состав его различен. Исключением является проба руды ТП-1 т.к. данная руда не является техногенным сырьем и ранее не подвергалась обогащению.

В третьей главе представлены результаты исследования процесса агломерационной флокуляции на различном сырье.

Первое защищаемое положение:

Оптимально использование в качестве носителя при агломерационной флокуляции синтетического материала, способного к многократному (до 15 циклов) использованию, и обеспечивающего снижение общего расхода носителя до 1 кг/т и повышение извлечения до 75%.

К носителю были предъявлены следующие требования: носитель должен выдерживать знакопеременные нагрузки, должен быть легко доступным, иметь развитую внешнюю поверхность, обладать естественной или приобретённой гидрофобностью, по возможности должен легко и просто отделяться от ценного компонента, и обладать возможностью многократного использования. Поэтому предварительно были выбраны такие материалы как однокомпонентный пенополиуретановый герметик (пена), синтетический носитель, табачная пыль и для сравнения - уголь. Для увеличения силы прилипания частиц носитель обрабатывали аполярным маслом.

Извлечение рассчитывалось по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\gamma\beta}{\alpha}, \% \quad (1)$$

где α и β – содержание ценного компонента в исходном продукте и в соответствующем продукте обогащения; γ – выход продукта, %

Процесс оценивался по формуле Хенкока-Люйкена:

$$E = 100 \frac{\varepsilon - \gamma}{100 - \alpha}, \% \quad (2)$$

По полученным данным были построены графические зависимости эффективности процесса от расхода носителя, которые представлены на рисунке 1.

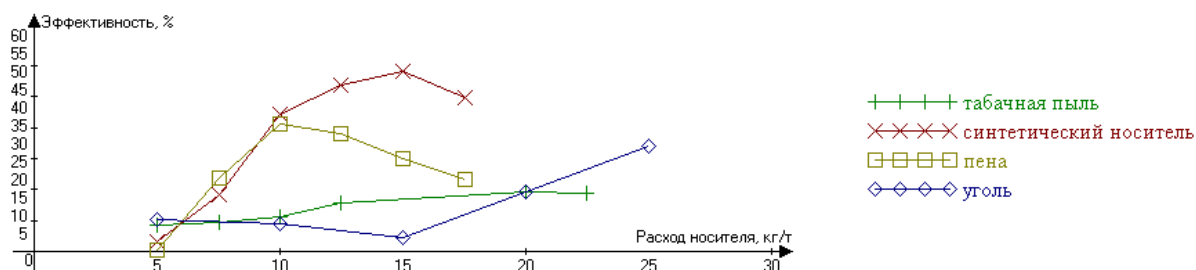


Рисунок 1 - Влияние расхода носителя на эффективность процесса агломерационной флокуляции

На данном этапе исследования были определены оптимальные точки расхода для каждого вида носителя. Так, лучший результат с углем был получен при его расходе 25 кг/т, с однокомпонентным пенополиуретановым герметиком - при расходе 10 кг/т, с синтетическим носителем - при расходе 15 кг/т, с табачной пылью - при расходе 20 кг/т.

Следующий этап исследований был направлен на подбор оптимального расхода аполярного масла. В исследованиях использовались ИМ-50 и трансформаторное масло. При этом эффективность для трансформаторного масла увеличилась на 5%.

Аполярные масла можно эффективно использовать только для природно-гидрофобных или искусственно гидрофобизированных минералах. Для тонкоизмельченных шламистых руд реагентами оптимального действия являются технические аполярные легкие масла плотностью 0,82-0,87 г/см³, которые обладают меньшей вязкостью. В связи с этим для дальнейшего изучения процесса агломерационной флокуляции был вместо ИМ-50 был использован другой аполярный собиратель – трансформаторное масло, обладающее меньшей плотностью и большей текучестью. С учетом оптимального расхода носителя, были проведены исследования по определению оптимального расхода аполярного масла для каждого типа носителя.

Зависимости влияния расхода аполярного собирателя на эффективность процесса, показаны на рисунке 2.

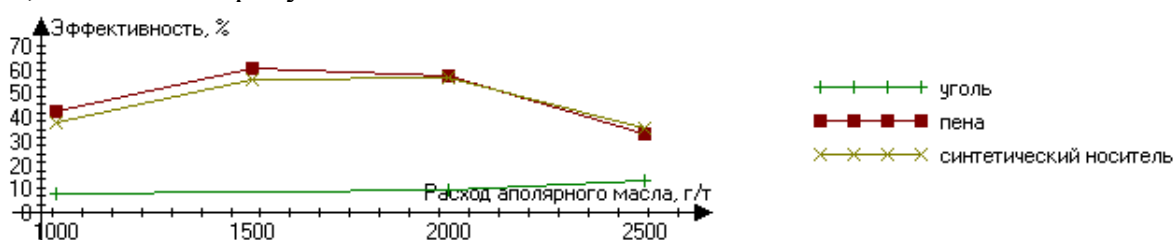


Рисунок 2 - Зависимость эффективности процесса от расхода аполярного масла

Изменение расхода аполярного масла с 1000 г/т до 2500 г/т приводит к изменению эффективности извлечения золота при использовании разных носителей от 7,66% до 60,76%. Из всех исследуемых носителей, худшие результаты получены при использовании угля. В гранулах низкая концентрации золота и выход концентрата составил 3,5-4,4%. Более высокие технологические показатели получены при использовании пены: степень концентрации составляет 7-11 при извлечении 49-67%. Следует отметить тенденцию, которая наблюдалась во всех опытах: с увеличением расхода масла увеличивается содержание металла в гранулах. При использовании пены и синтетического носителя получены близкие

технологические показатели, но синтетический носитель имеет ряд преимуществ перед пеной: возможность быстрой регенерации поверхности и многократность его использования.

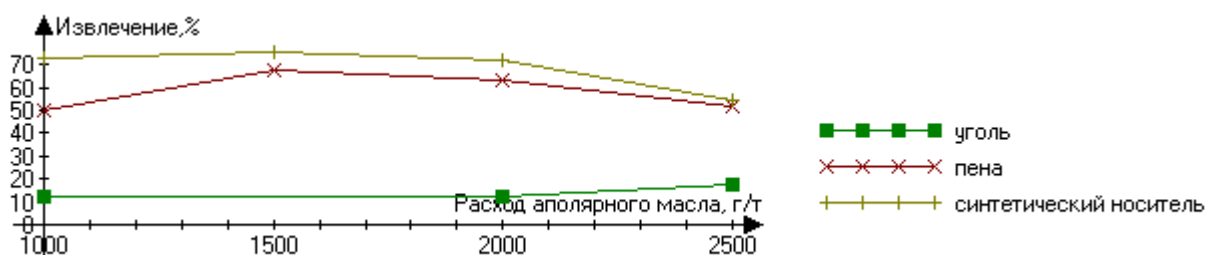


Рисунок 3 – Зависимость извлечения от расхода аполиярного масла

Максимальное значение извлечения (75,47%) и эффективности (55,48%) при использовании синтетического носителя соответствует расходу масла 1500-2000 г/т. При дальнейшем увеличении расхода масла эффективность процесса уменьшается. Это связано с тем, что происходит потеря металла с каплями масла, которые не удержались на носителе в турбулентных потоках при перемешивании.

Методика исследования износостойкости синтетического носителя заключалась в определении количества циклов, которые выдерживает синтетический носитель в процессе флокуляции пирротина. Для учета результатов были выбраны одинаковые кубики данного носителя, которые в дальнейшем изучались при многократном увеличении на оптическом оборудовании с целью определения количества пор. Количество пор считалось как среднеарифметическое. По полученным результатам была построена диаграмма износостойкости носителя.

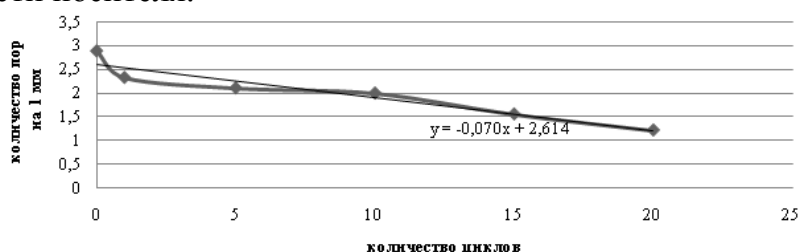


Рисунок 4– Диаграмма износостойкости синтетического носителя

Исследованиями показано (рисунок 4), что с увеличением количества циклов уменьшается количество пор на единицу площади. Это связано с тем, что происходит механический износ носителя, т.к. на него действуют абразивный материал, перемешивающее устройство, нагрузки при регенерации носителя. Зависимость технологических показателей процесса извлечения золота от числа циклов использования синтетического носителя представлена на рис 5.

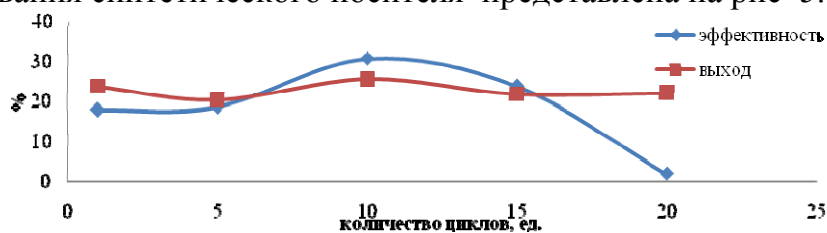


Рисунок 5 – Зависимость технологических показателей обогащения от количества циклов

Как видно, при повторном использовании носителя (до 20 циклов) выход концентрата практически не изменяется.

Увеличение циклов с 1 до 10 приводит к повышению эффективности на 13%. Поверхность носителя в этом случае ещё не изменилась, а остаточная концентрация аполярного масла способствует повышению эффективности процесса. При увеличении циклов использования носителя с 10 до 20 происходит уменьшение эффективности на 28,77%. Объяснить это можно изменением состояния поверхности носителя, которая определяет прочность закрепления аполярного масла, и в конечном счете устойчивость агломерата. Изменение состояния поверхности показано на рисунке 6.

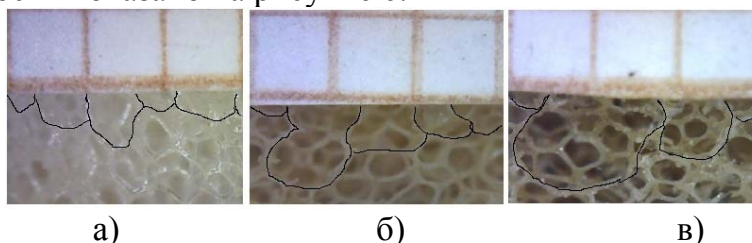


Рисунок 6 - Поверхность носителя а – 0 циклов, б – 10 циклов, в – 20 циклов
 Определено, что поверхность носителя изнашивается к двадцатому циклу. Размер пор сильно увеличивается, между порами нет четкой границы. Поры занимают более 50% от общей площади поверхности носителя.

В качестве синтетического носителя используется эластичный пенополиуретан с количеством ячеек на 1 мм² в среднем 5.

На основании результатов исследований можно утверждать, что оптимальным носителем в процессе извлечения золота, является синтетический, т.к. при его использовании в процессе агломерационной флокуляции достигаются высокие технологические показатели. Синтетический носитель выдерживает знакопеременные нагрузки, имеет развитую внешнюю поверхность, что дает возможность его регенерировать и использовать многократно.

Второе защищаемое положение:

Максимальная эффективность процесса агломерационной флокуляции достигается при его оптимизации на основе установленных зависимостей технологических показателей от расхода и соотношения собирателей, причем наибольшая эффективность достигается при соотношении: ксантогенат : ГФУ – 1:1; ксантогенат : ТАА – 1:3; ксантогенат : каптакс – 2:3

Для успешного ведения процесса агломерационной флокуляции зерна ценного компонента должны быть гидрофобные для последующего перехода их в гранулы. С целью усиления гидрофобных свойств минералов в процессе агломерационной флокуляции используется как основной (ксантогенат) так и дополнительный реагент-собиратель. В качестве сочетаний реагентов собирателей были испытаны: ксантогенат и каптакс, тиаоциалнилид (ТАА) и ксантогенат; ГФУ и ксантогенат.

В настоящее время отсутствуют комплексные исследования закономерностей соотношения доли ионогенного и неионогенного сульфгидрильных собирателей в сочетании с флотуируемостью минералов, их окисляемостью, образованием объемных и поверхностных соединений; нет полного представления о механизме взаимодействия с поверхностью минералов.

В работах О.С. Богданова, В.А. Конева, А.К. Поднека, В.И. Рябого, Н.А. Янис показано, что перспективным является ряд реагентов, в число которых входит тиаоциалнилид, содержащий в своем составе электроноакцепторные заместители.

Тиоациланилид прошел успешную опытно-промышленную проверку при флотации медно-молибденовых и свинцово-цинковых руд.

При применении сочетаний реагентов наблюдается синергетический эффект, т.е. смешивание двух заявляемых реагентов, приводит к взаимному усилению собирательных свойств. Бутиловый ксантогенат калия – классический реагент-собиратель для сульфидов и золота. Эффективным собирателем свободного тонкого золота и сульфидов с измененной поверхностью является реагент R-404 (меркаптобензотиазол) производства США. Отечественный аналог этого реагента – каптакс.

В исследованиях, выполненных на пробе ТП-1, было изучено влияние сочетания каптакса и ксантогената на эффективность процесса. Суммарный расход реагентов, подаваемых в процесс, составлял 150 г/т. Доля каптакса в сочетании-собирателях изменялась от 0 до 1.

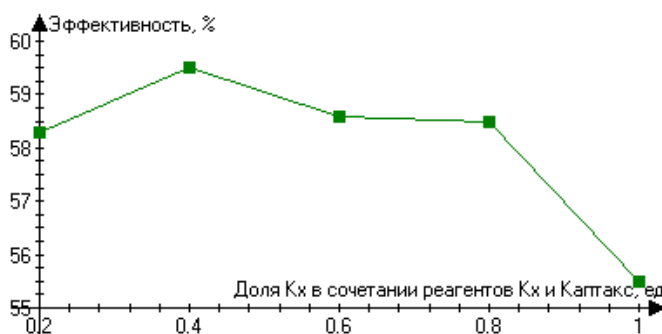


Рисунок 7 - Зависимость эффективности гидрофобизации поверхности от увеличения доли ксантогената в сочетании реагентов-собирателей (ксантогенат и каптакс)

Как видно из рисунка 7, при доле ксантогената 0,4 ед. наблюдается синергетический эффект сочетания каптакса и ксантогената и эффективность процесса увеличивается с 55,5% до 59,5%.

На рисунке 7 представлены результаты флокуляции при использовании ксантогената и тиоациланилида на хвостах Коммунарковского рудника.

Тиоациланилид был предложен в качестве реагента-собирателя сульфидов в свинцово-цинковой подотрасли цветной металлургии, а впоследствии, показал хорошие результаты при флотации золотосодержащих руд. Активная часть тиоациланилида – смесь тиоациланилидов валерьяновой, капроновой, энантовой и каприловой кислот. По внешнему виду тиоациланилид – вязкий маслообразный продукт темнокоричневого цвета с плотностью – $1,025 \text{ г/см}^3$, практически нерастворим в воде, ограниченно растворим в щелочных растворах. Реагент малотоксичен, ПДК в воздухе рабочих помещений – 25 мг/м^3 , в сточных водах – 1 мг/л .

При расходе ксантогената – 100 г/т, было достигнуто извлечение металла 60,83 %, эффективность составила 47,07 %.

Лучший результат при гидрофобизации сочетанием реагентов Ксантогенат (100 г/т) и ТАА (300 г/т), при этом извлечение золота в гранулы составляло 82,26 %, а содержание золота в гранулах 1,47 г/т.

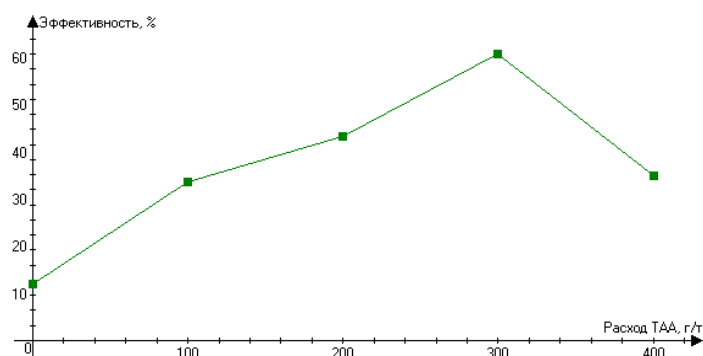


Рисунок 8 – Зависимость эффективности от расхода собирателя

Таким образом, при переработке хвостов рудника Коммунар наилучшим сочетанием реагентов-собирателей является сочетание ксантогенат бутиловый и ТАА 400 г/т в соотношении 1:3.

Рядом учёных (Белецкий В.С., Рашковский Г.Б., Елишевич А.Т., Q.Wu, A.J. Monhemius, R.J.Gochin) для селективной флокуляции предлагается использовать поверхностно-активные вещества (ПАВ). При исследованиях, выполненных на лежалых хвостах Артёмовской ЗИФ, дозировали в процесс полиакриламид (ПАА) и сочетание реагентов-собирателей. Расход флокулянта ПАА составлял -5г/т, а гидрофобизатора - 150 г/т. В качестве гидрофобизаторов поверхности использовали бутиловый ксантогенат индивидуально и в сочетании с ГФУ. Результаты исследований представлены в таблице 6. ГФУ - концентрат кетосульфидов. Характеристика образца следующая: жидкость темно-желтого цвета со специфическим запахом. Плотность -1,061 г/см³. Температура кипения 150-260°C. Средняя молекулярная масса 190. Содержание сульфидной серы 15,0 мас.%. Продукт термически стабилен до 150°C.

Таблица 5. Результаты исследований по гидрофобизации поверхности извлекаемых зерен

Продукты	Выход, %	Содержание Au, г/т	Извлечение Au, %	Примечание
Концентрат	4,7	4,8	9,9	98% класса -0,074 мм Без гидрофобизатора.
Хвосты	95,3	2,2	90,1	
Исходный	100,0	2,3	100,0	
Концентрат	16,7	10,6	77,2	80 % класса -0,074 мм, ксантогенат бутиловый
Хвосты	83,3	0,6	22,8	
Исходный	100,0	2,3	100,0	
Концентрат	10,4	18,0	81,4	80% класса -0,074 мм, ксантогенат бутиловый в сочетании с ГФУ в соотношении 1:1
Хвосты	89,6	0,5	18,6	
Исходный	100,0	2,3	100,0	
Концентрат	11,7	15,5	78,8	98 % класса -0,074 мм, ксантогенат бутиловый
Хвосты	88,3	0,6	21,2	
Исходный	100,0	2,3	100,0	
Концентрат	8,8	21,3	81,4	98 % класса -0,074 мм, ксантогенат бутиловый в сочетании с ГФУ в соотношении 1:1
Хвосты	91,2	0,5	18,6	
Исходный	100,0	2,3	100,0	

Как видно из таблицы 5, при отсутствии гидрофобизатора были получены наихудшие результаты - нет концентрации металла.

Улучшение качества концентрата без снижения извлечения наблюдается в случае использования сочетания реагентов-собирателей бутилового ксантогената и

кетосульфида ГФУ при общем их расходе 150 г/т, при степени измельчения исходной навески - 98 % класса минус 0,074 мм.

В результате исследований определено, что для каждого объекта необходим оптимальный реагентный режим. Для всех объектов целесообразно использовать сочетание собирателей.

Процесс агломерационной флокуляции реализовывался при следующих постоянных условиях: навеска крупностью 85% класса -0,074 мм, содержание твердого 50 %, частота вращения мешалки 1350 об/мин, время перемешивания 90 минут, температура 22 град. (комнатная), реагенты: сода 200 г/т, температура сушки полученных продуктов 100±10 град.

Таблица 6 – Результаты процесса агломерационной флокуляции на различном сырье

	Хвосты Коммунарской ЗИФ	Хвосты Артемовской ЗИФ	ТП-1	Текущие хвосты ЗИФ Советская	
				Хвосты флотации	Хвосты сорбции
Содержание в концентрате, г/т	6,99	21,3	5,93	1,57	5,25
Извлечение, %	74,7	81,4	77,9	67,08	71,7
Эффективность, %	71,86	72,6	59,5	54,68	55,87
Содержание в исходной пробе, г/т	0,3	2,3	1,4	0,29	1,16
Реагентный режим для гидрофобизации поверхности зерен	медный купорос 40 г/т; ксантогенат +ТАА 400 г/т (Кх100-г/т, ТАА-300 г/т)	медный купорос 40г/т; ксантогенат +ГФУ 150г/т, (при соотношении 1:1)	медный купорос 40г/т; ксантогенат +Каптакс 150 г/т,	медный купорос 40 г/т; ксантогенат +Каптакс 150 г/т, (доля Кх0,4)	медный купорос 100 г/т; ксантогена +Каптакс 150 г/т, (доля Кх0,4)

Процесс агломерационной флокуляции показал свою эффективность как на техногенном минеральном сырье, текущих хвостах ЗИФ, так и на убогой золотосодержащей руде (таблица 6).

В четвертой главе описана регрессионная модель процесса агломерационной флокуляции.

Третье защищаемое положение:

Математическая модель, описывающая зависимость эффективности процесса агломерационной флокуляции от параметров процесса.

Целью является разработка информационной системы, которая могла бы выдавать рекомендации по управлению технологическим процессом, с целью получения наилучшего результата (оптимизировать процесс агломерационной флокуляции).

Для достижения поставленной цели были экспериментально получены и использованы следующие параметры: содержание твердого, расход ксантогената, расход второго реагента-собирателя, расход синтетического носителя, температура процесса, время перемешивания, скорость перемешивания. Функцией отклика является эффективность процесса агломерационной флокуляции.

Для удобства обозначим через w_0 -содержание твердого, %; w_1 -расход ксантогената, г/т; w_2 -расход дополнительного реагента-гидрофобизатора, г/т; w_3 -расход синтетического носителя, кг/т; w_4 -температура процесса, C^0 ; w_5 -время перемешивания, мин; w_6 -скорость перемешивания, об/мин.

Уравнение представлено в виде множественной линейной регрессии:

$$Y = -5,156w_0 - 0,646w_1 + 6,188w_2 + 1,702w_3 + 3,834w_4 + 4,628w_5 + 5,401w_6$$

Регрессионная модель подвергалась следующим проверкам:

- Проверка статистической значимости коэффициентов уравнения регрессии;
- Проверка общего качества уравнения регрессии;
- Проверка предпосылок применения метода наименьших квадратов для множественной регрессии.

Все проверки модель прошла успешно. Каждый параметр значим.

В пятой главе представлена технология извлечения золота из техногенного минерального сырья и текущих хвостов ЗИФ с использованием процесса агломерационной флокуляции.

Данный процесс можно использовать для извлечения металлов из труднообогатимого и техногенного сырья, а также - для доизвлечения металла из текущих хвостов ЗИФ.

Экономическая целесообразность применения процесса агломерационной флокуляции определялась как для техногенного минерального сырья, так и для текущих хвостов ЗИФ.

Вложенные инвестиции окупаются уже на первом году использования данного процесса, как на техногенном минеральном сырье, так и на хвостах обогатительной фабрики.

Заключение

В диссертационной работе, на основании выполненных исследований, предложено новое решение актуальной научно-практической задачи по обоснованию применения комплекса технологических решений по извлечению золота при обогащении техногенного и убогого золотосодержащего сырья при использовании процесса агломерационной флокуляции. Основные научные и практические результаты работы выполненных исследований:

1. Изучен и проанализирован вещественный состав лежалых хвостов, полученных по гравитационно-гидрометаллургической и гравитационно-флотационной схемах на примере хвостов Коммунарской и Артемовской ЗИФ. Показано, что в данных пробах наиболее богаты классы – 0,074мм;
2. Исследован вещественный состав убогой по содержанию руды ТП-1 одного из месторождений Красноярского края и текущие хвосты ЗИФ «Советская»;
3. Разработана технология извлечения золота из золотосодержащего сырья, техногенного сырья, хвостов флотации ЗИФ, хвостов сорбции ЗИФ, на основе агломерационной флокуляции, включающей гидрофобизацию поверхности минералов сочетанием собирателей и последующую сорбцию ценного компонента на подготовленном синтетическом носителе;
4. Впервые предложен синтетический носитель в процессе агломерационной флокуляции. Показано, что при использовании синтетического носителя возможно получить высокие технологические показатели процесса агломерационной флокуляции. Установлено, что данный синтетический носитель возможно использовать многократно. Оптимальное количество циклов использования носителя без уменьшения технологических показателей – 15;
5. Разработана математическую модель, которая описывает эффективность процесса в зависимости от различных факторов;
6. Показана эффективность использования сочетаний реагентов ксантогенат-

каптакс, ксантогенат-ГФУ, ксантогенат-ТАА на различном сырье. Использование сочетания реагентов-собирателей ксантогенат и каптакс при гидрофобизации поверхности зерен ценного компонента пробы ТП-1 (доля ксантогената 0,4), обеспечивает повышение извлечения на 9%, а эффективности обогащения на 4%. Установлено, что использование в процессе сочетания реагентов Кх и ГФУ в количестве 150 г/т в соотношении 1:1 позволяет существенно улучшить технологические показатели обогащения. Лучший результат при гидрофобизации сочетанием реагентов Кх и ТАА получен при общем расходе 400 г/т, извлечение золота при этом составляло 82,26 %.

7. Определена эффективность процесса агломерационной флокуляции для природного и техногенного сырья. Из лежалых хвостов Коммунарской ЗИФ (содержание в исходной пробе – 0,3 г/т) был получен концентрат с содержанием ~7г/т при извлечении 74,7%. При обогащении хвостов Артемовской ЗИФ агломерационная флокуляция позволяет извлечь 81,4% металла, в продукт с содержанием золота 21,3 г/т. Исследования, выполненные в условиях ЗИФ «Советская» на текущих хвостах флотации и сорбции, показали, что в одну операцию из хвостов флотации с содержанием – 0,29 г/т возможно извлечь золото на 67,08%, а из хвостов сорбции с содержанием 1,16 г/т на 71,7 %. Обеспечены степени концентрации в обогащённых продуктах ~5. При обогащении пробы руды ТП-1 (содержание в исходной пробе – 1,4 г/т) процесс агломерационной флокуляции обеспечил степень концентрации ~ 4 , извлечение – 77,9%, эффективность процесса – 59,5%.
8. Показана экономическая эффективность процесса агломерационной флокуляции применительно к лежалым и текущим хвостам ЗИФ. Определено, что вложенные средства окупаются уже на первом году.

Список опубликованных работ по теме диссертации

В изданиях аннотированных ВАК РФ:

1. Алгебраистова Н.К., Макшанин А.В. Извлечение золота из труднообогатимой руды с использованием метода агломерационной флокуляции //Горный информационно-аналитический бюллетень, 2011, №3, - С.216-221
2. Алгебраистова Н.К., Макшанин А.В. Агломерационная флокуляция как способ извлечения золота из техногенных месторождений // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 3 (2011 4) – С.283-295
3. Алгебраистова Н.К., Гроо Е.А., Макшанин А.В., Гольсман Д.А., Ананенко К.Е. Технологическая оценка обогатимости убогой золото-кварцевой руды флотационным методом // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2011, №4, - С.223-228

В прочих изданиях:

4. Макшанин А.В., Алгебраистова Н.К., Губина Е.А., Агломерационная флокуляция как способ повышения извлечения золота из техногенного сырья // Сб. мат. VII Конгресса обогатителей стран СНГ, Москва, 2009 - С.24;
5. Алгебраистова Н.К., Бажитов А.В., А.В. Макшанин. Исследование процесса агломерационной флокуляции для золотосодержащего сырья // Сб. трудов

- XIV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 65-летию Победы советского народа над фашистской Германией в Великой Отечественной войне 1941-1945гг./ Издательство Томского политехнического университета. 2010 - С.463-465;
6. Алгебраистова Н.К., Макшанин А.В. Многократное использование пенополиуретана в процессе агломерационной флокуляции // Сб. мат. VIII Конгресса обогатителей стран СНГ, г.Москва, 28 февраля – 02 марта 2011г.Т1.Раздел «Технологии и аппараты гидрометаллургической переработки минерального сырья» - С. 79-81;
 7. Алгебраистова Н.К., Михеев В.Г., Гроо Е.А., Макшанин А.В. Изучение вещественного состава и обогатимости малосульфидной золото-кварцевой руды // Сб.мат.VIII Конгресса обогатителей стран СНГ, г.Москва, 28 февраля - 02 марта 2011г.Т1.Раздел «Комбинированные технологии переработки минерального сырья» - С.201-203;
 8. А.В. Макшанин, Н.К. Алгебраистова О способе повышения эффективности извлечения золота на основе агломерационной флокуляции // Сб. мат. Международного совещания «Научные основы и современные процессы комплексной переработки труднообогатимого минерального сырья Плаксинские чтения-2010», г. Казань, 13-18 сентября 2010г. - С.242-246;
 9. Алгебраистова Н.К., Макшанин А.В. Способ повышения эффективности извлечения золота // Сб. мат. Второго международного конгресса «Цветные металлы-2010», г.Красноярск. Раздел I «Геология месторождений и рациональное использование минеральных ресурсов» - С.66-67.

Макшанин Андрей Владимирович

Повышение эффективности извлечения золота из техногенного минерального сырья на основе агломерационной флокуляции

Автореф. дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Подписано в печать __.__.2012. Заказ № _____

Формат 60x90/__. Усл. Печ.л.1. Тираж ____ экз.

Типография _____