Открытое акционерное общество

ИРКУТСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

БЛАГОРОДНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ И АЛМАЗОВ

ОАО «ИРГИРЕДМЕТ»

На правах рукописи

042011 51341 Бывальцев Александр Владимирович

ОПТИМИЗАЦИЯ УГОЛЬНО-СОРБЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА

Специальность 05.16.02 - Металлургия чёрных, цветных и редких металлов

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

Лауреат премии Правительства РФ, доктор технических наук Войлошников Г.И.

Иркутск 2010

2

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Стр

ВВЕДЕНИЕ 5

1. АНАЛИЗ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ СОРБЦИОННОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ АКТИВНЫМИ УГЛЯМИ 10

1.1. Строение активных углей 10

1.2. Физико-химические аспекты процессов сорбции благородных металлов активными углями 12

1.3. Промышленная практика применения активных углей для извлечения благородных металлов из руд и концентратов 21

1.3.1. Методы сорбции 22

1.3.2. Методы десорбции 26

1.3.3. Математическое моделирование CIP и CIL процессов 29

1.3.4. Методики оценки технологических свойств активных углей 31

1.4. Выводы 31

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ УГОЛЬНО¬СОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ 34

2.1. Методика исследований 34

2.2. Изучение равновесных характеристик сорбции цианидных комплексов металлов активными углями 37

2.2.1. Сорбция из монокомпонентных растворов 38

2.2.2. Сорбция из поликомпонентных растворов 43

2.2.2.1. Усовершенствование процесса угольно¬сорбционного извлечения золота 46

2.2.3. Влияние температуры. Теплоты сорбции 48

2.2.4. Выводы 49

з

2.3. Исследование кинетики сорбции цианидного комплекса

золота активным углем 51

2.3.1. Влияние гранулометрического состава угля 51

2.3.2. Влияние реологических свойств пульпы 55

2.3.3. Выводы 58

2.4. Исследование процессов сорбции благородных металлов активными углями из нецианидных растворов и десорбции золота

из насыщенного угля 59

2.4.1. Сорбция золота из хлорид-гипохлоритных растворов 60

2.4.2. Сорбция золота из бром-бромидных растворов 62

2.4.3. Сорбция золота и серебра из тиокарбамидных растворов 63

2.4.4. Десорбция золота из угля, насыщенного в галогенидных

и тиокарбамидных растворах 65

2.4.5. Выводы 69

2.5. Изучение технологических свойств активных углей 70

2.5.1. Результаты тестирования различных марок 70

2.5.2. Влияние параметров пористой структуры активных

углей на их технологические свойства 71

2.5.3. Выводы 73

3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТИВОТОЧНЫХ СОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА 74

3.1. Алгоритм модели и исходные данные для моделирования 74

3.2. Расчет и оптимизация процессов «уголь в пульпе» 79

3.3. Выводы 87

4. РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ УГОЛЬНО-СОРБЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ 89

4.1. Руда месторождения «Маминское» 90

4.2. Руда месторождения «Пионерное» 93

4

4.3. Руда месторождения «Верхне-Алиинское» 96

4.4. Оборотный раствор хвостохранилища ЗИФ 101

4.5. Выводы 105

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 106

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 111

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТА ИОННЫХ РАВНОВЕСИЙ В СИСТЕМАХ «МЕТАЛЛ-СВОБОДНЫЙ

ЦИАНИД» 126

ПРИЛОЖЕНИЕ 2. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ИСПОЛЬЗОВАННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА 130

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. АКТ ОПРОБОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ ЗИФ ЗАО

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СорбционнаятехнологияпереработкизолотосодержащегосырьясиспользованиемактивныхуглейявляетсясовременнымспособомизвлечениязолотаиимеетширокоераспространениевмиреЭтомувопросупосвященымногочисленныепубликацииоднаконевсевопросыостаютсяосвещеннымиВсвязисэтимвсоставедиссертационнойработывыполненыследующиеисследования

 Систематическоеизучениезакономерностейсорбциицианидныхкомплексовблагородныхинеблагородныхметалловвыдачарекомендацийпоповышениюизвлечениязолотанаоснованиирезультатовисследований

 Изучениеосновныхзакономерностейсорбциизолотаизнецианидныхрастворовивозможностидесорбциизолотаизнасыщенногоугля

 Поискмарокактивныхуглейотвечающихтребованиямпроцессовизвлеченияблагородныхметалловизрастворовипульпиизучениеихтехнологическихсвойств

 Созданиематематическоймоделипротивоточныхсорбционныхпроцессовиспользующейвкачествеисходныхданныхрезультатылабораторнойстадиитехнологическихисследованийкотораяпозволитрешитьпроблемуоптимизациитехнологическихпараметровнастадииразработкитехнологииипроектированияпредприятий

 Разработкаииспытаниеугольносорбционнойтехнологииизвлеченияблагородныхметалловдляпроектируемыхидействующихпредприятий

Основныенаучныеипрактическиерезультатыдиссертационнойработысостоятвследующем

 ИсследованасорбцияцианидныхкомплексовСиСоактивнымиуглямиПолученыизотермысорбциившироком



 

диапазонеконцентрацииметалловисвободногоцианидаОпределеныкоэффициентыуравненияизотермыУстановленочторостконцентрацииоказываетотрицательноевлияниенасорбциюсеребрамедиртутицинкаикадмияинеоказываетсущественноговлияниянасорбциюзолотаВеличинасорбцииметаллаявляетсяфункциейкоординационногочислакомплексаВусловияхпроведенныхэкспериментовнеобнаруженосорбциижелезаикобальтаОтмеченочтонаиболееселективносорбируютсякомплексыскоординационнымчисломиимеющиелинейнуюструктурутакиекак

 Полученырядыселективностисорбцииметалловприварьированииконцентрации

СиприммольлСиприммольлСиприммольл

Рядыселективностипровереныэкспериментальнопутемсорбцииизрастворовсодержащихвсеуказанныеметаллывравномольныхконцентрациях

 Наоснованииполученныхрезультатовзапатентованспособпереработкизолотомедистыхрудметодомкучноговыщелачиванияспоследующимизвлечениемзолотаизрастворанаугольпозволяющийминимизироватьсорбциюмедиактивнымуглемпутёмпереносаточкиподачицианиданатрия

Изученовлияниетемпературынаравновесныехарактеристики



сорбциицианидныхкомплексовртутимедицинкаиникеляВыявленоотрицательноевлияниетемпературывдиапазоне°СнасорбциюуказанныхметалловИзостерическиетеплотысорбциидляуказанныхметалловнепревышаюткДжмоль

 Изученовлияниекрупностичастицактивногоуглянаравновесныехарактеристикисорбциицианидногокомплексазолота





ПоказаночтоприсущественномуменьшениисреднегоразмерачастицугляотдоммегоравновесныесорбционныехарактеристикиповысилисьнеболеечемнаПриуменьшениюсреднегоразмерачастицсммдоммконстантаскоростисорбциизолотасущественновозрастаетсдочВначальныйпериодвременилимитирующейстадиейпроцессасорбцииявляетсяпленочнаяилисмешаннаядиффузияНаоснованииполученныхданныхразработанаметодикаопределенияизотермсорбцииотличающаясяпредварительнымизмельчениемуглядокрупностиммипозволяющаясократитьпродолжительностьопытаснесколькихсутокдонесколькихчасов

 ПроведеныэкспериментыпоопределениювлияниямассовойдолиглинистогоипесковогоматериаловвпульпенакинетикусорбциизолотаПоказаночтоприпереходеотчистогорастворакпульпессодержаниемглинистогоматериалаконстантаскоростисорбциизолотаснижаетсявразадляпесковогоматериаланаблюдаетсяснижениевраза

 ПодтвержденнеобратимыйхарактерхемосорбциихлоридныхибромидныхкомплексовзолотасобразованиемнаповерхностиугляпленокметаллаПридостаточнойдлительностипроцессазолотопрактическиполностьюизвлекаетсяизраствораиможетбытьдостигнутадостаточновысокаяёмкостьсорбентаПодтвержденоотрицательноевоздействиеактивногохлораиактивногоброманакинетикусорбциизолотарастворанеоказываетсущественноговлияния

 ПодтвержденочтоприсорбциизолотаизтиокарбамидныхрастворовнепроисходитеговосстановлениядометаллическогосостоянияВыявленорезкоотрицательноевлияниетиокарбамиданасорбциюзолотаисеребравлекущееснижениекоэффициентараспределенияблагородныхметалловвдесяткиразТакжеотрицательноевлияниенасорбциютиокарбамидныхкомплексовоказываеттемпературачтоиспользованокакфакторсмещенияравновесиявпроцесседесорбциизолотаизнасыщенногоугля





 ДляэлюированиязолотаизуглянасыщенноговгалогенидныхрастворахмогутбытьиспользованырастворыцианиданатриятиосульфатанатрияиацетонитрилаВовсехслучаяхполученаотносительновысокаяостаточнаяёмкостьугляпогзолотуоднаконеснижающаяпоказателидальнейшегосорбционногоизвлечениязолотаизрастворовДесорбциязолотаизуглянасыщенноговтиокарбамидномраствореможетбытьэффективноосуществленащелочноцианиднымирастворамивавтоклавепритемпературе°СПриэтомдостигнутавысокаястепеньизвлечениязолотаболее

 РядмарокактивныхуглейпротестированнавозможностьприменениявпромышленныхпроцессахизвлечениязолотаизцианидныхрастворовипульпМаркиРНОРНОВСКВСКВСКВСКВСКССобладаютудовлетворительнымипоказателямипомеханическойпрочностинаистираниеболееисорбционнойактивностипозолотуимогутбытьрекомендованыдляизвлечениязолотаизрастворовипульпМаркиМС№такжеобладаютудовлетворительнымисорбционнымисвойствамипозолотунонизкоймеханическойпрочностьюимогутбытьрекомендованытолькодляпроцессовизвлечениязолотаизрастворов

 ИсследовановлияниепористойструктурыактивныхуглейполученныхизскорлупыкокосовыхореховнаихтехнологическиесвойстваУстановленочтоувеличениеобщегообъемапорвдиапазонесмгприводиткснижениюмеханическойпрочностиуглясдоипрактическинеоказываетвлияниянаравновесныеикинетическиепоказателисорбционногоизвлечениязолотаУстановленочтокорреляциямеждуактивностьюпойодуилиметиленовомуголубомуиактивностьюпозолотуотсутствуетиэтипоказателинемогутбытьиспользованыдляоценкитехнологическихсвойствактивныхуглей



 по

используемыхдляизвлечениязолотаВдальнейшемнеобходимоисследоватьобразцыуглейсменьшейстепеньюактивации

 Разработана математическаямодельописывающаяпротивоточныйсорбционныйпроцессизвлечениязолотаизпульпотличающаясятемчтовкачествеисходныхданныхиспользуютсярезультатыстандартныхлабораторныхиспытанийпоцианированиюдополненныерезультатамитестовпоизотермеикинетикесорбциизолотаизпроцианированнойпульпыРаботоспособностьмоделибылапроверенанатрёхпродуктахпланируемыхкпереработкепотехнологииугольвпульпеПроведеныполупромышленныеиспытаниямоделируемыхпроцессовкоторыеслужилиоценкойадекватностимоделиСреднеквадратичноеотклонениерасчетныхданныхотфактическихдляразличныхпродуктовсоставилоРасчитаныосновныепоказателиодногоизпроцессовприварьированииегорежимныхусловийпозволяющиепровеститехникоэкономическиерассчетыиопределитьоптимальныетехнологическиепараметрыпроцесса

 ПроведенылабораторныеиполупромышленныеисследованияпоизвлечениюблагородныхметалловизчетырехтиповзолотосодержащегосырьяаименнобеднойзолотокварцевойрудыхвостовгравитациипервичнойзолотосеребрянойрудыконцентратаобогащенияумеренносульфиднойрудыатакжеоборотногорастворахвостохранилищаДляизвлеченияблагородныхметалловизуказанныхобъектовпредложеноиспользоватьсорбционныеметодысиспользованиемактивногоугляпроцессугольвпульпедлязолоторудныхматериаловипроцессугольвколоннах—дляоборотногорастворахвостохранилищаРазработанытехнологииизвлеченияблагородныхметалловизуказанныхобъектовРезультатыполупромышленныхиспытанийиспользованыдляразработкитехнологическихрегламентовдляпроектированиязолотоизвлекательныхпредприятийустановок