

Аннотация проекта (ПНИЭР), выполняемого в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014 – 2020 годы»

Номер соглашения о предоставлении субсидии (государственного контракта)
14.577.21.0142

Название проекта

Исследование и разработка техники и технологии добычи руд из специально сгруппированных территориально сближенных малообъемных месторождений золота при нерентабельной индивидуальной их отработке

Тематическое направление

Рациональное природопользование

Исполнитель

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)"

Цели и задачи исследования

В России истощение сырьевой базы эксплуатируемых крупных месторождений золота и неопределенные перспективы открытия новых золоторудных провинций и крупных месторождений золота повышают роль малых месторождений. Их совокупные балансовые запасы, нераспределенные между недропользователями, оцениваются в треть балансовых запасов золота. Именно небольшие по запасам месторождения, в том числе техногенного происхождения, играют важную роль в звене «спрос-предложение», обладают свойствами инвестиционного товара.

Целью проекта является повышение экономической эффективности освоения минерально-сырьевой базы золота на основе разработки организационно-экономического подхода и технологических решений получения малыми горными предприятиями высоколиквидной товарной продукции применением новых процессов физико-химической и физико-механической технологии.

Поставленная цель достигнута на основе решения следующих задач: 1. разработки методического подхода к формированию группы золотосодержащих георесурсов, потенциально пригодной для совместного экономически эффективного освоения малыми горными предприятиями; 2. разработки новых процессов физико-химической и физико-механической технологии для создания производства на основе мобильных комплексов переработки золотосодержащего сырья на месте с получением слитков лигатурного золота; 3. экономической оценки результатов деятельности малых горных производств на месторождениях с небольшими запасами золота с динамикой денежных потоков предприятия для различных норм дисконта.

Актуальность и новизна исследования

Решение задачи вовлечения в хозяйственный оборот нераспределенных среди недропользователей малообъемных георесурсов позволит получить прирост добычи золота в ближайшие 10-20 лет на 20-30 т ежегодно, пополнить бюджеты разного уровня платежами от лицензирования недр и от налогообложения производственной деятельности. Причем потери золота на 20 % меньше при условии получения слитков лигатурного золота на месте, что повышает рентабельность производства.

Новизна подхода заключается в том, что из георесурсов создают кластер и для повышения извлечения "физически" упорных форм золота руды и россыпи совместно обогащают способом аэрозольной флотации. Ее закономерности интерпретированы с привлечением положений теории ДЛФО при условии учета "не-ДЛФО"-сил. Механизм "не-ДЛФО"-взаимодействий разработан с учетом нахождения поверхностей в состоянии Касси и Венцеля, поверхностных силах отталкивания и притяжения. Показано, что взаимодействие частиц отличается на поправку, по смыслу близкую к параметру уравнения структурной составляющей расклинивающего давления Дерягина. "Химически" упорные формы золота впервые извлекают вакуум-термическим вскрытием парами цинка. Механизм дезинтеграции вскрытого материала заключается в том, что в условиях всестороннего неравнокомпонентного сжатия агрегаты разрушаются сдвиговыми (касательными) напряжениями, причиной которых являются нормальные напряжения. Продукт для плавки выделяют сепарацией в бинарной среде разделения из несмешивающихся магнитных жидкостей, когда закреплению малых частиц на поверхности раздела препятствуют силовой и энергетические барьеры, вызванные действием линейного натяжения на периметре смачивания.

Описание исследования

Основным сдерживающим фактором освоения небольших месторождений является недостаточное количество производимого золота для окупаемости капитальных вложений и эксплуатационных затрат.

В проекте решение указанной проблемы достигается за счет увеличения производственной мощности предприятия путем объединения запасов месторождений в группу для совместной эксплуатации.

Показано, что при объединении запасов равенство содержаний золота не эквивалентно их обогатимости - способности к разделению, что может привести к росту потерь золота при переработке запасов. Суммарные запасы должны характеризоваться энтропией, связанной с неоднородностью свойств разделения. На этом научном положении в проекте основаны: 1) принцип объединения в группу запасов; 2) метод построения схем обогащения.

Качество суммарных запасов предложено оценивать по критерию, рассчитываемому как произведение извлекаемой ценности запасов на коэффициент разделения Годэна. Первый множитель дает экономическую оценку запасов, а второй характеризует их обогатимость. Включение запасов месторождения в группу для совместной эксплуатации считается оправданным, если прирост суммарных запасов опережает снижение величины разработанного критерия.

Увеличение производительности предприятия, совместное использование промышленной инфраструктуры, топливно-энергетической базы, транспортных коммуникаций, ремонтных служб, жилых поселков, линий электропередач, а при последовательном вовлечении запасов в освоение, и основного горнотранспортного оборудования приводит к сокращению удельных капитальных, эксплуатационных и организационных затрат: затраты на освоение запасов в группе рассматриваются, как если бы они производились для разработки участков одного большого месторождения.

При переработке небольших запасов малые сроки эксплуатации предприятий значительно повышают долю капитальных затрат в структуре

себестоимости производства продукции. В проекте низкий объем инвестиций при коротком периоде окупаемости и быстром сроке ввода в эксплуатацию предприятия достигается за счет использования сборно-разборных (мобильных) обогатительных комплексов без капитальных фундаментов со всеми необходимыми технологическими процессами.

При сдаче на аффинаж концентратов золотодобывающее предприятие теряет до 20 % химически чистого золота. Доведение технологической цепочки до получения металла повышает экономическую эффективность предприятия в 6-8 раз. Однако извлечение золота из отходов россыпной золотодобычи в продукт, пригодный для плавки, делает производство низкорентабельным и часто убыточным.

В проекте для повышения экономической эффективности производства осуществляют совместную переработку отходов россыпной золотодобычи и первичных руд способом флотации в соответствии с **патентом "Способ флотации"**. От известных способ флотации отличается тем, что в аппарате колонного типа в качестве газовой фазы используют смесь воздуха с горячим водяным паром - аэрозоль. Таким образом, с применением мобильного комплекса на основе техники и технологии гравитационного обогащения из отходов переработки россыпей получают концентрат - серые шлихи, которые совместно с первичной рудой перерабатывают на стационарной ЗИФ, оснащенной гравитационно-флотационной технологией. Отличительной особенностью схемы ЗИФ является струйное противоточное движение продуктов. Применение аэрозольной колонной флотации в схеме со струйным противоточным движением продуктов обеспечивает рост извлечения золота при снижении выхода концентрата на 25 %.

Для получения продукта, пригодного для плавки на лигатурное золото, разработан способ магнитожидкостной сепарации в виде послед. выполняемых процессов: "вакуум-термическое вскрытие концентратов газообразным цинком→центробежная дезинтеграция продукта вскрытия→сепарация в магнитной жидкости". Разработанным способом золото вскрывают за счет объединения микроканалов в магистральную макротрещину при возникновении термомех. напряжений на границах срастания компонентов с различными механическими, тепло- и электрофизическими свойствами под действием теплоты конденсации паров цинка. Дезинтеграцию продукта вскрытия осуществ. в аппарате, в котором при передаче норм. напряжений от фрагмента к фрагменту слоя полидисперсность частиц является причиной появления разрушающих касательных напряжений. В разработанном способе магнитожидкостной сепарации полнота извлечения золота выше за счет использования эффекта увеличения гидродинам. сопротивления при движении частицы в несмешивающихся разноплотных магнитных жидкостях.

Результаты исследования

Экономически эффективное освоение группы небольших по запасам золота георесурсов обосновано разработкой: 1. организационно-экономического подхода к переработке сырья, в том числе техногенного; 2. методики и критерия

выбора потенциально пригодных для освоения объектов; 3. эффективных вариантов группового освоения нескольких конкретных месторождений.

Создана материально-техническая база для исследования механизма разработанного способа флотации: 1. прибор для исследования агрегативной устойчивости дисперсий методом седиментоволюметрии и методика расчета сил в контактах между частицами; 2. прибор для измерения кинетики прорыва симметричных и смачивающих пленок; 3. способ и прибор для измерения размера пузырьков аэрозоля. Получены новые данные о механизме аэрозольной флотации: 1. выявлено, что особые свойства жидкости в слое между гидрофобными поверхностями связаны с газовыми полостями нано- и субмикронного размера; 2. дана методика расчета длины гидрофобного проскальзывания жидкости по гидрофобной поверхности; 3. показано, что выражения для сопротивления сближению гидрофобных и гидрофильных тел отличаются на поправку на скольжение. Экспериментально доказано, что применение технологии на основе способа аэрозольной колонной флотации позволяет уменьшить выход концентрата на 25-27 % отн. без снижения извлечения золота, что превышает показатели мировых конкурентов.

Механизм вскрытия золота парами цинка заключается в: 1. сублимации сульфидов свинца, цинка, мышьяка и сурьмы; 2. разрушения минерала-носителя за счет объединения микроканалов в магистральную макротрещину при возникновении термомеханических напряжений на границах срастания компонентов с различными физическими свойствами под действием теплоты конденсации паров цинка; 3. термической диссоциации пирита до магнитного пирротина. Вскрывать золотосодержащие матрицы парами цинка предложено впервые, способ превосходит по производительности мировой аналог - вскрытие твердых сплавов в жидком цинке - в 2-5 раза.

Механизм дезинтеграции в рабочей зоне разработанного аппарата заключается в разрушении агрегатов селективно действующими касательными напряжениями, причиной которых является давление, вызванное градиентом нормальных напряжений.

Рассмотрено влияние линейного натяжения трехфазного контакта на процесс магнитожидкостной сепарации, которым должно быть дополнено условие равновесия частицы на плоской поверхности, записанное согласно закону Юнга и правилу Неймана. Разработаны положения теории избыточной поверхностной энтропии и энергии для бинарной системы магнитных жидкостей. Получены выражения, которые допускают интерпретацию в терминах структуры межфазной поверхности, градиентов концентраций и молекулярных сил. Способ магнитожидкостной сепарации позволяет понизить границу разделения по золоту с 57 до 27 мкм и для шлиховых минералов с 80 до 40 мкм без снижения производительности процесса, что лучше мировых достижений.

Достоверность полученных результатов подтверждается удовлетворительной сходимостью теоретических выводов с данными исследовательских испытаний экспериментального образца установки на их основе, достаточной воспроизводимостью экспериментов. При испытаниях установки с производительностью 5 кг/ч извлечение золота в слиток составило

более 85 %, что соответствует лучшим мировым показателям, полученным при переработке аналогичных руд.

Практическая значимость исследования

Вовлечение в хозяйственный оборот малых месторождений на основе разработанного экономико-технологического подхода только на Северо-востоке РФ могло бы повысить доступность и реализовать сырьевой и экономический потенциал более 100 малых золоторудных участков с суммарными балансовыми запасами золота на них свыше 1,2 тыс. т.

Достигнутые результаты имеют спрос на конкретных объектах, т.к. технологические показатели переработки золотосодержащих георесурсов получены в результате исследования на обогатимость композитной пробы золотосодержащих руд Петиникан-Бастахской площади Яно-Колымской золоторудной провинции и на пробе техногенной россыпи Западная (с применением методов математического планирования экспериментов и оптимизации регрессионных моделей, методов математико-статистической обработки результатов опытов). Применительно к технологическим и инфраструктурным условиям Петиникан-Бастахской площади разработаны схема вскрытия и отработки месторождений. Исследовательские испытания выполнены по стандартной методике по классической и разработанной авторами технологии, составлены балансы золота по операциям. Получены убедительные экспериментальные доказательства высокой технологической эффективности разработанной технологии.

Выполнено моделирование (на основе метода дисконтирования расходов и доходов) освоения (индивидуального и группового) месторождений мобильными обогатительными комплексами с переработкой концентратов на золотоизвлекательной фабрике по гравитационно-флотационной технологии. Показано, что при увеличении эксплуатационных транспортных расходов в 3 раза рентабельность проектов уменьшается на 5-10 %. Следовательно, ЗИФ следует размещать вблизи рудника с наибольшей извлекаемой ценностью запасов золота с учетом складирования отходов в выработанное горное пространство. При групповой эксплуатации запасов общая рентабельность с получением суммарного экономического эффекта становится положительной в результате экономии инвестиций для строительства единой для группы стационарной ЗИФ, снижения общих эксплуатационных и организационных расходов. Количество произведенного в группе золота обеспечивает возврат капитальных вложений в приемлемые для инвестора сроки.