

ЗАЛЕВСКАЯ КАРОЛИНА НИКОЛАЕВНА

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ И ПАРАМЕТРОВ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

Специальность 25.00.22 – «Геотехнология (подземная, открытая и строительная)»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук в Отделе теории проектирования освоения недр.

Научный руководитель:

Радченко Дмитрий Николаевич — доцент, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Отдела теории проектирования освоения недр ИПКОН РАН, г. Москва.

Официальные оппоненты:

Гавришев Сергей Евгеньевич – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой Разработки месторождений полезных ископаемых Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Швабенланд Елена Егоровна — кандидат технических наук, заведующий Сектором цветных, редких и благородных металлов отдела методических основ оценки проектной и технической документации на разработку месторождений твердых полезных ископаемых Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского», г. Москва.

Ведущая организация:

Автореферат разослан «

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.

Защита диссертации состоится «28» сентября 2022 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 002.074.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН) по адресу: 111020, Москва, Крюковский тупик, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ИПКОН РАН: http://ипконран.pdp.

2022 г.

Ученный секретарь	
диссертационного совета	
доктор технических наук	В.С. Федотенко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Одной из причин неблагоприятной экологической обстановки в Южноуральском регионе являются потенциально опасные лежалые отходы переработки золотоносных и золото-мышьяковистых руд предприятий. Большинство отходов золотоизвлекательных фабрик и обжиговых мышьяковистых заводов Урала транспортировались в хранилища в практически сухом состоянии (процент жидкой фазы не превышал 15%), отходы накапливались десятки и сотни лет и со временем высыхали, слеживались под действием остаточной влаги, представляя собой переуплотненную тонкодисперсную массу. Поэтому в настоящее время такие отвалы, представленные отходами цианирования, огарками, хвостами флотации и амальгамации, представляют собой складированные на поверхности сухие насыпи и оказывают негативное воздействие на окружающую среду. Расположение техногенных образований в городской черте (г. Пласт, Южный Урал) обуславливает необходимость поиска новых решений по утилизации подобных экологически опасных объектов.

При многолетнем хранении отходов переработки золотопромышленного комплекса происходит перераспределение элементов в техногенном образовании с формированием более богатых продуктивных участков, скрытых высокообводненных, либо высокотоксичных зон, которые необходимо локализовать в ходе очистной выемки. Отсутствие конкретной геологической информации о типе руд, перерабатываемых за время вековой эксплуатации хвостохранилищ, объемах и схеме складирования или намыва отходов также является сдерживающим фактором для вовлечения техногенного сырья в переработку с последующей безопасной утилизацией и рекультивацией территории. Поэтому актуальным является вопрос поиска новых подходов к выбору технологии рационального освоения техногенных образований с возможностью своевременного обнаружения обводненных участков, зон с повышенным содержанием благородных металлов и/или токсичных элементов для их своевременной локализации и извлечения.

Цель исследования заключается в обосновании параметров рациональной технологии разработки неоднородных по составу, структуре и свойствам техногенных образований, представленных лежалыми отходами переработки золотосодержащих руд, для повышения полноты освоения техногенных ресурсов и решения эколого-социальных проблем золотодобывающих регионов.

Идея работы состоит в том, что обоснование способа и параметров технологии разработки техногенных образований должно базироваться на опережающей по мере отработки участка хвостохранилища оценке свойств и структуры отвала с уточнением сведений о локализации в нем обогащенных, обвод-

ненных и потенциально опасных зон (ртуть-, циан- и мышьяксодержащих) для районирования техногенного объекта по условиям выбора его эффективного экологически сбалансированного освоения.

Задачи исследования:

- анализ современных средств и методов оценки вещественного состава, строения, структуры техногенных образований как основы для обоснования геотехнологии их эффективного освоения;
- разработка методики комплексного обследования техногенных образований прошлых лет, обеспечивающей получение уточненных сведений о структуре, строении и составе зон минерализации с возможностью построения блочных моделей;
- исследование закономерностей строения, состава и свойств техногенного сырья в толще хвостохранилища, определяющих выбор приоритетного порядка и параметров выемки складированных отходов для их безопасной утилизации с последующей рекультивацией нарушенной территории;
- обоснование параметров геотехнологии разработки техногенных образований, определяющих выбор приоритетного направления ведения открытых горных работ и этапы отработки техногенного объекта;
- разработка рекомендаций по эффективной отработке золотосодержащих хранилищ отходов переработки руд и их технико-экономическая оценка.

Объектом исследования являются техногенные образования, сложенные отходами переработки золотоносных и золото-мышьяковистых руд.

Предмет исследования — закономерности распределения неравномерной структуры и свойств сырья техногенных образований, оказывающие определяющее влияние на выбор технологии их открытой разработки для повышения полноты освоения техногенных минеральных ресурсов и решения экологосоциальных проблем золотопромышленных регионов.

Положения, выносимые на защиту:

- 1. Экологически сбалансированное и безопасное освоение техногенных образований золотодобычи, сложенных неоднородными участками обогащенными благородными металлами, опасными обводненными зонами, либо с локализацией токсичных элементов, базируется на опережающей по мере продвижения очистных работ экспресс-оценке структуры и свойств складированного тонкодисперсного сырья с установлением направления и технических характеристик средств выемки в целях управления качеством добываемого сырья.
- 2. Выбор направления развития фронта выемки при разработке неоднородных техногенных образований золотосодержащего сырья осуществляется в зависимости от необходимости первоочередной отработки обогащенных благородными металлами зон для эффективного управления качеством извлекае-

мого сырья, исключения прорыва пульпы из скрытых обводненных зон, а также требований к локализации участков, характеризующихся повышенным содержанием токсичных элементов.

- 3. На разрабатываемых участках техногенного образования, где влажность отобранного материала не достигает влажности на границе текучести, обеспечивается устойчивость стенок пробуренных скважин в течение длительного времени, что позволяет вести по мере отработки техногенного объекта опережающее бурение и непосредственно в цикле добычи осуществлять видеоэндоскопическое обследование стенок скважин с отбором материала из аномальных зон с привязкой к системе координат и оценкой распределения качества складированного сырья и структуры техногенного образования.
- 4. Отсутствие скрытых обводненных и неоднородных зон на отрабатываемом участке техногенного образования определяет возможность экскавации и выемки сырья уступами до границ выявленной неоднородной зоны, безопасное расстояние до которой определяется в зависимости от свойств среды на неоднородном участке.

Научную новизну работы составляет разработанная методика выбора параметров открытой разработки техногенных образований на основе тонкодисперсных отходов переработки золотосодержащих руд, отличающаяся тем, что в состав технологических процессов включена опережающая оценка строения и структуры техногенных образований на базе применения способа видеоэндоскопического обследования и точечного опробования техногенного сырья из стенок скважин с привязкой точки отбора пробы к системе координат, что позволяет своевременно выявлять неоднородные участки, управлять качеством на базе актуальной информации и вести безопасную добычу техногенного сырья. Получены новые знания по безопасной разработке техногенных образований с учетом структуры и свойств золотосодержащего сырья.

Достоверность положений, выводов и рекомендаций обеспечивается надежностью и представительностью исходных данных, подтверждением теоретических выводов результатами экспериментальных и опытнопромышленных испытаний, выполненных по апробированным методикам в аккредитованных лабораториях.

Практическая значимость результатов заключается в разработке и технико-экономической оценке рекомендаций по эффективному вовлечению лежалых отходов переработки золото-мышьяковистых руд в освоение с последующей переработкой, утилизацией техногенного сырья и рекультивацией нарушенной территории.

Методы исследования. Анализ и обобщение результатов фундаментальных исследований в части выбора технологии добычи и транспортировки лежалых отходов переработки руд золота в зависимости от структуры техноген-

ных образований; анализ горно-геологических условий месторождения золотомышьяковистых руд по данным архивной литературы Росгеолфонда; использование ГИС для моделирования рельефа хвостохранилища (ArcGIS и QGIS); блочное моделирование участков отвала золотосодержащих отходов переработки руд с подсчетом накопленных объемов и запасов золота (ГГИС Micromine); оптико-минералогический анализ хвостов под микроскопом Olympus BX41 на базе анализатора «Минерал С7»; комплекс химических анализов минерального сырья и фазовый анализ на дифрактометре XRD 7000; физико-механические испытания образцов техногенного грунта на определение деформационных показателей при трехосном сжатии, прочностных и физических свойств, согласно действующим государственным стандартам.

Апробация результатов. Результаты исследований использованы при подготовке отчетов по Программе Президиума РАН №39 «Фундаментальные основы энергоэффективных технологий отработки и формирования техногенных образований в целях обеспечения перерабатывающих производств минеральным сырьем заданного качества» (руководитель академик РАН В.Н. Захаров). Результаты исследований учтены при обосновании стратегии вовлечения в эксплуатацию техногенных золотосодержащих образований Челябинской области АО «Южуралзолото Группа Компаний».

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, состоит в разработке комплексной методики оценки золотосодержащих техногенных образований, на основании которой получены актуальные сведения о строении, структуре хвостохранилища, вещественном составе сырья, обеспечивающие безопасное освоение техногенных образований золотодобычи; апробации в полевых условиях на объекте исследований прототипа устройства для опережающей оценки структуры техногенного образования; предложенного способа построения блочной модели техногенного образования для выбора приоритетного порядка выемки техногенного минерального сырья.

Публикации. Результаты проведенных исследований опубликованы в 14 научных работах, в том числе 3 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки России, получен патент РФ на изобретение.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов по каждой главе, заключения и основных результатов, а также списка использованной литературы, насчитывающего 128 наименований. Работа изложена на 165 страницах машинописного текста, содержит 47 таблиц и 62 рисунка.

Автор выражает благодарность главному научному сотруднику ИПКОН РАН, члену-корреспонденту РАН Д. Р. Каплунову, заведующему Отделом

теории проектирования освоения недр ИПКОН РАН, профессору, доктору технических наук М.В. Рыльниковой и руководителю Обособленного подразделения Лаборатории ЭКОН на Южном Урале, доктору технических наук К.И. Струкову за ценные замечания и поддержку в выполнении исследований и представлении полученных результатов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

<u>Первая глава</u> посвящена анализу научно-методических и практических подходов к изучению свойств складированных отходов переработки руд, определяющих выбор технологий их эффективного экологически сбалансированного освоения. Выполнено обобщение методов оценки техногенных образований, представленных отходами переработки руд, для обоснования технологий их разработки и последующей утилизации.

Огромный вклад в создание геотехнологий, обеспечивающих эффективное освоение техногенных образований, внесли академики АН СССР и РАН М.И. Агошков, Н.В. Мельников, К.Н. Трубецкой, член-корреспондент РАН Д.Р. Каплунов, доктора наук С.Е. Гавришев, А.М. Гальперин, О.Е. Горлова, В.С. Литвинцев, А.Б. Макаров, И.П. Маляров, И.А. Пыталев, М.В. Рыльникова, А.Г. Секисов, Г.В. Секисов, А.Г. Талалай, В.Н. Уманец, И.В. Шадрунова, С.И. Фомин, Г.А. Холодняков и другие ученые. Ими определены подходы к обоснованию параметров технологий освоения техногенных образований, основанные на установленных закономерностях технологических процессов транспортирования и переработки техногенных минеральных отходов. Ими показана значимость учета неравномерности распределения ценных компонентов В техногенных минеральных образованиях формированием обогащенных зон, участков, представленных материалом свойств, структуры, различного состава, определяющих перспективу эффективной последующей эксплуатации. Вопросы получения достоверной о свойствах, неоднородных информации структуре, строении таких образований, необходимой для оперативного техногенных параметрами добычных работ, в этих работах освещены не в полной мере. На этом основании определены цель, задачи и идея диссертационного исследования.

<u>Во второй главе</u> дано развитие научно-методических основ создания геотехнологий, обеспечивающих эффективное вовлечение в эксплуатацию неоднородных по составу, свойствам, структуре техногенных образований, представленных тонкодисперсным сырьем. Определены направления исследований состава, свойств, структуры золото-мышьяковистого Новотроицкого хвостохранилища на этапе геологоразведочных работ, предусматривающих шнековое бурение на выделенном участке и геофизические исследования. Обоснованы методики проведения исследований физико-механических, физико-

химических свойств, вещественного состава отходов переработки руд, определяющие подход к оценке строения и структуры техногенного образования.

Геологическая оценка хвостохранилища показала, что выбуривание материала шнеком не позволяет получить детальные сведения о строении и структуре техногенного образования, распределении вещественного состава сырья, кроме того, локализация в теле техногенного образования участков, сложенных тонкодисперсными сильно обводненными отходами переработки руд, осложняет и препятствует самому факту шнекового бурения на глубине. Керновое бурение приводит к низкому выходу материала, перемешиванию и компрессии шлама и невозможности привязки извлекаемого сырья к системе координат для построения блочной модели техногенного образования. В связи с этим, поставлена проблема получения достоверной информации о строении и структуре техногенного объекта, которая позволит с детальной точностью моделировать распределение в хвостохранилище зон различной минерализации, обогащенных ценными и высокотоксичными металлами, выявлять скрытые обводненные участки с возможностью их своевременного обнаружения и ликвидации при разработке техногенного образования. Изменчивость свойств техногенного сырья и установленный факт длительной устойчивости стенок скважин позволили сформулировать гипотезу, что при видеоэндоскопической оценке хвостохранилища можно применить точечный отбор проб в зонах выявленных неоднородностей с точной привязкой места отбора к системе координат. Изготовлен и апробирован в натурных условиях, а по результатам испытаний запатентован прототип устройства для опережающей оценки структуры техногенного образования (рис. 1).

С учетом полученных результатов о строении и структуре техногенного образования разработана классификация выбора технологии выемки сырья при открытой разработке техногенного объекта в зависимости от типа и локализации неоднородной по составу, структуре и свойствам зоны хвостохранилища. В соответствии с разработанной классификацией предложено 10 типовых технологических схем разработки неоднородных участков техногенного образования, сложенных обводненными участками, либо обогащенными по содержанию ценными и/или токсичными элементами зонами, что определяет способ и направление выемки сырья (рис. 2, а-в).

<u>Третья глава</u> содержит результаты проведенных натурных и лабораторных исследований, направленных на обоснование параметров открытой разработки техногенных образований.

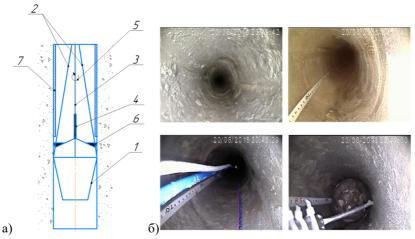


Рисунок 1 — Схема прототипа устройства геологического обследования техногенных образований с возможностью точечного отбора проб (а) и его апробация в натурных условиях (б): 1 — пробоприемное устройство; 2 — направляющие фиксированной длины для спускоподъемных операций в скважине; 3 — центровочный трос с закрепленной видеокамерой; 4 — видеокамера; 5 — полая трубка с насаженными лезвиями (6), обеспечивающая их вращение на центровочном тросе; 7 — обсадная труба

Применение метода опережающей оценки хвостохранилища позволило выявить закономерности изменения содержаний благородных металлов и примесей мышьяка в складированных отходах по глубине и площади техногенного объекта (рис. 3).

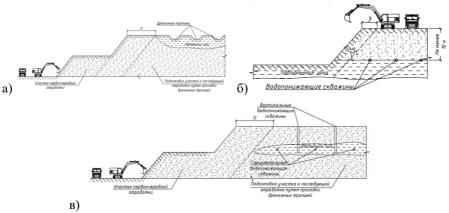


Рисунок 2 — Пример разработанных типовых технологических схем открытой разработки обводненного участка хвостохранилища с учетом локализации выявленной в ходе опережающего опробования обводненной зоны вблизи поверхности (а), в основании (б) или в толще техногенного объекта (в)

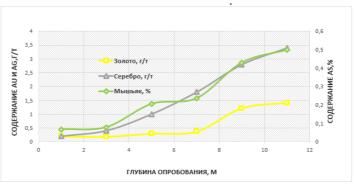


Рисунок 3 – Характер изменения содержания ценных металлов и мышьяка по глубине хвостохранилища

Установлено, что содержание благородных металлов и мышьяка в хвостах обогащения золото-мышьяковистых руд с глубиной увеличивается. Верхние слои техногенного образования обеднены металлами, что объяснимо, так как вблизи поверхности они окисляются и претерпевают потерю качества. Исследование минерального состава отходов переработки руд золота методом порошковой рентгеновской дифрактометрии на дифрактометре XRD 7000 с использованием CuK α-излучения установило, что основным минералом в хвостах обогащения является кварц (более 50%), присутствуют глинистые минералы, а также минералы группы слюд и гидрослюд. Для сульфидных минералов – пирита, арсенопирита, халькопирита, пирротина, представленных в отходах в количестве не более 5%, характерно кристаллически-зернистое строение идиоморфной, гипидиоморфной форм выделения. Свободного золота в отходах переработки руд не обнаружено, установлено, что основная часть золота образует включения в виде округло-ограненных, прожилковидных и неправильной формы выделений в ранних сульфидах – арсенопирите и пирите. Выполненная оценка вещественного состава техногенного сырья показала достаточно хорошее раскрытие сростков сульфидных минералов и позволила рекомендовать его переработку на одной из обогатительных фабрик Южного Урала.

Результаты исследования рН среды показали, что для хвостохранилища характерна нейтральная, ближе к слабощелочной среда, что определяет перспективность переработки хвостов цианированием и значительно снижает экологический вред от закисления сульфидных минералов и выноса кислотного дренажа за пределы техногенного объекта. Для оценки изменения влажности отходов переработки золото-мышьяковистых руд были построены модели распределения обводненных участков в техногенном образовании по глубине и площади. Установлено, что в теле хвостохранилища крайне неравномерно

распределены участки повышенной обводненности, своевременное выявление которых позволяет обеспечить безопасные условия труда при открытых горных работах на техногенном объекте (рис. 4).

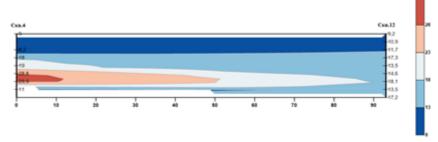


Рисунок 4 — Установленные по результатам опережающей оценки скрытые обводненные зоны, определяющие необходимость их учета при обосновании параметров технологии открытой разработки неоднородных участков техногенного образования

Исследованиями гранулометрического состава техногенного сырья комбинированным ситовым И седиментационным методом анализа установлено, что содержание тонких классов крупности -0,05+0,002 мм в исследованных пробах составляет до 70%, что определяет повышенное сцепление хвостов переработки руд и обеспечивает устойчивость скважин длительное время – достаточное для проведения опережающей оценки структуры массива (рис. 5, а). Сравнительные результаты изменения прочностных свойств отходов переработки руд при различной влажности на примере одной скважины представлены на рисунке 5 (б). Установлено, что с увеличением влажности техногенного сырья с 9 до 29,9% сцепление снижается, а угол внутреннего трения - наоборот увеличивается, что дополнительно обусловлено влиянием тонкодисперсного материала, преобладающего в составе техногенного золотосодержащего сырья.

Изменение коэффициента пористости с глубиной незначительно и в среднем составляет 0,8 д. е., что обусловлено высоким содержанием кварца, определяющим хорошую проницаемость массива. Плотность хвостов в сухом состоянии составляет от 1,46 до 1,52 г/см³, что характеризует материал техногенного образования как достаточно уплотненный. Исследованиями физических и прочностных свойств техногенного золотосодержащего сырья доказано, что на участках, где влажность складированных отходов обогащения руд не превышает 30% и не достигает влажности на границе текучести, обеспечивается повышенная устойчивость пробуренных скважин в течение длительного времени, достаточного для проведения опережающей оценки строения и

структуры техногенного объекта, предусматривающей видеоэндоскопическое обследования ее стенок и точечный отбор проб с привязкой места отбора к системе координат.

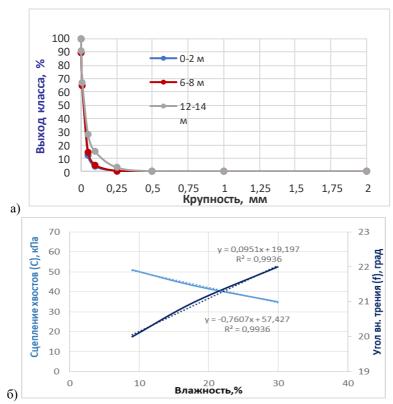


Рисунок 5 – Результаты определения гранулометрического состава техногенного сырья (а) и изменение прочностных свойств отходов переработки золото-мышьяковистых руд, складированных в отвал на глубине 12-14 м, при различной влажности (б)

Для определения влияния обводненной зоны на параметры открытой разработки техногенного образования построена геомеханическая модель, предусматривающая оценку напряженно-деформированного состояния отвала. Определены условия, когда область пластических деформаций, при наличии в теле техногенного объекта обводненной зоны, выйдет на поверхность откоса уступа (рис. 6), что приведет к его разрушению и выдавливанию ослабленной области (плывуна) с последующим его оседанием и сползанием верхних слоев. В основу построенной модели заложены физико-механические свойства сырья и геометрические параметры реально выявленной обводненной зоны, локализованной в Новотроицком хвостохранилище.

Показано, что для условий Новотроицкого хвостохранилища при обосновании параметров технологии разработки сильнообводненного участка, локализованного в толще, возможность безопасной экскавации и транспортирования сырья обеспечивается шириной защитного предохранительного целика, который должен составлять не менее 8 м и равняться расстоянию от границы обводненной скрытой зоны до границ откоса уступа.

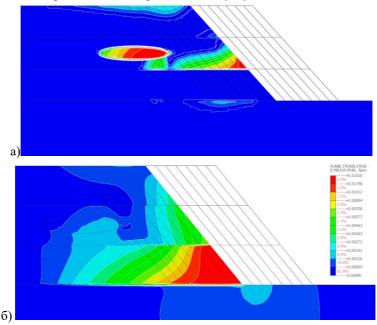


Рисунок 6 — Результаты численного моделирования влияния скрытой обводненной зоны на размер защитного целика при отработке уступа: а) выход области пластических деформаций в откос уступа; б) распределение максимальных деформаций в техногенном образовании при прорыве плывуна

Таким образом, отсутствие скрытых обводненных и неоднородных зон на отрабатываемом участке хвостохранилища определяет возможность экскавации и выемки сырья уступами до границ выявленной неоднородной зоны, безопасное расстояние до которой определяется в зависимости от свойств среды на неоднородном участке.

Выбор технологии выемки отходов переработки золоторудного сырья базируется на опережающей по мере разработки участка неоднородного техногенного образования оценке изменчивости состава, свойств и структуры хвостохранилища и осуществляется согласно предложенному алгоритму (рис.

7). Выполненными исследованиями доказано, что выбор направления развития фронта выемки при разработке неоднородных техногенных образований золотосодержащего сырья осуществляется в зависимости от необходимости первоочередной отработки обогащенных благородными металлами зон для эффективного управления качеством извлекаемого сырья, исключения прорыва пульпы из скрытых обводненных зон, а также требований к локализации участков, характеризующихся повышенным содержанием токсичных элементов.

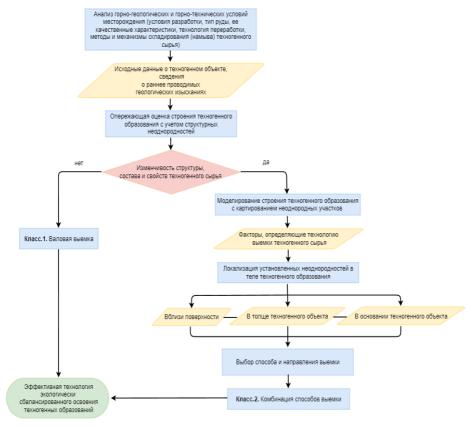


Рисунок 7 — Алгоритм выбора параметров технологии открытой разработки техногенного образования на базе опережающей оценки изменчивости состава, свойств минерального сырья и структуры техногенного образования

<u>В четвертой главе</u> с использованием разработанного алгоритма обоснованы параметры технологии разработки хвостохранилища Новотроицкой обогатительной фабрики, определяющие выбор направления ведения открытых горных работ, этапы отработки техногенного объекта и средства механизации.

Привязка данных экспресс-оценки к сети координат позволила оцифровать данные и создать модель отрабатываемых участков техногенного образования (рис. 8). В результате, по аналогии с разработкой рудных месторождений, для условий освоения техногенных образований получены данные о распределении качества техногенного сырья для оперативного планирования горных работ.

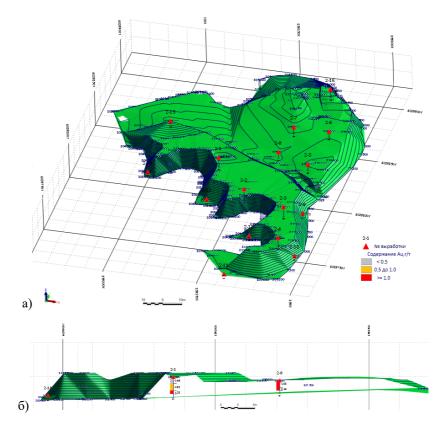


Рисунок 8 — Пример построения каркасной модели техногенного образования в проекции (а) и оконтуренная на разрезе, с указанием распределения золота по оценочным скважинам (б)

Исходя из полученных результатов опережающего опробования Новотроицкого хвостохранилища, обоснованы параметры технологии разработки исследуемого объекта. Согласно разработанным рекомендациям по отработке хвостохранилища в городской черте предусматривается первоочередное снятие и утилизация верхнего слоя, обедненного благородными металлами и содержащего растворимые формы мышьяка мощностью до 2 м, определяе-

мой в каждом конкретном случае по результатам экспресс-оценки. Выемка сырья на обогащенных участках техногенного образования проводится уступами по периферии техногенного объекта, аналогично веерной сплошной рассредоточенной системе разработки с подвиганием фронта работ с юго-востока на северо-запад. Для сбора поверхностных вод в период дождей и снеготаяния, а также вод из обводненных зон отвала, вскрытых по мере его разработки с пониженной части рельефа, предусмотрено проведение комплекса подготовительных работ по предварительному осушению рабочих зон на поверхности и в толще техногенного образования. В целом, исследования прочностных свойств сырья по методу снижения прочности (SRM) показали устойчивость откосов при естественной влажности до 50°. Рекомендуемые технологические схемы производства выемочно-погрузочных и горнотранспортных работ при разработке Новотроицкого хвостохранилища приведены на рисунке 9.

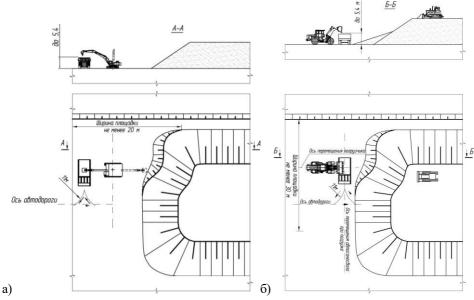


Рисунок 9 — Технологические схемы производства выемочно-погрузочных и горнотранспортных работ, предусматривающие отгрузку техногенного сырья экскаватором Hyundai R800LC (а) и погрузчиком Hyundai HL 780 (б) в автосамосвалы Shacman 366

В лаборатории ЭКОН ИПКОН РАН при АО «ЮГК» проведены исследования эффективности выщелачивания золота из техногенного минерального сырья Новотроицкого хвостохранилища. Установлено, что крупность помола техногенного сырья оказывает существенное влияние на показатели извлечения ценного металла в выщелачивающий раствор, однако даже в естественном

состоянии, без доизмельчения, при содержании 75% готового класса -0,075 мм достигаются высокие показатели извлечения золота, свыше 70 %, что соотносится с реальными условиями выщелачивания на обогатительной фабрике. Полученные показатели легли в основу технико-экономической оценки разработанных рекомендаций. Учитывая, что оцененные запасы золота в техногенном образовании составляют 946,6 кг, то при его извлечении на уровне 70% будет извлечено не менее 662,6 кг ценного металла. Разработка Новотроицкого техногенного образования по предложенной технологии средствами механизации, имеющимися на АО «Южуралзолото Группа Компаний», и переработка всего объема добываемого сырья в условиях действующих обогатительных фабрик позволят получить дополнительную прибыль в размере 3 млрд рублей в ценах по состоянию на 01 февраля 2022 г., а окупаемость затрат, включая рекультивацию городской территории, составит менее одного месяца.

В целом доказано, что экологически сбалансированное и безопасное освоение техногенных образований золотодобычи, сложенных неоднородными участками — обогащенными благородными металлами, опасными обводненными зонами, либо с локализацией токсичных элементов, базируется на опережающей по мере продвижения очистных работ экспресс-оценке структуры и свойств складированного тонкодисперсного сырья с установлением направления и технических характеристик средств выемки в целях управления качеством добываемого сырья.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся завершенной научно-квалификационной работой, изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, имеющие значение для развития минерально-сырьевой базы золотодобычи — разработана методика выбора и обоснованы параметры технологии открытой разработки техногенных образований из отходов переработки золотосодержащих руд, сложенных неоднородными участками, оперативный учет которых в ходе опережающей оценки структуры разрабатываемых объектов обеспечивает безопасность работ и высокую технико-экономическую эффективность геотехнологических решений.

Основные научные и практические результаты работы состоят в следующем:

1. Разработана методика выбора параметров открытой разработки техногенных образований на основе тонкодисперсных отходов переработки золото-содержащих руд, отличающаяся тем, что в состав технологических процессов включена опережающая оценка строения и структуры техногенных образований на базе применения способа видеоэндоскопического обследования и точечного опробования техногенного сырья из стенок скважин с привязкой точки отбора пробы к системе координат. Доказано, что это обеспечивает свое-

временное выявление неоднородных участков, возможность эффективного управления качеством на базе актуальной информации, а также позволяет вести безопасную добычу техногенного сырья.

- 2. Разработана классификация технологий открытой разработки техногенных образований с учетом типа неоднородности их структуры и локализации в массиве. В соответствии с предложенной классификацией определены 10 принципиально различных типовых технологических схем открытой разработки неоднородных техногенных образований и обоснован алгоритм выбора наиболее предпочтительных геотехнологий в зависимости от результатов опережающей оценки структуры массива и свойств складированного сырья.
- 3. Установлены закономерности распределения вещественного состава техногенного сырья по глубине хвостохранилища, определяющие выбор и параметры технологии разработки техногенного образования с его последующей безопасной утилизацией после извлечения полезных компонентов. Выявлено, что первые 0,5-2 м являются обедненными зонами с содержанием золота ниже 0,2 г/т и подвижными формами мышьяка, что определяет целесообразность предварительного снятия и утилизации верхнего слоя хвостохранилища.
- 4. Установлено преобладание в отходах переработки руд глинистых фракций с содержанием до 52% класса крупности -0,05+0,01 мм, что обуславливает повышенное сцепление техногенного сырья более 25 кПа. При этом содержание до 50% крупных частиц кварца определяет высокую пористость и проницаемость большей части массива. Доказано, что влажность большей части складированных отходов не превышает 30% и не достигает влажности на границе текучести, что обеспечивает повышенную механическую устойчивость стенок скважин и позволяет непосредственно в цикле разработки техногенного образования проводить опережающую оценку с возможностью детального обследования строения и структуры хвостохранилищ.
- 5. Для условий Новотроицкого хвостохранилища, с выявленной обводненной зоной 78,5 м² и мощностью 3 м, при обосновании параметров технологии разработки сильнообводненного участка, локализованного в толще, возможность безопасной экскавации и транспортирования сырья обеспечивается шириной защитного предохранительного целика, который должен составлять не менее 8 м и быть равным расстоянию от границы обводненной скрытой зоны до границ откоса уступа.
- 6. Определены параметры горнотехнических конструкций и предложены технология и порядок ведения выемочно-погрузочных и горнотранспортных работ при открытой разработке Новотроицкого хвостохранилища, согласно которым предельный угол откоса уступа, обеспечивающий его устойчивость, должен составлять не более 50°.

- 7. Экономически обоснована эффективность открытой разработки золото-мышьяковистого хранилища отходов переработки руд с извлечением полезных компонентов и последующей безопасной утилизацией высокотоксичных металлов в специализированном хранилище, расположенном за пределами городской черты. Доказана перспективность переработки техногенного золотосодержащего сырья выщелачиванием в условиях действующей золотоизвлекательной фабрики в г. Пласт. Без предварительного доизмельчения материала прогнозируемый уровень извлечения золота составит не менее 70%.
- 8. В результате переработки техногенного сырья Новотроицкого хвостохранилища будет извлечено не менее 662 кг золота, что позволит получить дополнительную прибыль в размере 3 млрд рублей. Окупаемость затрат в результате переработки всего объема техногенного золотосодержащего сырья в условиях действующей обогатительной фабрики АО «Южуралзолото Группа Компаний», при извлечении золота на уровне 70%, составит менее одного месяпа.

Основные научные и практические результаты диссертации изложены в следующих опубликованных работах автора Залевской К.Н.:

В изданиях, рекомендуемых ВАК России:

- 1. Радченко Д.Н., Хайдаров И.В., Залевская К.Н. Обоснование технологии добычи и переработки техногенного сырья Новотроицкого хвостохранилища // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. -2020. №1. С. 277-289.
- 2. Джаппуев Р. К., Соглаев А.В., Залевская К.Н. Извлечение золота из техногенного сырья: практика АО «ЮГК» // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. -2020. № 4. С. 340-350.
- 3. Радченко Д.Н., Балашов А.Г., Залевская К.Н., Кирков А.Е. Результаты опробования старогодних хвостохранилищ в свете перспектив их промышленной эксплуатации при комплексном освоении золоторудных месторождений Южного Урала // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 4. С. 364-375.
- 4. Пат. 2700139 Российская Федерация. Способ геологического исследования хвостохранилищ и устройство для его реализации / М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко, В.С. Федотенко, К.И. Струков, К.Н. Залевская; ФГБУН ИПКОН РАН. № 2018141707; заявл. 27.11.2018; опубл. 12.09. 2019, Бюл. № 26. 12 с.

В прочих изданиях:

5. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Залевская К.Н. и др. Проблемы и перспективы вовлечения хвостов обогащения золото-мышьяковистых руд в эксплуатацию для решения экологических проблем региона // В сборнике:

- Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность 2019. 2019. C. 1422-1427.
- 6. Радченко Д., Залевская К.Н. Увеличение производственной мощности горных предприятий за счет вовлечения в эксплуатацию техногенных образований // В сборнике: Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу. 2019. С. 75-78.
- 7. Радченко Д.Н., Залевская К.Н. Создание цифровой модели техногенного месторождения с обоснованием технологии его разработки // В сборнике: Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. -2019. C. 215-217.
- 8. Радченко Д.Н., Залевская К.Н. Результаты имитационного моделирования процессов экологически сбалансированного освоения месторождений с использованием программного комплекса Micromine // В сборнике: Новое в познании процессов рудообразования. Сборник материалов. 2018. —С. 299-301.
- 9. Радченко Д.Н., Балашов А.Г., Залевская К.Н., Кирков А.Е. Опыт опробования старогодних хвостохранилищ в свете перспектив их промышленной эксплуатации при комплексном освоении золоторудных месторождений южного Урала // В сборнике: Золото. Полиметаллы. XXI век. Пласт. -2020. С. 63-64.
- 10. Рыльникова М.В., Радченко Д.Н., Залевская К.Н. Новые подходы к освоению техногенных месторождений // В сборнике: Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр. -2020. -C. 19-22.
- 11. Залевская К.Н. Снижение рисков освоения техногенных золоторудных образований на основе комбинирования валовой и селективной выемки неоднородного сырья // В сборнике: Комбинированная геотехнология: риски и глобальные вызовы при освоении и сохранении недр. 2021. —С. 170-172.
- 12. Радченко Д.Н., Залевская К.Н. Оценка влияния физико-механических свойств лежалых отходов обогащения золоторудного сырья на выбор параметров геотехнологии освоения техногенных объектов // В сборнике: Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых. 2021. С. 210-212.
- 13. Саданов Ш.Н., Залевская К.Н., Кирков А.Е., Гавриленко В.В. Стратегия вовлечения в эксплуатацию техногенных золотосодержащих образований в свете экологически сбалансированного развития горнопромышленного региона // В сборнике: Золото. Полиметаллы. XXI век: устойчивое развитие. 2022. С. 52-53.
- 14. Радченко Д.Н., Цупкина М.В., Залевская К.Н. Обоснование параметров экологически сбалансированного освоения месторождений АО «ЮГК» при вовлечении в отработку техногенного сырья // В сборнике: Новое в познании процессов рудообразования. 2018. С. 302-303.