

На правах рукописи



ОГАНЕСЯН ЭМИЛ ХАЧАТУРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОСТАВА И
СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ
НАМЫВНОГО МАССИВА**

Специальность 1.6.7.

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Владикавказ 2022

Работа выполнена в ФГБОУ ВО Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ

Научный руководитель:

Лолаев Алан Батразович, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по инновационному развитию ФГБУН Федеральный научный центр «Владикавказский научный центр Российской академии наук», РСО-Алания.

Официальные оппоненты:

Бахаева Светлана Петровна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева (г. Кемерово)

Юркевич Наталья Викторовна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (г. Новосибирск)

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук (г. Якутск)

Защита состоится 14 февраля 2023 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.062.01 при ФГБУН Институт земной коры СО РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИЗК СО РАН и на сайте: <http://www.crust.irk.ru/images/upload/newsfull227/3767.pdf>

Отзывы об автореферате в 2-х экземплярах, заверенные подписью и печатью учреждения, просим направлять по указанному адресу ученому секретарю диссертационного совета. Тел: +79148816658; e-mail: khak@crust.irk.ru

Автореферат разослан « ____ » декабря 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат геолого-минералогических наук



В.А. Бабичева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Поскольку современные технологии обогащения полезных ископаемых не гарантируют полного извлечения в руду полезных компонентов как по номенклатуре, так и по основному компоненту, образующиеся хвосты необходимо складировать с замедленной переработкой, в результате чего образуются техногенные массивы, являющиеся опасными производственными объектами и источниками воздействия на окружающую среду. В настоящее время в близлежащих районах наблюдается значительное количество аварий и недопустимое состояние природной среды.

Аварии на горнодобывающих предприятиях, в том числе на хвостохранилищах (техногенных массивах), происходят практически ежегодно в разных странах, а данные о разрушениях свидетельствуют о серьезной угрозе резервуаров-хранилищ различного происхождения для людей, инженерных сооружений и окружающей среды.

Следует отметить, что для намывных сооружений хвосты одновременно являются строительным материалом, из которого, формируется техногенный массив

В связи с этим инженерно-геологическое обоснование технологических параметров формирования намывного техногенного массива, обеспечивающее его устойчивость при увеличении его объема и снижении эксплуатационных затрат, является актуальной научной задачей.

Цель работы: повышение устойчивости дамбы намывного техногенного массива для увеличения его объема, безопасности эксплуатации и снижения затрат при его формировании.

Идея работы заключается в распределении намываемых техногенных грунтов для получения равномерной дисперсности, массивной текстуры и последующей их консолидации, что обеспечивает повышение устойчивости, увеличение объема и снижение эксплуатационных затрат при формировании намывного техногенного массива.

Научные положения, защищаемые в работе:

1. Учет параметров намыва и физико-химических свойств техногенных грунтов обеспечивает формирование однородного строения и плотного сложения массива для сохранения его устойчивости.

2. Равномерность распределения намываемых отложений при оптимальной консистенции пульпы (соотношение жидкой фазы к твердой) находится в квадратичной зависимости от скорости движения пульпы и средневзвешенного диаметра частиц.

3. Коэффициент устойчивости ограждающей дамбы техногенного массива линейно зависит от геометрических параметров дамбы, прочностных характеристик намываемых грунтов и степени их уплотнения.

Научная новизна работы заключается в:

- установлении корреляционных зависимостей между технологическими параметрами намывных техногенных массивов и коэффициентом устойчивости ограждающей дамбы;
- физико-математическом описании процесса формирования намывного техногенного массива, позволяющим установить технологические параметры, обеспечивающие необходимую устойчивость ограждающей дамбы;
- разработке лабораторного стенда для моделирования процесса намыва гидротехнического сооружения (Патент РФ, № 122098, 2013 г.)

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается:

- экспериментальным выявлением закономерностей процесса намыва техногенного массива;
- инженерно-геологическим обоснованием основных и наиболее информативных факторов, определяющих устойчивость ограждающей дамбы техногенного массива;
- проведением экспериментальных исследований по формированию ограждающих дамб в лабораторных условиях и сопоставлением их результатов с данными опытно-промышленных исследований с высокой схожимостью (92-97%);
- установлением корреляционных зависимостей между параметрами намыва пляжа и высотой намывного слоя, устойчивостью и средневзвешенным диаметром частиц, скоростью подачи минерального сырья и расстоянием от расчетного створа до оси пульпопровода, позволившим повысить устойчивость техногенного массива.

В качестве фактического материала использованы результаты научно-исследовательских работ (ВНИИ ВОДГЕО, Норильского отделения МАНЭБ), инженерно-геологических изысканий (ППП "Норильскгеология", институт "Норильскпроект"), мониторинга промышленной безопасности (гидротехническая служба Управления по надзору за основаниями и фундаментами (УНСОФ) ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель»»), фондовые и опубликованные материалы, личные наблюдения и исследования автора (2010-2021 г.г.).

Диссертация выполнена в соответствии с исполнением научно-исследовательских работ по темам, в которых автор принимал непосредственное участие в качестве исполнителя:

- «Исследования и разработка инновационных технологий комбинированной переработки и утилизации отходов предприятий цветной металлургии» в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2013 года», ГК №16.515.11.5027;

- «Развитие фундаментальных и прикладных исследований в области наук о Земле для мониторинга и изучения фанерозойского магматизма, современного состояния земной коры тектонически активных регионов Большого Кавказа, научного обеспечения прогнозирования, предупреждения и снижения ущерба от природных и техногенных катастроф, расширения минерально-сырьевой базы и неразрушающего природопользования» в рамках выполнения плана НИР в рамках государственного задания ВЦ РАН. Номер государственной регистрации - АААА-А19-119040190054-8.

Также автор принимал участие в полевых и лабораторных исследованиях, обработке их результатов; изготовлении лабораторной установки для моделирования технологии намыва ограждающей дамбы хвостохранилища, физико-математическом моделировании процессов намыва; подборе расчетных схем, адекватных реальному состоянию массива грунтов ограждающей дамбы; расчетах устойчивости объекта; во внедрении результатов исследований в практику.

Научное значение работы заключается в инженерно-геологическом обосновании технологических параметров намыва техногенного массива, повышающего точность их определения за счет использования результатов физико-математического моделирования этих процессов.

Практическое значение работы состоит в разработке методики определения и оптимизации технологических параметров возведения техногенных массивов, экспериментальном выявлении закономерностей процесса их намыва.

Реализация результатов работы.

Результаты исследований использованы при составлении проекта эксплуатации хвостохранилища №2 Норильской обогатительной фабрики Заполярного филиала ГМК «Норильский Никель».

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались и получили положительную оценку на региональных, всероссийских и международных научно-технических конференциях и конгрессах: ежегодных научно-практических конференциях СКГМИ (ГТУ) (2011–2019 гг.);

Строительно-промышленном форуме «Гостеприимная Осетия» (Владикавказ, 2011 г.); 2nd International Conference “Geotechnics for Sustainable Development” – GEOTEC (Hanoi, Vietnam, 2013 г.); Всероссийской конференции «Геодинамика, вулканизм, сейсмичность и экзогенные геологические процессы природного и техногенного характера на Кавказе» (Владикавказ, 2014 г.); 1st International Conference on Natural Hazards & Infrastructure (Chania, Greece, 2016 г.); XVIII Brazilian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering "The Sustainable Future of Brazil goesthroughour Minas" COBRAMSEG-2016 (Belo Horizonte, Brazil, 2016 г.); 1-ой Всероссийской научно-практической конференции «Современные научно-технические и социально-гуманитарные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации» (Владикавказ, 2019); 2-nd Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG) (Sousse, TUNISIA, 2019); 3-rd International Conference on Information Technology in Geo-Engineering (ICITG2019) (Guimaraes, PORTUGAL, 2019); 4-th International Conference on “Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development” GEOTEC (Hanoi, VIETNAM, 2019), 3-rd Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG), Sousse, TUNISIA, 2020; 1-st Mediterranean Geosciences Union Annual meeting, Istanbul, TURKEY, 2021; 3-ей Международной научно-практической конференция «Развитие регионов в XXI веке» Владикавказ, 2021 г.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 24 работы, в том числе 12 в изданиях, рекомендованных ВАК, из которых 3 в изданиях, включенных в международные базы цитирования Web of Science, 5 в изданиях, включенных в международные базы цитирования Scopus, а также 3 патента РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 133 страницах машинописного текста; включает 43 рисунка, 32 таблицы, список использованных источников из 167 наименований.

Основное содержание работы

Хвостохранилища как опасные производственные объекты и источники воздействий на окружающую среду, в настоящее время, являются предметом исследований, наблюдений и контроля многочисленных организаций: научных, проектных, изыскательских, природоохранных и др., что в первую очередь связано с неумещающимся количеством аварий и неудовлетворительным состоянием природной среды на прилегающей к ним территории. При этом и устойчивость сооружений, и их негативное воздействие на компоненты окружающей среды определяются техническими

решениями, принимаемыми на стадии проектирования и реализуемыми впоследствии на практике.

Изучено существующее положение вопросов формирования и эксплуатации техногенных массивов в России и за рубежом. Приведены основные положения. На базе проведенного анализа и литературного обзора сформулирована цель и поставлены задачи диссертационной работы.

Выше перечисленным вопросам оценки, прогноза устойчивости ограждающих конструкций при возведении, эксплуатации и проектировании объектов промышленной гидротехники посвящены многочисленные работы академика РАН К.Н. Трубецкого, И.И. Айнбиндера, Е.Б. Близняка, Г.К. Бондарика, В.В. Бутюгина, Н.Г. Валиева, А. М. Гальперина, В.И. Голика, М.М. Гришина, члена-корреспондента РАН Д. Р. Каплунова, В.П. Недриги, М. С. Кубарева, Н.Н. Розанова, Ю.В. Кириченко, А.Л. Гольдина, Л.Н. Рассказова, М.В. Щекиной, В.Г. Зотеева, С.Г. Аксенова, М.С. Кубарева, Г.И. Кузнецова, А.Б. Лолаева, А. М. Ильина, Д. М. Казикаева, М. В. Рыльниковой, И. Н. Савича, и др.

За последние годы накоплен значительный опыт эксплуатации сооружений хранилищ и возведения плотин и дамб, намываемых из отходов производства и отсыпаемых из вскрышных пород, и соответственно разработано большое количество правил, инструкций, рекомендаций и т.д. Основной причиной продолжающихся аварий на гидротехнических сооружениях большинством исследователей и специалистов гидротехников, выдвигается отсутствие постоянного наблюдения (мониторинга) за состоянием плотин и водопропускных сооружений, прогноза развития ситуации и своевременного принятия мер по их предотвращению. Этим вопросам посвящены работы Аксенова С.Г., Антоненко Л.К., Бахаевой С.П., Большева Л.Н., Воробьева Ю.Л., Воробьева Ю.В., Васильева А.Б., Василевского А.Г., Гальперина А.М., Головишникова В.И., Ермошкина В.В., Жабовского В.П., Клибашева К.П., Корытова И.В., Мелентьева В.А., Мирцхулавы Ц.Е., Павчич М.П., Ржаницына А.Р., Стефанишина Д.В., Корытова И.В., Шойгу С.К., Шульмана С.Г., Щетининой А.П.

Несмотря на известные достижения в проектировании и эксплуатации накопителей техногенного сырья, в методическом и научном обеспечении исследований вопросов разработки и оптимизации технологических схем возведения накопителей, недостаточно разработанными остаются следующие вопросы:

- методика разработки технологии возведения накопителя отходов;
- методы определения технологических параметров намыва;

- критерии и методы оптимизации технологических схем формирования намывных техногенных массивов-накопителей отходов горно-добывающей промышленности;
- комплексный подход в решении геоэкологических и технологических проблем накопителей техногенного сырья;
- вопросы научно-технического сопровождения безопасности возведения массива в процессе его эксплуатации.

Проведенный анализ показал, что необходим переход к новой стратегии более точного прогноза устойчивости ограждающих дамб техногенных массивов. Эта стратегия должна быть основана на инженерно-геологическом обосновании и управлении технологическими параметрами при формировании техногенного массива, обеспечивающих устойчивость сооружения.

Для решения проблем строительства актуален комплексный подход и системный анализ в исследованиях процессов, происходящих на территории при ее хозяйственном освоении. В качестве основы единого подхода к проблемам промышленной гидротехники используется понятие инженерно-геоэкологической системы с обязательным выявлением основных природных и техногенных факторов ее определяющих. Все факторы, определяющие безопасность эксплуатации техногенных массивов, подразделяются на две группы – природные и техногенные. К природным относятся природно-климатические условия территории, геологическое строение, инженерно-геологические условия, геологические и инженерно-геологические, геокриологические процессы и явления и т.д. К техногенным процессам в зоне влияния хвостохранилища относятся: изменение природного рельефа; оттаивание мерзлых грунтов; изменение режимов стока, изменение условий питания и химического состава поверхностных и подземных вод; уничтожение почвенно-растительного покрова, формирование техногенного рельефа, нарушение температурного режима грунтов, загрязнение поверхностных вод, гибель растительности и др.

Разработанная методика была внедрена и опробована на хвостохранилище № 2 ЗФ ПАО «Норильский никель» расположенном в Норильском промышленном районе.

Норильский промышленный район (НПР) характеризуется экстремальным климатом (среднегодовая температура воздуха – 9,8°C), широким распространением мерзлых и талых грунтов, сильными ветрами, развитием экзогенных геологических процессов.

Хвостохранилище №2 ПАО ЗФ «Норильский никель» относится к сооружениям равнинного типа и эксплуатируется с октября 1983 года.

В геоморфологическом отношении хвостохранилище расположено в бассейне р. Купец, которая является притоком р. Щучья, впадающей в озеро Пясино.

Территория района представляет собой аллювиально-озерную равнину. Общий уклон поверхности рельефа имеет северное и северо-западное направление, естественный рельеф низкий, мелкорасчлененный.

В инженерно-геологическом строении площадки строительства участвуют грунты четвертичной системы и комплекса карбонатно-осадочных пород нижнего девона (доломиты, мергели, гипсы и ангидриты).

Мощность четвертичных отложений составляет более 40 метров и представлена современными и верхнечетвертичными образованиями: техногенные грунты (t QIV) и биогенные грунты (b QIV).

К специфическим грунтам в пределах территории хвостохранилища относятся техногенные (насыпные и намывные), органические, органоминеральные грунты и подземные льды.

Техногенные грунты на территории изысканий выделяются двух видов насыпные и намывные. Намывные грунты представлены переслаивающимися суглинками, супесями и мелкими песками, суммарная мощность составляет от 0,2 до 30,0 м. Насыпные грунты представлены щебенистым грунтом металлургического шлака, мощность составляет 10,5 м.

Намывные грунты в районе хвостохранилища № 2 залегают в направлении на северо-запад по низинам и временным водотокам. Засоленность в грунтах изменяется от 0,6 до 1,0 %. В мерзлом состоянии хвосты в основном льдистые, содержание льда доходит до 90 %.

Распространение намывных грунтов отмечается и в районе реки Купец, вскрытой мощностью до 4,0 метров, намывы происходили в 1975-1979 годах при аварийных сбросах во время строительства и эксплуатации недостроенного хвостохранилища.

Грунты деятельного слоя до глубины 4,0 метра, могут находиться как в мерзлом, так и талом состоянии.

Откосы ограждающей дамбы сложены наиболее крупными частицами, средневзвешенный диаметр которых колеблется от 0,24 до 0,13 мм. Крупность хвостов на пляже колеблется в пределах 0,13 – 0,07 мм, в прудковой зоне размер частиц уменьшается до 0,02 – 0,04 мм.

Наиболее неблагоприятными по условиям устойчивости являются участки, расположенные в северной части дамбы, где вследствие применявшейся технологии намыва постоянно проявляются осадки гребня до 0,5-0,7 м, и фильтрация техногенных вод. Кроме этого, фильтрация в виде сосредоточенных и рассредоточенных нисходящих источников проявляется

по всему контуру дамбы хвостохранилища, а также встречается в виде локальных участков протяженностью 10-70 м.

К моменту постановки настоящей работы воздействия хвостохранилища на окружающую среду выразились в формировании техногенного рельефа, нарушении температурного режима грунтов, загрязнении поверхностных вод, гибели растительности и др.

Таким образом, именно эксплуатация и нарушения устойчивости ограждающей дамбы явились основными факторами изменений природной среды на прилегающей к накопителю территории. Поэтому технологические приемы формирования техногенного массива и рассматриваются нами как основные факторы обеспечения устойчивости ограждающей дамбы и сохранения природной среды.

Результаты исследований показали, что техногенные грунты - хвосты обогащения Норильских месторождений имеют свои характерные особенности строения, состава и свойств.

Физические и физико-химические свойства грунтов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели физических и физико-химических свойств грунтов

Грунт	ρ_s	W_L	W_P	I_p	V	φ_1	φ_2	D_j	$E_{об}$
Хвосты	2,62	31,9	27,6	4,9	2,5	19,2	15,8	7,2	12,3

Примечание: ρ_s – плотность минеральной части грунта, г/см³; W_L , W_P , I_p – верхний, нижний пределы пластичности, число пластичности, %; V – седиментационный объем, см³; φ_1 , φ_2 – угол естественного откоса на воздухе и под водой, град.; D_j – величина изменения угла, град.; $E_{об}$ – емкость катионного обмена грунта, мг-экв на 100 г вещества.

Структурные особенности техногенных грунтов изучались по методической схеме «Микроструктура», разработанной в лаборатории грунтоведения Института земной коры СО РАН д.г-м.н. Т.Г. Рященко. Определялся комплекс показателей, которые разделены на четыре группы: структурную (характеризующую структурные элементы, тип структурных связей и типы структур), химическую (показатели химического состава и физико-химических свойств), физическую (показатели физического состояния и свойств) и механическую (показатели деформационных и прочностных свойств).

По данным гранулометрического анализа при дисперсной и агрегатной подготовке образца проводились расчеты коэффициентов микроагрегатности, общего количества агрегатов, их размера; количества и размера первичных частиц, количества частиц той же размерности, входящих

в состав агрегатов; коэффициентов свободы каждой фракции. Кроме того, определялись типы микроструктур и структурной модели грунта.

Проведенные исследования свойств намывных хвостов позволили установить, что они представлены супесями, содержание средне-крупнопесчаной фракции ($>0,25$ мм) составляет 49,2%, тонко-мелкопесчаной фракции (0,25-0,05 мм) - 30,1%. Количество глинистых частиц составляет 10,0%. По общему количеству агрегатов установлена агрегированно-скелетная микроструктура. Тип структурной модели средне-крупнопесчаный (преобладают средне-крупнопесчаные структурные элементы), элементарный.

В результате проведенных исследований сформулировано первое защищаемое положение.

Защищаемое положение № 1. Учет параметров намыва и физико-химических свойств техногенных грунтов обеспечивает формирование однородного строения и плотного сложения массива для сохранения его устойчивости.

Обоснование основных факторов, определяющих устойчивость и экологическую безопасность гидротехнических сооружений, является одним из наиболее ответственных моментов, особенно для проектируемых объектов, когда отсутствуют не только фактические данные, но и само сооружение. Следует отметить, что и для эксплуатирующихся хвостохранилищ эта задача достаточно сложная, что объясняется, наоборот, избытком сведений, из которых выбрать наиболее важные обычными методами не всегда представляется возможным. При этом большинство задач решается в условиях достаточной неопределенности исходной информации.

Для обеспечения процесса расчетного сопровождения прогноза безопасности хвостохранилищ в эксплуатационном режиме смоделированы различные ситуации, которые могут возникнуть на хвостохранилище в процессе его возведения и эксплуатации: изменение заложения низового откоса и параметров пляжа, изменение физико-механических свойств хвостов, увеличение высоты сооружения и т.д.

Исследование влияния технологических параметров намыва на формирование устойчивой ограждающей дамбы хвостохранилища выполнено с помощью физического моделирования.

Для исследований был разработан и изготовлен лабораторный стенд (Патент РФ № 122098, 2013 г), состоящий из лотка, органического стекла, с возможностью изменения уклона, пульпораспределительного зумпфа (распределительный пульпопровод), распределительных выпусков (dy 25

мм), через которые осуществляется намыв (Рисунок 1). При проектировании модели намыва ограждающей дамбы хвостохранилища в соответствии с условиями теории подобия геометрический масштаб был выбран 1:100.

В ходе испытаний было исследовано влияние технологических параметров намыва на характер распределения хвостов по пляжу хвостохранилища. Для этого намыв производился при различных значениях средневзвешенного диаметра частиц (0,05-0,63 мм), скорости движения пульпы (3,91; 4,05 и 4,31 м/с), соотношении твердой фазы к жидкой (1:2; 1:2,5; 1:3,5 и 1:4)

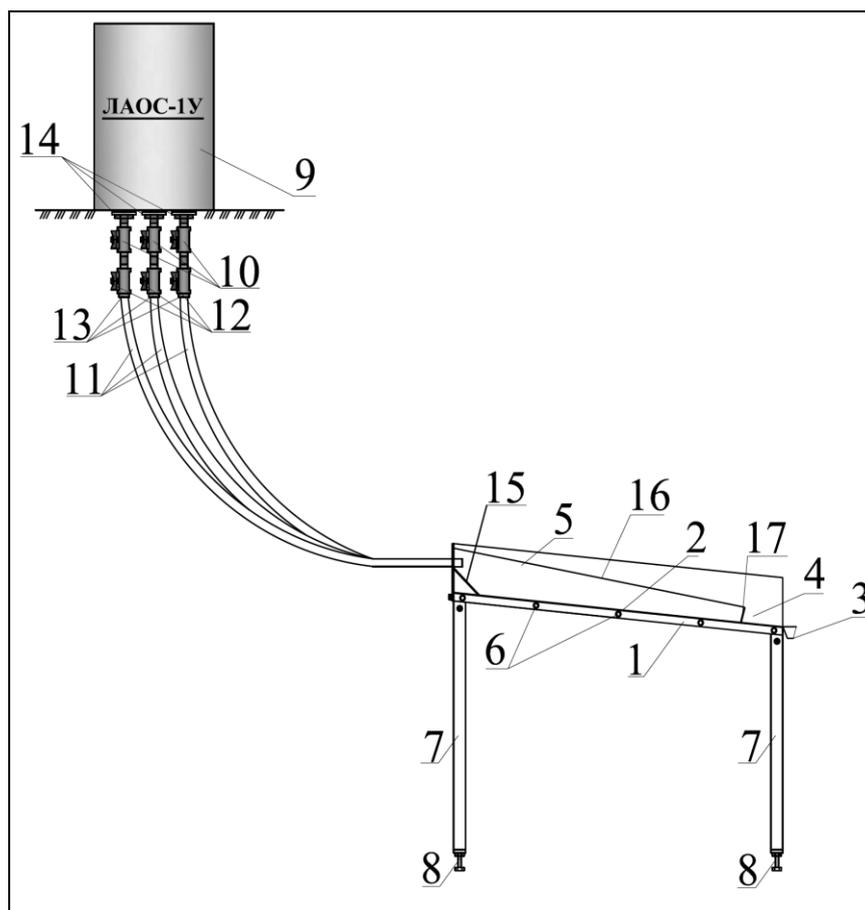
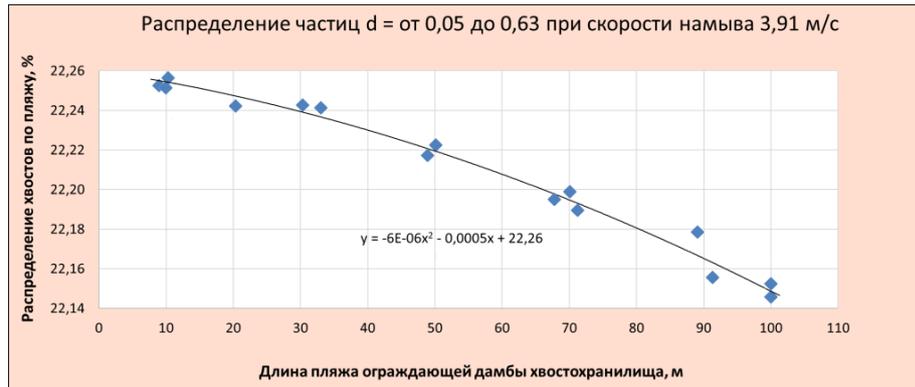


Рисунок 1. Конструкция лабораторной установки для моделирования намыва ограждающей дамбы хвостохранилища.

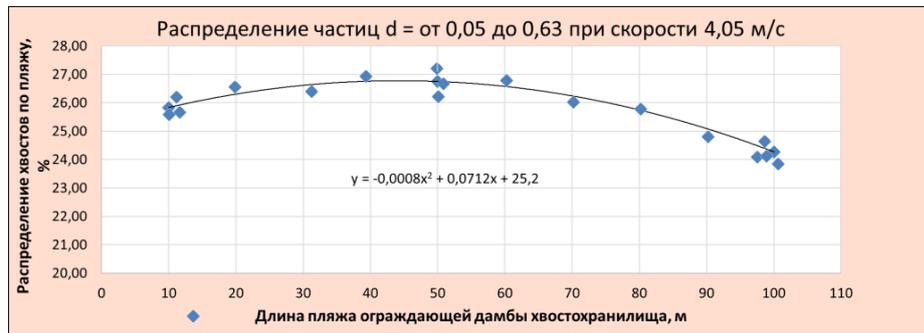
1-рама стола, 2-лист жести, окрашенный и присыпанный песком, 3-желоб, 4-экрaн из геотекстиля, 5-борт из оргстекла, 6-болты, 7-складывающиеся ножки, 8 - регулировочные шпильки, 9 - зумпф, 10-запорный шаровой кран, 11 - полипропиленовые трубы, 12-регулируемый шаровой кран, 13-штуцер, 14-гайка, шайба резиновая прокладка на герметике, 15-полоса из оргстекла, 16-нить, 17-деревянная подпорка.

В результате экспериментов получены полиномиальные линии тренда распределения хвостов по пляжной зоне при оптимальной консистенции пульпы (соотношении жидкой фазы к твердой) в зависимости от скорости движения пульпы, которые представлены на рисунке 2.

а)



б)



в)

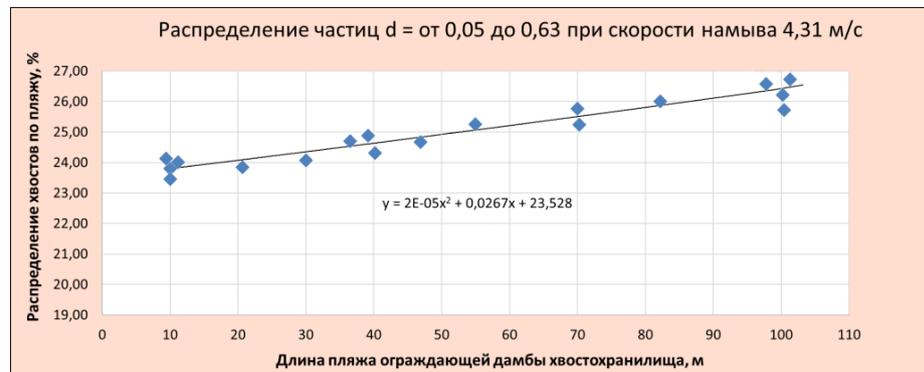


Рисунок 2. Распределение хвостов по пляжной зоне при скорости:

а) $v = 3,91$ м/с; б) $v = 4,05$ м/с; в) $v = 4,31$ м/с

С целью определения влияния исследуемых технологических параметров на равномерность распределения хвостов по пляжу было рассмотрено распределение хвостов на створах 10 м, 40 м и 70 м от распределительного пульпопровода. (Рисунок 3).

Из данных представленных на рисунке 3 можно сделать вывод о том, что равномерность распределения намываемых отложений при оптимальной консистенции пульпы (соотношение жидкой фазы к твердой) находятся в квадратичной зависимости от скорости движения пульпы и средневзвешенного диаметра частиц.

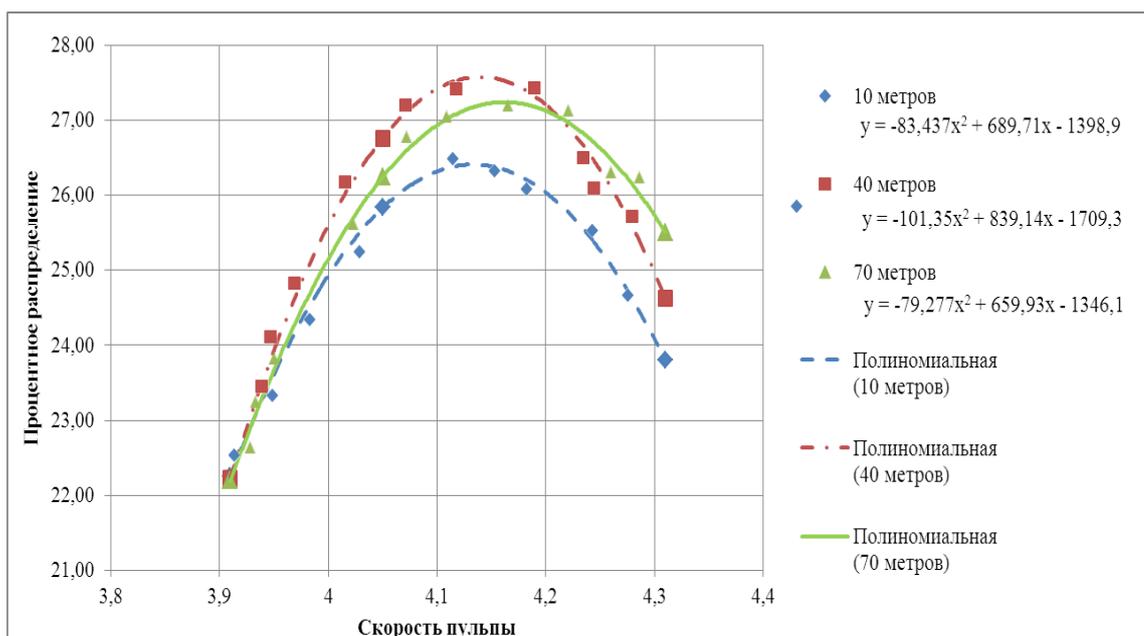


Рисунок 3. Равномерность распределения намываемых отложений при оптимальной консистенции пульпы.

В совокупности эти параметры будут являться доминирующими при любой ставящейся задаче увеличения устойчивости определенного участка пляжа за счет перераспределения хвостов.

В результате сформулировано второе защищаемое положение.

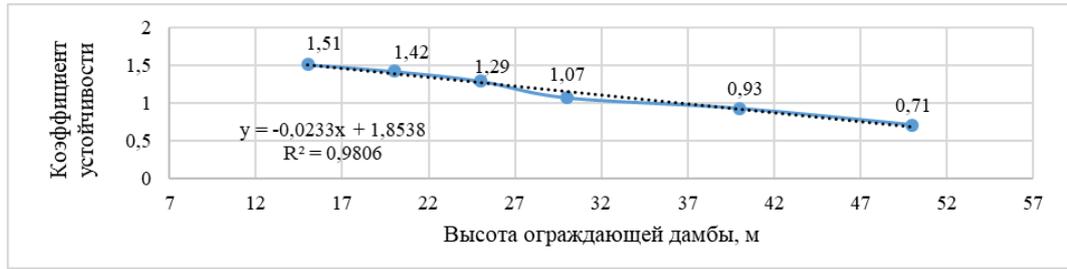
Защищаемое положение 2. Равномерность распределения намываемых отложений при оптимальной консистенции пульпы (соотношение жидкой фазы к твердой) находится в квадратичной зависимости от скорости движения пульпы и средневзвешенного диаметра частиц.

Для установления влияния геометрических характеристик на устойчивость ограждающей дамбы были выполнены три варианта расчетов при длине пляжа 150, 100 и 50 метров.

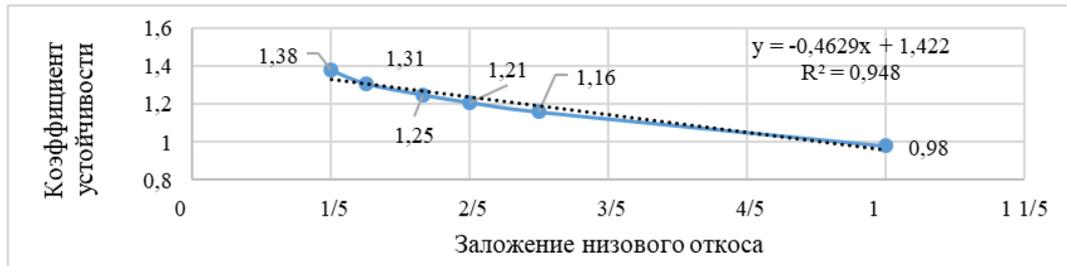
Закономерности изменения коэффициента устойчивости $k_{уст}$ ограждающей дамбы от ее конструктивных параметров: высоты и крутизны низового откоса и длины пляжа, приведены на рисунках 4а, 4б и 4в соответственно.

Результаты расчетов показывают, что при одинаково заданных исходных данных, увеличение высоты дамбы и заложение низового откоса приводит к снижению коэффициента ее устойчивости, а при увеличении длины пляжа устойчивость повышается.

а) влияние высоты дамбы



б) влияние заложения откоса



в) влияние длины пляжа

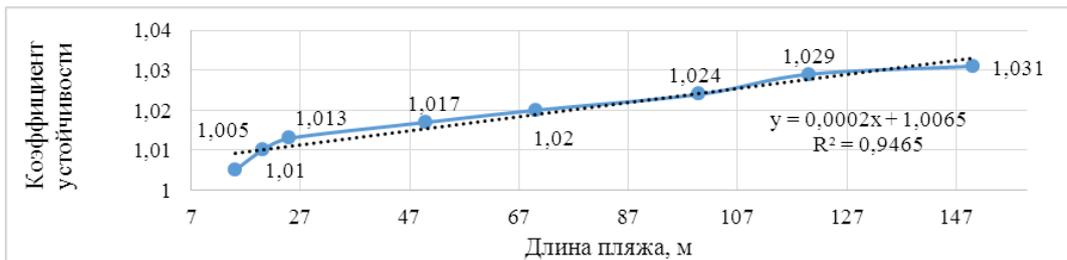


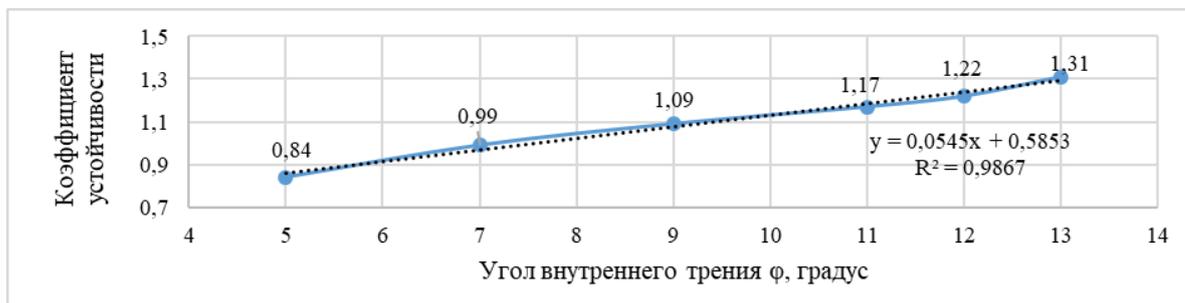
Рисунок 4. Изменение $k_{уст}$ в зависимости от изменения геометрических параметров.

Исследовано изменение таких критериев оценки аварии и устойчивости, как прочностные характеристики техногенных грунтов – угол внутреннего трения и сцепление (Рисунок 5).

Для установления влияния изменений физико-механических свойств на устойчивость, в расчетной схеме изменяли значения удельного сцепления и угла внутреннего трения грунтов, слагающих тело дамбы.

Анализ результатов показал пропорциональную зависимость изменения коэффициента устойчивости от физико-механических свойств грунта, при этом удельное сцепление является более важным параметром, определяющим устойчивость, чем угол внутреннего трения.

а) от угла внутреннего трения



б) от удельного сцепления

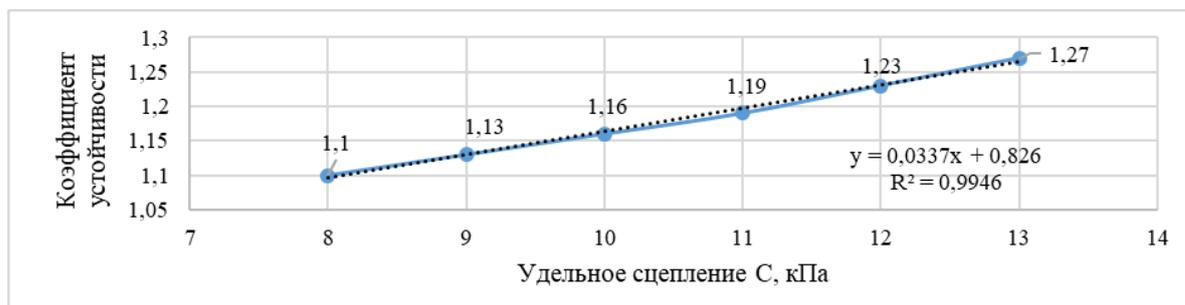


Рисунок 5. Влияние прочностных характеристик хвостов на коэффициент устойчивости ограждающей дамбы

С целью управления прочностными характеристиками и, соответственно, устойчивостью ограждающей дамбы смоделирован процесс намыва хвостов пляжной зоны с применением самоходного катка динамического действия. Значения коэффициента устойчивости представлены на рисунке 6.

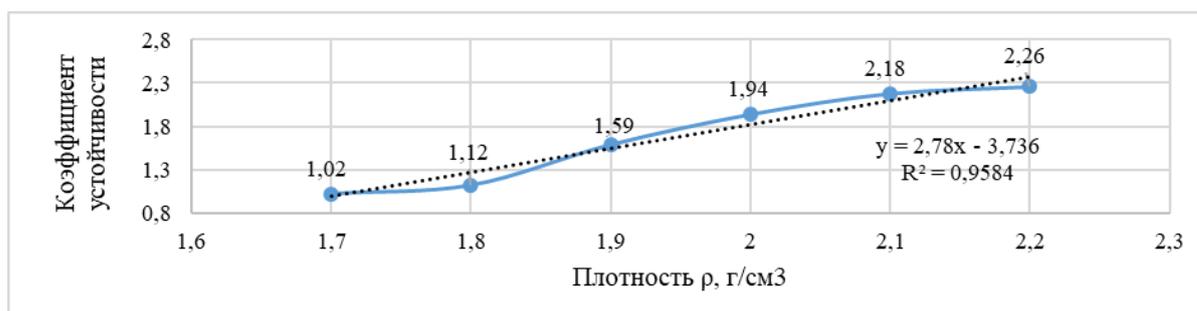


Рисунок 6. Влияние плотности на коэффициент устойчивости ограждающей дамбы

На основании анализа результатов испытаний, представленных на рисунках 4-6 сформулировано третье защищаемое положение.

Защищаемое положение 3. Коэффициент устойчивости ограждающей дамбы техногенного месторождения линейно зависит от геометрических параметров дамбы, прочностных характеристик намываемых частиц и степени их уплотнения.

Выполненный комплекс экспериментальных исследований, включивший в себя оценочные расчеты, прогнозные расчеты и опыты по управлению параметрами намыва с применением технологических приемов, позволил разработать методику оценки и прогноза устойчивости ограждающей дамбы.

Основные положения методики следующие:

1. Сбор изначальных сведений и анализ характеристик ранее созданных техногенных месторождений;
2. Исследование технологических особенностей при эксплуатации хвостового хозяйства;
3. Обоснование основных факторов, определяющих устойчивость техногенного месторождения;
4. Построение и поверка прогностических моделей устойчивости намывных техногенных массивов;
5. Уточнение данных, входящих в расчетные схемы (параметры намывного массива, физико-механические свойства техногенных грунтов);
6. Компоновка общей расчетной схемы устойчивости формирования техногенного массива;
7. Расчетный мониторинг устойчивости сформированного техногенного массива;
8. Технические и технологические инструменты по управлению рисками.

Указанная методика была также внедрена и опробована на хвостохранилище №2 ЗФ ПАО «Норильский никель».

Проведен расчет устойчивости ограждающей дамбы на сооружении с использованием всех установленных выше закономерностей по выбранным расчетным створам дамбы. Расчетное сопровождение заключается в сравнении информации, получаемой в результате расчетов, с требуемыми параметрами устойчивости при необходимости, в случае ухудшения параметров устойчивости, принимается решение о выполнении инженерных мероприятий по обеспечению требуемого уровня безопасности.

По результатам расчетов были установлены участки дамбы по створам, нуждающимся в принятии экстренных мер по повышению несущей способности дамбы.

С целью предотвращения аварийной ситуации на этих участках были применены технологические приемы оптимизации состояния и характеристик массива.

Произведено вторичное обвалование хвостов пляжной зоны на расстоянии до 5м с применением экскаваторов. Это позволяет образовать дополнительную дамбу обвалования, что в свою очередь приводит к изменению:

- геометрических параметров дамбы с увеличением размеров дамбы по верху;
- процессов консолидации намывных хвостов, их ускорению и естественному улучшению основания дамбы.

Произведено динамическое уплотнение хвостов слагающих тело ограждающей дамбы, с совершением до 10 проходов катков по одному следу и перекрытием предыдущего на 10 - 20см.

Результаты полученных данных сравнивались с результатами базового варианта расчета устойчивости сооружения. Они показывают динамику изменения свойств грунтов и массива в целом, что сказывается на показателе устойчивости.

Результаты сравнительных расчетов в результате выполнения указанных работ показали увеличение коэффициента устойчивости ограждающей дамбы на 15-25 %, доказывая правомерность применения предложенной методики.

Указанный подход по воздействию на факторы, влияющие на устойчивость сооружения, позволяют проводить мониторинг сооружений в процессе эксплуатации и принимать экстренные меры в опасных зонах ограждающей дамбы хвостохранилища.

Заключение

В диссертации, представляющей собой научно-квалификационную работу, на основе выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная научная задача обоснования технологических параметров намывного техногенного массива на основе использования экспериментально выявленных закономерностей процесса намыва, что обеспечивает увеличение его объёма, безопасность эксплуатации и снижение затрат при его формировании.

Основные научные и практические результаты, полученные лично автором, заключаются в следующем:

1. Установлены закономерности физико-механических свойств техногенных грунтов, слагающих намывной техногенный массив и

обосновано, что для обеспечения устойчивости его ограждающей дамбы и сохранения природной среды технологические параметры намыва должны обеспечить формирование однородного строения массива и плотного сложения техногенных грунтов с массивной текстурой.

2. Установлено, что равномерность распределения намываемых отложений при оптимальной консистенции пульпы (соотношение жидкой фазы к твердой) находится в квадратичной зависимости от скорости движения пульпы, высоты расположения пульпопровода и средневзвешенного диаметра частиц.

3. Выявлено, что коэффициент устойчивости ограждающей дамбы намывного техногенного массива линейно зависит от геометрических параметров дамбы, прочностных характеристик намываемых частиц и степени их уплотнения.

4. Предложены варианты намыва техногенного массива, учитывающие высоту намыва дамбы за один цикл и в целом за год, ширину фронта намыва, количество намываемых отложений, календарный график работ при обязательном соблюдении промышленной и экологической безопасности.

5. Методика оценки экологической безопасности намывного техногенного массива практически внедрена и успешно используется на хвостохранилище №2 ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель».

6. Методика обеспечения устойчивости ограждающей дамбы намываемого техногенного массива позволяет продлить срок эксплуатации накопителей отходов металлургического производства на 15-20 лет без строительства новых горно-технических сооружений.

7. Предложенная методика обеспечения устойчивости ограждающей дамбы намываемого техногенного массива может быть использована горнорудными компаниями, научно-исследовательскими и проектными организациями, а также в учебном процессе ВУЗов.

Основное содержание диссертационной работы отражено в следующих публикациях:

В изданиях, рекомендованных ВАК, и приравненных к ним:

1. Lolaev A., Oganesyanyan A., Badoev A., Oganesyanyan E. Methodology of the estimated monitoring for the tailings dam stability. Proceedings of 3-rd International Conference on Information Technology in Geo-Engineering (ICITG2019). Guimaraes, Portugal, 2019. Pp. 644-653.

2. Lolaev A., Oganessian A., Badoev A., Oganessian E. Geotechnical modelling of technological parameters of the tailing dam alluvium. "Lecture Notes in Civil Engineering" Springer, Hanoi 2019. Pp. 1159-1167.

3. Lolaev A., Oganessian A., Badoev A.S., Oganessian E. Tailing dams formation algorithm. Arab J Geosci 13, 974 (2020).

4. Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Бадоев А.С., Оганесян Э.Х. К вопросу установления оптимальных технологических параметров ограждающей дамбы при формировании техногенных месторождений//Сборник научных работ преподавателей и аспирантов СКГМИ (ГТУ): Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – №6 (специальный выпуск 25). – М.: Изд-во Горная книга, 2018 – С. 52 – 61.

5. Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Бадоев А.С., Оганесян Э.Х. Сетевое планирование при оптимизации технологических параметров намыва хвостохранилищ в криолитозоне//Сборник научных работ преподавателей и аспирантов СКГМИ (ГТУ): Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – №6 (специальный выпуск 25). – М.: Изд-во Горная книга, 2018. – С. 127 – 136.

6. Lolaev A., Oganessian A., Badoev A., Oganessian E. The Algorithm of Geotechnical Massif Forming Considering the Consolidation Time and Network Planning Method. Proceedings of 2-nd Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG). Sousse, Tunisia, 2019. (2022).

7. Lolaev A., Oganessian A., Badoev A., Oganessian E. Proceedings of 3-rd Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG). Sousse, Tunisia, 2020. (2022).

8. Lolaev A., Oganessian A., Badoev A., Oganessian E. Determination of the optimal moisture content to ensure the consolidation of the tailing dump. Proceedings of the 1-st Mediterranean Geosciences Union Annual Meeting (MedGU-21). Istanbul, Turkey, 2021.

9. Лолаев А.Б., Бадоев А.С., Оганесян Э.Х. Определение времени консолидации хвостов намывных хвостохранилищ. – «Успехи современной науки», № 1, Том 7. - Белгород. - 2017.

10. Лолаев А.Б., Бадоев А.С., Оганесян Э.Х. Применение сетевых графиков для оптимизации намыва хвостохранилищ // Успехи современной науки и образования", № 3, - Том 6. - Белгород. - 2017.

Патенты на изобретение:

11. Лолаев А.Б., Акопов А.П., Оганесян А.Х., Сумин М.Н., Акопов Б.П., Оганесян Э.Х. Способ наращивания дамбы гидроотвала // Патент РФ, № 2486310, 2013 г.

12. Лолаев А.Б., Акопов А.П., Оганесян А.Х., Сумин М.Н., Акопов Б.П., Оганесян Э.Х. Лабораторный стенд для моделирования процесса намыва гидротехнического сооружения // Патент РФ, № 122098, 2013 г.

13. Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Бадоев А.С., Оганесян Э.Х. Способ возведения намывной ограждающей дамбы//Патент РФ №2654718. – 2017.

И 11 научных работ представлены в различных журналах и материалах конференций.

Личный вклад соискателя состоит в анализе и обобщении теории и практики возведения намывных техногенных месторождений [2, 3, 5], обосновании основных и наиболее информативных факторов, определяющих устойчивость ограждающей дамбы техногенного месторождения, разработке методики расчета технологических параметров возведения намывных техногенных месторождений [4, 8, 9], проведении экспериментальных исследований по формированию ограждающих дамб в лабораторных условиях [6, 7, 8], изучении физико-химических свойств намываемых отложений [1, 9, 10, 11, 13], проведении физического и компьютерного моделирования и сопоставлении их результатов с данными опытно-промышленных исследований, формулировке основных научных положений, выносимых на защиту, а также основных выводов и рекомендаций.