

На правах рукописи



ДЗЕБОЕВ СТАНИСЛАВ ОЛЕГОВИЧ

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕНЕЗА НА ФОРМИРОВАНИЕ
ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ - НАМЫВНОЙ
ТЕХНОГЕННЫЙ ГРУНТОВЫЙ МАССИВ И
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ
ТЕРРИТОРИЙ**

(на примере Унальского хвостохранилища, Республика Северная
Осетия-Алания)

Специальность 1.6.7

Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Владикавказ 2022

Работа выполнена в ООО «Научно-производственное объединение «Геоинжиниринг», г. Дигора

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:

БОРТНИКОВА СВЕТЛАНА БОРИСОВНА, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск

СЕРГЕЕВ ДМИТРИЙ ОЛЕГОВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, Институт Геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), г.Москва.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск

Защита состоится 14 февраля 2023 г. в 10-00 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/newfull226/3765.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 темы. Природно-технические системы техногенных грунтовых массивов, к которым относятся хвостохранилища горно-обогатительных комбинатов (ГОКов), как опасные производственные объекты и источники постоянного воздействия на окружающую среду, в настоящее время являются предметом исследований и наблюдений научных, проектных и природоохранных организаций, что связано с неумещающимся количеством аварий и неудовлетворительным состоянием природной среды на прилегающих к ним территориях.

В России имеется около 26 тысяч гидротехнических сооружений, из которых только 30% признаны безопасными, а более 10% - бесхозными. Только по официальным данным, российские шламонакопители хранят около 8 млрд кубометров промышленных отходов разных классов опасности. Это примерно в 10 тысяч раз больше того, что попало в окружающую среду после известных крупных аварий в Венгрии (2008), Бразилии (2019) что представляет реальную угрозу возникновения региональных техногенных катастроф, которые могут возникнуть при проявлении природных катастрофических процессов - наводнения, паводки, землетрясения.

Большую угрозу для территории Республики Северная Осетия-Алания (Северный Кавказ) представляют хвостохранилища (Унальское и Фиагдонское) Садонского свинцово-цинкового комбината (ССЦК), на последнем из которых дважды (в 2009 и 2012 гг) были зафиксированы техногенные катастрофические сбросы материала хвостов в рр. Ардон и Фиагдон, что привело к загрязнению вод и донных осадков такими микроэлементами, как Pb, Zn, As, Sr, Ba. Поэтому проведение на хвостохранилищах и прилегающих к ним территориях комплекса целенаправленных исследований для выявления основных техногенных и природных факторов, влияющих на промышленную и экологическую безопасность сооружений, расчеты степени устойчивости защитных намывных дамб от возможных катастроф, является актуальной задачей, так как приведет к снижению степени риска возникновения природно-техногенных катастроф и материального ущерба.

Цель работы: установление на основе современных методов исследований закономерностей формирования и изменчивости природно-технической системы техногенный грунтовый массив - окружающая среда.

Научные положения, защищаемые в работе:

1. Установленные особенности строения намывных грунтов Унальского хвостохранилища (агрегированность грунтов, виды структурных связей частиц и агрегатов, присутствие водорастворимых солей и глинистых минералов) характеризуют закономерности эволюции природно-технической системы, что позволяет повысить точность и надежность принимаемых решений.

2. Методика оценки и прогноза устойчивости ограждающей дамбы при возведении и эксплуатации техногенных массивов на базе нечетких множеств с применением факторного анализа, учитывающая наиболее информативные и определяющие факторы (конструктивные, физико-механические свойства хвостов, состояние дамбы) позволяет скорректировать объем и направление исследований в соответствии с поставленными задачами.

3. Комплексный анализ пространственных закономерностей формирования минерало-геохимических условий хвостохранилища показал, что аномально высокие концентрации широкого круга элементов характерны для тонкодисперсных фракций, основным

техногенным источником загрязнения грунтов прилегающих территорий является механизм эоловой эрозии сухой пляжной части, водная среда прилегающих территорий загрязняется фильтрацией воды из хвостохранилища и шахтными водами,

Научная новизна работы:

1. Впервые с позиций комплексного подхода и системного анализа установлены закономерности формирования и изменения геотехнических условий природно-технической системы - намывной техногенный грунтовый массив Унальское хвостохранилище. При этом технологические приемы эксплуатации рассматриваются как основные факторы изменений природной среды на прилегающей к накопителю местности.

2. Установлены особенности строения намывных грунтов Унальского хвостохранилища: грунты агрегированы, степень агрегатизации высокая, выделены крупнопылеватые, мелкопесчаные и мелкопылеватые агрегаты, структурные связи между частицами и агрегатами относятся к коагуляционному или переходному типу. Внутриагрегатные связи обусловлены присутствием водорастворимых солей и глинистых минералов.

3. Техногенные намывные грунты Унальского хвостохранилища не обладают пластичными свойствами, имеют высокий коэффициент пористости. При длительном деформировании падение прочности почти не происходит, повышение влажности не вызывает изменения прочности, а в некоторых случаях она даже повышается. Их характеристики выходят за рамки стандартов по причине специфического состава этих грунтов. Характеристики, используемые для определения $K_{уст}$ полученные по ГОСТ 25100-2020, имеют завышенные значения по сравнению с полученными по результатам исследований, что может привести к аварийной ситуации.

4. Разработана и апробирована комплексная методика оценки и прогноза устойчивости ограждающей дамбы при возведении и эксплуатации техногенных массивов на базе нечетких множеств с применением факторного анализа наиболее информативных и определяющих факторов (конструктивные, физико-механические свойства хвостов, состояние дамбы). Применение теории нечетких множеств показало высокую корреляцию результатов с традиционными методами определения устойчивости такого вида сооружений.

5. Впервые получены (количественными методами РФА и ICPMS) принципиально новые данные о минералого-геохимических особенностях техногенного грунтового массива, не только в поверхностном слое (до 0.5м) пляжных частей хвостохранилища, но и в вертикальных разрезах по керну скважин, а также, о геохимических особенностях вод в контрольных пунктах поверхностных водотоков и «защитного» озера. Геохимически охарактеризованы все гранулометрические разновидности захороненных промышленных отходов и установлено, что аномально высокие концентрации широкого круга элементов характерны для тонкодисперсных фракций (глины и мелкозернистые лежалые пески). Основным техногенным источником загрязнения грунтов прилегающих территорий является механизм эоловой эрозии сухой пляжной части с образованием пылевых «облаков», перемещающихся постоянно дующими ветрами вверх и вниз по долине р. Ардон на расстояние до 5 км.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается: большим объемом целенаправленно отобранного соискателем фактического материала (лежалые пески, глины, почвы, вода) и его аналитических исследований надежными, высокоточными количественными методами изучения вещества

и комплексного анализа полученных результатов; бурением, опробованием и анализом результатов лабораторных исследований керна скважин; определением объемов фильтрационных утечек из насыпной дамбы с определением в лабораторных условиях физико-механические свойства отдельных конструкций хвостохранилища. Обработка и обобщение результатов велись с использованием методов теории вероятностей и математической статистики.

С 2013 по 2021 гг. соискатель принимал участие в качестве исполнителя в научно-исследовательских работах по оценке негативного воздействия хранилищ промышленных отходов на экологическую безопасность горных территорий Северного Кавказа. Непосредственное участие диссертант принимал в полевых и лабораторных исследованиях, в обработке полученных данных в подборе расчетных схем, адекватных реальному состоянию массива грунтов ограждающей дамбы; в расчетах устойчивости объекта; во внедрении результатов лабораторных исследований в практику.

Практическое значение работы:

1. Установлены закономерности формирования физико-механических свойств хвостов в намывных массивах, основные виды микроструктур и типы контактов между структурными элементами, определены классификационные характеристик намывных грунтов, которые используются для прогноза технологической и экологической безопасности хвостохранилища.

2. Предложена комплексная методика оценки и прогноза устойчивости ограждающей дамбы при возведении и эксплуатации техногенных массивов на базе нечетких множеств с применением факторного анализа наиболее информативных и определяющих факторов (конструктивные, физико-механические свойства хвостов, состояние дамбы).

3. Выполнено детальное минерало-геохимическое изучение захороненных промышленных отходов Унальского хвостохранилища Садонского свинцово-цинкового комбината и прилегающих к нему территорий и вод р. Ардон с притоками с последующим определением содержаний экологически опасных элементов, современными надежными количественными методами (инструментальная нейтронная активация, атомно-абсорбционный, РФА и ICP MS анализы);

4. Полученные результаты минерало-геохимических исследований могут быть использованы при создании технологии/способа полной утилизации захороненных в хвостохранилище промышленных отходов, которая позволит снизить степень риска возникновения природно-техногенных катастроф, решить ряд экологических и социальных проблем региона, связанных со здоровьем населения, а также извлечь экономически ценные металлы и получить экологически чистое сырье для производства стройматериалов.

Реализация результатов работы.

Результаты исследований использованы Министерством природных ресурсов РСО-Алания при составлении проекта рекультивации Унальского хвостохранилища. Результаты теоретических исследований использованы в учебном процессе СОГУ им. К.Л. Хетагурова при подготовке специалистов в областях грунтоведения и рационального природопользования.

Апробация работы. Основные результаты исследований докладывались и получили положительную оценку на региональных, всероссийских и международных научно-технических конференциях, ежегодных научно-практических конференциях СКГМИ (ГТУ)

2013-2019 гг.; Всероссийской конференции «Геодинамика, вулканизм, сейсмичность и экзогенные геологические процессы природного и техногенного характера на Кавказе», Владикавказ 2015; 1st International Conference on Natural Hazards & Infrastructure, Chania, Greece, 2016; XVIII Brazilian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, "The Sustainable Future of Brazil goes through our Minas" COBRAMSEG 2016, Belo Horizonte, Brazil, 2016; Международной научно-практической конференции «Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: Геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований», Владикавказ, 2017; III Международной научно-практической конференции «Развитие регионов в XXI веке», г. Владикавказ, 2021 г.; International Conference Series on Geotechnics, Civil Engineering and Structures "Emerging Technologies and Applications for Green Infrastructure (CIGOS 2021)", Ha Long, VIETNAM, 2021.

Публикации. Основные положения диссертации отражены в 22 печатных работах, в том числе 14 в изданиях, рекомендованных ВАК.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 122 страницах машинописного текста; содержит 31 рисунок, 21 таблицу. Список использованных источников включает 112 наименований отечественных и зарубежных авторов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Промышленное освоение недр всегда было связано с образованием большого количества отходов. К тому же, несмотря на постоянное совершенствование технологии добычи и переработки полезных ископаемых, количество отходов горно-металлургического производства не уменьшается. В настоящее время только десятая, а в некоторых случаях и еще меньшая часть сырья превращается в конечную продукцию. При переходе на переработку бедных руд будет образовываться еще большее количество отходов, для складирования которых потребуются огромные площади. В сложившихся условиях все более насущной становится потребность в поиске новых решений с целью оптимизации природоохранной деятельности и снижения негативных экологических последствий строительства и эксплуатации хвостохранилищ.

Проблемам безопасности хвостохранилищ посвящены многочисленные работы Агошкова М.И., Аксенова С.Г., Алборова И.Д., академика Богатикова О.А., академика Бортникова Н.С., Бондарика Г.К., Биянова Г.Ф., Бутюгина В.В., Ведерникова Л.Е., Винокурова С.Ф., Гальперина А.М., Голика В.И., Головишников В.И., Гурбанова А.Г., Дьячкова Ю.Н., Жабовского В.П., Каменского Р.М., Кузнецова Г.И., Лолаева А.Б., Лысканова Г.А., Макарова С.А., Мельникова Н.В., Мирцхулавы Ц.Е., Ржевского В.В., Скочинского А.А., Щетинина А.П. и других авторов.

Промышленная и экологическая безопасность хвостохранилищ непосредственно связаны с устойчивостью гидротехнических сооружений, в первую очередь, определяются технологическими приемами эксплуатации объектов и во многом зависят от состояния их отдельных элементов, за которыми должны проводиться регулярные наблюдения. Полученные результаты используются для совершенствования технологии эксплуатации и уточнения научно-методического сопровождения промышленной безопасности объектов.

Объектом исследований является Унальское хвостохранилище Мизурской горно-обогатительной фабрики, входящей в состав Садонского свинцово-цинкового комбината, построенное в 1984 г., площадью около 60 000 м² и с высотой насыпной дамбы около 30 м.

Оно находится в густонаселенном районе в долине р. Ардон в 700 м севернее сел. Унал и напротив сел. Зинцар. С запада хвостохранилище ограничено автодорогой Мизур - Алагир, с востока - ограждающей первичной дамбой, укрепленной с низовой стороны железобетонной подпорной стеной со сквозными шпорами высотой 5 м. Общая длина дамбы - 1 км. В чаше хвостохранилища устроено водосборное сооружение шахтного типа с отводящим трубопроводом, по которому осуществляется сброс в р. Ардон осветленной части пульпы, поступившей в хвостохранилище с фабрики. По гребню дамбы проложен пульпопровод для подачи осветленной воды в хвостохранилище для пылеподавления намывного пляжа в верхнем бьефе. Зеркало хвостохранилища имеет овальную форму (Рис.1); длина продольной оси 1 км, поперечной (максимальное значение) - 300 м. Площадь - 16 га.



Рисунок 1. Унальское хвостохранилище Мизурской обогатительной фабрики.

Первые аналитические исследования материала хвостохранилища, почв сельхозугодий, шахтных вод и вод р. Ардон проводились «ГОСКОМНЕДРА РСО-А», Геологическим научно-производственным предприятием «СЕВОСГЕОНАУКА», Алборовым И.Д, Газдановым А.Г., Голиком В.И., Кияшкиной Л.А., Шабановой И.А., Жеребцовой Н.И., Газдановой З.А., Лукомской Г.А., Пряничниковой Е.В., Семеновым Ю.Н., Шестаковой Т.В, Матвеевым А.А., и др.

Хвостохранилище расположено в локальной котловине, сложенной песчано-глинистыми отложениями нижней-средней юры. Площадка представляет собой техногенно-измененный ландшафт в долине р. Ардон. Левый борт долины крутой, образован скальными выходами осадочных пород средней юры и оползневыми отложениями г. Кион-Хох (по нему проходит шоссейная дорога «ТрансКАМ»). Правый склон долины – более пологий, представлен серией разно уровневых аккумулятивных и цокольных речных террас. Террасы сложены валунно-галечными отложениями с гравийно-песчаным заполнителем и перекрыты слоем суглинка.

В геологическом строении площадки строительства принимают участие: техногенные (насыпные) грунты (tQIV), оползневые делювиально-пролювиальные отложения (dpQIV), аллювиально-флювиогляциальные образования верхнего плейстоцена (afQ) галечник с песчано-глинистым заполнителем, аллювиальные образования голоцена (aQIV), техногенные(насыпные) грунты (t1QIV), техногенные (намывные) грунты (t2QIV).

Согласно приложению Б (СП11-105-97) сложность инженерно-геологических условий площадки соответствует III категории. Определяющими факторами являются морфологические особенности, геолого-литологическое строение, гидрогеологические

особенности, а также невыдержанность инженерно-геологических слоёв (элементов) в плане и разрезе, современные геологические процессы, сейсмичность района.

Хвостохранилище расположено в сейсмо- и селеопасном районе, где периодически наблюдаются слабые тектонические подвижки.

Сейсмичность района по таблице приложения Б «Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации ОСР-97» СП 14.13330.201, субъект РСО-Алания, пункт - г. Алагир, А (10%) - 8, В (5%) - 9, С (1%) - 9. Опасные гидрологические явления – паводки р. Хаником-Дон. Опасные геологические процессы в районе проведения работ по таблице В.1 «Зарегистрированные проявления опасных геологических процессов на территориях субъектов Российской Федерации» приложения В СП 116.13330.2012: оползни, обвалы, сели, подтопление.

Следовательно, в случае возникновения природных катастрофических событий (селевой поток, наводнение, землетрясение с М 6-7), защитная дамба Унальского хвостохранилища может быть разрушена и вниз по долине р. Ардон пойдет техногенный сел, сметая и загрязняя тяжелыми металлами и токсичными элементами все на своем пути, в том числе и подземные воды. А это уже будет природно-техногенная катастрофа регионального масштаба.

Среди техногенных процессов распространены изменение режимов стока, условий питания и химического состава поверхностных и подземных вод; загрязнение и уничтожение почвенно-растительного покрова и т.д. Главную роль в их проявлении играет Унальское хвостохранилище.

Несмотря на известные достижения в проектировании и эксплуатации хвостохранилищ, в методическом и научном обеспечении исследований, недостаточно разработанными остаются вопросы технологии эксплуатации, мониторинга промышленной и экологической безопасности и др. Автором предпринята попытка дальнейшего развития направления обеспечения и прогноза экологической безопасности хвостохранилищ, при этом технологические приемы эксплуатации и устойчивость ограждающей дамбы рассматриваются как основные факторы изменений природной среды на прилегающей к накопителю местности.

Одним из ведущих факторов, обеспечивающих представительность инженерных расчетов, являются физико-механические свойства техногенных грунтов.

В лабораторных условиях исследования техногенных грунтов – хвостов были выполнены по методической схеме, разработанной в лаборатории грунтоведения Института земной коры СО РАН д.г.-м.н. Рященко Т.Г. и включающей определение комплекса 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).

В качестве объектов исследования использовались воздушно-сухие образцы минерального техногенного грунта нарушенного сложения, отобранные из Унальского хвостохранилища.

Гранулометрический анализ выполнялся тремя способами: микроагрегатным, стандартным и дисперсным. Его результаты использовались при расчетах коэффициентов микроагрегатности, по которым определялись степень агрегированности грунтов и размеры

их агрегатов и частиц. Эксперименты и расчеты позволили установить особенности микростроения хвостов, типы микроструктур и структурных моделей грунтов.

Проведенные исследования структурных особенностей намытых хвостов методом «структурных диаграмм» позволили установить следующее: грунты агрегированы, степень агрегатизации высокая, зафиксированы крупнопылеватые, мелкопесчаные и мелкопылеватые агрегаты, сформированные за счет мобилизации мелкоглинистых фракций; основная масса пылеватых частиц является первичной, образец светло-коричневого песка с сероватым оттенком, характеризуется скелетной микроструктурой, тип структурной модели тонко-мелкопесчаный элементарный.

Структурные связи между частицами и агрегатами относятся к коагуляционному или переходному типу.

Для определения показателей физических и физико-химических свойств грунтов использовались воздушно-сухие образцы. Результаты представлены в Таблице 1.

Таблица 1 Показатели физических и физико-химических свойств грунтов (n=26)

№ пробы	ρ_s	W	V	φ_1	φ_2	D_j	$E_{об}$
Хвосты Унал	2,82	12,2	3,0	38,5	26,5	12	31,44

Примечание: ρ_s – плотность минеральной части грунта, г/см³; W – влажность, %; 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; n – количество образцов.

Кроме того, хвосты характеризуются отсутствием пластичности и различной степенью гидрофильности.

По величине седиментационного объема (<3,3 см³) грунты относятся к потенциальным плывунам первого типа (без структурных связей), в то же время уменьшение угла естественного откоса под водой (на 12°) свидетельствуют о наличии структурного сцепления.

Исследования показали, что мелко - песчаные хвосты относятся к группе набухающих грунтов (10%); величина начальной влажности и плотности грунтов на степень набухания влияния не оказывает. Объемная усадка этих образцов не превышает 3,2%.

Определение параметров прочности грунтов и оценка устойчивости намывных массивов позволили установить следующие специфические свойства хвостов.

Образцы характеризуются очень высоким коэффициентом пористости (0,83-0,89), но по результатам быстрого сдвига имеют относительно высокие значения прочности (C – 0,004-0,006 МПа; φ – 31-35°). При увеличении влажности сцепление уменьшается, угол внутреннего трения также уменьшается или остается без изменений.

Максимальные коэффициенты сжимаемости при нагрузке 0,1 МПа составляют 0,53-0,79 МПа⁻¹, т.е. хвосты относятся к группе сильно сжимаемых разновидностей.

Проведенные исследования показали, что техногенные намывные грунты не обладают пластичными свойствами, имеют высокий коэффициент пористости, однако их прочностные характеристики выходят за рамки стандартов по причине специфического состава этих грунтов. При длительном деформировании падения прочности почти не происходит; повышение влажности не вызывает изменения прочности, а в некоторых случаях она даже повышается.

Проведен предварительный сравнительный анализ результатов оценки физико-механических свойств техногенного массива с исходными данными, полученными по результатам экспериментов и данными полученными по рекомендациям ГОСТ 25100-2020.

Характеристики, используемые для определения $K_{уст}$, полученные по ГОСТ 25100-2020 имеют завышенные значения по сравнению, с полученными по результатам исследований, что может привести к аварийной ситуации (табл.2).

Таблица 2. Сравнение прочностных характеристик техногенных грунтов, полученных по табличным данным ГОСТ 25100-2020 и экспериментам.

Грунт	Физические – характеристики грунта			Прочностные характеристики грунта					
	плотность ρ_s т/м ³	влажность W %	Коэффициент пористости e	Полученные по таблицам Гост			Полученные по результатам экспериментов		
				c КПа	φ	E МПа	c КПа	φ	E МПа
Хвосты Унал	2,82	12,2	0,85	1	25	12	6,5	38,5	3,2

Из таблицы 2 видно, что значения прочностных характеристик техногенных грунтов, полученные по табличным данным ГОСТ и экспериментам, различаются в пределах от 0,5 до 3 раз, следовательно, использование данных таблиц ГОСТ ведет к неточности расчета и может служить причиной аварии.

В результате сформулировано первое защищаемое положение.

Защищаемое положение №1. Установленные особенности строения намывных грунтов Унальского хвостохранилища (агрегированность грунтов, виды структурных связей частиц и агрегатов, присутствие водорастворимых солей и глинистых минералов) характеризуют закономерности эволюции природно-технической системы, что позволяет повысить точность и надежность принимаемых решений.

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

Отметим, что выбор решений в условиях риска состоит в поиске наилучшей адекватной модели реального процесса принятия решений, так как случаи полной определенности чрезвычайно редки, а выбор при неопределенности (когда любая информация о вероятностях полностью отсутствует) – сводится к ситуации в условиях риска, если все возможные исходы считать равновероятными.

Поэтому методологический подход решения проблемы обеспечения устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища рекомендуется решать следующим образом. На первом этапе, при прогнозировании технологических результатов в условиях неопределенности и соответствующего риска адекватным математическим аппаратом для такого класса задач представляется теория нечетких множеств (ТНМ), а на втором этапе при определении технологических параметров и установленных количественных показателей наиболее эффективным становится математический аппарат методов расчета по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения.

В соответствии с методологическими подходами была получена прогнозная модель и дана оценка несущей способности ограждающей дамбы на базе теории нечетких множеств.

Были определены пять факторов в виде входных лингвистических переменных, наиболее информативных об изучаемом процессе:

X_1 – функция угла откоса дамбы, градус;
 X_2 – функция высоты дамбы, м;
 X_3 – функция ширины пляжа, м;
 X_4 – функция плотности грунтов, г/см³;
 X_5 – функция степени влажности грунтов.

В качестве зависимой переменной Y выбрано значение коэффициента устойчивости.

В кодированном виде переменные представлены на рис.2.

X_1 определяется по формуле:

$$X_1 = \frac{x_1 - 27}{18} \quad (1)$$

где x_1 – угол откоса дамбы в градусах;

X_2 определяется по формуле:

$$X_2 = \frac{x_2 - 37}{27} \quad (2)$$

где x_2 – высота дамбы, м.

X_3 определяется по формуле

$$X_3 = \frac{x_3 - 150}{100} \quad (3)$$

где x_3 – ширина пляжа, м.

X_4 определяется как функция плотности сложения хвостов тела дамбы. $X_4 = -1$ для рыхлого сложения, $X_4 = 0$ для промежуточного состояния (хвосты средней плотности сложения), $X_4 = +1$ – для плотного состояния.

X_5 определяется как функция степени влажности хвостов в дамбе. $X_5 = -1$ при маловлажном состоянии, $X_5 = 0$ при влажном состоянии, $X_5 = +1$ – при водонасыщенном состоянии.

Далее была сформирована матрица опроса в виде полного факторного эксперимента типа 2^n+1 где n – количество входных лингвистических переменных, представленная в форме крайних значений входных лингвистических переменных. Обработка результатов опроса проводилась в кодированном виде.

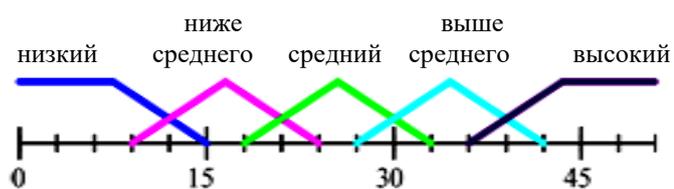
Результирующее уравнение в кодированном виде имеет вид:

$$\begin{aligned}
 Y = & 1.33 + 0.05 X_1 + 0.05 X_2 + 0.05 X_3 + 0.09 X_4 + 0.03 X_5 + \\
 & + 0.01 X_1 X_2 + 0.01 X_1 X_3 + 0.01 X_1 X_4 + 0.01 X_2 X_3 + 0.01 X_2 X_4 + \\
 & + 0.01 X_3 X_4 + 0.03 X_4 X_5 - 0.01 X_1 X_2 X_3 - 0.02 X_1 X_2 X_4 - 0.01 X_2 X_3 X_4
 \end{aligned} \quad (4)$$

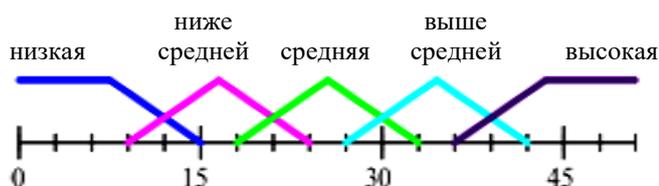
В уравнении (4) представлены только значимые коэффициенты (оценка ошибки составила 0,1 при уровне значимости 0,05).

Следует отметить, что уравнение (4) имеет нелинейный характер. При этом значимыми оказались даже тройные взаимодействия, которые имеют физический смысл. Например, $X_2 X_3 X_4$ – можно интерпретировать как характеристику комплексного влияния высоты дамбы, ширины пляжа и плотности сложения тела дамбы на значение коэффициента устойчивости; $X_1 X_2 X_4$ – показатель комплексного влияния угла откоса дамбы, высоты дамбы и плотности сложения тела дамбы на значение коэффициента устойчивости дамбы.

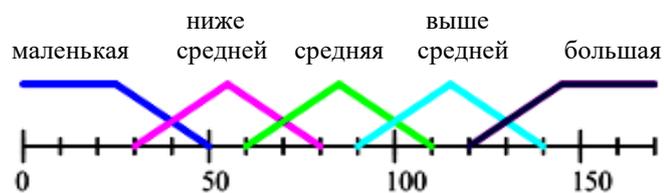
X_1 - угол откоса дамбы, град.



X_2 - высота дамбы, м



X_3 - ширина пляжа, м



X_4 - плотность сложения хвостов, г/см³



X_5 - степень влажности хвостов



Y - значение коэффициента устойчивости

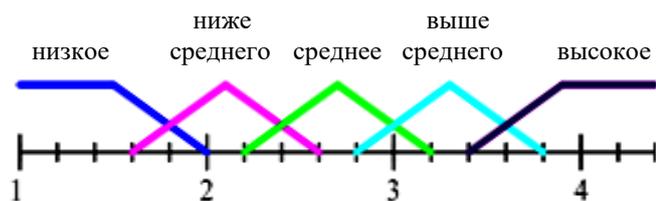


Рис. 2. Характеристики дамбы в кодированном виде.

Нелинейность уравнения (4) указывает на возможность получения результатов при различных сочетаниях факторов, т.е. учесть все вероятные ситуации, создать соответствующие номограммы и на их основе разработать стратегию наблюдений за состоянием тела дамбы и комплекс мероприятий по предотвращению нежелательных ситуаций.

Базовой расчетной схемой было принято сечение ограждающей дамбы, являющееся наиболее характерным и представляющее уязвимую зону для аварии. Коэффициент запаса устойчивости составил $K_{уст} = 1,54$, что свидетельствует об устойчивости сооружения на момент расчета в соответствии с нормами, предъявляемыми к сооружениям такого класса.

Для проверки адекватности прогностической модели также были выполнены расчеты устойчивости по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения. Для расчетов была использована программа UFOS, разработанная Власовым А.Н и Мнушкиным М. (МГСУ).

Программа разработана на объектно-ориентированном языке C++ с использованием оптимизирующего компилятора BorlandC++TM Borland International v.5.02 с использованием библиотеки OWLv.5.0. В программе UFOS коэффициенты запаса устойчивости могут быть определены по круглоцилиндрическим или заданным потенциальным поверхностям скольжения. В ней реализуются следующие методы расчёта коэффициентов запаса устойчивости: Терцаги, Крея-Флорина, Чугаева, Можевитинова, Шахунянца, Маслова-Берера, Бишопа, Нонвейе, Янбу, Моргенштерна-Прайса, Спенсера и др.

Полученный коэффициент устойчивости при заданных исходных данных составил $K_{уст} = 1.68$.

Следует отметить, что сооружения типа хвостохранилища по СНиП 33-01-2003 относятся ко второму классу опасности и минимальный коэффициент устойчивости составляет: $K_{уст} = 1,2$.

Проведенные расчеты коэффициента устойчивости с применением методики на базе теории нечетких множеств, показывают высокую корреляцию результатов с результатами расчета с помощью традиционных методов и позволяют оценить существующее состояние на данный момент времени как устойчивое.

При изменении значений факторов, влияющих на устойчивость ограждающей дамбы можно спрогнозировать возможные риски путем изменения значений соответствующих математических параметров и вычислить значение коэффициента устойчивости и, следовательно, возможный риск аварии на сооружении.

В результате сформулировано второе защищаемое положение.

Защищаемое положение № 2. Методика оценки и прогноза устойчивости ограждающей дамбы при возведении и эксплуатации техногенных массивов на базе нечетких множеств с применением факторного анализа, учитывающая наиболее информативные и определяющие факторы (конструктивные, физико-механические свойства хвостов, состояние дамбы) позволяет скорректировать объем и направление исследований в соответствии с поставленными задачами.

Для комплексной оценки влияния хвостохранилища на экологическую безопасность прилегающих территорий и водных объектов, в частности сел. Унал, Зинцар, Дагом, Архон и др., были отобраны представительные пробы из захороненных промышленных отходов хвостохранилища, из почв природных пастбищ и сельхозугодий, воды в контрольных пунктах главной водной артерии района - р. Ардон с ее притоками, из «защитного» озера.

Анализ химического состава проб выполнен в ЦКП ИГЕМ РАН методом рентгено-флуоресцентной спектрометрии (РФА) на спектрометре последовательного действия PW-2400 производства компании Philips Analytical B.V. (Нидерланды). При калибровке спектрометра использованы отраслевые и государственные стандартные образцы химического состава горных пород и минерального сырья (14 ОСО, 56 ГСО). Качество результатов соответствует требованиям III категории точности количественного анализа по ОСТ РФ 41-08-205-99.

Данные аналитических исследований лежалых хвостов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты исследований лежалых хвостов методом РФА.

Номера образцов	ПДК по хим. элементам, (ppm)									
	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Ba	Pb	As
	6	5	4	3	23	1	5	1	32	2
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
68/15	685	16	326	32124	53509	1314	366	4773	57593	629
68-1/15	1184	44	1213	7553	60928	2047	309	4975	75943	1422
68-2/15	621	19	147	8275	19433	1094	132	2119	52791	638
68-3/15	924	44	44	23984	36026	2514	349	4409	85638	2173
68-4	115	18	35	3148	19943	506	65	765	17509	1124
68-4/15	105	15	34	3123	20147	511	63	793	17358	1122
68-5/15	397	13	37	2096	9895	477	68	1109	25045	374
69/15	105	14	16	87	7055	201	49	955	5,658	427
70- /15	2979	31	775	10972	10563	4059	81	1148	110011	321
70-1/15	663	16	67	1968	10054	593	55	1193	33,896	218
Скв 1 3м	192	11	15	435	5924	152	124	3258	3974	394
Скв 1 5м	58	1	15	549	7636	152	9	2587	3754	282
Скв 1 9м	34	9	2	817	3136	139	396	20600	2246	204
Скв 2 1,5м	129	16	25	813	4923	184	67	686	5505	51
Скв 2 3м	145	12	13	465	3141	149	71	649	3319	354
Скв 2 4,5м	76	15	13	378	2686	141	62	636	2271	214

Анализ результатов геохимических исследований показал, что:

- в поверхностном 0.5 м слое лежалых хвостов наблюдаются большие вариации в содержании широкого круга элементов. Причем, их максимальные значения установлены в южной, юго-восточной и восточной частях хвостохранилища (т.е. в местах где происходит намыв хвостов), а минимальные – на северной сухой пляжной части хвостохранилища, где длительное время не было намыва хвостов и происходит постоянная ветровая эрозия тонкодисперсной фракции;

- выявлена закономерная зависимость величин концентраций элементов от гранулометрического состава лежалых хвостов, заключающаяся в том, что максимальные концентрации экономически ценных и экологически опасных элементов в тонкодисперсной (глинистой, тонко - зернистой и мелко - зернистой песчанистой) фракции значительно выше, чем в более крупнозернистой фракции;

- полученные данные о концентрации ряда элементов показывают, что запасы ценных металлов (Zn, Pb, Cu, Sb, Cd, Ag и др.) окажутся более высокими, чем ранее подсчитанные. Это сделает проект полной утилизации промышленных отходов, с предварительным извлечением из них экономически ценных и экологически опасных элементов, экономически более привлекательным.

Отбор проб из почвенно-растительного слоя с природных пастбищ проводился на глубину 20-30 см. Почва отбиралась с дерниной для определения содержаний экологически опасных химических элементов, как в самой почве, так и в корневой системе растительности.

Пробы отбирались в сел. Зинцар, Архон, Унал с огородов, на которых выращивают картофель, фасоль, помидоры, огурцы, кукурузу и плодово-ягодные культуры, т.к. выращенная продукция может содержать химические элементы, негативно влияющие на организм человека. Пробы отбирались также близ селений с пастбищ, где пасется крупный и мелкий рогатый скот. На рисунке 3 показаны места отбор проб.



Рис. 3 Места расположения контрольных пунктов опробования вод р. Ардон и места отбора проб из почвенно-растительного слоя.

Результаты исследований содержаний тонкодисперсных материалов в почвах природных пастбищ и сельхозугодий позволили выявить anomalно высокие концентрации следующих элементов: Pb, Zn, As, Ni, V, Cr характерных для руд Садонского рудного поля.

Из приведенных данных видно, что превышение (в разы) норм ПДК для Ni достигает: на сельхозугодиях и природных пастбищах во всех трех пробах в 11,25, а на равных площадках на окраине села в пробах №1-2 в 14,5, в пробе №3 – в 4,25.

Из приведенных данных видно, что превышение (в разы) норм ПДК для Ni достигает: на сельхозугодиях и природных пастбищах во всех трех пробах в 11,25, а на равных площадках на окраине села в пробах №1-2 в 14,5, в пробе №3 – в 4,25.

Для Pb: на сельхозугодиях превышение (в разы) ПДК составляет: в пробах №1-2 в 13, в пробе №3 в 14,75; на природных пастбищах в пробе №1 – в 15,9, в пробе №3 – в 1,71.

Для Zn: превышение (в разы) ПДК составляет: на сельхозугодиях во всех трех пробах в 18,7; на природных пастбищах в пробах №1-2 – в 18,7 на равнине в пробах №1-2 в 28,4.

Аналогичные результаты получены и для почв, на равных площадках на окраине сел, природных пастбищ и сельхозугодий сел. Зинцар и сел. Унал.

В таблице 4 приведены данные о превышении норм ПДК для почв в сел. Архон.

Таблица 4. Концентрации элементов в пробах почв в сел. Архон

Хим.элемент	<i>Сельхозугодия сел.Архон</i>										
	ПДК и ПО		Огороды			Пастбища			Равнинные площадки		
	пдк	по	№1	№2	№3	№1	№2	№3	№1	№2	№3
Ni	4	0.2	44	47	44	43	45	45	58	59	17
Cu	3	0.2	6	59	63	61	67	89	77	79	458
Zn	23	0.5	424	423	441	425	447	725	653	642	2979
Pb	32	0.1	414	416	472	511	5	55	326	315	3117
As	2	0.07	23	27	34	26	31	38	24	19	141
Cr	6	0.6	103	107	93	98	92	112	127	129	53
Co	5	0.06	11	12	13	14	17	12	34	31	12
V		0.1	107	109	11	111	108	108	147	145	43
Ba		0.01	375	39	405	389	378	445	543	543	3736
Sr		0.05	121	122	122	115	139	138	146	147	15

Отбор проб воды осуществлялся в контрольных пунктах, как из р. Ардон, с притоками, выше и ниже (до ее выхода на предгорную равнину) по течению от района деятельности ССЦК (Рис.3), так и из «защитного» озера, расположенного на поверхности Унальского хвостохранилища, и из водопроводов с. Унал, Зинцар и г. Алагир. Важно отметить, что экологически опасные элементы (As, Cd, B, Ni, Pb, Zn, и др.) постоянно поступают также из шахтных вод рудников Садонского комбината и боковых притоков р. Ардон (р. Садонка, Архон, Унал-дон) в воду р. Ардон, загрязняя ее, и накапливаясь в ней. В качестве сравнительного эталона была взята фоновая проба из устья р. Цейдон, которая располагалась в 8 км выше по течению р. Ардон от границы Садонского рудного поля.

Анализы проб воды из «защитного» озера хвостохранилища и из всех водотоков выполнялись на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой Series X II ICP-MS Thermo Scientific (Германия). Для калибровки прибора использовались многоэлементные стандартные растворы Perkin Elmer Pure Plus № 9300232, № 9300233, № 9300234 и № 9300235.

Были определены концентрации следующих 58 элементов: B, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Pb, Ba, Li, Be, Rb, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Tl, Bi, Th, U. В таблице 5 приведены результаты анализа проб воды.

Анализ полученных данных позволил выделить те элементы, концентрации которых превышены в разы, по сравнению с нормами ПДК, и которые несут угрозу окружающей среде по различным классам опасности.

Например, содержания Pb превышали (в разы) нормы ПДК в пробах воды из «защитного озера» хвостохранилища: в 2013 г. – превышения нет; в 2014 г. – в 2123, в 2015 г. - в 44. В воде, сливаемой по дренажному желобу превышение (в разы) норм ПДК для Pb составило: в 2013 г. - в 11; в 2014 г. – в 1800; в 2015 г. - в 22.

Таблица 5. Содержание макро- и микроэлементов в реках бассейна р.Ардон, мкг/л

Эл-нт	ПО, мкг/л	ПДКмг /л	класс опас-ти	19/15	20/15	21/15	22/15	23/15	24/15	25/15	26/15	28/15	29/15	37/15	38/15	39/15	41/15	42/15
B	0,8	0,5	2	4,1	19,3	3,2	16,8	2,3	5,8	8,0	21,7	14,2	17,3	5,1	4,9	24,3	3,4	7,8
Na	9	200	2	1506	2771	1746	5608	1537	2645	1187	4293	4277	2897	1878	1894	6994	623	3989
Mg	4	50	3	3240	5930	3004	6256	2875	5158	4651	8369	5033	5857	5220	4918	6537	3713	2819
Al	0,8	0,2 (0,5)	3	3091	1330	402	540	1980	5628	132	3394	137	1983	17,7	20,9	12,7	79,7	10,1
Si	8	10	2	7719	4593	3463	3825	4824	10909	2134	8112	4135	5585	2243	2207	2599	2238	3693
P	12			135	50,0	< ПО	21,9	71,5	265	16,0	160	< ПО	68,2	< ПО				
S	35			4691	8056	14420	10615	9108	12172	2332	11790	17635	8848	2338	2092	11198	1205	8063
Ca	8			11319	25078	24789	27803	14522	17837	52629	34388	22542	25968	50994	59685	41996	59181	16613
Ti	0,7	0,1	3	142	48,8	16,2	2,0	67,0	160	1,8	102	1,0	68,4	< ПО	< ПО	< ПО	1,2	< ПО
V	0,1	0,1	3	6,8	2,4	0,80	0,68	3,5	12,7	0,44	6,8	0,12	3,7	< ПО	0,19	0,11	0,29	< ПО
Cr	0,6	0,05	2	4,4	2,1	< 0,8	< 1,1	3,9	11,1	< ПО	6,1	< ПО	3,3	< ПО				
Mn	0,04	0,1	3	81,2	51,4	8,3	28,2	53,3	173	8,2	135	9,6	68,8	0,65	0,5	1,1	0,9	0,9
Fe	7	0,3	3	5028	2172	620	1081	3370	9979	216	6321	202	3300	29,0	25,0	56,1	75,3	35,8
Co	0,06	0,1	2	1,8	0,87	0,22	0,63	1,3	4,4	< ПО	2,4	0,36	1,3	< ПО				
Ni	0,2	0,02	2	3,9	1,9	0,35	1,3	4,0	11,7	< ПО	6,1	1,6	3,1	< ПО	< ПО	< ПО	< ПО	0,26
Cu	0,2	1	3	2,9	1,8	0,90	1,8	2,8	9,7	0,87	5,5	3,2	3,0	5,5	4,8	2,3	1,0	1,6
Zn	0,5	1	3	8,4	4,1	1,6	22,4	7,7	36,1	2,8	32,8	188	18,4	21,3	13,9	2,9	1,0	23,3
As	0,07	0,01	1	2,9	1,3	4,7	1,1	1,6	24,6	2,6	52,7	17,8	13,3	0,34	0,48	3,6	0,10	8,4
Sr	0,05	7	2	31,2	149	31,1	81,5	30,3	44,9	446	275	76,8	129	316	334	426	304	39,1
Ba	0,01	0,7	2	19,5	9,2	5,4	10,7	6,5	14,3	12,2	17,2	6,3	10,8	10,7	11,1	8,9	8,9	3,8
Pb	0,01	0,01	2	1,9	1,2	0,31	4,2	1,5	15,4	0,30	13,5	2,9	4,5	0,24	0,36	0,26	0,10	0,19

Примечание: 19/5 - устье р.Цейдон, 20/15 - берег р. Ардон сразу за мостом из Буруна в Цей. 21/15 - устье р. Большой Лабогом, у трассы Транскам.22/15 – устье р. Садонка. 23/15 – устье р. Баддон. 24/15 – устье р. Архон. 25/15 - устье р. Тамиск у курорта Тамиск. 26/15 – р. Ардон выше по течению от устья р. Тамиск. 28/15 - устье р. Уналдон. 29/15 – р. Ардон в 300 м выше по течению от хвостохранилища Мизурской обогатительной фабрики. 37/15 - водопровод в южной части гор. Алагир. 38/15 – водопровод в центральной части гор. Алагир. 39/15 – водопровод в северной части гор. Алагир. 41/15 – частный водопровод для снабжения комплекса с бассейном питьевой водой. 42/15 – водопровод в пос. Унал

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в соответствии с классификацией нарушений и загрязнений геологической среды, хвостохранилище является действующим источником активного негативного воздействия на все ее элементы: рельеф, почвенно-растительный покров, гидросферу, грунты и т.д. Современное состояние почв, в непосредственной близости хвостохранилища, по суммарному показателю химического загрязнения, позволяет оценить степень загрязнения от «допустимой» до «опасной».

Совокупная оценка состояния окружающей среды на прилегающей к хвостохранилищу территории характеризуется степенью загрязнения от средней тяжести до экологического бедствия.

При рассмотрении текущей ситуации, становится очевидной необходимость переработки и полной утилизации Унальского хвостохранилища с обязательным извлечением экологически опасных и экономически ценных металлов и получением в твердой фазе экологически чистого сырья для производства различных строительных материалов.

В результате сформулировано третье защищаемое положение.

Защищаемое положение № 3. Комплексный анализ пространственных закономерностей формирования минерало-геохимических условий хвостохранилища показал, что аномально высокие концентрации широкого круга элементов характерны для тонкодисперсных фракций, основным техногенным источником загрязнения грунтов прилегающих территорий является механизм эоловой эрозии сухой пляжной части, водная среда прилегающих территорий загрязняется фильтрацией воды из хвостохранилища и шахтными водами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, представляющей собой научно-квалификационную работу, решена актуальная научно-техническая задача - анализ закономерностей формирования и изменчивости природно-технической системы «хвостохранилище – окружающая среда» и обоснована необходимость скорейшей и полной утилизации техногенного месторождения Унальского хвостохранилища, что имеет важное народно-хозяйственное значение и позволит снизить степень риска возникновения природно-техногенных катастроф, решить ряд экологических и социальных проблем региона, связанных со здоровьем населения, а также извлечь экономически ценные металлы и получить экологически чистое сырье для производства стройматериалов.

Основные научные и практические результаты, выводы и рекомендации:

1. Установлено, что Унальское хвостохранилище является комплексным техногенным месторождением металлического и не металлического сырья, которое представляет собой высокую опасность для Алагирского района и Северного Кавказа, в силу геолого-литологического строения, гидрогеологических, сейсмических и паводковых особенностей региона. Это в свою очередь вызывает необходимость разработки оригинальных технологий эксплуатации и методов исследований, обеспечивающих промышленную и экологическую безопасность накопителей и окружающей природной среды.

2. Установлены закономерности формирования физико-механических свойств хвостов в намывных массивах, основные виды микроструктур и типы контактов между структурными элементами, составлена классификация намывных грунтов, которая

используется для прогноза технологической и экологической безопасности хвостохранилища.

3. Разработана и апробирована комплексная методика оценки и прогноза устойчивости ограждающей дамбы при возведении и эксплуатации техногенных массивов на базе нечетких множеств с применением факторного анализа для определения наиболее информативных и определяющих факторов (конструктивные, физико-механические свойства хвостов, состояние дамбы). Проведенные расчеты коэффициента устойчивости с применением методики на базе теории нечетких множеств, показывают высокую корреляцию результатов с результатами расчета с помощью традиционных методов.

4. Впервые получены (количественными методами РФА и ICP MS) принципиально новые данные о минералого-геохимических особенностях исследуемого техногенного грунтового массива, не только в поверхностном слое (до 0.5м) пляжных частей хвостохранилища, но и в вертикальных разрезах по керну скважин. Геохимически охарактеризованы все гранулометрические разновидности захороненных промышленных отходов и установлено, что аномально высокие концентрации широкого круга элементов характерны для тонкодисперсных фракций (глины и мелкозернистые лежалые пески).

5. Оценены масштабы и степень негативного воздействия находящихся в хвостохранилище промышленных отходов на экологическую обстановку водных ресурсов и почв прилегающей территории.

6. Хвостохранилище является действующим источником активного негативного воздействия на все элементы окружающей среды: рельеф, почвенно-растительный покров, гидросферу, грунты и т.д. Совокупная оценка состояния окружающей среды на прилегающей к хвостохранилищу территории характеризуется степенью загрязнения от средней тяжести до экологического бедствия. Учитывая все факторы негативного воздействия хвостохранилища на экосистему, утилизация захороненных промышленных отходов позволит не только получить необходимые народному хозяйству металлы, стройматериалы, но и снизить негативную нагрузку на экологическую обстановку региона и уменьшить степень риска возникновения техногенных катастроф, связанных с возможным прорывом насыпной дамбы хвостохранилища.

Основное содержание диссертационной работы отражено в следующих публикациях:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Карамурзов Б.С., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзедобоев С.О. и др. Проблемы утилизации промышленных отходов Тырныаузского вольфрамо-молибденового комбината (Кабардино-Балкарская республика) в свете новых данных//Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН РАН, Нальчик № 1 (63), 2015. С. 82-90.

2. Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Карамурзов Б.С., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзедобоев С.О. и др. Экологические и технолого-экономические аспекты комплексной переработки промышленных отходов Тырныаузского вольфрамо - молибденового комбината. Часть 1//Известия Кабардино-Балкарского государственного университета Том V, №3 Нальчик, 2015. С. 27-33.

3. Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Карамурзов Б.С., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзедобоев С.О. и др. Экологические и технолого-экономические аспекты комплексной переработки промышленных отходов Тырныаузского вольфрамо - молибденового

комбината. Часть 2//Известия Кабардино-Балкарского государственного университета Том V, №3 Нальчик, 2015. С. 34-42.

4. Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Карамурзов Б.С., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзедоев С.О. и др. Утилизация промышленных отходов Тырныаузского вольфрамо - молибденового комбината (Кабардино-Балкарская Республика, Северный Кавказ, РФ)//Вестник Владикавказского научного центра. 2015. Т. 15. № 3. С. 38-49.

5. Гурбанов А.Г., Винокуров С.Ф., Газеев В.М., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзедоев С.О., Илаев В.Э. и др. Содержание макро- и микроэлементов в поверхностных водотоках в районе деятельности Садонского свинцово-цинкового комбината (Республика Северная Осетия-Алания, РФ)//Вестник Владикавказского научного центра. 2016. Т. 16. № 2. С. 42-54.

6. Лолаев А.Б., Гурбанов А.Г., Дзедоев С.О., Илаев В.Э. Загрязнение прилегающих территорий в районе деятельности Садонского свинцово-цинкового комбината (Республика Северная Осетия-Алания, РФ)//Успехи современной науки, № 2, Том 6, Белгород. 2017. С. 177-181.

7. Гурбанов А.Г., Кусраев А.Г., Лолаев А.Б., Дзедоев С.О. и др. Геохимические особенности промышленных отходов Мизурской горно-обогатительной фабрики (Унальское хвостохранилище, республика Северная Осетия-Алания), как основа для оценки масштабов загрязнения ими почв прилегающих территорий//Геология и геофизика Юга России. № 1. Владикавказ. 2018. С. 34-47.

8. Лолаев А.Б., Гурбанов А.Г., Дзедоев С.О., Илаев В.Э. Динамика загрязнения водного бассейна р. Ардон (Республика Северная Осетия-Алания, РФ) захороненными промышленными отходами Садонского свинцово-цинкового комбината и шахтными водами//Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 6. Спец. вып. 25. С. 117-126.

9. Гурбанов А.Г., Лексин А.Б., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзедоев С.О., Илаев В.Э. и др. Основные источники загрязнения вод р. Ардон, его степень и масштабы проявления, оцененные по результатам геохимического изучения проб воды из контрольных пунктов (РСО-А)//Вестник Владикавказского научного центра. 2018. Т. 18. № 3. С. 40-51.

10. Гурбанов А.Г., Лексин А.Б., Газеев В.М., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Цуканова Л.Е., Илаев В.Э., Дзедоев С.О., Оганесян А.Х. Вариации содержаний макро- и микроэлементов в вертикальных разрезах в промышленных отходах Фиагдонского хвостохранилища (республика Северная Осетия-Алания)//Вестник Владикавказского научного центра. 2019. Т. 19. № 1. С. 55-64.

11. Гурбанов А.Г., Газеев В.М., Лексин А.Б., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзедоев С.О. Закономерности в характере распределения содержаний макро- и микроэлементов в поверхностном слое (0.6 м) Фиагдонского хвостохранилища (республика Северная Осетия-Алания)//Вестник Владикавказского научного центра. 2019. Т. 19. № 4. С. 51-59.

12. Гурбанов А.Г., Лексин А.Б., Газеев В.М., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзедоев С.О. Экологическое состояние вод реки Ардон и оценка последствий их загрязняющего воздействия на воды реки Терек - объекта рыбо - хозяйственного значения I категории. //Вестник Владикавказского научного центра. 2020. Т. 20. № 1. С. 50-61.

13. Гурбанов А.Г., Газеев В.М., Лексин А.Б., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзедоев С.О. Оценка масштабов и степени негативного воздействия Фиагдонского

хвостохранилища на экосистему// Вестник Владикавказского научного центра. 2020. Т. 20. № 2. С. 54-62.

14. Lolaev A., Gurbanov A., Gazeev V., Oganesyanyan A., Dzeboev S. Waste management of disaster affected areas from the zinc-lead enterprise. In Proceedings of CIGOS 2021 - Part of the Lecture Notes in Civil Engineering. Ha Long, VIETNAM, 2021, pp.1211-1219.

15. Lolaev A.B., Badoev A.S., Arutiunova A.V., Dzeboev S.O., Paev V.E., Georgetti G.B. Definition of tailings consolidation parameters to optimize the inwash technology of the tailing dump levee. Proceedings of XVIII Brazilian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering "The Sustainable Future of Brazil goes through our Minas" COBRAMSEG2016, Belo Horizonte, BRAZIL, 2016.

И 7 научных работах представлены в различных журналах и материалах конференций.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном его участии в получении исходных данных [1-9, 12, 14-15], анализе особенностей создания намывных геотехнических массивов [15], непосредственном участии в буровых работах и отборе представительных проб, [1-4, 7, 10], исследовании физико-механических характеристик хвостов в лабораторных условиях и обработке экспериментальных данных [5, 6, 8, 9, 11, 13, 14], в проведении аналитических исследований на приборах ICPMS и RFA [5-9, 12, 14], обоснование основных и наиболее информативных факторов, определяющих устойчивость ограждающей дамбы техногенного массива [10], подготовке основных публикаций по работе, формулировке основных научных положений, выносимых на защиту, а также основных выводов и рекомендаций.