

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

«НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ

«ГЕОИНЖИНИРИНГ»

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»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук,

профессор Лолаев А.Б.

Владикавказ 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КАК КОМПЛЕКС ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ И ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	13
1.1. Основные понятия и определения	13
1.2. Особенности взаимодействия инженерных сооружений и геологической среды.....	16
1.3. Характеристика Унальского хвостохранилища Садонского свинцово-цинкового комбината	21
1.4. Цели, задачи и методы исследований.....	34
ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	37
2.1 Отбор представительных проб	37
2.1.1 Методика отбора проб лежалых хвостов с пляжной зоны хвостохранилища и послойно-валовых проб из скважин. Координаты места отбора и описание проб	37
2.1.2 Методика опробования почв сельхозугодий, природных пастбищ и равнин. Координаты мест отбора и описание проб	40
2.1.3 Методика отбора проб воды. Координаты мест отбора и описание проб	43
2.2. Определение содержания макро- и микроэлементов в техногенных грунтах, поверхностных водотоках и почвах прилегающих территорий	46
2.2.1 Рентгенофлуорисцентный метод (РФА).....	46
2.2.2 Масс-спектральный метод с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS)	49

2.3 Оценка состояния намывных дамб хвостохранилища методом нечетких множеств и методом круглоцилиндрических поверхностей	51
2.3.1 Обоснование применения теории нечетких множеств	51
2.3.2 Методика построения моделей в нечеткой среде.....	55
2.3.3 Расчеты устойчивости по круглоцилиндрическим	60
поверхностям скольжения	
Выводы по главе.....	63
ГЛАВА 3 ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДАМБЫ	
ХВОСТОХРАНИЛИЩА	64
3.1 Комплексное исследование состава, структуры и свойств техногенных грунтов.	64
3.1.1 Методика, состав и материалы исследований	64
3.1.2 Исследование физико-механических свойств хвостов	65
3.2 Оценка несущей способности ограждающей дамбы на базе нечетких множеств	75
3.3 Оценка несущей способности ограждающей дамбы на базе расчетов устойчивости по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения.....	80
3.4 Прогноз аварийных ситуаций и их последствий	81
Выводы по главе.....	84
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА МАСШТАБОВ И СТЕПЕНИ	
НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ХВОСТОХРАНИЛИЩА	
НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ ВОДНЫХ	
РЕСУРСОВ И ПОЧВ ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ	85
4.1 Результаты исследований лежалых хвостов с пляжной зоны хвостохранилища и послойно-валовых проб из скважин	85
4.2 Содержание макро- и микроэлементов в почвах равнин, природных пастбищ и сельхозугодий прилегающих территорий	88

4.3 Содержание макро- и микроэлементов в поверхностных водотоках бассейна р. Ардон	92
4.3.1 Оценка содержания в водах р. Ардон макро- и микроэлементов, выносящихся из хвостохранилища и ее притоков	93
4.3.2 Динамика загрязнения водного бассейна р. Ардон захороненными промышленными отходами Садонского свинцово-цинкового комбината (ССЦК) и шахтными водами с 2013 по 2015 гг.	100
Выводы по аналитическим исследованиям проб воды	105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	107
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	109

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Природно-технические системы техногенных грунтовых массивов, к которым относятся хвостохранилища горно-обогатительных комбинатов (ГОКов), как опасные производственные объекты и источники постоянных воздействий на окружающую среду, в настоящее время являются предметом исследований и наблюдений научных, проектных, изыскательских и природоохранных организаций, что связано с неуклонно увеличивающимся количеством аварий и неудовлетворительным состоянием природной среды на прилегающих к ним территориях [Tailings dams: risk..., 2001].

В России сейчас 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 известной аварии в Венгрии.

Большую угрозу для территории Республики Северная Осетия-Алания (Центральный Кавказ) представляют хвостохранилища (Унальское и Фиагдонское) Садонского свинцово-цинкового комбината (ССЦК) [Гурбанов и др., 2016].

Унальское хвостохранилище Мизурской горно-обогатительной фабрики (МГОФ), входящей в состав ССЦК, площадью около 60 000 м² и с высотой насыпной дамбы до 30 м, находится в густонаселенном районе в долине р. Ардон в 700 м севернее сел. Унал и напротив сел. Зинцар.

На сегодняшний день в хвостохранилище захоронено примерно 2,6 млн. тонн промышленных отходов с содержаниями (в мас. %):

Pb – 0,21 - запасы – 5460 т.; Zn – 0,32 - запасы – 8320 т.; Cu – 0,1 - запасы 2600 т.; Fe – 6,2 - запасы – 161200 т.; Ti – 0,18 - запасы – 4680 т.; Mn – 0,16 - запасы – 4160 т.; Ag – 4,2 г/т. - запасы – 10, 92 т.

Хвостохранилище расположено в сейсмо- и селеопасном районе, где периодически наблюдаются слабые тектонические подвижки. Следовательно, в случае возникновения природных катастрофических событий (селевой поток, наводнение, землетрясение с M 6-7), защитная дамба Унальского хвостохранилища может быть разрушена и вниз по долине р. Ардон пойдет техногенный сель, 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. Поэтому проведение на хвостохранилище и прилегающих к нему 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.

Задачи исследований:

1. Отбор и аналитические исследования представительных проб:

- Из всех гранулометрических разновидностей поверхностного слоя (0-0,5м) техногенных грунтов и из керна скважин, и их последующий анализ методами РФА и ICP MS. Выявление характера распределения содержаний ряда элементов по латерали (с пляжей) и по вертикали (из керна скважин) с выявлением их аномальных концентраций.

- Из почв сельхозугодий и природных пастбищ (включая фоновые пробы) для оценки степени и масштабов их загрязнения промышленными отходами. Натурные наблюдения для выявления источника и масштаба загрязнения почв при эоловом выветривании сухих пляжей.

•Из вод главной водной артерии района – р. Ардон и ее притоков, в долинах которых расположены полиметаллические месторождения ССЦК, и из «защитного» (от ветровой эрозии пляжей) озера на поверхности хвостохранилища. Отбор и анализ фоновой пробы для оценки степени загрязнения. Выявление основных техногенных и природных источников загрязнения вод р. Ардон с притоками. Оценка степени загрязнения вод р. Ардон при ее выходе на предгорную равнину (южная окраина г. Алагир) по сравнению с фоновой пробой и ПДК для питьевой воды.

2. Определение особенностей строения техногенных грунтов Унальского хвостохранилища. Физико-механические свойства, степень агрегации грунтов, фракционные свойства, структурные связи частиц, и т.д.

3. Оценка современного состояния насыпных дамб хвостохранилища, определение коэффициента устойчивости дамбы методом нечетких множеств и методом круглоцилиндрических поверхностей для предупреждения возможной техногенной катастрофы.

4. Оценка масштабов и степени негативного воздействия находящихся в хвостохранилище промышленных отходов на экологическую обстановку водных ресурсов и почв прилегающей территории.

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) и позволяющая 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 хвостохранилищ. 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 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 Куст 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 ICP MS) принципиально новые данные о минералого-геохимических особенностях техногенного грунтового массива, не только в поверхностном слое (до 0.5м) пляжных частей хвостохранилища, но и впервые 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: опытом, накопленным при проведении аналогичных исследований по хвостохранилищам Тырныаузского вольфрамово-молибденового комбината; применением комплекса полевых и лабораторных работ; визуальными наблюдениями; бурением и документацией керна пробуренных скважин; определением объемов фильтрационных утечек,

целенаправленным отбором проб из хвостохранилища, из природных и техногенных вод, из почв природных пастбищ и сельхозугодий, а также математическим моделированием. В лабораторных условиях определялись физико-механические свойства техногенных грунтов, слагающих хвостохранилище и содержание макро- и микроэлементов в природных и техногенных грунтах, геохимический состав поверхностных вод с использованием современных высокоточных методов исследования. Обработка и обобщение результатов велись с использованием методов теории вероятностей и математической статистики.

С 2013 г. по 2021 г. автор принимал участие в качестве исполнителя: в научно-исследовательских работах по оценке негативного воздействия хранилищ промышленных отходов на экологическую безопасность горных территорий Северного Кавказа, подготовке обоснования для разработки инновационных технологий их утилизации и восстановлении экологической среды; оценке и прогнозу устойчивости гидротехнических сооружений. Непосредственное участие диссертант принимал в полевых и лабораторных исследованиях, в обработке результатов полевых и лабораторных исследований, в подборе расчетных схем, адекватных реальному состоянию массива грунтов ограждающей дамбы; в расчетах устойчивости объекта; во внедрении результатов лабораторных исследований в практику.

Диссертация базируется на собранном лично соискателем представительном фактическом материале. Результаты его лабораторных исследований были проанализированы диссертантом и сформулированы в виде защищаемых положений.

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 характеристики 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 для определения 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.

Суммируя вышеизложенное становится очевидным, что решаемая проблема имеет не только республиканское значение (РСО-Алания), но и региональное, федеральное, т.к. загрязненные тяжелыми металлами воды р. Ардон, впадающей в р. Терек, которая протекает также через территории Ставропольского края, Кабардино-Балкарской, Чеченской и Дагестанской республик и впадает в Каспийское море.

Реализация результатов работы.

Диссертация выполнена в соответствии с выполнением научно-исследовательских работ в рамках государственного здания Владикавказского научного центра Российской академии наук, в которых автор принимал непосредственное участия в качестве исполнителя.

- «Исследование и обоснование технологических параметров управления рисками при возведении и эксплуатации накопителей отходов горнодобывающей и металлургической промышленности»;

- «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».

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 throughour 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 и приравненных к ним.

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.

ГЛАВА 1. ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КАК КОМПЛЕКС ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ И ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.

1.1 Основные понятия и определения.

Природно-техническая система, по В. Д. Ломтадзе, – «природный комплекс, в пределах которого размещены искусственные объекты, созданные в результате выполнения строительных и других инженерных работ. В инженерной геологии такую систему рассматривают как модель, характеризующую взаимодействие природы (геологической среды) с сооружениями [Ломтадзе, 1999]. Здесь, понятия *геологическая среда*, *геологические условия* кодируют словом, имеющим более широкое значение, - природная, а понятие сооружение – словом *техническая*, отражающим так же более широко понятие, связанное с техникой.

Природно-техническая система (ПТС) уникальная система, охватывающая все многообразие взаимоотношений инженерных сооружений с компонентами природной среды.

Типы ПТС чрезвычайно разнообразны. Они определяются многими факторами. Основные из них – тип инженерного сооружения (объекта) и ландшафтно-климатические условия природной среды [Ломтадзе, 1999].

Крайне важным является рассмотрение влияния строительных объектов (в нашем случае Унальского хвостохранилища), на природные системы, в пределах единой ПТС, формирующейся как реакция природной среды на строительство. Не менее важно проследить изменение ПТС в условиях длительной эксплуатации Унальского хвостохранилища, которое в свою очередь может изменить сложившуюся в результате строительства ПТС. Эта проблема определяет мониторинговую направленность данной работы.

Как описывает Грязнов О.Н. в статье [Грязнов, 2015] взаимодействие сооружения и геоэкологической среды, так же и в нашей работе Унальское хвостохранилище взаимодействует с природной средой (Рис.1.1).

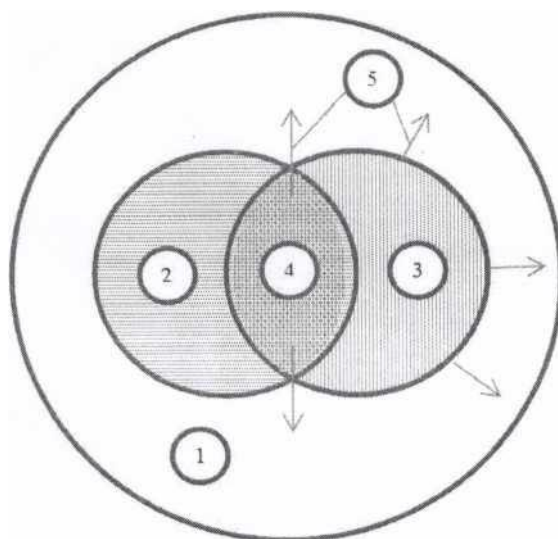


Рисунок 1.1 ПТС Унальского хвостохранилища;

1 – природная среда; 2 – геологическая среда; 3- Унальское хвостохранилище; 4 – область взаимодействия; 5- направление воздействия хвостохранилища на окружающую среду.

Строительство затрагивает практически все компоненты природно-технического комплекса (ПТК), поскольку в процессе его, уничтожается почвенно- растительный покров, изменяется рельеф, гидрологический режим. Таким образом, хвостохранилище формирует новый ПТК, в состав которого входят как природные, так и техногенные элементы. Такой комплекс В.К. Епишиным, В.И. Осиповым и другими учеными предложено называть «природно-технической (техногенной) системой». Её функционирование обусловлено взаимовлиянием природной и техногенной составляющих [Епишин, Трофимов, 1985; Колесникова, 1999; Исаев, 2016].

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. При этом вопросы экологической безопасности хранилищ уже не могут решаться в рамках

ведомственных интересов. Они все чаще принимают угрожающе планетарный характер, а научно-технический прогресс в этой области все чаще оборачивается крупными поражениями в природоохранной деятельности и сопровождается тяжелыми экологическими последствиями. В сложившихся условиях все более насущной становится потребность в поиске новых решений с целью оптимизации природоохранной деятельности и снижения экологических последствий строительства и эксплуатации хвостохранилищ. [«Доклад о состоянии...», 2006].

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. Практически каждый год в различных странах происходят одна-две аварии (разрушения) гидротехнических сооружений, причем ни одна из стран, даже экономически высокоразвитых, не добилась полного их предотвращения.

Несмотря на достаточно пристальное внимание к проблемам безопасности хвостохранилищ ведущих организаций (ВНИИ ВОДГЕО, ВНИИГ им. Веденеева, ГУП ВИОГЕМ, «Механобр Инжиниринг» и др.) и специалистов-гидротехников, ее актуальность не снижается и в настоящее время. Для безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений разработано большое количество нормативных документов: правил, инструкций, рекомендаций и т.д. Государственной думой Российской Федерации принят Закон "О безопасности гидротехнических сооружений". Правительством Российской Федерации принят ряд постановлений, определяющих порядок организации государственного надзора и

декларирования [Сборник руководящих материалов по надзору за эксплуатацией]. Однако, как показывает практика, даже безусловное соблюдение всех требований перечисленных нормативных документов не гарантирует полной технологической и экологической безопасности хвостохранилищ.

Основной причиной неблагоприятного состояния хвостохранилищ по мнению ряда авторов (Бутюгин В.В., Лолаев А.Б., Бондарик Г.К. и др) является отсутствие комплексного подхода к исследованию процессов взаимодействия окружающей среды и инженерного сооружения. Все факторы, определяющие экологическую безопасность хвостохранилища подразделяются на природные и техногенные. К группе природных факторов относятся природно-климатические условия, геологическое строение, инженерно-геологические условия и процессы, физико-механические свойства естественных и искусственных грунтов и т.д. Группу техногенных составляют воздействия на окружающую среду при проектировании, строительстве и эксплуатации объекта [Бутюгин В.В., Савченко В.А. 2001].

1.2. Особенности взаимодействия инженерных сооружений и геологической среды.

Промышленная и экологическая безопасность хвостохранилищ непосредственно связаны с устойчивостью гидротехнических сооружений, в первую очередь, определяются технологическими приемами эксплуатации объектов и во многом зависит от состояния их отдельных элементов, за которыми проводятся регулярные наблюдения. Полученные результаты используются как для совершенствования технологии эксплуатации и уточнения научно-методического сопровождения промышленной безопасности объектов, так и принятия решений по снижению их негативного воздействия на окружающую среду. Поэтому для решения проблем промышленной и экологической безопасности хвостохранилищ, необходимы совместные действия служб эксплуатации, науки, органов Госгортехнадзора и

природоохранных организаций [Бутюгин и др., 2004]. Наиболее интересные разработки в данном направлении получены в институтах ГУП ВИОГЕМ, ВНИИ ВОДГЕО, МГСУ, МГГУ, СГТУ и др.

Вопросы контроля промышленной и экологической безопасности гидротехнических сооружений практически полностью находятся в ведении органов Госгортехнадзора РФ. При этом организации, занимающиеся проектированием хвостохранилищ, практически не отходят от положений нормативных документов (СНиП, Правила...и т.д.), и только научно-исследовательские структуры пытаются разработать новые технологии эксплуатации, методическое и теоретическое обоснование безопасного содержания ГТС (ГУП ВИОГЕМ, ВНИИ ВОДГЕО, МГГУ, ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, ПНИИИС и др.).

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

В сохранении проблемы безопасного содержания хвостохранилищ разные авторы, по-своему видят причины отступления от требований нормативных документов; неудовлетворительное качество проектной документации; неудовлетворительное ведение натурных наблюдений и др.

К этому следует добавить особенности современного состояния экономики страны в целом, и научно-производственного потенциала подразделений хвостовых хозяйств, в частности: отсутствие финансирования, достаточного для решения самых насущных задач; недостаточное представление о хвостохранилище как опасном производственном объекте; недостаточная экологизация проблем хвостохранилищ; отсутствие корректной, комплексной эколого-промышленной концепции безопасной

эксплуатации хвостохранилищ и действенного системного подхода к их решению.

Известно, что контроль за надежностью и экологической безопасностью гидротехнических сооружений основан на сопоставлении фактических показателей надежности с их нормативными значениями [ФЗ-№116, 1997], надлежащим образом утвержденными [Правила безопасности..., 1989, 1997]. Однако, как показывает опыт, несоответствие фактического состояния ГТС проектному, проявляется уже с самого начала строительства сооружений. Это обуславливается изменяющимися в процессе эксплуатации составом и свойствами хвостов, геологическими условиями, как оснований, так и тел подпорных сооружений, и т.д. Поэтому для таких сооружений на первое место встают вопросы научно-технического сопровождения безопасности накопителя в процессе всего периода его существования [Бутюгин и др., 2004].

Методические положения систематизации сведений о техногенных воздействиях начали разрабатываться с 50-60 годов прошлого века. Обобщающие классификационные схемы, учитывающие воздействующие факторы на геологическую среду, разработаны С. И. Пахомовым и А. М. Монюшко (1988), и др). Классификация источников воздействия горнодобывающего комплекса на природную среду, типизация нарушений и загрязнений ими вызванных, представлена в работе Г. Г. Мирзаева, Б.А. Иванова и др. (1991). Наиболее полный и детальный анализ техногенных воздействий на геологическую среду проведен В. Т. Трофимовым, В. А. Королевым и А. С. Герасимовой (1995). Разработанная ими классификация техногенных объектов учитывает различия в природе техногенных процессов, отражающих механизм воздействий на компоненты геологической среды, и включает характеристику прямых экологических последствий этих воздействий на биоту.

В качестве основной причины аварий на хвостохранилищах большинством исследователей и специалистов-гидротехников выдвигается отсутствие постоянных наблюдений (мониторинга) за состоянием плотин и

водопрпускных сооружений [Аксенов, 1997; Гальперин, Дьячков, 1993; Пахомов, Монюшко, 1988].

Вопросам мониторинга инженерных сооружений посвящены труды таких организаций как НИИ ВОДГЕО, ВНИИГ им. Веденеева, ГУП ВИОГЕМ, ВСЕГИНГЕО, «Гидропроект» им. Жука (г. Красноярск), и др.

Основные требования, предъявляемые к ограждающим сооружениям, независимо от способа их возведения, сводятся к обеспечению устойчивости их откосов от оползания, обрушения, оплывания, пыления, фильтрации техногенных вод. Хотя большинство накопителей не представляют серьезной угрозы для крупных населенных пунктов и промышленных предприятий, каждый из них в той или иной мере постоянно загрязняет или создает угрозу загрязнения поверхностных и подземных вод, почвенно-растительного покрова, испарениями с поверхности загрязняется атмосферный воздух. В большинстве случаев неясно, что будет происходить в случае аварийного разрушения ограждающих сооружений. Если на объектах и посчитаны размеры зон возможного затопления и загрязнения окружающей среды и определены стоимостные оценки ликвидации последствий возможного разрушения ограждающих дамб, то о последствиях даже вроде бы безопасных аварий, приводящих к накоплению в окружающей среде критических концентраций загрязняющих веществ и постепенно делающих жизнь на многих территориях опасной, не знают даже работники предприятий, не говоря уже о населении регионов. В то же время, как отмечается многочисленными авторами не требуется каких-то особых затрат, чтобы существенно снизилась вероятность аварийных ситуаций на накопителях. Нужно только своевременно отслеживать фактическое состояние накопителей [Жигалин, 1985; Протасов, 2000].

Для повышения уровня экологической безопасности целесообразно было бы на всех предприятиях, где это еще не проводилось, выполнить расчеты последствий возможного разрушения ограждающих дамб, степень и размеры загрязнения окружающей среды, стоимостные оценки нанесенного ущерба,

степень опасности для промышленных и гражданских объектов, населенных пунктов [Аксенов, Жабовский, 1997].

Методология исследований на любом инженерном сооружении включает в себя ряд последовательных задач: сбор исходных данных – оценка существующего положения – прогноз состояния окружающей среды – эколого-экономическая оценка – управление инженерно-геологической обстановкой с разработкой и внедрением эффективных инженерных мероприятий, обеспечивающих требуемую степень экологической безопасности сооружения [Лолаев, 1998; Лолаев, Бутюгин, 2005]. Наиболее важным и ответственным в схеме является первый этап, на котором создается информационный банк данных, являющийся основой всех последующих методических и практических действий [Лолаев, 1998]. Основная методическая задача при создании информационной базы – отбор фактов, относящихся к конкретной рассматриваемой проблеме, к определенному аспекту этой проблемы или определенной территории. Если факторы будут обоснованы и учет их будет признан необходимым, то и направления изысканий, научных исследований, проектирования, строительства, эксплуатации и т.д. приобретут комплексный характер и практическую значимость. При этом должно быть однозначно принято, что если мы ввели какой-то компонент в факторы, то он должен быть не только изучен, но самое главное, учтен на любой стадии изысканий, проектирования, строительства, эксплуатации, ремонтов и консервации инженерных сооружений, именно учтен, а не упомянут и забыт [Правила безопасности...,1997].

При работах на гидротехнических сооружениях хвостохранилищ необходимо четко обозначить понятия объекта и предмета исследований, наблюдений и контроля. В качестве объекта выступает система «хвостохранилище – окружающая среда» как многокомпонентная, динамичная природно-техническая система, а предметом являются знания о функциях системы (технологических, геодинамических, экологических и др.) [Голик и др.,2003]. Основными задачами являются изучение процессов,

протекающих в сооружениях и на прилегающих территориях и обеспечение устойчивости гидротехнического объекта и окружающей среды.

Применительно к решаемым проблемам, в качестве методов исследований, можно говорить о материалистической диагностике, системном подходе, а также методах математики, механики, химии, физико-математического моделирования и геологического подобия.

Методики учета воздействия техногенных факторов на природную среду основываются на моделировании этого процесса теми или иными способами. На первом этапе формирования инженерного направления в геологии методы прогноза взаимодействия сооружений со средой основывались на аналитических решениях при значительных упрощениях расчетных схем (моделей) и, соответственно, невысокой их точности. Причем сооружение и природная среда выступали в этом случае как два в значительной мере самостоятельных компонента природно-технических систем. С изменением масштабов и структуры строительства появилась необходимость в разработке моделей и методов прогноза устойчивости сооружений, для которых грунты являются не только средой или основанием, но и материалом (например, грунтовые плотины).

1.3 Характеристика Унальского хвостохранилища Садонского свинцово-цинкового комбината(ССЦК).

В Садонском рудном районе действовало семь рудников Садонского свинцово-цинкового комбината. Со всех месторождений руды поставлялись на Мизурскую горно-обогатительную фабрику (МГОФ), расположенную в пос. Мизур, в 8-10 км южнее сел. Унал. Она начала работать с марта 1929 года и до сих пор является главным источником техногенного загрязнения окружающей среды в районе. Фабрика могла перерабатывать до 20 000 тонн руды в сутки, а полученные селективной флотацией концентраты содержали: Pb, Bi, Sb, Ag, Au, Cu, Zn, Co, As (в свинцовом); Zn, Cd, Co, Pb, S, Sb, Ag, Fe, In (в цинковом).

Концентраты автотранспортом отправлялись на завод «Электроцинк» в г. Владикавказ, для получения металлов.

Промышленные отходы МГОФ от передела руд («хвосты») до 1 января 1984 года складировались в чаше временного хвостохранилища (в узкой боковой долине левого притока р. Ардон), расположенного над пос. Мизур. С 1929 по 1984 гг. МГОФ работала в режиме зимнего хранения хвостов и ежегодно полностью сбрасывала их в р. Ардон в паводковый период, что вместе с попаданием в нее шахтных и производственных стоков привело к сильному загрязнению речной воды и донных отложений на всем ее протяжении. Поэтому в 1984 г. возникла необходимость строительства нового хвостохранилища.

Унальское хвостохранилище Мизурской обогатительной фабрики (МОФ) построено в 1984 г. в пойме р. Ардон на левом берегу современного русла.

Хвостохранилище с левого борта ограничено автодорогой Мизур - Алагир, с правого - 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, поступившей в хвостохранилище с фабрики пульпы. По гребню дамбы проложен пульпопровод для слива пульпы в хвостохранилище. С низового бьефа дамбы у водосборного колодца установлены насосы для подачи осветленной воды в хвостохранилище для пылеподавления намывного пляжа в верхнем бьефе. Зеркало хвостохранилища имеет овальную форму (Рис.1.2); длина продольной оси 1 км, поперечной (максимальное значение) - 300 м. Площадь - 16 га. Объем накопившихся с 1984 г. хвостов - около 3 млн. тонн [Отчет., 1996].

Рассматриваемая территория, согласно структурно-геологическому районированию, располагается в долине прорыва р. Ардон, Северной межгорной депрессии, в долине между Боковым и Скалистым хребтами (Садоно-Унальская котловина), в бассейне р. Ардон и ее притоков (р. Уналдон, Майрамдон, Каздон).



Рисунок 1.2 Унальское хвостохранилище

Садано-Унальская котловина выработана регрессивной эрозией рек в области распространения легко поддающихся денудации песчано-сланцевых толщ средней юры. Здесь преобладает эрозионно-аккумулятивный рельеф. Территория характеризуется средневысокогорным рельефом: перепады высот - от 900 до 3000 м над уровнем моря. Скалистый хребет сложен, в основном, верхнеюрскими и нижнемеловыми известняками и доломитами, Боковой - нижнеюрскими сланцами и докембрийскими гранитами.

Водные системы района - типичные горные реки с ярко выраженным ледниковым режимом, маломинерализованные (≈ 200 мг/л), нейтральные (рН - $6,5 \div 7,4$), по преобладающим ионам имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав. Участок строительства захватывает активную пойму р. Ардон и устьевые участки в пределах надпойменных террас двух ее притоков, левого р. Каздон и правого р. Майрамдон.

Долина р. Ардон в районе работ в поперечном профиле асимметрична: левый борт крутой, образован скальными выходами осадочных пород средней юры и оползневыми отложениями г. Кион-Хох (по нему проходит шоссейная дорога «ТрансКАМ»); правый - более пологий, представлен серией

разноуровневых аккумулятивных и цокольных речных террас. Террасы сложены валунно-галечными отложениями с гравийно-песчанистым заполнителем и перекрыты слоем суглинка, нередко лессовидного характера. На правом берегу расположено сел. Унал, разделяющееся на Верхний и Нижний, и учебно-научная база МГУ им. проф. А.П. Соловова (в сел. Н. Унал). Район относится к горно-степной зоне, занимающей межгорные депрессии между Скалистым, Боковым и Водораздельными хребтами. В депрессиях под влиянием сухого и относительно теплого климата сформировались своеобразные горно-степные почвы под разреженным травянистым покровом и горно-луговые почвы под хорошо развитой субальпийской разнотравной растительностью (почвообразующие породы - известняки). По характеру почвы имеют сходство с черноземами и даже каштановыми почвами (преимущественно на террасах р. Ардон). По долинам больших рек от Бокового до Скалистых хребтов развиваются коричневые горные лугово-степные почвы с ковыльно-злаковой растительностью. Кроме того, в пределах долины выделяются склоновые горно-лесо-луговые бурые оподзоленные и перегнойно-карбонатные почвы. [Проектная документация ..., 2017]

В хвостах содержатся в незначительных количествах рудные минералы - сфалерит, галенит, пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, марказит и магнетит, борнит; нерудные - кварц, хлорит, сидерит, кальцит. Источником загрязнения воздуха и почв является сухая часть пляжа хвостохранилища, возникающая при недостаточном принудительном орошении.

При строительстве Унальского хвостохранилища, не предусматривалась инженерная защита от селевого воздействия в виду отсутствия данных наблюдений. В плановом положении, северо-западная часть хвостохранилища расположена под прямым ударом водокаменного потока р. Каздон, а выход выброса р. Майрамдон бьёт по восточной его части. Ранее при сходе селевого потока (2002 г.) в чашу хвостохранилища, отмечался перелив накопленных отходов в пойму реки из-за размыва гребня дамбы. Водооросительная система вокруг пляжной зоны, в течении нескольких лет не работала, при отсутствии

атмосферных осадков, происходил ветроперенос сильными долинными ветрами на расстояние до 10 км с высокой концентрацией материала (силикозопасная пыль). [Газданов А.Ц ..., 1996]

Необходимо учитывать, что хвостохранилище расположено в сейсмо и селеопасном районе, где и сейчас наблюдаются слабые тектонические подвижки. 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 мощный техногенный сель, сметая и загрязняя экологически опасными элементами все на своем пути, в том числе и подземные воды. А это уже будет природно-техногенная катастрофа регионального масштаба.

Климатические особенности Алагирского района.

Климат Северной Осетии в целом умеренно континентальный, но с резко выраженными микроклиматическими зонами. В системе климатического районирования территории Северной Осетии район исследований входит в “Среднегорный район” климатической области северных склонов Большого Кавказа. В пределах этого района выделяются межгорные котловины, находящиеся в “дождевой тени” под защитой Бокового и Скалистого хребтов. Количество осадков в год составляет в Унале 375 мм. Однако, часто бывают затяжные (3-5 дней) дожди, которые иногда вызывают наводнения. Одно из таких катастрофических наводнений, когда начала размываться насыпная дамба Унальского хвостохранилища, было в 2000 году.

Весна начинается здесь во второй половине - в конце марта; в конце весны начинает развиваться горно-долинная циркуляция. Лето умеренно тёплое; температура выше 15° бывает в среднем 46 дней в год. Зима умеренно-мягкая, длится в течении 12-13 декад, начиная с середины - конца ноября. Средняя температура января – 5,1°. Зимой заметно усиливаются инверсионные и фёновые эффекты, что приводит к быстрому сходу снега, особенно на склонах южной экспозиции.

Температура почвы зависит от её структуры, влажности, характера растительного покрова, форм рельефа и экспозиции склонов. Первые промерзания почв отмечаются в начале декабря; средняя месячная температура поверхности почв в январе составляет - 8°. Глубина промерзания 15-30 см. Максимум температуры почвы - в июле; минимум - в январе. [Газданов А.Ц... 1996]

Циркуляция атмосферы складывается под влиянием атмосферных процессов северного полушария и местных факторов. К первым относятся проникновения масс арктического воздуха и морских воздушных течений с Атлантики, холодных вторжений из Казахстана и тропических - со Средиземноморья и Ирана. Система хребтов Большого Кавказа задерживает холодные воздушные массы, меняет направление их течения, вызывает фёновые эффекты и т.п. Горные хребты и их отроги, долины, ущелья, межгорные котловины ещё более усложняют микроклиматическую картину. Преобладающим является движение континентального воздуха умеренных широт. Периодически в зимнее время отмечаются интенсивные выносы тёплых масс воздуха в связи с циклонами по полярному фронту; при тёплых вторжениях с юга возникают орографические фёны. На фоне частых в зимнее время температурных инверсий над почвой, приводящей к низкой облачности и туманам, в межгорных депрессиях наблюдается ясная солнечная погода.

Ветры являются существенным фактором распространения техногенных (эоловых) загрязнений в газовой и твёрдой фазах, в частности, токсичной пыли с поверхности (с пляжных частей) хвостохранилища. Господствующее направление воздушной циркуляции - широтное, причём зимой наблюдаются, главным образом, восточные ветры, а летом - западные. Средняя годовая скорость ветра в межгорных котловинах 1,5- 2,5 м/сек; на перевалах она повышается до 6 м/сек и более.

Орографические особенности района усложняют картину воздушной циркуляции. Так, в меридианально ориентированных горных долинах преобладают южные ветры; в межгорных котловинах зимой наблюдаются

минимальные скорости ветров, а в высокогорной зоне имеется зимний максимум восточных ветров - 10 м/сек. С сильными (более 15 м/сек) ветрами в год наблюдается от 6 до 16 дней. В горных районах преобладающими являются горно-долинные ветры и фёны. Горно-долинные ветры обязаны своим существованием неравномерному нагреву склонов и долин - днём склоны и прилегающий к ним воздух нагреваются сильнее, из-за чего образуются восходящие потоки (долинный ветер); ночью наблюдается противоположный эффект - охлаждённый воздух под действием гравитации устремляется вниз, формируя горный ветер. Скорость долинного ветра 3-8 м/сек; горный ветер имеет меньшую скорость. Фёны представляют собой непериодические нисходящие ветры, сопровождающиеся повышением температуры воздуха и понижением его влажности. Они образуются при наличии существенной разницы атмосферного давления по разные стороны хребта: тёплые воздушные массы поднимаются к хребту охлаждаясь и насыщаясь влагой в виде осадков и облачности; перевалив хребет, холодный воздух под действием силы тяжести опускается, нагреваясь при сжатии и теряя влажность.

Длительность фёнов от нескольких часов до двух недель; скорости ветра достигают штормовых - до 40 м/сек и более. Кроме биологического дискомфорта, разрушений и т.п. фёны приводят к интенсивному массопереносу токсичных пылевых образований и вызывают ветровую эрозию. Так, основными факторами негативного техногенного воздействия Унальского хвостохранилища является запыление шламовым материалом сел. Унал, Зинцар, Дагом и прилегающих к ним сельскохозяйственных угодий и природных пастбищ.

Максимум влажности приходится на летние месяцы: май - сентябрь. С этим же периодом связано существенное снижение активности ветров, особенно фёнов. Осенне-зимний период характеризуется, наоборот, усиленной воздушной циркуляцией и понижением влажности и осадков; кроме того, снеговой покров практически не сохраняется из-за сильных

горячих ветров. Таким образом, максимальные меры защиты от пыли на хвостохранилищах должны применяться в осенне-зимний период; летний реакционный период более комфортен. Следует иметь в виду и суточные колебания силы и направления ветров - момент инверсии в системе горно-долинной циркуляции в середине дня [Отчет..., 1996].

Почвы Алагирского района.

Типизация почв в районе обусловлена с одной стороны вертикальной климатической зональностью, а с другой - характером почвообразующих горных пород. Для межгорных депрессий, в которых расположены хвостохранилища, наиболее характерны горные лугово-степные почвы. Климат, в условиях которого они формируются, отличается сухостью; растительность изреженная ксерофитная. Почвы отличаются пониженным содержанием гумуса и высокой основностью, что связано с преобладанием делювия известняков в подстилающих почвообразующих породах. На этих почвах издавна выращиваются картофель, овощи и садовые культуры. Интенсивно проявляется эрозия, обусловленная низкой плотностью дернины и нерегулируемым выпасом скота. На южных склонах Скалистого хребта, то есть непосредственно по северной границе хвостохранилища, спорадически распространены горно-луговые черноземовидные почвы, характеризующиеся слабокислой реакцией, сравнительно высоким содержанием гумуса и прочной зернистой структурой. Эти почвы используются, в основном, под сенокосы и пастбища. На высотах 1800-2000 м, то есть по периферии зон влияния хвостохранилища, преобладают горно-луговые почвы, формирующиеся под луговой растительностью и отличающиеся кислой реакцией, высоким содержанием гумуса в самом верхнем слое. Таким образом, в зонах влияния хвостохранилища находятся достаточно ценные в масштабах республики ресурсы - почвы, благоприятные для развития скотоводства, огородничества, садоводства [Будун А.С., 1994].

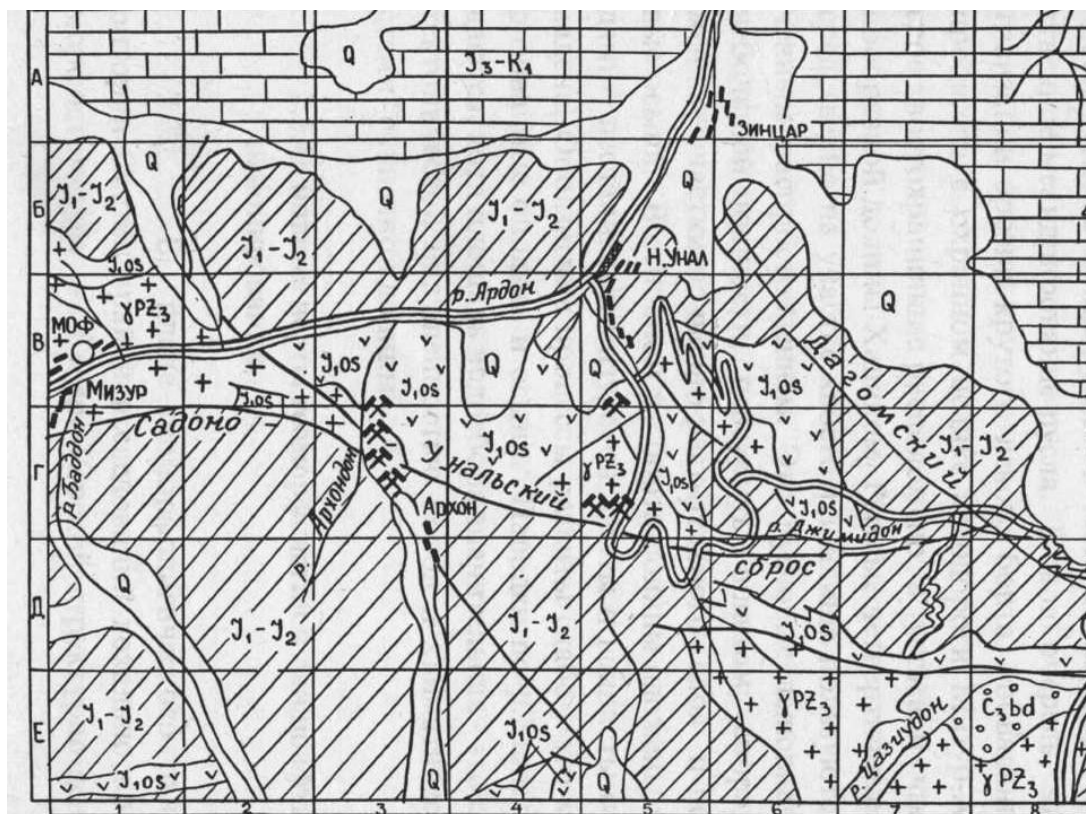
Геологическая характеристика района.

Хвостохранилище расположено в пределах юрской продольной депрессии

- т.н. тектонической подзоне Промежуточных синклиналей Северного склона Главного Кавказского хребта. Подзона с севера ограничена эскарпом Скалистого хребта - горного сооружения, сложенного карбонатной толщей верхнеюрского-мелового возраста. С юга район граничит с Адайхох-Дарьяльской структурно-формационной толщей нижнеюрских метаморфизованных терригенных отложений интенсивно инъецированных габброидами Казбекского диабазового пояса; там же проявлены неогеновые гранитоидные интрузии теплинского комплекса. Непосредственно в пределах подзоны промежуточных синклиналей прослеживается цепь горст-антиклинальных поднятий подзоны Северных антиклиналей - Балка-ро-Дигорская, Садоно-Унальская, Фиагдонская. Эти поднятия сложены породами палеозойского фундамента - гранитами, кристаллическими сланцами и амфиболитами; в крыльях поднятий развиты породы верхнего палеозоя (кварцевые конгломераты, мраморизованные известняки) и нижней юры (вулканогенно-осадочный комплекс осетинской и мизурских свит). Сами хвостохранилища расположены в локальных котловинах, сложенных песчано-глинистыми отложениями нижней-средней юры (Рис.1.3).

В геологическом строении площадки строительства так же 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).

Объект исследования находится в районе, подверженном воздействиям опасных геологических процессов: оползневых, селевых, обвально-осыпных, эрозионных. Положение усугубляется принадлежностью района 9-ти балльной



Y_1-Y_2 - Карбонатная толща верхней юры-мела-известняки, Y_1O3 – Юра нижняя. Андезитно – лацитовые порфириды и их туфы, Q – Рыхлые четвертичные отложения, YpZ_3 – Каледоно – герцинский фундамент, граниты, кристаллические сланцы, C_3bd – Карбон верхний, кварцевидные конгломераты, гравелиты, кварциты.

Рисунок 1.3 Схема геологического строения района.

сейсмической зоне. Хвостохранилище расположено непосредственно в русле реки Ардон на легко проницаемых валунно-галечных отложениях; в долине часто отмечаются паводки на уровне катастрофических, причем паводковая опасность увеличивается в результате строительства Зарамаг-ГЭС. Борта долины подвержены оползневым процессам; по боковым притокам наблюдаются селевые выносы. [Газданов А.Ц., 1995]

Наблюдения за развитием опасных геологических процессов ведутся службой мониторинга с июня 2002 г., когда в результате экстремальных осадков (170 мм за двое суток) в данном районе произошел сход грязекаменных селевых потоков объемом до 50 тыс. м³ и началось оползание рыхлообломочных грунтов, что создало прямую угрозу разрушения Унальского хвостохранилища и для жилых домов с. В. Унал и Н.Унал.

За период наблюдений сход селевых потоков объемом до 203 тыс. м³ наблюдался еще 2 раза – в 2003 и 2005 г.г. Кроме того, продолжается напозание грунтовых масс, что вызывает деформацию на отдельных участках.

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 – да;
- Обвалы – да;
- Сели – да;
- Лавины – нет;
- Карст – нет;
- Подтопление – да; [Проектная документация ..., 2017]

История исследования Унальского хвостохранилища.

В 1996 году, Госкомнедра РСО-А, провели пилотные исследования по негативному воздействию Унальского и Фиагдонского хвостохранилищ на окружающую среду.

Целью их работы являлось определение характера и системы техногенного воздействия хвостохранилищ на почвы, поверхностный сток и растительность для создания опорной сети мониторинга.

Целевым назначением работ являлась организация опорной сети литомониторинга на участках хвостохранилищ Мизурской и Фиагдонской обогатительных фабрик. В конечном итоге задача сводилась к определению круга наблюдаемых параметров, методов их измерения (регистрации), выбору пунктов системных наблюдений и их характеристики по выбранным параметрам.

Исследования сводились, главным образом, к изучению химических загрязнений вод и донных отложений поверхностного стока, почв, грунтов и

растительности тяжёлыми металлами, как наиболее активным агентом воздействия хвостохранилищ на окружающую среду.

В основу методики положены обобщение обширных материалов предшествующих исследований и комплекс дополнительных полевых и лабораторных работ [Отчет..., 1996].

Анализы содержаний тяжёлых металлов в воде, почвах и растениях выполнялись спектральными, химическими, и атомно-абсорбционным (АА) методами в различных лабораториях - ЦОМГЭ ИМГРЭ, СОГРЭ, СКПГО, МГУ им.Ломоносова, ИГФМ АН, НИЛ Биотехнологии ГГАУ. Этими методами исследовался поверхностный слой глубиной до 50 – 100 см. Распределение содержаний тяжелых металлов в донных отложениях реки Ардон изучалось при экологических исследованиях ЦОМГЭ [Токарев, Тимошкин , 1985].

Геохимическое изучение почв и грунтов в обеих долинах проводилось практически всеми исследователями геоэкологического профиля [Токарев, Тимошкин, 1985; Семёнов, Литвиненко, 1991; Валасис, Ефименко, 1991; Газданов, Липкович, 1993]; однако, достаточно полных обобщений не проводилось. Геохимическая характеристика почв и донных отложений, полученная в процессе названных исследований, основывается на данных спектрального анализа, выполненного лабораториями ЦОМГЭ, ИМГРЭ, Северо-Осетинской ГРЭ, СКПГО;

Определено, что спектральный анализ может быть использован для качественной оценки состояния окружающей среды, когда, оперируя данными о порядке содержаний ТМ можно выборочным методом оценивать их распространение, особенности распределения, характер связей и т.п. Для количественных оценок концентраций свинца, меди, цинка, стронция, марганца использовался атомно-абсорбционный метод (АА).

Изучением подвижных форм ионов тяжёлых металлов в хвостохранилищах занимались специалисты ИГФМ АН [Валасис, Ефименко, 1991]; в почвах, прилегающих к хвостохранилищам специалисты МГУ [Семёнов, Литвиненко, 1991].

В работах МГУ [Семёнов, Литвиненко, 1991] определение подвижных форм тяжёлых металлов проводилось также методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с применением ацетатно-аммонийного буфера с $pH=4.8$

Как отмечают авторы этих исследований, между валовыми содержаниями и содержаниями подвижных форм свинца и цинка наблюдается тесная прямая корреляция.

Следует лишь отметить, что по данным Госкомнедра РСО-А превышение ПДК наблюдается в исключительных случаях. В пределах Унальского участка оно отмечалось только по цинку в двух пробах шиповника - у северного края хвостохранилища и в 1.5 км к востоку при превышении 500 м вне пределов зоны его техногенного воздействия.

Таким образом, Госкомнедра РСО-А установили, что в грунтах (почвах), донных отложениях, воде поверхностного стока и некоторых видах дикорастущих растений и садово-огородных культур загрязнение тяжёлыми металлами под воздействием Унальского хвостохранилища проявляется локально. Площадь загрязнения не превышает 0,5 кв.км, и приурочена, в основном, к площадке селения Нижний Унал. Основным фактором воздействия является ветровой пылеперенос с зеркала шламоборника; загрязнение вод проявляется значительно слабее. Наиболее опасным последствием воздействия является загрязнение атмосферы в населенной зоне, отличающейся уникальными климатическими условиями; это общеизвестно. Остальные негативные последствия не столь тяжелы; при некоторых ограничениях и проведении минимальных ветрозащитных мероприятий продукция садов и огородов может быть допущена к применению.

В значительной степени интерференционная природа геохимического поля проявлялась не только в с. Н. Унал, но и по всей долине р. Ардон; вычленение доли техногенного воздействия хвостохранилища являлось сложной задачей, требующей многолетних систематических исследований в режиме мониторинга при значительных материальных затратах.

В 2005 году была защищена диссертационная работа [Пряничникова, 2005] в которой район исследований ограничен долиной р.Уналдон с притоками Майрамдон, Джимидон и Холст с месторождениями Холст, Джими и Бозанг. При оценке загрязненности вод поверхностных водотоков Пряничникова брала пробы шахтных вод из отдельных штолен, из-под штольневых отвалов горных пород, арыков для полива сельхозугодий и определяла загрязненность каждого из них, не оценивая общей загрязненности р. Уналдона и не использовала фоновую пробу воды.

Пробы почвы отобраны только в районе пос. Унал и в них установлены аномалии свинца и реже цинка, а также опробован только поверхностный слой (0.2 м) хвостохранилища и анализировались пробы приблизительно количественным спектральным анализом.

1.4 Цели, задачи и методы исследований.

Анализ ранее выполненных исследований показывает, что Унальское хвостохранилище является главным загрязнителем экосистемы Алагирского района. Накоплен значительный фактический материал, и большое количество аналитических исследований, касающихся загрязнения вод р. Ардон, почв близлежащих территорий, материала с пляжа хвостохранилища.

Однако отсутствие комплексного подхода к мониторингу хвостохранилищ и природной среды приводит к отсутствию знаний о динамике изменения гидрологических и геологических условий территории и, как следствие, к недоучету всех факторов, определяющих экологическую безопасность сооружения. В результате сооружение, спроектированное и построенное с соблюдением норм и правил, но без учета изменяющихся инженерно-геологических условий территории, оказывается в непрогнозируемом и неуправляемом состоянии, а противоаварийные мероприятия - авральны и дорогостоящи.

Объект исследований представляет собой сложную природно-техническую систему, характеризующуюся многообразием природных и техногенных факторов. Отсутствие полной и достоверной информации о динамике процессов, протекающих на территории хвостохранилища, явилось препятствием для разработки эффективных противоаварийных мероприятий.

В связи с этим **целью** диссертационной работы являлось установление на основе современных методов исследований закономерностей формирования и изменчивости природно-технической системы: техногенный грунтовый массив - окружающая среда.

В **задачи** исследований входило:

1. Отбор и аналитические исследования представительных проб:

- Из всех гранулометрических разновидностей поверхностного слоя (0-0,5м) техногенных грунтов и из керна скважин, и их последующий анализ методами РФА и ICP MS. Выявление характера распределения содержаний ряда элементов по латерали (с пляжей) и по вертикали (из керна скважин) с выявлением их аномальных концентраций.

- Из почв сельхозугодий и природных пастбищ (включая фоновые пробы) для оценки степени и масштабов их загрязнения промышленными отходами. Натурные наблюдения для выявления источника и масштаба загрязнения почв при эоловом выветривании сухих пляжей.

- Из вод главной водной артерии района – р. Ардон и ее притоков, в долинах которых расположены полиметаллические месторождения ССЦК, и из «защитного» (от ветровой эрозии пляжей) озера на поверхности хвостохранилища. Отбор и анализ фоновой пробы для оценки степени загрязнения. Выявление основных техногенных и природных источников загрязнения вод р. Ардон с притоками. Оценка степени загрязнения вод р. Ардон при ее выходе на предгорную равнину (южная окраина г. Алагир) по сравнению с фоновой пробой и ПДК для питьевой воды.

2. Определение особенностей строения техногенных грунтов Унальского хвостохранилища. Физико-механические свойства, степень агрегации грунтов, фракционные свойства, структурные связи частиц, и т.д.

3. Оценка современного состояния намывных дамб хвостохранилища, определение коэффициента устойчивости дамбы методом нечетких множеств и методом круглоцилиндрических поверхностей для предупреждения возможной техногенной катастрофы.

4. Оценка масштабов и степени негативного воздействия находящихся в хвостохранилище промышленных отходов на экологическую обстановку водных ресурсов и почв прилегающей территории.

Сбор данных о состоянии хвостохранилища состоял из полевых и лабораторных работ. Исследования проводились стандартными методами (ГОСТ 3351-74; ГОСТ 4192-82; ГОСТ 4151-72; ГОСТ 4389-72; ГОСТ 4011-72 и др.), с учетом требований нормативных документов [Гигиеническая оценка ..., 1997, 1999; Правила..., 1997; Сборник..., 1999].

В предполевой период производился сбор и обобщение результатов ранее выполненных работ, подбор топографических схем и планов, намечались маршруты полевых обследований, отбора представительных проб и т.д. Исследования проводились с применением комплекса полевых и лабораторных работ: визуальных наблюдений, бурения и документации керна пробуренных скважин, определения объемов фильтрационных утечек, отбор образцов хвостов, отбор проб природных и техногенных вод, а также математического моделирования. В лабораторных условиях определялись физико-механические свойства грунтов и содержание макро- и микроэлементов в составе природных и техногенных грунтов, химический состав воды. Обработка и обобщение результатов велись с использованием методов теории вероятностей и математической статистики.

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В главе освещаются методические аспекты исследований, необходимые для обеспечения промышленной и экологической безопасности хвостохранилищ, повышения достоверности получаемых результатов наблюдений и исследований, прогноза аварийных ситуаций и последствий эксплуатации гидротехнических объектов, базирующиеся на скоординированных действиях эксплуатирующего персонала, служб технического контроля и научных работников.

2.1 Отбор представительных проб

В соответствии с задачами диссертационной работы на первом этапе выполнялся отбор представительных проб с пляжной зоны хвостохранилища и из скважин глубиной до 9,5 м, пробуренных на пляжной зоне; из почв, пастбищ и сельхозугодий прилегающих территорий с. Унал, Зинцар, Архон; из реки Ардон и ее притоков.

2.1.1 Методика отбора проб лежалых хвостов с пляжной зоны хвостохранилища и послойно-валовых проб из скважин. Координаты места отбора и описание проб.

Пробы лежалых хвостов были отобраны с пляжной зоны хвостохранилища, на глубину до 50 см.

Следует отметить, что в пределах глубины отбора проб, фракции и цвет хвостов изменялся несколько раз, представляя собой красную мелкозернистую дисперсную фракцию, серую с примесями глины, черную крупнозернистую дисперсную фракцию, черную глинистую. Пробы весом по 50 грамм каждая. были упакованы в полиэтиленовые пакеты, и промаркированы. После высушивания проб проводилась их квартование с отбором навески 20 грамм, достаточной для всех видов аналитических исследований. Затем отквартованные пробы дробились и истирались до размера 100 меш. Остатки от квартования проб сохраняются как дубликаты

для возможных последующих исследований в случае возникновения такой необходимости. [Гурбанов и др., ...2019г.]

Для определения содержания макро- и микроэлементов, находящихся в хвостах, подготовленные для анализов пробы были переданы для аналитических исследований в лаборатории ИГЕМ РАН. Результаты этих исследований приведены в главе 3. Важно отметить, что выявленные концентрации широкого круга химических элементов могут путем инфильтрации проникать в подземную гидросферу с образованием обширных и контрастных гидрохимических ореолов разнообразных токсичных веществ в водоносных горизонтах, в том числе и используемых для питьевого водоснабжения.

Описание проб.

Проба 68/15 – Проба с северной части пляжа хвостохранилища. В данной пробе прослеживались слои хвостов разных цветов (черные, серые, красные, белые и черно-серые). Интервал глубины опробования 0 - 50 см.

Проба 68-1/15 (серый песок), 68-2/15 (Черный песок), 68-3/15 (Красный песок), 68-4/15 (черно-серый песок, переходящий в глину), 68-5/15 (серая глина переслаивающаяся с серым песком).

Проба 69/15 – Проба с северной части пляжа хвостохранилища. На всю глубину (50 см) отобранной пробы, прослеживался серый песок с переходом в глину серого цвета.

Проба 70/15 отобранная с южной части пляжа хвостохранилища. В данной пробе прослеживались слои разных цветов. На поверхности хвостохранилища яркие контрасты переслаивания красного, черного и серого цветов, на глубине 20 см и ниже серая глина.

Послойно-валовые пробы из скважин отбирались из керна скважин, пробуренных на пляжной части хвостохранилища. Для производства буровых работ применялась переносная буровая установка Стронг-С (Рис. 2.1). [Гурбанов А.Г., Богатиков О.А., Винокуров С.Ф., и др... 2017г]

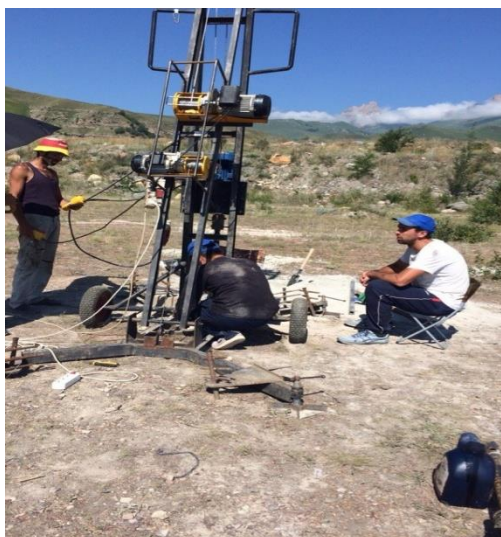


Рисунок 2.1. Общий вид буровой установки Стронг-С при проходке скважины.

Было пробурено 2 скважины до глубины 8,5 м. Координаты скважин:

- Скв.1. Ш. 42° 52' 13,14" С; Д. 44° 9' 16,38" С;
- Скв.2 Ш. 42° 51' 59.05" С; Д. 44° 8' 59.60" С;

Для отбора проб из хвостохранилища применялась технология шнекового и колонкового бурения (Рис. 2.2). Отбор послойно-валовых проб из скважин осуществлялся через каждые 1,5м. [Гурбанов А.Г., Лолаев А.Б., и др... 2015г]



Рисунок 2.2. Вид скважины

Каждая проба для анализа отбиралась методом пунктирной борозды из kernового материала длиной 1.5 м, что было обусловлено конструкцией бурового снаряда (желонка).

Достижение требуемой глубины скважины осуществлялась посредством наращивания буровой колонны штангами. Длина штанг буровой колонны - 1,5 м. Прочистка скважины осуществлялась через 1,0 – 0,5 м погружения шнека посредством демонтажа буровой колонны.

Пробы сушили в муфельных печах, после чего производили отквартовку каждой пробы по 20 грамм для проведения различных аналитических исследований. Затем отквартованные части проб дробились и истирались до размерности 100 меш.

2.1.2 Методика опробования почв сельхозугодий, природных пастбищ и равнин. Координаты мест отбора и описание проб.

В результате исследований были проанализированы особенности рельефа в районе хвостохранилища и прилегающих к нему природных пастбищ и сельхозугодий пос. Зинцар, Архон, Унал, протяженность и ширина надпойменных речных террас и геологическое строение района, так как при сильном ветре, дующем вдоль долины, над поверхностью хвостохранилища возникают пылевые «облака», которые распространяются на поселки Зинцар, Архон, Унал, Дагом, вниз по долине Ардона, а также вверх по долине до пос. Мизур, оседая на поверхности пастбищ, равнин, сельхозугодий. По информации администрации Унальского поселения, «пылевые облака» иногда достигают месторождения Верхний Згид и даже Ходского перевала.

При разработке методики опробования почв учитывалось, что степень загрязнения пастбищ и сельхозугодий может зависеть от следующих факторов [Соловов, Архипов, Бугров –1990]:

- от силы и скорости ветров, дующих утром и днем вверх по долине, а вечером и ночью – вниз по долине.

- от размерности некультивированного материала промышленных

отходов, залегающего непосредственно на поверхности хвостохранилища в его пляжной части.

Отбор проб 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 растительности. [Гурбанов А.Г., Лолаев А.Б., Дзебоев С.О., и др... 2018г]

Пробы отбирались в с. Зинцар, Архон, Унал с огородов, на которых люди выращивают картофель, помидоры, огурцы и т.д., т.к. выращенная продукция может содержать химические элементы, негативно влияющие на организм человека. Пробы отбирались также близ поселков с равнин и пастбищ, где пасется крупный и мелкорогатый скот. На рисунке 2.3 показаны места отбор проб.



Рисунок 2.3. Места отбора проб почв для аналитических исследований

Для определения содержания химических элементов в почве природных пастбищ и сельхозугодий, пробы высушивались при температуре 50⁰С, после этого пробы с дерниной сжигались в муфельных печах до получения золы, затем делалась отквартовка по 20 грамм из каждой пробы, достаточная для всех видов аналитических исследований. После этого все отквартованные части дробились и истирались до размера 100 меш. Остатки проб после

квартования сохраняются как дубликаты для возможных аналитических исследований в будущем.

С помощью GPS- приемника были установлены географические координаты и высотные отметки всех отобранных проб.

#1 – Унал № 1 (1 участок - сельхозугодия):

Проба № 1: с.ш. $42^{\circ} 51' 44,3''$ в.д. $44^{\circ} 08' 43,1''$ $h = 887,7 \pm 8,3$ м.

Проба № 2: с.ш. $42^{\circ} 51' 44,3''$ в.д. $44^{\circ} 08' 45,1''$ $h = 842,9 \pm 8,3$ м

Проба № 3: с.ш. $42^{\circ} 51' 44,3''$ в.д. $44^{\circ} 08' 38,3''$ $h = 789,7 \pm 5,3$ м

#2 – Унал № 2 (2 участок - пастбища):

Проба № 1: с.ш. $42^{\circ} 51' 49,5''$ в.д. $44^{\circ} 08' 59,1''$ $h = 886,9 \pm 6,5$ м

Проба № 2: с.ш. $42^{\circ} 51' 49,5''$ в.д. $44^{\circ} 08' 55,1''$ $h = 866,3 \pm 5,8$ м

Проба № 3: с.ш. $42^{\circ} 51' 49,5''$ в.д. $44^{\circ} 08' 54,1''$ $h = 875,7 \pm 6,9$ м

#3 – Унал № 3 (3 участок - равнины):

Проба № 1: с.ш. $42^{\circ} 51' 42,2''$ в.д. $44^{\circ} 08' 09''$ $h = 908,2 \pm 8,1$ м

Проба № 2: с.ш. $42^{\circ} 51' 42,2''$ в.д. $44^{\circ} 08' 19''$ $h = 912,5 \pm 8,0$ м

Проба № 3: с.ш. $42^{\circ} 51' 42,2''$ в.д. $44^{\circ} 08' 32''$ $h = 902,4 \pm 7,1$ м

#4 – Архон № 1 (1 участок - сельхозугодия):

Проба № 1: с.ш. $42^{\circ} 51' 26,6''$ в.д. $44^{\circ} 06' 36,7''$ $h = 958,3 \pm 7,6$ м

Проба № 2: с.ш. $42^{\circ} 51' 26,6''$ в.д. $44^{\circ} 06' 39,5''$ $h = 914,3 \pm 4,3$ м

Проба № 3: с.ш. $42^{\circ} 51' 26,6''$ в.д. $44^{\circ} 06' 43,1''$ $h = 939,3 \pm 6,2$ м

#5 – Архон № 2 (2 участок - пастбища):

Проба № 1: с.ш. $42^{\circ} 51' 25,7''$ в.д. $44^{\circ} 06' 49,1''$ $h = 905 \pm 6,3$ м

Проба № 2: с.ш. $42^{\circ} 51' 25,7''$ в.д. $44^{\circ} 06' 51,2''$ $h = 928 \pm 11$ м

Проба № 3: с.ш. $42^{\circ} 51' 25,7''$ в.д. $44^{\circ} 06' 45,4''$ $h = 931 \pm 7,3$ м

#6 – Архон № 3 (3 участок - равнины):

Проба № 1: с.ш. $42^{\circ} 51' 25,5''$ в.д. $44^{\circ} 06' 22,3''$ $h = 940,1 \pm 4,2$ м

Проба № 2: с.ш. $42^{\circ} 51' 25,5''$ в.д. $44^{\circ} 06' 29,4''$ $h = 927,2 \pm 13$ м

#7 – Зинцар № 1 (1 участок - сельхозугодия):

Проба № 1: с.ш. $42^{\circ} 52' 35,5''$ в.д. $44^{\circ} 09' 31,9''$ $h = 822,5 \pm 6,5$ м

Проба № 2: с.ш. $42^{\circ} 52' 35,5''$ в.д. $44^{\circ} 09' 35,7''$ $h = 846,4 \pm 6$ м

Проба № 3: с.ш. 42° 52' 35,5" в.д. 44° 09' 28,3" h = 836,4 ± 5 м

#8 – Зинцар № 2 (2 участок - пастбища):

Проба № 1: с.ш. 42° 53' 15" в.д. 44° 09' 58,1" h = 837,7 ± 7,3 м

Проба № 2: с.ш. 42° 53' 15" в.д. 44° 09' 49,2" h = 826,5 ± 6,9 м

Проба № 3: с.ш. 42° 53' 15" в.д. 44° 09' 42,4" h = 804,2 ± 5,2 м

#9 – Зинцар № 3(3 участок - равнины):

Проба № 1: с.ш. 42° 53' 15" в.д. 44° 10' 20,2" h = 794,7 ± 5,6 м

Проба № 3: с.ш. 42° 53' 15" в.д. 44° 10' 05,3" h = 801,5 ± 9,1 м

2.1.3 Методика отбора проб воды. Координаты мест отбора и описание проб.

Отбор проб воды производился для определения степени и масштабов загрязнения вод р.Ардон и ее притоков в связи с тем, что некоторая часть тяжелых металлов содержащихся в хвостохранилище, особенно новообразованные подвижные формы, возникшие в процессе длительного хранения, могут путем инфильтрации проникать в подземную гидросферу с образованием обширных и контрастных гидрохимических ореолов разнообразных токсичных веществ в водоносных горизонтах, в том числе и используемых для питьевого водоснабжения.

При разработке методики опробования учитывалось, что степень загрязнения воды в р.Ардон может зависеть от нескольких факторов:

- от силы и скорости ветров, дующих долине р.Ардон, то есть от степени дальности ветрового переноса с поверхности пляжной части хвостохранилища тонкодисперсного материала, который может поступать как в саму р. Ардон, так и в питающие ее водотоки.

- от масштаба загрязнения основных притоков р. Ардон самоизливающимися шахтными водами из горных выработок Садонской группы месторождений и дренажными водами, вытекающими из основания насыпной дамбы хвостохранилища.

- от масштабов переноса токсических веществ временными

водотоками (таяние снежного покрова, после сильных и продолжительных дождей) из отвалов «пустой» породы многочисленных рудников в Садонском районе в притоки (Садонка, Архон, Унал-дон) р. Ардон. [Гурбанов А.Г., Лолаев А.Б., Дзебоев С.О., и др ... 2018г]

Для решения поставленной задачи была составлена схема опробования (рис. 2.4), включающая отбор проб воды, как из р. Ардон выше и ниже (до ее выхода на предгорную равнину) по течению от Садонской группы месторождений, так и из ее боковых притоков. При этом пробы отбирались с 2013 г. по 2015г. в одних и тех же местах для наблюдения динамики загрязнения р. Ардон. и ее боковых притоков. Кроме того, пробы воды отбирались и из «защитного» озера Унальского хвостохранилища, и из водопроводов с. Унал, Зинцар и г. Алагир. Координаты мест отбора проб представлены в таблице 2.1.

Отбор проб воды производился в пластиковые бутылки, вода отфильтровывалась через фильтр с диаметром пор 0.45 ц и подкислялась 1 мл 10% азотной кислотой – HNO_3 марки О.Х.Ч.

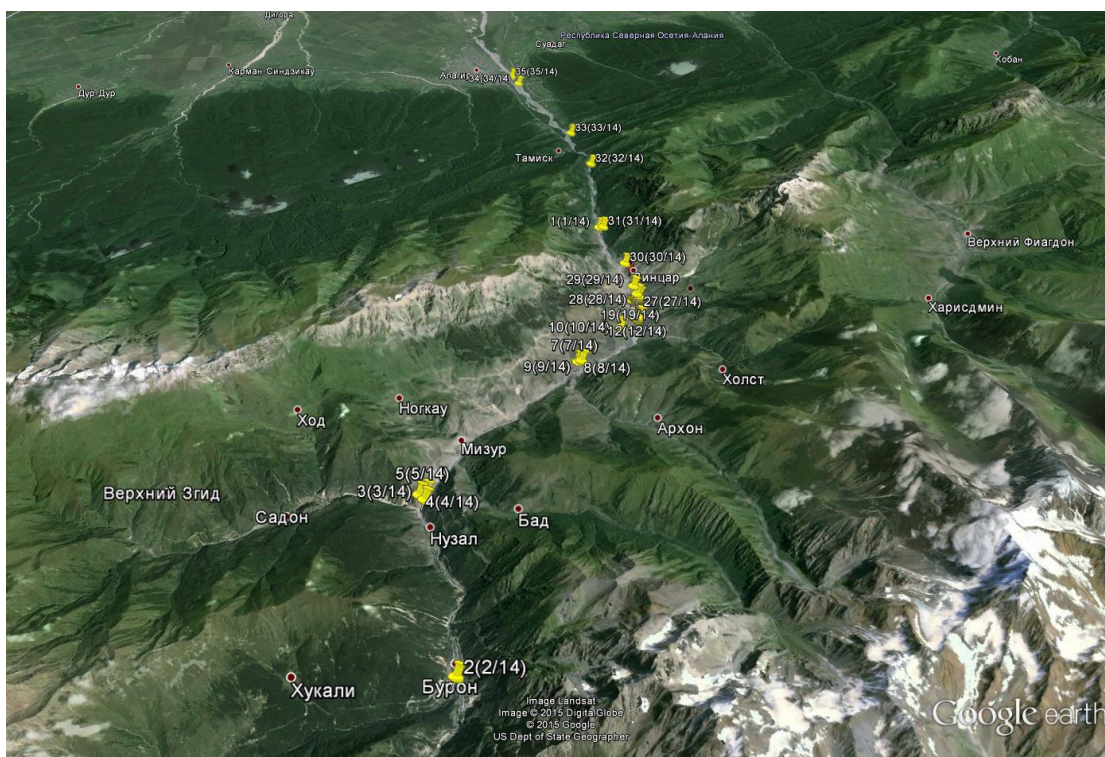


Рисунок 2.4. Схема отбора проб воды

Таблица 2.1 Координаты мест отбора проб р. Ардон установленные с помощью GPS-приемника

№ пробы	Наименование и описание пробы	Географические координаты		Высота над уровнем моря
		с.ш.	в.д.	
1	Вода из устья р. Цейдон при впадении в р.Ардон – фоновая проба.	42° 47' 31,6"	44° 00' 11,6"	1260 ± 9м
2	Вода из родника в левом борту долины р.Ардон в 600 м ниже тоннеля по долине (водозабор для села Биз).	42° 54' 29,4"	44° 10' 24,3"	859 ± 6,2м
3	Вода из р. Ардон в 100 м выше по долине от устья р.Садонка.	42° 50' 15,3"	44° 01' 41,5"	1057 ± 7,9 м
4	Вода из устья р.Садонка	42° 50' 22,4"	44° 01' 39,7"	1057 ± 10,1 м
5	Вода из р. Ардон в 100 м ниже по течению от устья р.Садонка	42° 50' 21,9"	44° 01' 48,0"	1032 ± 10,6 м
6	Вода из р. Ардон в 100 м ниже по течению от пос. Мизур и обогатительной фабрики.			
7	Вода из р. Ардон в 50 м выше по течению от устья р.Архон.	42° 51' 26,6"	44° 06' 36,7"	948,3 ± 7,6 м.
8	Вода из устья р.Архон.	42° 51' 25,7"	44° 06' 37,5"	908 ± 11 м.
9	Вода из р. Ардон в 150 м ниже по течению от устья р.Архон.	42° 51' 25,5"	44° 06' 43,3"	917,2 ± 13 м.
10	Вода из р. Ардон в 60 м выше от устья р.Унал	42° 51' 42,2"	44° 08' 09"	898,2 ± 8,1 м.
11	Вода из устья р.Уналдон	42° 51' 44,5"	44° 08' 43,7"	877,7 ± 8,3 м.
12	Вода из р. Ардон в 50 м ниже устья р.Уналдон.	42° 51' 49,5"	44° 08' 52,1"	876,9 ± 6,2 м.
13	Вода из р. Ардон в 150 м выше по течению от южного края хвостохранилища.	42° 51' 47,5"	44° 08' 44,8"	869 ± 8 м.
14	Вода из западного края защитного озера	42° 52' 13,6"	44° 09' 05"	889 ± 7,3 м.
15	Вода из западного края защитного озера у стока (трубы).	42° 52' 14,7"	44° 09' 06,9"	880 ± 10 м.
16	Вода из западного края защитного озера (западный берег).	42° 52' 17,8"	44° 09' 12"	880 ± 6,8 м.
17	Вода из северного края защитного озера.	42° 52' 16,2"	44° 09' 15,2"	879 ± 6,6 м
18	Вода из северо-восточного угла защитного озера	42° 52' 12,9"	44° 09' 16,1"	879,4 ± 7 м
19	Вода из деривационного желоба (из западного края озера).			
20	Вода из р. Ардон в 5 м ниже по течению от места слива из деривационного желоба.	42° 52' 18,3"	44° 09' 22,6"	859,3 ± 6,3 м.
21	Вода из р. Ардон в 200 м ниже хвостохранилища и деривационного желоба.	42° 52' 22,8"	44° 09' 23,8".	859,3 ± 4,1 м
22	Вода из р. Ардон в 500 м ниже по течению от пробы 21.	42° 52' 35,5"	44° 09' 31,9"	866,4 ± 6 м.
23	Вода из р. Ардон в 1,1 км ниже по течению от пробы 22.	42° 53' 15"	44° 09' 58"	837,7 ± 7,3 м
24	Вода из р. Ардон в 2,5 км ниже по течению от пробы 23	42° 54' 28,6"	44° 10' 32"	791,7 ± 6,9 м.
25	Вода из р. Ардон в 4,5 км ниже по течению от пробы 24.	42° 56' 32"	44° 12' 13,5"	779 ± 6,5 м.
26	Вода из р. Ардон ниже курорта Тамиск, в 3 км ниже по течению от пробы 25.	42° 57' 58,9"	44° 12' 55,6"	705,2 ± 6,3 м
27	Вода из р. Ардон в 5,7 км ниже по течению от пробы 26.	43° 00' 55,5"	44° 13' 38,1"	658 ± 7 м
28	Вода из р. Ардон ниже по течению от моста через Ардон по дороге во Владикавказ.	43° 01' 22,3"	44° 13' 45,7"	623,7 ± 4,2 м

Для проведения аналитических исследований, отобранные пробы были отправлены в ИГЕМ РАН и в сертифицированный испытательный центр Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН» (АСИЦ ИПТМ РАН). При анализах использовался стандартный образец питьевой воды «TraceMetalsinDrinkingWater» производства High-PurityStandarts (США) для проведения анализов методами: атомно-эмиссионный (iCAP -6500, ThermoScientific, США) и масспектральным методом с индуктивно связанной плазмой ICP-MS(X-7, ThermoElemental, США). Данные анализы позволяют выявить содержания химических элементов в каждой из проб для определения предельно допустимых концентраций (ПДК).[Гурбанов А.Г., Лолаев А.Б., Дзэбоев С.О.,... 2020г]

2.2. Определение содержания макро- и микроэлементов в техногенных грунтах, поверхностных водотоках и почвах прилегающих территорий.

Содержание макро- и микроэлементов в техногенных грунтах, поверхностных водотоках и почвах прилегающих территорий определялось современными количественными методами РФА (рентгенофлуорисцентный анализ вещества) и ICP MS (индуктивно связанная плазма на масс-спектрометре)

2.2.1 Рентгенофлуорисцентный метод (РФА).

Рентгенофлуоресцентный метод относится к инструментальным методам определения элементного состава и позволяет определять валовые содержания элементов в диапазоне от В до U, безотносительно от формы их нахождения в веществе. Типичный диапазон определяемых содержаний для РФА составляет от $n \cdot 0,0001\%$ до 100%. Применение способов концентрирования позволяет, в ряде случаев, понизить предел определения еще на два порядка.

Сущность рентгенофлуоресцентного метода понятна из его названия. «Рентгено-» - используется рентгеновское излучение, источником которого служит, как правило, рентгеновская трубка. Все современные приборы,

реализующие рентгенофлуоресцентный метод и предназначенные для массового применения, используют в качестве источника первичного излучения рентгеновскую трубку.

«Флуоресцентный» - используется флуоресценция атомов пробы – вторичное рентгеновское излучение в области длин волн (от десятых долей до десятков ангстрем), вызванное первичным рентгеновским излучением рентгеновской трубки.

Однозначное соответствие между энергией характеристического излучения и атомным номером элемента, позволяют определять перечень элементов, составляющих исследуемую пробу, т.е. проводить качественный анализ. Наличие зависимости между интенсивностью (количеством квантов) характеристического излучения и содержанием в пробе элемента, которому это излучение принадлежит, позволяет определять содержание элементов в анализируемой пробе, т.е. проводить количественный анализ.

Рентгенофлуоресцентный анализ отобранных проб был проведен на спектрометре (iCAP -6500, Thermo Scientific, США) с волновой дисперсией (wavelength-dispersive spectrometers - WDS). В этом типе приборов, для выделения вторичного излучения с той или иной длиной волны, используют дифракцию рентгеновского излучения на кристаллической решётке (рис. 2.5). Благодаря кристалл-дифракционному способу разложения рентгеновского излучения в спектр они обладают высокой способностью к разделению спектральных линий, а значит к точному анализу сложных многокомпонентных веществ.

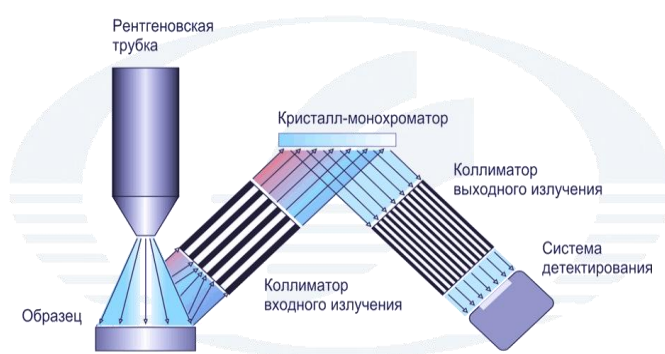


Рисунок 2.5. Принцип действия спектрометра с волновой дисперсией

Рентгенофлуоресцентный метод обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с другими методами определения элементного состава.

1. Первое – это возможность анализа твердых проб без перевода их в раствор, а также возможность анализа жидких проб без отделения органической составляющей. Жидкие пробы наливаются в специальные кюветы, накрываются пленкой для РФА и анализируются как есть. Порошковые пробы измельчаются до необходимой крупности частиц и прессуются в таблетки. При анализе сплавов, поверхность образца затачивается или шлифуется на плоскость. Полученные одним из способов образцы, помещаются в прибор и анализируются.

2. Второе – это простота и однозначность рентгеновского спектра. Наличие рентгеновского характеристического спектра К(L)-серии на энергиях, предсказываемых законом Мозли в спектре анализируемого вещества, является прямым доказательством присутствия соответствующего элемента в нем. Это свойство рентгенофлуоресцентного метода позволяет просто и быстро проводить качественный анализ образцов. Например, для определения загрязняющих или ядовитых элементов при проведении различных экспертиз.

3. Неразрушающий характер возбуждения аналитического сигнала позволяет анализировать уникальные пробы и пробы, существующие в единичном экземпляре, например предметы искусства.

4. Широкие аналитические возможности, обеспечиваемые диапазоном определяемых содержаний от $n \cdot 1,0$ мг/кг до 100% без концентрирования проб и от $n \cdot 0,01$ мг/кг с концентрированием.

Кроме того рентгенофлуоресцентный метод позволяет:

- определять общее содержания аналита вне зависимости от его формы нахождения в твердых и жидких пробах;
- определять в одном эксперименте основные и примесные элементы;
- проводить локальный анализ с локальностью от нескольких десятков

мкм без вакуумирования образца;

Таким образом, несмотря на невысокую, по современным меркам чувствительность, рентгенофлуоресцентный метод находит свое применение в различных отраслях, как экспрессный, простой и недорогой метод определения элементного состава.

2.2.2 Масс-спектральный метод с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS)

В большинстве случаев объектами анализа в ICP-MS являются водные растворы. Твердые пробы растворяют с применением кислот и затем анализируют. Наиболее подходящей средой для анализа является разбавленная азотная кислота (2–5%). Общее содержание твердых растворенных веществ в пробе не должно превышать 0,2–0,3% (2–3 г/л) в зависимости от основы. Анализ более концентрированных растворов связан с сильным матричным влиянием, приводящим к подавлению сигнала аналита, и ухудшению стабильности и чувствительности из-за быстрого загрязнения конусов интерфейса.

Реже применяют растворы, содержащие соляную кислоту, в силу ее летучести, коррозионной активности и наличия спектральных интерференций, возникающих при анализе проб с высоким содержанием хлоридов. Кроме того, такие элементы как As, Sb, Sn, Se, Ge, Hg могут теряться в процессе

В общем случае исследуемый раствор с помощью перистальтического насоса подается в распылитель, в котором потоком аргона превращается в аэрозоль. Аэрозоль через центральный канал плазменной горелки попадает в плазму, где под воздействием высокой температуры (7000–8000 К) вещества, содержащиеся в пробе, диссоциируют на атомы, которые затем ионизируются. Образовавшиеся положительно заряженные ионы проходят через систему ионной оптики в анализатор, где происходит фильтрация ионов по массе и детектирование интенсивности ионного потока. Полученный сигнал

трансформируется в зависимости интенсивности от величины m/z .

Общая схема масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой (X-7, Thermo Elemental, США), на котором были выполнены исследования представлена на рис.2.6.

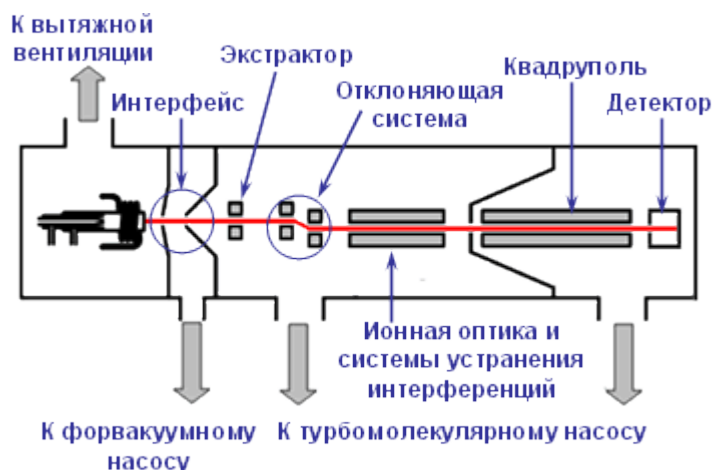


Рисунок 2.6. Принципиальная схема квадрупольного масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой.

Прибор состоит из:

- Системы ввода пробы, состоящей из перистальтического насоса и распылительной камеры, снабженной пневматическим распылителем;
- Блока плазменной горелки, который подключается к вытяжной вентиляции для удаления озона, образующегося из кислорода воздуха под действием ультрафиолета, продуктов разложения образца и выделяющегося тепла;
- Интерфейсной части, служащей для отбора ионов из плазмы и их транспорта в высоковакуумную часть масс-спектрометра;
- Системы ионной оптики;
- Квадрупольного масс-фильтра;
- Детектора ионов.

2.3 Оценка современного состояния намывных дамб хвостохранилища, методом нечетких множеств и методом круглоцилиндрических поверхностей

Методологический подход решения проблемы, представленной в настоящем разделе будет решаться 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, в том числе аппарат теории планирования эксперимента. Обоснование применения данных подходов будет представлено в последующих разделах.

2.3.1 Обоснование применения теории нечетких множеств

Разработка методов прогноза устойчивости инженерных сооружений требует поиска новых методов наблюдения и контроля состояния технических и природных объектов, формирующих единую природно-техническую систему. Например, таких, как методы геофизики, а также методы экспертных оценок, в частности теория нечетких множеств. Детерминированная информация является следствием применения четких законов к четким явлениям. Вероятностная основывается на применении методов статистики и теории вероятностей и применяется для обработки значительных по объемам массивов данных. В данном случае основным вопросом является выбор основных параметров, характеризующих устойчивость и экологическую безопасность сооружений и поэтому эти методы в данном случае не применимы [Lolaev A.V., et al., 1998.].

Используемый для анализа математический аппарат обычных множеств оказывается недостаточно эффективным при решении задач предметной области. Кроме того, в потоке анализируемых сообщений большое место

занимает качественная (синтаксическая, семантическая, нормативно-техническая, юридическая и др.) и субъективная (присущая «человеческому фактору» в принятии решений) информация, которая не может быть адекватно формализована известными математическими подходами. Для преодоления описанных трудностей в ряде исследований [Заде Л.А., 1976; Алиев Р.А. и др., 1991; Борисов Г.А. и др., 1959; Mizomoto M. et al., 1981] показывается, что проблема может быть решена путем отказа от традиционных математических моделей через применение размытости и методов теории нечетких множеств (ТНМ) [Аверкин А.Н. и др., 1989; Алиев Р.А. и др., 1991; Борисов А.Н. и др., 1989; Гвоздик А.А., 1984; Заде Л.А., 1974, 1976; Кофман А., 1982; «Нечеткие...», 1986; Zadeh, L.A., 1968, 1979, 1982].

Главное внимание уделяется нечеткой информации в виде нечетких множеств [Заде Л.А., 1976.]. При этом появляется настоятельная необходимость раскрытия понятия «нечеткости» (размытости) для инженерно-геологических изысканий, поскольку она является ее методологической сутью. Понятие нечеткости во многом связано с субъективностью и приблизительностью представлений о каком-либо показателе системы. Нечеткие величины, в отличие от вероятностных, характеризуются не вероятностным законом распределения, основанном на объективной статистике, а функцией принадлежности [Zadeh, L.A., 1968; «Нечеткие...», 1989; Лолаев А.Б., 1998;], ранжирующей степень принадлежности рассматриваемой величины от полной непринадлежности до полной принадлежности к физической природе явлений. Наименее «точной» (неоднозначной) является нечеткая информация, но она в большинстве случаев остается единственной, характеризующей процессы в практике инженерно-геологических изысканий, особенно при прогнозных оценках развития геологических и геоэкологических процессов, например, построение

п
р Виды неопределенности могут быть представлены в виде дерева (рис. 8.7).

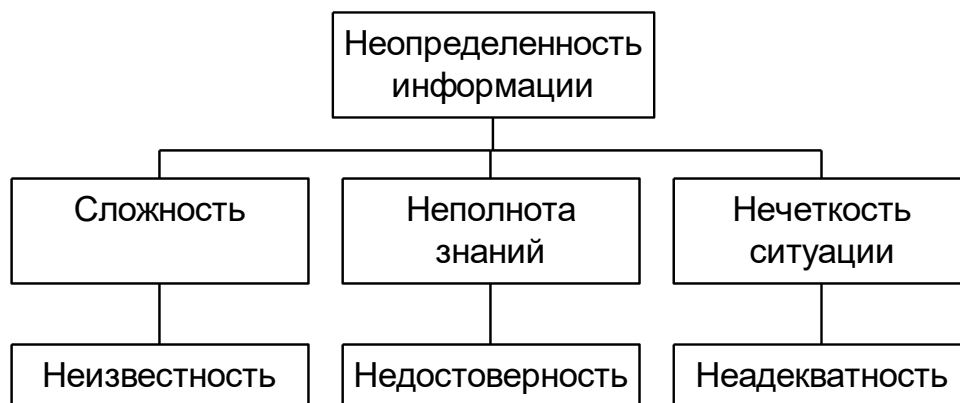


Рисунок 2.7 Классификация причин неопределенности в решении задач инженерной геологии

Верхний уровень этого дерева образован главными причинами, характеризующими количество отсутствующей информации об элементах задачи. Неопределенность информации для решения задач предметной области определяется тремя составляющими:

- **сложностью строения грунтового массива** (*строение ограждающей дамбы и хвостохранилища в целом*) как объекта исследований;
- **неполнотой знаний о состоянии массива грунтов** как на отдельном участке, так и в целом;
- **нечеткостью ситуации**, что связано с отсутствием точных границ областей определений.

Общие причины неопределенности информации:

- **неизвестность**, когда еще не выработаны требования к критериям оценки, а информация о проблеме практически отсутствует;
- **недоверность**, поскольку имеются не все возможные и необходимые сведения, а для некоторых элементов определены не их однозначные описания, а лишь множества, которым эти описания принадлежат;
- **неадекватность**, являющаяся мерой оценки степени знаний о данном явлении и возможности применения их на практике. При этом являются

весьма важными, методологически обоснованные, применение или разработка критериев оценки адекватности.

Продолжение исследований должно привести либо к адекватному описанию явлений моделями, либо неадекватному, когда собрана вся возможная информация, но полного описания нет и оно не может быть получено этим путем.

На стадии практического использования существует проблема, связанная с описанием разнотипной информации о предметной области. Описание количественной и качественной информации задается в виде таблиц, графиков, номограмм, формул, процедур, диапазонов изменения, нечетких значений, характера поведения, отношений сравнения. Часто требуется определить по минимуму сведений об этих величинах другие заключения, явно невыраженные ранее. Но эти оценки величин в большинстве случаев условны и субъективно истинны при определенных условиях в заданных границах. В сложных задачах принятия решений довольно трудно полагаться на дискретные алгоритмы, которые могли бы привести к единственно правильному и однозначному решению. Таких алгоритмов просто не существует [Ивахненко А.Г. и др., 1987]. Однако в современной теории принятия решений имеется ряд методов, с помощью которых можно формализовать процесс принятия решения, в том числе и для нескольких критериев, взаимодействующих в нечеткой среде [Заде Л.А., 1976; Алиев Р.А. и др., 1991; Дроздов А.В. и др., 1994]. Поэтому, прежде чем делать выводы и проводить преобразования, нужна формализация информации, заложенной в поступающих сведениях.

Л.Заде (1976) ввел понятие лингвистической переменной, позволяющей адекватно отобразить приблизительное словесное описание предметов и явлений, когда детерминированное описание отсутствует или невозможно в принципе, и сделать соответствующий вывод.

Использование лингвистических переменных характерно для человеческой деятельности, связанной с приближенными рассуждениями.

При создании системы, которая имитирует такую деятельность, требуется создавать математические модели, позволяющие, с одной стороны представлять эти переменные, с другой - использовать нетрадиционные методы для их обработки. ТНМ и нечеткая логика составляют основу лингвистического подхода, при котором переменные, описывающие модель предметной области, могут принимать лингвистические значения. Лингвистическая переменная характеризуется набором из компонентов [Заде Л.А., 1976; Борисов А.Н. и др., 1989; «Нечеткие...» 1989]:

$$\langle x, T, D \rangle, \quad (2.1)$$

где x - имя лингвистической переменной; T - ее терм-множество или множество ее значений; D - область определения значений.

Лингвистические переменные разделяются на качественные, полуколичественные и количественные.

2.3.2 Методика построения моделей в нечеткой среде

Обеспечение надежности и достоверности получаемых результатов или выводов по экспериментальным данным в четкой информационной среде достигается применением теории планирования экспериментов [Налимов В.В. и др., 1965]. Однако в нечеткой информационной среде, каковой являются результаты инженерно-геологических изысканий, применение теории планирования эксперимента нуждается в дополнительном обосновании, особенно в части оценки адекватности получаемых уравнений экспериментальным данным.

Для обоснования применимости теории планирования эксперимента на ЛП были приняты исходные предложения [Дроздов А.В. и др., 1994]:

- поведение исследуемой системы описывается экспертом на естественном (или близком к нему) языке, что делает ЛП наиболее адекватным средством представления его знаний, а переход от словесных оценок к числовым не вызывает затруднений по любой из шкал;

- в основу мировосприятия человека заложена оппозиционная шкала. В оппозиционной шкале маркированы лишь концы шкалы, а середина соответствует нейтральному значению между концами шкалы. Маркировка промежуточных значений достигается дальнейшим делением шкалы и таким образом эксперт ранжирует свои понятийные оценки;
- оппозиционная шкала из k значений ЛП является шкалой $k-1$ равнокажущихся интервалов и ее деления отстоят друг от друга на психологическом континууме на равных интервалах и, следовательно, ошибки классификации значений ЛП равны друг другу;
- в силу доминирования у эксперта аналитического мышления, заключающегося в представлении входных переменных как независимых (эксперту бывает трудно определить степень их коррелируемости), применение методов теории планирования эксперимента наиболее естественным образом отвечает понятийной модели описываемого процесса, существующей в его сознании.

При работе с экспертом опрос планируют, т.е. задают эксперту значения входных ЛП. Тогда на основании [Дроздов А.В. и др., 1994]: к опросу эксперта можно подходить с точки зрения теории планирования эксперимента, аппроксимируя результаты аналитической функцией вида:

$$(j,u), \quad (2.2)$$

Кодирование лингвистических переменных необходимо для представления всех переменных в едином стандартизованном масштабе в интервале $[-1,+1]$. Это обуславливает возможность сравнения коэффициентов полинома (2.2) между собой, а также выделения значений коэффициентов на фоне ошибки их определения. Коэффициенты полинома, находящиеся в пределах ошибки, в дальнейшем считают равными нулю и из рассмотрения исключают.

Порогом чувствительности экспертной оценки справа назовем значение входной ЛП, после которого выполняется условие

$$r < i \leq n, \text{ где } X_n = X_{\max}, \quad (2.3)$$

Порогом чувствительности экспертной оценки слева назовем значение входной ЛП, после которого выполняется условие

$$1 < i \leq n, \text{ где } X_n = X_{\min}, \quad (2.4)$$

Y_0 - минимальное или максимальное значение выходной ЛП Y .

При выполнении условия (2.3) правый конец шкалы с точки зрения выходной ЛП Y будет представляться множеством:

$$X_{\max} = [X_r, X_{r+1}, \dots, X_n.]$$

Действительно, пусть X_r - порог чувствительности справа, такой что $f(X_r) = Y_{\max}$. Тогда с точки зрения выходной ЛП Y конец шкалы будет иметь значение:

$$X_{\max} = \max [X_r, X_{r+1}, \dots, X_n.] = [X_r, X_{r+1}, \dots, X_n.], \quad (2.5)$$

Для левого конца шкалы рассуждения аналогичны.

$$S = (X_l - X_r)/2, \quad (2.6)$$

где X_l и X_r - соответственно левый и правый порог чувствительности.

При этом интервал варьирования и определяется как

$$S = (X_{\max} - X_{\min})/2, \quad (2.7)$$

Согласно топологии выражение (2.7) является метрикой. Таким образом, все значения каждой ЛП переводятся в интервал $[-1, +1]$.

Для получения явно выраженной тенденции методологически целесообразно по каждой из входных ЛП выбирать нечетное количество интервалов разбиения, т.к. это дает возможность оценки адекватности функции мнению эксперта в центре планирования [Дроздов А.В. и др., 1994].

Поскольку матрица C ортогональна и ее ранг равен числу неизвестных коэффициентов выражения (2.2), то оценки этих коэффициентов некоррелированы, определяются с минимальной ошибкой и являются несмещенными [Дроздов А.В. и др., 1994].

Сказанное выше позволяет обосновать применение теории планирования экспериментов к ЛП. При этом синтез теории нечетких множеств в виде ЛП и

теории планирования экспериментов делает возможным формализовать модель знаний эксперта в виде аналитической функции (полинома).

Исходя из вышесказанного, алгоритм получения решения поставленной задачи выглядит следующим образом:

Представленный алгоритм построения адекватной прогностической модели проиллюстрирован на рис. 2.8.



Рисунок. 2.8. Алгоритм построения прогностической модели.

В качестве пояснения к алгоритму построения прогностической модели отметим, что:

1) Определение факторного пространства включает в себя:

- определение максимально большего числа влияющих факторов;
- выделение существенно влияющих факторов;
- выбор линейно-независимых и управляемых факторов;

- 2) Определение границ оппозиционной шкалы включает в себя:
- определение количественной или качественной оценки нижней и верхней границ выбранного фактора - ЛП;
 - определение количества делений (терм-множеств) разбиения шкалы и их названий;
 - определение степени «размытости» - нечеткости понятия (определение и, значения термина а);
- 3) Подготовка матрицы опроса эксперта (продукции) выполняется согласно методам теории планирования экспериментов с учетом дробности полного факторного эксперимента (при этом количество обращений к эксперту = $2n$, где n – число факторов или $2n-p$, где p - степень дробности полного факторного эксперимента);
- 4) Кодирование факторов -ЛП заключается в преобразовании шкалы названий термов в метрику на интервале $[-1,+1]$;
- 5) Расчет коэффициентов полинома заключается в переводе зависимых ЛП (Y) в четкую шкалу и выполнении традиционных действий с матрицей опроса, принятых в теории планирования эксперимента;
- 6) Оценка ошибки численного эксперимента первоначально заключается либо в сравнении значения свободного члена полинома b_0 с оценкой мнения эксперта в центре планирования факторного пространства изучаемого явления, либо сравнением расчетных и фактических значений Y по экспериментальным данным;
- 7) Оценка значимости коэффициентов полинома заключается в выделении коэффициентов полинома, значение которых выше ошибки их определения (по t - критерию Стьюдента);
- 8) Оценка адекватности полинома со значимыми коэффициентами экспертной оценке изучаемого явления заключается в сопоставлении между собой расчетных значений по полиному и экспертных оценок изучаемого явления (а также по алгоритму «необходимость-возможность» - NEC - POS);

9) Оценка адекватности полученной модели изучаемому явлению заключается в сопоставлении:

- расчетных значений по полиному и фактических (экспериментальных, по литературным источникам и т.д.) значений традиционными статистическими методами (по - критерию Фишера в виде: $F = S_{y'}^2 / S_{ост}^2$);
- по критерию Фишера в виде $F_{расч} = S_{ост}^2 / S_{ош'}^2 < F_{табл}$, где $S_{ош'}^2$ – квадрат ошибки измерения Y , принятой в данной области явления.

2.3.3 Расчеты устойчивости по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения.

Все действующие на область выпора активные и реактивные силы, а также их моменты должны быть взаимно уравновешены. Следовательно, сумма моментов всех сил относительно центра окружности скольжения должна быть равна нулю:

$$M_{act} - \int_S r\tau(s)ds = 0, \quad (2.8)$$

Заменим интегрирование суммированием, разделив предварительно всю область выпора на n отсеков шириной b и c основанием Δs . Тогда уравнение равновесия приобретает вид:

$$M_{act} - r \sum_{i=1}^{i=n} \tau_i \Delta s_i = 0, \quad (2.9)$$

Запишем выражение для коэффициента запаса в форме:

$$K_{уст} = \frac{M_{pr.react}}{M_{c.react}} = \frac{r \sum \tau_{i \lim} \Delta s_i}{r \sum \tau_i \Delta s_i} = \frac{\sum \tau_{i \lim} \Delta s_i}{\sum \tau_i \Delta s_i}, \quad (2.10)$$

где $\tau_{i \lim}$ - предельное сопротивление грунта сдвигу по круглоцилиндрической поверхности.

Таким образом, в случае круглоцилиндрической поверхности скольжения ($r = \text{const}$) коэффициентом запаса можно назвать отношение суммы сил предельного сопротивления сдвигу к сумме действующих по поверхности скольжения реактивных касательных напряжений.

Решая совместно систему уравнений (2.8) и (2.9) и принимая для τ_{lim} зависимость Кулона, получим выражение для $k_{\text{уст}}$ в виде:

$$k_{\text{уст}} = \frac{r \sum \tau_{i \text{ lim}} \Delta s_i}{M_{\text{act}}} = \frac{r \sum (\sigma_i \text{tg} \varphi_i + c_i) \Delta s_i}{M_{\text{act}}}, \quad (2.11)$$

где σ_i - нормальные напряжения по поверхности скольжения в случае перехода по ней грунта в предельное состояние;

φ_i - угол внутреннего трения;

c_i - сцепление грунтов, имеющих на участке кривой скольжения Δs_i .

Полученное выражение является основным для определения $K_{\text{уст}}$ по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения. Все величины, кроме σ_i , в нем известны, частично заданы (φ_i , c_i) или приняты (r), а часть (M_{act}) сравнительно легко подсчитывается исходя из той или иной схемы сооружения.

Вся система сил, действующих на скелет грунта, должна быть взаимно уравновешена. Однако возможных в условиях рассматриваемой плоской задачи трех уравнений равновесия будет недостаточно для определения всех перечисленных выше неизвестных величин. Таким образом, в принятой постановке задача является статически неопределимой. Поэтому приходится вводить дополнительные физические представления о силах взаимодействия элементов (столбиков) по вертикальным граням, сводящихся по существу к принятию определенных величин напряжений σ_i и закономерности их определения по поверхности скольжения. Предлагались самые различные схемы сил взаимодействия и использовались разные уравнения равновесия, что привело к многочисленным вариантам окончательного решения задач, т.е. приведения ее к статически определимой схеме.

Формула К. Терцаги. Вводится предположение, что по вертикальным поверхностям отдельных столбиков касательные усилия, обусловленные взаимодействием соседних столбиков, отсутствуют, т.е. $T_1=T_2=0$ (рис. 2.9).

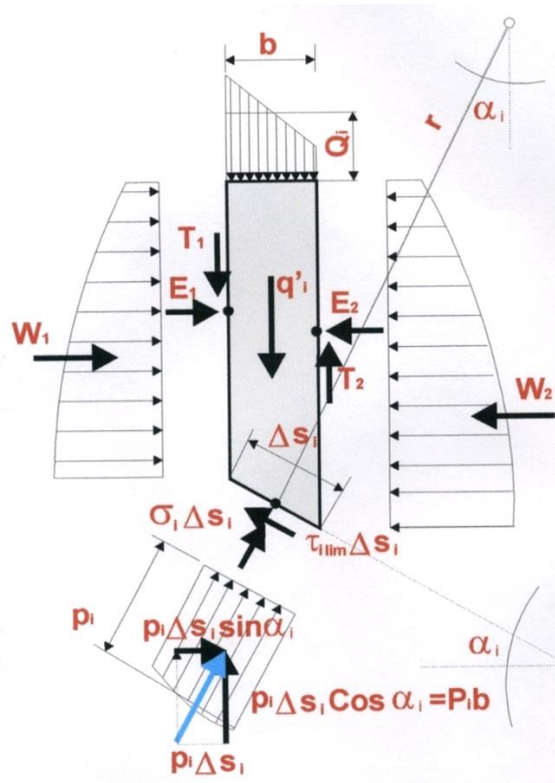


Рисунок 2.9 Отсек (столбик) расчлененной призмы выпора

Кроме того, принимается менее существенное допущение, что горизонтальные силы E_1 и E_2 взаимно уравниваются.

С учетом изложенных выше допущений получаем распределение напряжений по поверхности выпора или обрушения в виде зависимости:

$$\sigma_i \Delta s_i = b(q_i - p_i) \cos \alpha_i, \quad (2.12)$$

где p_i – поровое давление.

Выражение для $k_{уст}$, известное при $p_i=0$ как формула К.Терцаги, имеет вид:

$$k_{уст} = \frac{rb}{M_{act}} \left[\sum (q_i - p_i) f g \varphi_i \cos \alpha_i + \sum \frac{c_i \Delta s_i}{b} \right], \quad (2.13)$$

Все изложенное выше относится к определению коэффициента запаса устойчивости по одной произвольно выбранной, заданной, в данном случае

круглоцилиндрической, поверхности скольжения. В задачу полного решения задачи об устойчивости сооружения или откоса входит нахождение наиболее “опасной” поверхности скольжения, по которой коэффициент запаса минимальный. Он и является коэффициентом запаса устойчивости всего сооружения.

Также необходим анализ и выделение всех важнейших, наиболее информативных факторов, влияющих на коэффициент устойчивости, который в свою очередь будет показателем и главным индикатором риска аварии, как дамбы, так и сооружения в целом.

Выводы по главе

1. Основными факторами определяющими безопасность сооружения в процессе строительства и эксплуатации являются:
 - конструктивные параметры ограждающей дамбы;
 - физико-механические свойства грунтов, слагающих основание и тело дамбы;
 - температурное состояние тела дамбы, наличие и давление вод в теле дамбы, характеризующееся положением кривой депрессии.
2. Применение теории нечетких множеств при первоначальной оценке состояния ограждающей дамбы и хвостохранилища в целом, представляется возможным и дает достаточно ясную картину существующего положения.
3. Обоснована методика прогноза риска сооружения с помощью реализации теории математического планирования эксперимента, основными входными лингвистическими критериями которого принимаются определяющие факторы хвостохранилища.

ГЛАВА 3 ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДАМБЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА

3.1 Комплексные исследования состава, структуры и свойств техногенных грунтов.

3.1.1 Методика, состав и материалы исследований

Отсутствие единого методологического подхода к проведению экспериментов, к описанию их результатов не позволяет дать адекватную оценку получаемым значениям физико-механических свойств техногенных грунтов. В связи с этим, была поставлена задача провести комплексные исследования состава, структуры и физико-механических свойств техногенных намывных грунтов с единой позиции.

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

План комплексных исследований включал определение следующих показателей:

- определение гранулометрического состава техногенных грунтов с тремя способами подготовки образца к анализу – метод пипетки. Расчеты содержания микроструктурных параметров по методу «Микроструктура». Определение типа микроструктуры и структурной модели;

- определение состава и содержания компонентов, формирующих структурные связи (анализ водной, солянокислой и щелочной вытяжек);

- изучение физических и физико-химических свойств (плотность минеральной части, седиментационный объем, углы естественного откоса на

воздухе и под водой, пластичность, емкость катионного обмена, рН; на образцах- пастах определялись относительное набухание и объемная усадка).

- исследование механических свойств (прочностных характеристик, деформационных характеристик грунтов при различных значениях влажности)

В качестве объектов исследования использовались воздушно-сухие образцы техногенных грунтов нарушенного сложения (сводные пробы).

Образец светло-коричневый с сероватым оттенком, содержит тонкие песчаные частицы (в большом количестве) и пылеватые фракции (песок).

3.1.2 Исследование физико-механических свойств хвостов.

Гранулометрический и минеральный состав грунтов

Для реализации метода выполнялся цикл операций: 1) проводится гранулометрический анализ пипеточным методом для образцов-дубликатов с тремя способами подготовки к анализу (I – агрегатный; II – полудисперсный-стандартный; III – дисперсный), и рассчитываются коэффициенты микроагрегатности для всех шести фракций (К_{ма} 1-6); 2) ведутся расчеты содержания различных параметров микроструктуры (%): общее количество агрегатов (А) и их разновидностей по размерам (А1-А5); содержание первичных (свободных) частиц (М1-М6); содержание частиц (фракций) различных размеров в агрегатах (М2-А; М3-А; М4-А; М5-А; М6-А); коэффициент свободы первичных частиц (F1-6); «реальная глинистость» грунта (М8) и коэффициент глинистости (К_{гл}). В заключение на основании предложенных классификационных таблиц определяются типы микроструктуры и структурной модели грунта.

При выполнении различных операций в процессе применения метода «Микроструктура» приняты, как указано выше, условные индексы. Для их расшифровки составлена специальная сводная таблица (Таблица 3.1), которая включает 28 параметров; в примечании к этой таблице приведена расшифровка еще двух индексов (М7, М11).

Таблица 3.1 Сводная таблица индексов. Параметры микроструктуры лессовых и глинистых грунтов (метод «Микроструктура»)

Индекс	Параметры, %	Индекс	Параметры, %
A	Общие содержание агрегатов	M5-A	Частицы в составе агрегатов (0,002-0,001) мм
A1	Агрегаты - 1,00-0,25 мм	M6	Первичные частицы <0,001 мм
A2	Агрегаты - 0,25-0,05 мм	M6-A	Частицы в составе агрегатов (<0,001) мм
A3	Агрегаты - 0,05-0,01мм	M7	Реальное содержание фракции < 0,001мм
A4	Агрегаты - 0,01-0,002мм	M8	Реальное содержание фракции < 0,002мм
A5	Агрегаты - 0,002-0,001мм	M9	Содержание фракции <0,002мм по стандартной гранулометрии
M1	Первичные(свободные) частицы - 1,00-0,25мм	Кгл	Коэффициент глинистости (M8/M9), расчет в долях ед.
M2	Первичные частицы 0,25-0,05мм	M11	Общее содержание фракции 0,05-0,002 по стандартной гранулометрии
M2-A	Частицы в составе агрегатов (0,25-0,05) мм	F1	Коэффициент свободы фракции 1,00-0,25мм
M3	Первичные частицы 0,05-0,01 мм	F2	Коэффициент свободы фракции 0,25-0,05мм
M3-A	Частицы в составе агрегатов (0,05-0,01) мм	F3	Коэффициент свободы фракции 0,05-0,01мм
M4	Первичные частицы 0,01-0,002 мм	F4	Коэффициент свободы фракции 0,01-0,002мм
M4 - A	Частицы в составе агрегатов (0,01-0,002) мм	F5	Коэффициент свободы фракции 0,002-0,001мм
M5	Первичные частицы - 0,002 - 0,001 мм	F6	Коэффициент свободы фракции <0,001 мм

Примечание: Условные индексы были расшифрованы при описании операции расчетов, кроме M11 - суммарное содержание крупнопылеватых и мелкопылеватых фракций при стандартной гранулометрии. M7 – реальное содержание тонкоглинистых (<0,001мм) частиц (сумма первичных и мобилизованных в агрегаты).

Гранулометрический анализ выполнялся пипеточным методом тремя способами подготовки образца: микроагрегатным, стандартным (кипячение с аммиаком) и дисперсным (кипячение с пирофосфатом натрия) [Ломтадзе, 1990]. Для изучения степени агрегированности намывных отложений

применялся метод структурных диаграмм, предполагающий использование результатов гранулометрического анализа при расчете коэффициентов микроагрегатности ($K_{ма}$) для шести фракций по разности их содержаний при дисперсной и агрегатной подготовке образца [Рященко, 2010, 2021].

В таблице 3.2 приведены принятые индексы показателей с их расшифровкой.

Таблица 3.2 Принятые индексы показателей

Показатель	Расшифровка	Ед. изм.	Крупность
$M_{пс}^1$	содержание крупно-песчаной фракции	%	более 0,25мм
$M_{пс}^2$	содержание мелко-песчаной фракции	%	0,25 - 0,05мм
$M_{п}^1$	содержание крупно-пылеватой фракции	%	0,05 - 0,01мм
$M_{п}^2$	содержание мелко-пылеватой фракции	%	0,01- 0,002мм
$M_{с}^1$	содержание крупно-глинистой фракции	%	0,002-0,001мм
$M_{с}^2$	содержание мелко-глинистой фракции	%	менее 0,001мм

где $M_{пс}$, $M_{п}$, $M_{с}$ - суммарное содержание песчаных, пылеватых и глинистых фракций, %; $^1, 2$ – индексы.

Результаты анализа гранулометрического состава грунтов, полученные микроагрегатным, стандартным и дисперсным способами, представлены в Таблице 3.3:

Таблица 3.3 Результаты гранулометрического анализа грунтов

Пробы	Тип подготовки образца	$M_{пс}^1$	$M_{пс}^2$	$M_{п}^1$	$M_{п}^2$	$M_{с}^1$	$M_{с}^2$
Унал	Агрегатный	11,0	72,1	16,5	02	0,1	0,1
	Полудисперсный	10,8	69,0	16,8	2,1	1,1	0,2
	Дисперсный	9,4	67,2	15,4	0,8	3,4	3,8

Коэффициенты микроагрегатности рассчитывались по методике, Т.Г.Рященко. По этим коэффициентам, которые представляют собой

разность содержаний фракций, определенных при дисперсной подготовке образца (максимально разрушаются только агрегаты, если они есть в грунте) и микроагрегатной (разрушаются только водо-неустойчивые агрегаты), можно оценить степень агрегированности, определить размеры агрегатов и их строение, т.е. узнать, из каких более мелких частиц они состоят. Кроме того, определяется степень свободы мелко-глинистых (менее 0,001 мм) частиц по величине $K_{ма}$. [Рященко, Акулова, 1998, 2011].

Коэффициенты микроагрегатности определяются следующим образом:

$$K_{ма}^{1-2} = M_c^2(д) - M_c^2(ма) \quad (3.1)$$

$$K_{ма}^{1-1} = M_c^1(д) - M_c^1(ма) \quad (3.2)$$

$$K_{ма}^{2-2} = M_p^2(д) - M_p^2(ма) \quad (3.3)$$

$$K_{ма}^{2-1} = M_p^1(д) - M_p^1(ма) \quad (3.4)$$

$$K_{ма}^{3-2} = M_{пс}^2(д) - M_{пс}^2(ма) \quad (3.5)$$

$$K_{ма}^{3-1} = M_{пс}^1(д) - M_{пс}^1(ма) \quad (3.6)$$

где (д) - содержание соответствующей фракции при дисперсном способе подготовки образца, %; (ма) - то же при микроагрегатном способе подготовки, %

Чем меньше этот коэффициент, тем больше степень свободы, то есть глинистые частицы не находятся в составе агрегатов, а являются первичными. Когда все мелко-глинистые частицы свободны и не участвуют в формировании агрегатов $K_{ма}$ больше или равен нулю.

$K_{ма}$ всегда отрицателен, если крупно-песчаные частицы представляют собой агрегаты и равен нулю, если все они первичны. Остальные четыре коэффициента могут иметь произвольные значения.

Результаты определения гранулометрического состава использовались при расчете коэффициентов микроагрегатности ($K_{ма}$) для шести фракций по разности их содержаний при дисперсной и агрегатной подготовке образца (Таблица 3.4).

Таблица 3.4 Полученные коэффициенты микроагрегатности

пробы	$K_{ма}^{1-2}$	$K_{ма}^{1-1}$	$K_{ма}^{2-2}$	$K_{ма}^{2-1}$	$K_{ма}^{3-2}$	$K_{ма}^{3-1}$
Унал	3,7	3,3	0,6	-1,1	-4,9	-1,6

Отрицательное значение коэффициента микроагрегатности говорит о том, что произошло уменьшение содержания фракции при дисперсной подготовке образца, значит, разрушились агрегаты этой размерности и составляющие их частицы ушли в группу более мелких. Следовательно, отрицательный коэффициент показывает количество агрегатов соответствующей величины. Коэффициент микроагрегатности с положительным знаком - прибавка частиц более мелких размеров, которые освободились из агрегатов.

Таким образом, при диспергации происходит закономерный процесс: более крупные элементы разрушаются, а самые мелкие собираются в составе фракции менее 0,001 мм

Далее определялись параметры микроструктуры: количество агрегатов (А) и первичных частиц (М), их распределение по размерам (A_i , M_i) и коэффициенты свободы фракций (F_i), представляющих долю (%) первичных частиц в их общей сумме (первичные + находящиеся в агрегатах); выполнялись специальные расчеты для определения типа структурной модели грунта. В зависимости от количества агрегатов тип микроструктуры определялся по классификационной таблице 3.5

Таблица 3.5 Классификация типов микроструктур

Общее количество агрегатов (А), %	Микроструктура	Условный индекс
$A < 10$	скелетная	ск
$10 < A < 25$	агрегированно-скелетная	аг-ск
$25 < A < 40$	скелетно-агрегированная	ск-аг
$A > 40$	агрегированная	аг

Тип структурной модели грунта устанавливался по размеру преобладающих элементов (A_i+M_i) и специальному коэффициенту G по классификационной таблице 3.6 [Рященко, Акулова, 1997, 2021].

Коэффициент G — доля первичных частиц в общей сумме структурных элементов (первичные частицы плюс агрегаты), %; x — размер первичных частиц и агрегатов, мкм.

Таблица 3.6. Классификация типов структурных моделей

Размер преобладающих элементов	Тип модели	$G = M^x/A^x+M^x$	Тип модели
$A^1 + M^1$	Средне-крупнопесчаная (250-500 мкм)	$80 < G < 100$	Элементарная
$A^2 + M^2$	Тонко-мелкопесчаная (50-250 мкм)	$20 < G < 80$	Смешанная
$A^3 + M^3$	Крупнопылеватая (10-50 мкм)	$G < 20$	Агрегированная
$A^4 + M^4$	Мелкопылеватая (2-10 мкм)		
$A^5 + M^5$	Грубоглинистая (1-2 мкм)		

Основные параметры микростроения представлены в таблице 3.7

Таблица № 3.7. Структурные элементы грунтов

Показатели, %	$U_{нал}$
A	7,6
A1	1,6
A2	4,9
A3	1,1
A4	-
A5	-
M1	9,4
M2	67,2
M2-A	
M3	15,4
M3-A	
M4	0,2
M4-A	0,6
M5	0,1
M5-A	3,3

M6	0,1
M6-A	3,7
M7	3,8
M8	7,2
M9	1,3
M11	18,9
F1	100
F2	100
F3	100
F4	25
F5	3
F6	3

Примечание здесь и в таблице 3.6: м/с – микроструктура, А - общее количество агрегатов, в том числе А¹⁻⁵ - 250-500, 50-250, 10-50, 2-10, 1-2 мкм; М¹⁻⁵ - количество первичных частиц тех же размеров, М⁶ - количество первичных частиц < 1 мкм; М^{2-А} - М^{6-А} - количество частиц 50-250, 10-50, 2-1 и < 1 мкм в составе агрегатов; М⁷ – общее количество (первичных и в составе агрегатов) частиц < 1 мкм; М⁸ - общее количество (первичных и в составе агрегатов) частиц < 2 мкм; F¹-F⁶ - коэффициенты свободы, рассчитанные для фракций 250-500, 50-250, 10-50, 2- 10, 1-2 и < 1 мкм.

В результате было установлено, что намывные грунты характеризуются следующими типами структурных моделей (Таблица 3.8).

Таблица 3.8 Типы микроструктур и структурные модели грунтов

№ образца	А (%)	Тип м/с	Тип структурной модели грунта				М ⁷	F ⁶	М ⁸
			Х ²	72,1	G ²	93			
Унал	7,6	Ск	Х ²	72,1	G ²	93	3,8	3	7,2

Общее содержание (первичные частицы + частицы в составе агрегатов) представлено в таблице 3,9.

Таблица 3.9

№ образца	М ^{2А}	F ²	М ^{3А}	F ³	М ^{4А}	F ⁴	М ^{5А}	F ⁵	M ^{6А}	F ⁶
									(M ⁷)	
Унал	67,2	100	15,4	100	0,8	25	3,4	3	3,8	3

Из данных, представленных в таблице 3.6 следует, что Хвосты Унальского хвостохранилища представлены песками, содержание мелкозернистой фракции (0,25-0,05 мм) достигает 67,2%, количество глинистых частиц незначительное (7,2%). По общему числу агрегатов

установлена скелетная ($A=7,6\%$) микроструктура. Тип структурной модели тонко-мелкопесчаный, элементарный ($G^2=93\%$).

Физические и физико-химические свойства намывных грунтов

Для определения показателей физических и физико-химических свойств грунтов использовались воздушно-сухие образцы, а также были изготовлены искусственные образцы-пасты, которые рассматривались в качестве модели техногенной толщи. При изготовлении паст влажность выбиралась в зависимости от величины предела пластичности. Седиментационный объем относится к числу классификационных показателей при установлении типов потенциально плавунных грунтов. Навеска воздушно-сухого образца (3 г) помещается в мерный цилиндр (25 мл), заливается водой, взбалтывается и оставляется на сутки. Затем измеряется объем осадка, визуально оценивается степень прозрачности воды над ним. Если осадок по объему менее $3,3 \text{ см}^3$, грунты следует относить к плавунам первого типа (без структурных связей); пределы $3,3-10,0 \text{ см}^3$ соответствуют второму типу (со структурными связями), пылевато-коллоидной группе; при объеме более 10 см^3 грунты относятся к плавунам второго типа.

Результаты исследований, выполненных по стандартным методикам представлены в таблицах 3.9, 3.10.

Таблица 3.9 Показатели физических и свойств грунтов

№№ проб	ρ_s	W_L	W_P	I_p
Унал	2,82	22,2	не катается	

Примечание: ρ_s - плотность минеральной части грунта, г/см^3 ; W_L , W_P , I_p - верхний, нижний пределы пластичности, число пластичности.

Таблица 3.10 Набухание и усадка грунтов (исследования выполнены на пастах)

№№ проб 1	V , см^3	ε_{sw}	W_H	V_y	паста	
					W_{II}	ρ_{II}
Унал	3	0,1	30,6	3,2	25,9	1,97

Примечание: V (см³) – седиментационный объем, ε_{sw} (%) – относительное набухание, W_n (%) – влажность набухания, V_y (%) – объемная усадка, W_n (%) – влажность пасты, ρ_n (г/см³) – плотность пасты.

Таблица 3.11 Плотность и угол естественного откоса

№№ проб	ρ_{min}	ρ_{max}	φ^1	φ^2
Унал	1,39	1,61	38,5°	26,5°

Примечание: ρ_{min} (г/см³) – плотность песка рыхлого сложения, ρ_{max} (г/см³) – плотность песка плотного сложения, φ^1 (град) – угол естественного откоса на воздухе, φ^2 (град) – угол естественного откоса под водой.

Определение механических характеристик техногенных грунтов проводилось на автоматизированном испытательном комплексе «АСИС». Он предназначен для проведения механических испытаний природных и промышленных строительных материалов: грунтов, асфальтобетонов, цементов при различных видах напряженного состояния и траекториях нагружения. Испытания образцов материалов проводятся в автоматизированном режиме.

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 25100-2011.

Характеристики, используемые для определения $K_{уст}$, полученные по ГОСТ 25100-2011 имеют завышенные значения по сравнению, с полученными

по результатам исследований, что может привести к аварийной ситуации (табл.3.12).

Таблица 3.12. Сравнение прочностных характеристик техногенных грунтов полученного по табличным данным ГОСТ 25.100-2011 (Табл.А.8) и экспериментам

Грунт	Физические – характеристики грунта			Прочностные характеристики грунта					
	плотность ρ_s т/м ³	влажность W %	пористость	Полученные по таблицам Гост			Полученные по результатам эксперименто в		
				с КПа	φ	Е МПа	с КПа	φ	Е МПа
Хвосты Унал	2,82	12,2	0,85	1	25	12	6,5	38,5	3,2

Из таблицы 3,12 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.

Унальское хвостохранилище представляет собой сложную природно-техническую систему, динамично изменяющуюся в пространстве и во времени и являющуюся опасным производственным объектом. При этом промышленная и экологическая безопасность хвостохранилища непосредственно связана с устойчивостью ограждающих конструкций и определяется технологическими особенностями эксплуатации.

3.2 Оценка несущей способности ограждающей дамбы на базе нечетких множеств

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.

Это позволило составить прогностическую модель устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища, использование которой возможно для предварительной оценки состояния и безопасности сооружения.

В соответствии с методологическими подходами, представленными в главе 2, была получена прогнозная модель и дана оценка несущей способности ограждающей дамбы на базе теории нечетких множеств.

Данный метод может использоваться в качестве получения общего представления о безопасности хвостохранилища при изменяющихся параметрах эксплуатации.

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;

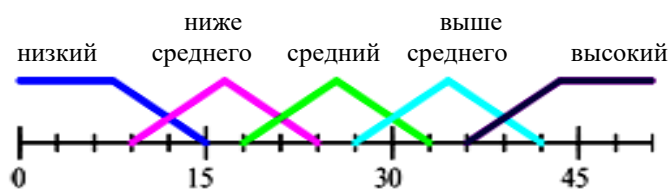
X_3 – функция ширины пляжа, м;

X_4 – функция плотности грунтов, г/см³;

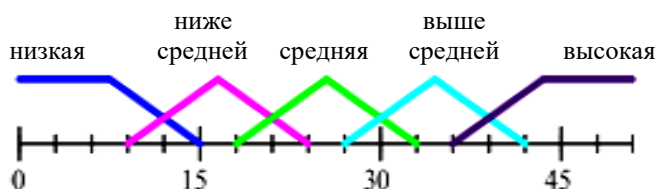
X_5 – функция степени влажности грунтов.

В качестве зависимой переменной Y выбрано значение коэффициента устойчивости. В кодированном виде переменные представлены на рис.3.1.

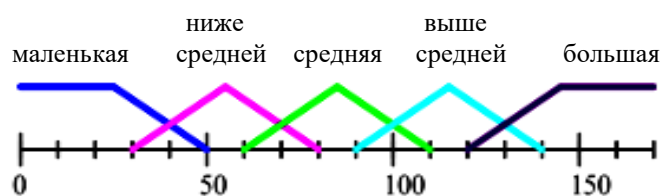
X_1 - угол откоса дамбы, град.



X_2 - высота дамбы, м



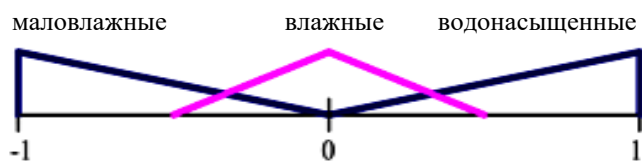
X_3 - ширина пляжа, м



X_4 - плотность сложения хвостов, г/см³



X_5 - степень влажности хвостов



Y - значение коэффициента устойчивости

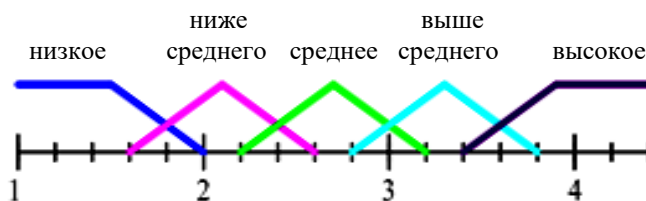


Рис. 3.1. Характеристики дамбы в кодированном виде.

X_1 определяется по формуле:

$$X_1 = \frac{x_1 - 27}{18} \quad (3.7)$$

где x_1 – угол откоса дамбы в градусах;

X_2 определяется по формуле:

$$X_2 = \frac{x_2 - 37}{27} \quad (3.8)$$

где x_2 - высота дамбы, м.

X_3 определяется по формуле

$$X_3 = \frac{x_3 - 150}{100} \quad (3.9)$$

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 [Лолаев А.Б., 2001], представленная в форме крайних значений входных лингвистических переменных. Обработка результатов опроса проводилась в кодированном виде. Матрица планирования представлена в таблице 3.13

Таблица 3.13 Матрица планирования.

№	Угол откоса X ₁	Высота дамбы, м X ₂	Ширина пляжа, м X ₃	Плотность X ₄	Влажность X ₅	Коэффициент устойчивости Y
1	выше 45	выше 45	0	рыхлый	маловлажный	1
2	ниже 45	выше 45	0	рыхлый	маловлажный	1
3	выше 45	ниже 5	0	рыхлый	маловлажный	1
4	ниже 45	ниже 5	0	рыхлый	маловлажный	1,25
5	выше 45	выше 45	150	рыхлый	маловлажный	1
6	ниже 45	выше 45	150	рыхлый	маловлажный	1,25
7	выше 45	ниже 5	150	рыхлый	маловлажный	1,25
8	ниже 45	ниже 5	1050	рыхлый	маловлажный	1,5
9	выше 45	выше 45	0	плотный	маловлажный	1
10	ниже 45	выше 45	0	плотный	маловлажный	1,25
11	выше 45	ниже 5	0	плотный	маловлажный	1,25
12	ниже 45	ниже 5	0	плотный	маловлажный	1,5
13	выше 45	выше 45	150	плотный	маловлажный	1,25
14	ниже 45	выше 45	150	плотный	маловлажный	1,5
15	выше 45	ниже 5	150	плотный	маловлажный	1,5
16	ниже 45	ниже 5	150	плотный	маловлажный	1,75
17	выше 45	выше 30	0	рыхлый	водонасыщенный	1
18	ниже 45	выше 30	0	рыхлый	водонасыщенный	1
19	выше 45	ниже 5	0	рыхлый	водонасыщенный	1
20	ниже 45	ниже 5	0	рыхлый	водонасыщенный	1,25
21	выше 45	выше 45	150	рыхлый	водонасыщенный	1
22	ниже 45	выше 45	150	рыхлый	водонасыщенный	1,25
23	выше 45	ниже 5	150	рыхлый	водонасыщенный	1,25
24	ниже 45	ниже 5	150	рыхлый	водонасыщенный	1,5
25	выше 45	выше 45	0	плотный	водонасыщенный	1,25
26	ниже 45	выше 45	0	плотный	водонасыщенный	1,5
27	выше 45	ниже 5	0	плотный	водонасыщенный	1,5
28	ниже 45	ниже 5	0	плотный	водонасыщенный	1,75
29	выше 45	выше 45	150	плотный	водонасыщенный	1,5
30	ниже 45	выше 45	150	плотный	водонасыщенный	1,75
31	выше 45	ниже 5	150	плотный	водонасыщенный	1,75
32	ниже 45	ниже 5	150	плотный	водонасыщенный	2
ср.	45	22,5	75	Ср.плотность	влажный	1,328125

Результирующее уравнение в кодированном виде имеет вид:

$$Y = 1.33 + 0.05X_1 + 0.05X_2 + 0.05X_3 + 0.09X_4 + 0.03X_5 + \\ + 0.01X_1X_2 + 0.01X_1X_3 + 0.01X_1X_4 + 0.01X_2X_3 + 0.01X_2X_4 + \\ + 0.01X_3X_4 + 0.03X_4X_5 - 0.01X_1X_2X_3 - 0.02X_1X_2X_4 - 0.01X_2X_3X_4, \quad (3.10)$$

В уравнении (3.10) представлены только значимые коэффициенты (оценка ошибки составила 0,1 при уровне значимости 0,05).

Следует отметить, что уравнение (3.10) имеет нелинейный характер. При этом значимыми оказались даже тройные взаимодействия, которые имеют физический смысл. Например, $X_2X_3X_4$ - можно интерпретировать как характеристику комплексного влияния высоты дамбы, ширины пляжа и плотности сложения тела дамбы на значение коэффициента устойчивости; $X_1X_2X_4$ - показатель комплексного влияния угла откоса дамбы, высоты дамбы и плотности сложения тела дамбы на значение коэффициента устойчивости дамбы. [Lolaev et al., 2010]

Нелинейность уравнения (3.10) 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.

3.3 Оценка несущей способности ограждающей дамбы на базе расчетов устойчивости по круглоцилиндрическим поверхностям скольжения

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) [Гаврилов А.Н. и др., 2003; Vlasov et al., 2003].

Программу применяют на персональных компьютерах, поддерживающих операционные системы Windows XP. Программа разработана на объектно-ориентированном языке C++ с использованием оптимизирующего компилятора Borland C++TM Borland International v.5.02 с использованием библиотеки OWL v.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, Бишопы, Нонвейе, Янбу, Моргенштерна-Прайса, Спенсера и др. [СНИП 2.02.02-85*] и др.

Полученный коэффициент устойчивости при заданных исходных данных составил $K_{уст} = 1.68$. (рис.3.2)

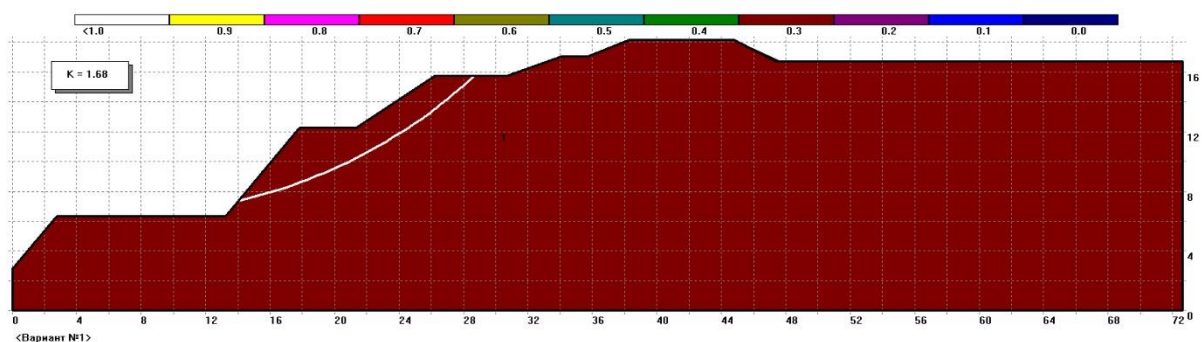


Рисунок 3.2. Коэффициент устойчивости дамбы Унальского хвостохранилища выполненный методом круглоцилиндрических поверхностей К.Терцаги.

Следует отметить, что сооружения хвостохранилищ 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.

3.4 Прогноз аварийных ситуаций и их последствий

Известно, что аварии на гидротехнических сооружениях подразделяются на ряд категорий [Правила...,1997].

К авариям I категории, которые могут произойти на Унальском хвостохранилище относятся:

1. Полное разрушение или местный прорыв напорного фронта ограждающих сооружений с вытеканием воды и части хвостов за пределы хранилища.

2. Разрушение водозаборных или водосбросных сооружений накопителя, которое привело к переполнению емкости, переливу воды и пульпы через гребень дамбы или необходимости сброса загрязненной воды из накопителя по аварийному водосбросу в поверхностные водоемы, водотоки хозяйственно-питьевого и рыбохозяйственного назначения или на рельеф.

К авариям II категории относятся оползни низовых откосов и деформации дамб.

В случае потери устойчивости и разрушения ограждающей дамбы хвостохранилища, хвостовая пульпа поступит в долину реки Ардон с северной и восточной сторон хвостохранилища.

Аварийные ситуации могут возникнуть в результате нарушения технологии эксплуатации, изменения геометрических параметров сооружения (заложение низового откоса, уменьшение длины пляжа и др.), аварий на распределительном пульпопроводе, снижения контроля за уровнем воды в отстойном пруду, при этом наиболее необеспеченными достоверными данными являются вопросы устойчивости.

Гидродинамическая авария на хвостохранилище может возникнуть только при условии, если ограждающая дамба утратит свое функциональное назначение, заключающееся в том, чтобы удерживать от растекания находящуюся в хвостохранилище воду и неконсолидированные хвосты.

Хвостохранилище расположено в сейсмо- и селеопасном районе, где и сейчас наблюдаются слабые тектонические подвижки. Следовательно, в случае возникновения природных катастрофических событий (селевой поток, наводнение, землетрясение с M 6-7), защитная дамба Унальского хвостохранилища может быть разрушена и вниз по долине р. Ардон пойдет техногенный сель, сметая и загрязняя тяжелыми металлами и токсичными элементами все на своем пути. А это уже будет природно-техногенная катастрофа регионального масштаба.

Анализ причин и вероятности возникновения гидродинамической аварии представлен в табл.3.14.

Анализ данных в табл. 4.1, показывает, что события относятся к числу маловероятных и вероятных по частоте их реализации.

Средняя вероятность разрушения грунтовых дамб по данным мировой статистики составляет $1 \cdot 10^{-4}$ 1/год [Правила...,1997].

Таблица 3.14 Анализ причин и вероятности возникновения гидродинамической аварии

№ п/п	Наименование причин разрушения	Возможность
1.	Переполнение емкости хвостохранилища	Маловероятно, т. к. хвостохранилище имеет значительный резерв емкости для принятия пульпы
2.	Фильтрация через тело и основание ограждающей дамбы с выносом частиц грунта.	Вероятно, на данный момент в нескольких частях дамбы видны фильтрационные потоки.
3.	Потеря устойчивости низового откоса ограждающей дамбы	Маловероятно, т.к. ограждающая дамба имеет коэффициенты устойчивости выше нормативных значений
4.	Разрушение ограждающей дамбы в результате чрезвычайных ситуаций природного характера (землетрясения, смерчи, цунами, сели, наводнения)	Вероятно, так как хвостохранилище находится в сейсмо- и селеопасном районе (М 6-7 баллов)
5.	Разрушение ограждающей дамбы в результате внешнего воздействия (военных действий, террористического акта)	Маловероятно, т.к. въезд на территорию хвостохранилища ограничен, обстановка в регионе находится в зоне постоянного контроля и территория хвостохранилища периодически проверяется органами внутренних дел Алагирского района.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА МАСШТАБОВ И СТЕПЕНИ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ХВОСТОХРАНИЛИЩА НА ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

4.1 Результаты исследований лежалых хвостов с пляжной зоны хвостохранилища и послойно-валовых проб из скважин

Бурение скважин на Унальском хвостохранилище, впервые проведенное на глубину до 9 м, позволило отобрать представительные пробы хвостов с разных глубин с шагом опробования 1,5 м.

Анализ проб выполнялся по методикам НСАМ ВИМС, обеспечивающим получение результатов III категории точности количественного анализа по ОСТ РФ 41-08-212-04. Данная категория точности применяется для массового анализа проб минеральных веществ, контрольных анализов и подсчете запасов месторождений полезных ископаемых.

По данным ГОСТа Р 53857-2010 [ГОСТ, 2010] химические элементы делятся на 3 класса опасности:

- высокоопасные: As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn.
- умеренноопасные: Co, Ni, Mo, Cu, Sb.
- малоопасные: Ba, V, W, Mn, Sr.

Результаты аналитических исследований приведены в таблице 4.1. Анализ результатов, позволяет сделать следующие выводы.

Так в пробе № 68/15 превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr – в 114,2 раза; Co – в 3,2 раза; Ni – в 81,5 раз; Cu – в 10708 раз; Zn – в 2326 раз; Pb – 1799 раз; Sr – в 73 раза; Rb – 1314 раз; Ba – в 4773 раза; As – в 314,5 раз.

В пробе № 68-1/15 превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr – в 197,4 раза; Co – в 8,8 раз; Ni – в 303 раза; Cu – в 2517 раз; Zn – в 2649 раз; Pb – в 2373 раза; Sr – в 61,8 раза; Rb – в 2047 раз; Ba – в 4975 раз; As – в 711 раз.

Таблица 4.1 Результаты исследований РФА

Наименование	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Ba	Pb	As
ПДК	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

В пробе № 68-2/15 превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr – в 103 раза; Co – в 3,8 раза; Ni – в 36,7 раз; Cu – в 2758 раз; Zn – в 845 раз; Pb – в 1649 раз; Sr – в 26,4 раза; Rb – в 1094 раза; Ba – в 2119 раз; As – в 159,5 раз;

В пробе № 68-3/15 превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr – в 154 раза; Co – в 8,8 раз; Ni – в 11 раз; Cu – в 7995 раз; Zn – в 1566 раз; Pb – в 2676 раз; Sr – в 69,8 раз; Rb – в 2514 раз; Ba – 4409 раз; As – в 1086 раз.

В пробе № 68-4/15 превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr – в 17,5 раз; Co – в 3 раза; Ni – в 8,5 раз; Cu – в 1041 раз; Zn – 876 раз; Pb – в 552 раза; Sr – в 12,6 раз; Rb – в 511 раз; Ba – в 793 раза; As – в 561 раз.

В пробе 68-5/15 превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr–в 66 раз; Co–в 2,6 раза; Ni–в 9,2 раза; Cu–в 699 раз; Zn–в 430 раз; Pb–в 782 раза; Sr–в 13,6 раз; Rb–в 477 раз; Ba–в 1109 раз; As–в 187 раз.

В пробе 69/15 превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr–в 17,5 раз; Co–в 2.8 раза; Ni–в 4 раза; Cu–в 29 раз; Zn–в 306 раз; Pb–в 176 раз; Sr–в 9,8 раз; Rb–в 201 раз; Ba–в 955 раз; As–в 213,5 раз.

В пробе 70/15 превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr–в 496 раз; Co–в 6 раз; Ni–в 193 раза; Cu–в 3656 раз; Zn–в 459 раз; Pb–в 3437 раз; Sr–в 16.2 раза; Rb–в 4059 раз; Ba–в 1148 раз; As–в 160,5 раз.

В пробе 70-1/15 превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr – в 110 раз; Co–в 3.1 раза; Ni – в 16,8 раз; Cu–в 656 раз; Zn–в 437 раз; Pb–в 1058 раз; Sr–в 11 раз; Rb–в 593 раза; Ba–в 1193 раза; As–в 109 раз.

В скважине №1 на глубине 3м превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr–в 32 раза; Co–в 2,1 раза; Ni–3,8 раза; Cu–в 145 раз; Zn–в 256 раз; Pb–в 124 раза; Sr–в 24,8 раз; Rb–в 152 раза; Ba–в 3258 раз; As–в 197 раз.

В скважине №1 на глубине 5м превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr–в 9,7 раз; Ni–в 3,75 раза; Cu–в 183 раза; Zn–в 332 раза; Pb–в 117 раз; Sr–в 1.8 раза; Rb–в 152 раза; Ba–в 2587 раз; As–в 141 раз.

В скважине №1 на глубине 9м превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr–в 5,7 раз; Co–в 1.8 раза; Cu–в 272 раза; Zn–в 136,4 раза; Pb– 70,1 раза; Sr–в 79 раз; Rb–в 139 раз; Ba–в 20600 раз; As–в 102 раза.

В скважине №2 на глубине 1,5м превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr–в 21,5 раза; Co–в 3,1 раза; Ni–в 6,1 раза; Cu–в 271 раз; Zn–в 214 раз; Pb–в 172 раза; Sr–в 13,4 раза; Rb–в 184 раза; Ba–в 686 раз; As– 25,5 раз.

В скважине №2 на глубине 3м превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr – в 24,1 раза; Co – 2,1 раза; Ni – в 3 раза; Cu – в 155 раз; Zn – в 136 раз; Pb – в 103 раза; Sr – в 14,2 раза; Rb – в 149 раз; Ba – в 649 раз; As – в 177 раз.

В скважине №3 на глубине 4,5м превышения норм ПДК установлены для элементов: Cr–в 12,7 раз; Co–в 3 раза; Ni–в 3,1 раза; Cu–в 126 раз; Zn–в

116,7 раз; Pb–в 70,9 раз; Sr–в 12,4 раз; Rb–в 141 раз; Ba–в 636 раз; As–в 107 раз.

Анализируя полученные данные аналитических исследований о химическом составе лежалых хвостов с поверхности хвостохранилища и с глубин до 9м, можно увидеть, что превышения норм ПДК в разы выше на поверхности хвостохранилища, нежели чем на глубине 9м, к примеру, в пробе 68/15 превышения норм ПДК для элемента Zn достигает **2326 раз**, а в скважине №1 на глубине 9м - в **136 раз**. Так же в пробе 68-3/15 для элемента Pb превышения норм ПДК достигает **2676 раз**, а на глубине 9м в скважине №1 – в **70 раз**.

Это может свидетельствовать: об изменении технологии переработки руды, или смены типов руд на обогатительной фабрике, что приводит к недостаточному извлечению полезных ископаемых и образованию хвостов с повышенной концентрацией приведенных элементов, а, следовательно, и повышения класса опасности самого хвостохранилища.

Важно отметить, что экологически опасные элементы (As, Cd, В, Ni, Pb, Zn, и др.) постоянно поступают из хвостохранилища, шахтных вод рудников Садонского комбината и боковых притоков р. Ардон (р. Садонка, Архон, Унал-дон) в воду р. Ардон, постоянно загрязняя ее, и накапливаясь в ней. [Гурбанов А.Г., Лолаев А.Б., Дзэбоев С.О., и др., ...2018]

4.2 Содержание макро- и микроэлементов в почвах равнин, природных пастбищ и сельхозугодий прилегающих территорий

Анализ полученных результатов (таблицы 4.2-4.4) также позволил выявить в почвах аномальные концентрации следующих элементов: Pb, Zn, As, Ni, V, Cr, характерных для руд Садонского рудного поля.

Так в пробах из района **с. Архон** превышение норм ПДК элемента **Ni** достигает: в огородах и природных пастбищах во всех 3х пробах в 11,25 раза, а на равнине в пробе №1-2 в 14,5 раза, в пробе №3 – в 4,25 раза.

Для элемента **Pb**: в огородах в пробах №1-2 в 13 раз, в пробе №3 в 14,75 раза; на природных пастбищах в пробе №1 – в 15,9 раза, в пробе №3 – в 1,71 раза;

на равнине в пробе №1 – в 10,2 раза, в пробе №2 – в 9,8 раза, в пробе №3 – в 97,4 раза.

Для элемента **Zn**: в огородах во всех трех пробах в 18,7 раза; на природных пастбищах в пробах №1- 2 – в 18,7 раза; на равнине в пробах №1- 2 в 28,4 раза.

Для элемента **As**: в огородах в пробе №1 – в 11,5 раза, в пробе №2 – в 13,5 раза, в пробе №3 – в 17 раз; на равнине в пробе №1 – в 13 раз, в пробе №2 – в 15,5 раза, в пробе №3 – в 19 раз; на природных пастбищах в пробе №1- в 12 раз, в пробе №2 – в 9,5 раза.

Для элемента **Cu**: в огородах в пробе №1 в 2 раза, пробах №2 и 3 в 20 раз; на природных пастбищах в пробах №1 и 2 в 21 раз, в пробе №3 в 29,7 раз; на равнинах в пробах №1 и 2 в 26 раз.

Для элемента **Cr**: в огородах в пробах №1 и 2 - в 17,5 раз, в пробе №3 – в 15,5 раза; на равнине в пробах №1 и 2 – в 21,3 раза; на природных пастбищах в пробах № 1 и 2 – в 15,8 раза, в пробе №3 – в 15,3 раза.

В пробах в районе **с. Унал** превышение норм ПДК для элемента **Pb**: в огородах во всех 3х пробах в 10,65 раза; на равнине в пробе №1 – в 16,6 раза, в пробе №2 – в 16,9 раза, в пробе №3 – в 16,6 раза; на природных пастбищах в пробе № 1 – в 10,25 раза, в пробе №2 – в 16,6 раза, в пробе №3- в 14,1 раза.

Таблица 4.2 Концентрации элементов в пробах с Архон

	с.Архон										
			Огороды			Пастбища			Равнины		
	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

Таблица 4.3. Концентрации элементов в пробах с Зинцар

	с.Зинцар									
			Огороды			Пастбища			Равнины	
	пдк	по	№1	№2	№3	№1	№2	№3	№1	№3
Ni	4	0.2	45	45	43	2	51	51	43	4
Cu	3	0.2	8	81	82	62	58	65	6	54
Zn	23	0.5	695	72	699	368	362	381	471	324
Pb	32	0.1	564	609	576	317	318	321	818	38
As	2	0.07	6	6	6	<10	35	1	46	31
Cr	6	0.6	99	104	11	92	165	114	103	113
Co	5	0.06	13	15	18	17	17	15	16	12
V		0.1	108	113	109	13	12	127	117	112
Ba		0.01	45	448	437	425	4	409	478	478
Sr		0.05	131	132	13	132	131	133	122	118

Таблица 4.4. Концентрации элементов в пробах с Унал

	с.Унал										
			Огороды			Пастбища			Равнины		
	пдк	по	№1	№2	№3	№1	№2	№3	№1	№2	№3
Ni	4	0.2	46	46	47	49	5	49	48	46	47
Cu	3	0.2	57	57	56	8	72	73	107	114	108
Zn	23	0.5	485	468	473	568	476	473	623	64	606
Pb	32	0.1	341	341	344	328	534	453	533	541	532
As	2	0.07	26	27	23	27	35		8	82	77
Cr	6	0.6	136	13	123	132	123	115	132	131	125
Co	5	0.06	18	2	2	2	17	16	23	15	2
V		0.1	13	134	137	114	12	113	116	119	111
Ba		0.01	524	487	518	447	439	425	498	542	532
Sr		0.05	9	89	9	98	97	98	87	87	87

Для элемента **As**: в огородах во всех 3х пробах в 12,5 раз; на равнине в пробе №1 – в 4 раз, в пробах №2 и 3 - в 40 раз; на природных пастбищах в пробе №1 – в 13,5 раза, в пробе №2 – в 17,5 раза.

Для элемента **Ni**: в огородах, природных пастбищах и равнинах во всех 3х пробах в 11,25 раза.

Для элемента **Cr**: в огородах в пробе №1 – в 22,6 раза, в пробе №2 – в 2,1 раза, в пробе №3 – в 20,5 раза; на равнине во всех 3х пробах в 21,6 раза; на природных пастбищах в пробе №1 – в 22 раза, в пробе №2 – в 19,3 раза, в пробе №3 – в 19,1 раза.

Для элемента **Cu**: в огородах во всех трех пробах в 19 раз; на природных пастбищах в пробе №1 – в 2,6 раза, а в пробе №2 и №3 – в 24 раза; на равнинах в пробе №1 и №3 – в 35,6 раза, а в пробе №2 – 38 раз.

Для элемента **Zn**: в огородах во всех 3х пробах в 20,6 раза; на природных пастбищах в пробе №1 в 24,7 раза, в пробах №2 и №3 – в 20,5 раза; на равнине в пробах №1 и № 3 – 26,5 раза, в пробе №2 – в 2,7 раза.

В пробах в районе **с.Зинцар** превышение норм ПДК элемента **Ni** достигает во всех пробах огородов 11,25 раза; на природных пастбищах в пробах №2 и №3 – 12,75 раза, на равнинах в пробе №1 – в 11,2 раза.

Для элемента **Pb**: в огородах в пробе №1 и №3 – в 17,8 раза, в пробе №2 – в 19 раз; на природных пастбищах во всех 3х пробах в 9,9 раза; на равнине в пробе №1 – в 25,5 раза, в пробе №3 – в 1,2 раза.

Для элемента **As**: на равнине в пробе №1 – в 23 раза, в пробе № 2 – в 15,5 раза; в огородах во всех пробах в 3 раза; на природных пастбищах в пробе №2 – в 17,5 раза.

Для элемента **Cr**: в огородах в пробе №1 – в 16,5 раза, в пробе №2- в 17,34 раза, в пробе №3 – в 1,8 раза; на равнине в пробе №1 – в 17,1 раза, в пробе №3 – в 18,8 раза; на природных пастбищах в пробе № 1 – в 15,3 раза, в пробе № 2 – в 27,5 раза, в пробе №3 – в 19 раз.

Для элемента **Cu**: в огородах в пробе №1 – в 2,6 раза, в пробах №2 и №3 – в 27 раз; на равнинах в пробе №1 – в 2 раза, в пробе №3 – в 18 раз; на природных пастбищах в пробе №1 и №3 – в 2,1 раза, а в пробе №2 – в 19,3 раза.

Для элемента **Zn**: в огородах в пробах №1 и №3 – в 30,2 раза, а в пробе №2 – в 3,1 раза; на природных пастбищах в пробах №1 и №2 – в 15,87 раза, а в №3 – в 16,5 раза; на равнине в пробе №1 – в 20,48 раза, а в пробе №3 – в 14 раз.

Выше изложенная ситуация является причиной попадания тяжелых металлов в биологическую цепочку на всех ее этапах. При этом люди, живущие рядом с хвостохранилищем, в с.Унал, Архон, Зинцар, выращивают овощи и фрукты, которые употребляют в пищу, а также на этих природных пастбищах пасется скот. Крайне негативное воздействие загрязнения подтверждается повышенным уровнем онкологических заболеваний среди населения близлежащих сел и Алагирского района, в частности.

Для предотвращения возникновения катастрофических последствий, «защитное озеро» хвостохранилища должно накрывать весь пляж, чтобы исключить перенос сильными ветрами в долине р. Ардон тонкодисперсного материала с пляжной зоны хвостохранилища в виде пылевых облаков. [Гурбанов А.Г., Лолаев А.Б., Дзедоев С.О., и др., ...2018]

4.3 Содержание макро- и микроэлементов в поверхностных водотоках бассейна р.Ардон

Для определения содержания макро- и микроэлементов в поверхностных водотоках бассейна р.Ардон использована методика определения в пробах природных вод содержаний Li, Be, Sc, Ti, Mn, Ni, Ga, As, Se, Sr, Mo, Pd, Pt, Au, Cd, Sn, Sb, Te, Cs, W, Hg, Ti, Pb, Th, Cr, Co, Zn, Rb, Ba, Ta, Bi, Nb, V, Cu, Ag, U, с применением, в качестве внутренних стандартов, группы обогащенных изотопов: ^{61}Ni , ^{101}Ru , ^{115}In , ^{161}Dy . Правильность методики и полученных результатов подтверждена анализом стандартного образца питьевой воды CRT-TMDW № 1011714 и High-Purity Standarts, США. Измерения проводились по изотопам элементов с пределами обнаружения (ppb, мкг/л),

рассчитанным по 3δ – критерию ($P = 0.95$; $n = 3$): ${}^7\text{Li}$ (0.13); ${}^9\text{Be}$ (0.24); ${}^{11}\text{B}$ (1.1); ${}^{45}\text{Sc}$ (0.056); ${}^{47}\text{Ti}$ (0.065); ${}^{51}\text{V}$ (0.29); ${}^{52}\text{Cr}$ (0.28); ${}^{55}\text{Mn}$ (0.3); ${}^{59}\text{Co}$ (0.21); ${}^{60}\text{Ni}$ (0.14); ${}^{65}\text{Cu}$ (0.25); ${}^{66}\text{Zn}$ (0.5); ${}^{69}\text{Ga}$ (0.3); ${}^{72}\text{Ge}$ (0.027); ${}^{75}\text{As}$ (0.3); ${}^{82}\text{Se}$ (0.19); ${}^{85}\text{Rb}$ (0.29); ${}^{88}\text{Sr}$ (0.25); ${}^{89}\text{Y}$ (0.071); ${}^{90}\text{Zr}$ (0.5); ${}^{93}\text{Nb}$ (0.13); ${}^{95}\text{Mo}$ (0.037); ${}^{103}\text{Rh}$ (0.05); ${}^{105}\text{Pd}$ (0.06); ${}^{107}\text{Ag}$ (0.2); ${}^{111}\text{Cd}$ (0.19); ${}^{118}\text{Sn}$ (0.23); ${}^{121}\text{Sb}$ (0.047); ${}^{125}\text{Te}$ (0.06); ${}^{133}\text{Cs}$ (0.22); ${}^{137}\text{Ba}$ (2.2); ${}^{139}\text{La}$ (0.018); ${}^{163}\text{Dy}$ (0.026); ${}^{178}\text{Hf}$ (0.16); ${}^{181}\text{Ta}$ (0.39); ${}^{182}\text{W}$ (0.12); ${}^{185}\text{Re}$ (0.018); ${}^{193}\text{Ir}$ (0.06); ${}^{195}\text{Pt}$ (0.08); ${}^{197}\text{Au}$ (0.04); ${}^{205}\text{Tl}$ (0.24); ${}^{208}\text{Pb}$ (0.54); ${}^{209}\text{Bi}$ (0.25); ${}^{232}\text{Th}$ (0.058); ${}^{238}\text{U}$ (0.34). [Гурбанов А.Г., Лолаев А.Б., Дзедоев С.О., и др., ...2016]

4.3.1 Оценка содержания в водах р.Ардон макро- и микроэлементов, выносящихся из хвостохранилища и ее притоков

Результаты анализа проб воды, отобранных в 2013 и 2014гг., приведены в таблицах 4.5 и 4.6, соответственно.

Для выявления основных (техногенных и природных) источников загрязнения вод р Ардон использовались нормы предельно допустимых концентраций (ПДК) по ряду элементов для питьевой воды. а для оценки степени загрязнения ее вод различными водотоками - фоновые пробы 1/13 и 1/14 в 2013 - 14 гг., соответственно (Рис.4.1).[Гурбанов А.Г., Лолаев А.Б., Дзедоев С.О., и др, 2020г]

Таблица 4.5. Результаты геохимических исследований проб воды в районе Унальского хвостохранилища (2013 г.)

мкг/л	ПДК	ПДК	класс опасности	(1/13)	(3/13)	(5/13)	(6/13)	(8/13)	(11/13)	(15/13)	(17/13)	(21/13)	(23/13)
	мг/л	мкг/л											
Li	0,03	30	2	4,9	4,7	6,2	14	4,0	17	22	7,3	8,1	11
V	0,1	100	3	2,7	3,0	4,4	21	1,1	7,1	5,8	5,9	7,6	10
Cr		50		1,2	2,4	3,4	23	0,9	3,0	0,3	4,6	6,8	7,6
Mn	0,1	100	3	70	352	180	419	118	176	67	210	223	321
Co	0,1	100	2	0,93	2,1	1,6	8,6	1,3	0,7	<ПО	2,5	2,9	3,9
Ni	0,02	20	2	5,5	4,3	4,5	29	18	8,4	<ПО	71	11	12
Cu	1	1000	3	11	17	14	33	29	343	17	22	15	20
Zn	1	1000	3	27	90	33	91	276	2049	93	104	58	73
Mo	0,25 (0,07)	70	2	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	18	19	<ПО	<ПО	<ПО
Cd	0,001	1	2	<ПО	0,12	<ПО	0,077	0,87	17	0,5	0,29	0,018	0,12
Sn				<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	0,018	212	1,0	0,12	<ПО	<ПО
Te	0,01	10	2	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	24	6,0	<ПО	<ПО	<ПО
Ba	0,7	700	2	23	47	38	55	31	257	105	42	38	53
W	0,05	50	2	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО	<ПО
Pb	0,01	10	2	2,6	46	16	36	19	1365	78	89	22	30

Таблица 4.6. Результаты геохимических исследований проб воды в районе Унальского хвостохранилища (2014 г.)

мкг/л	ПДК	ПДК	класс опасности	(1/14)	(4/14)	(6/14)	(8/14)	(11/14)	(18/14)	(26/14)	(28/14)	(32/14)	(34/14)
	мг/л	мкг/л											
Si	10.00	1000	2	2,2	4,1	6,05	6,22	4,26	58.86	57,82	4,91	5,1	4,11
Ph			1	0,3	0.46	0,78	0,75	0,24	<0.05	<0,06	0,43	0,4	0,19
Fe	0.30	300	3	<0.05	1,2	2,94	3,66	0,25	1,43	0,43	1,29	2,1	1,01
Cd	0.001	1	2	<0.0001	<0,0001	<0,001	<0,0001	<0,0001	8,426	8,177	0,1336	0,0098	0,0069
Na	200	200000	2	0,80	6,2	4,0	2,3	4,70	2625,6	2619,0	48,5	7,6	7,7
K				0,3	0,6	0,69	0,73	0,43	28,5	18,76	1,29	0,8	0,79
Ca				33	38.3	29,84	15,9	23,42	29,4	34,09	20,18	24	33,22
Mg	50	50000		10	6,810	7,07	3,27	5,05	4,21	3,07	3,67	4,67	6,62
Mn	0.1	100	3	<0,001	0,040	0,078	0,066	0,012	0,173		0,032	0,053	0,024
Cu	1	1000	3	<0,001	<0,001	0,001	0,0010	0,001	0,691		0,011	0,003	<0,001
As	0.01	10	1	<0,005	<0,005	<0,005	0,008	<0,005	268,4	272,02	4,887	0,362	0,276
Ni	0.02	20	2	<0,001	<0,005	0,001	0,002	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Pb	0.01	10	2	<0,001	<0,005	0,002	0,006	0,003	1,821	1,031	0,039	0,017	<0,001
Zn	1	1000	3	<0,005	0,024	0,009	0,011	0,178	5,261	1,785	0,101	0,041	0,012

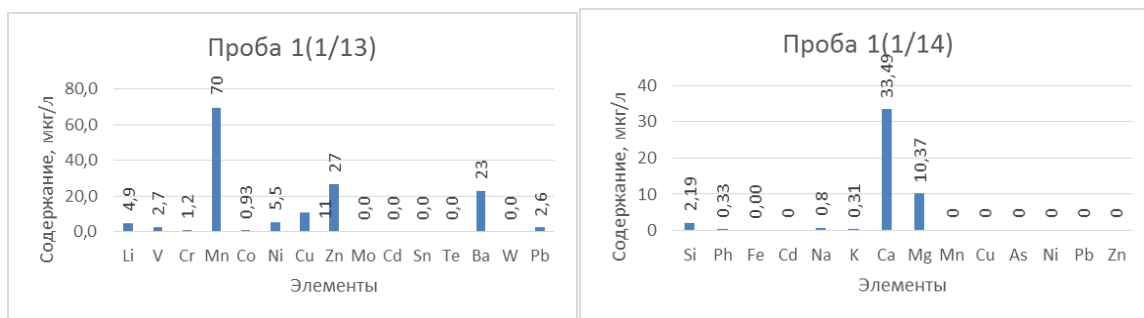


Рисунок 4.1 Содержание элементов в фоновой пробе

При сравнении с фоновой пробой (ФП) установлены повышенные (в разы) концентрации ряда элементов в пробах воды из следующих водотоков:

- из р. Садонки – в пробе 3/13: **Mn** – в **3.52**, **Pb**– в **4.6**; 4/14: **Fe** – в **4**. Повышенные, по сравнению с ФП, содержания **Pb** обусловлены шахтными водами месторождений Верхний Згид и Садон, стекающими в р. Садонка и содержащими подвижные и растворенные в воде минеральные формы **Pb**, **Mn**, **Fe** (Рис.4.2);

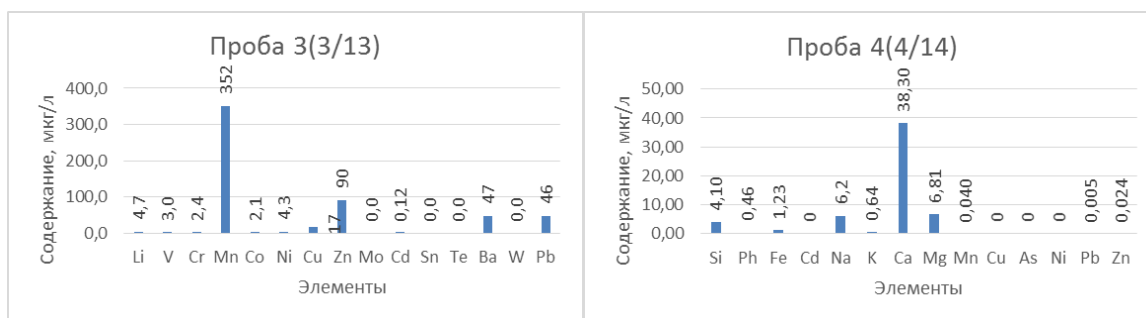


Рисунок 4.2 Содержание элементов в пробах 3/13 и 4/14 из р.Садонка

- из р. Архон - в пробе 6/13: **Mn** – в **7**, **Ni** – в **1.5**, **Pb**– в **3.5**; в пробе 8/14: **Fe** – в **16**. Повышенные, по сравнению с ФП, содержания **Pb** обусловлены шахтными водами Архонского месторождения, стекающими в р. Архон и содержащими подвижные и растворенные в воде минеральные формы **Pb**, **Mn**, **Fe** (рис. 4.3);

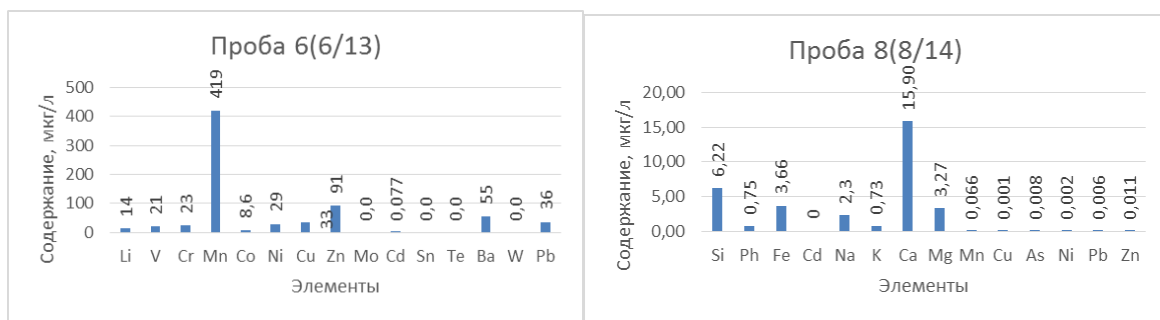


Рисунок 4.3 Содержание элементов в пробах 6/13 и 8/14 из р.Ардон

- из р.Ардон (напротив Мизурской обогатительной фабрики) - в пробе 5/13: **Mn** – в **2**, **Pb** – в **1.5**. В пробе 6/14: Концентрации, превышающие предельно допустимые концентрации не выявлены. Повышенные, по сравнению с ФП, содержания **Pb** обусловлены сточными водами обогатительной фабрики, стекающими в р. Ардон и содержащими подвижные и растворенные в воде минеральные формы или взвеси **Pb**, **Mn**, **Fe** (Рис. 4.4);

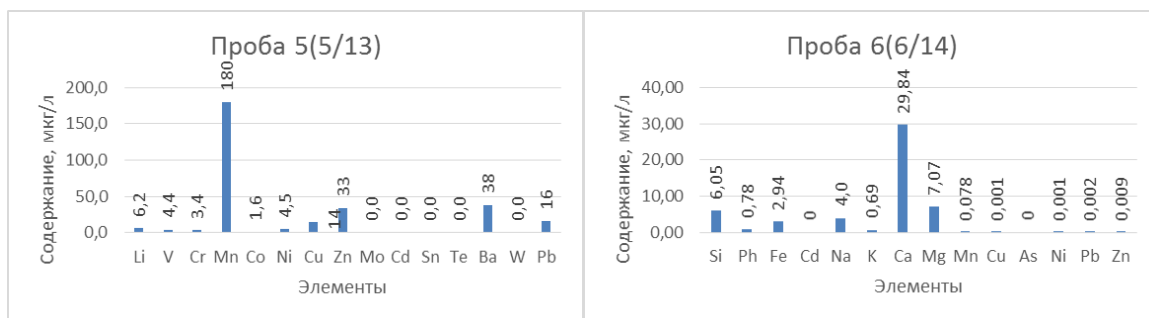


Рисунок 4.4 Содержание элементов в пробах 5/13 и 6/14 из р.Ардон (напротив Мизурской обогатительной фабрики)

- из р. Унал-дон - в пробе 8/13: **Mn** – в **2.5**; **Pb** – в **2.1**; в пробе 9/13: **Mn** – в **1.3**, **Pb** – в **1.9**; в пробе 11/14: Присутствуют концентрации таких элементов как Si, Na, Ca, Mg, но содержания этих элементов не являются предельно-допустимыми. Повышенные, по сравнению с ФП содержания **Pb** обусловлены шахтными водами месторождений Холст, Джимидон и Бозанг, стекающими в р. Унал-дон, а затем – в р. Ардон, и содержащими подвижные и растворенные в воде формы **Pb**, **Mn**, **Fe** (Рис. 4.5);

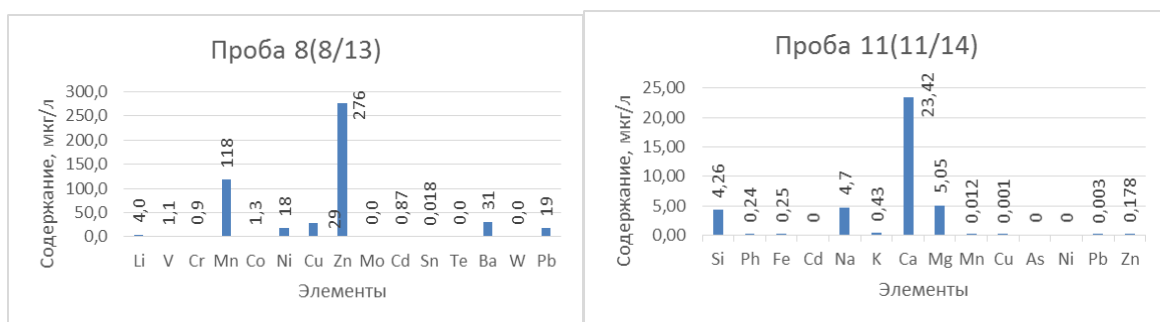


Рисунок 4.5. Содержание элементов в пробах 8/13 и 11/14 из р.Унал-дон

- из западного края «защитного» озера хвостохранилища - в пробе 11/13: **Zn** – в 100, **Te** – в 20, **Pb** – в 525; в пробе 18/14: **Si** – в 6, **Fe** – в 4, **Cd** – в 8462, **Na** - в 13, **As** – в 26840, **Pb** – в 182, **Zn** – в 5 (Рис. 4.6). Повышенные, по сравнению с ФП содержания **Pb**, **Zn**, **As**, **Cd**, **Te** обусловлены резко повышенными содержаниями этих элементов в захороненных промышленных отходах, содержащих новообразованные подвижные и растворенные в воде формы вышеуказанных элементов;

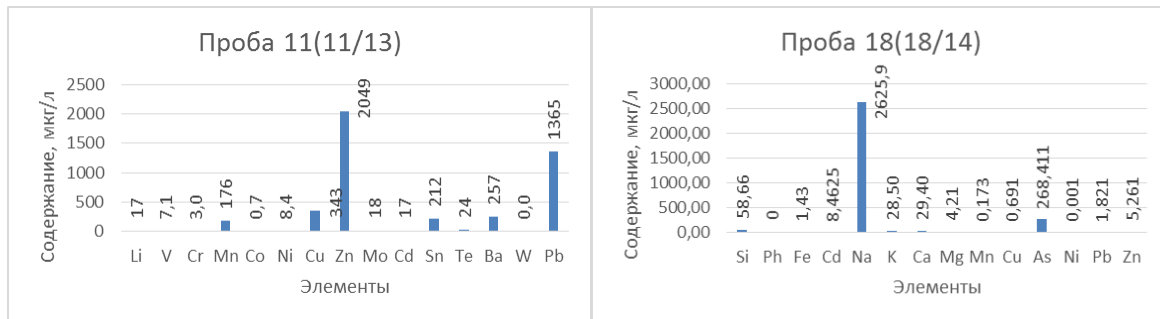


Рисунок 4.6 Содержание элементов в пробах 11/13 и 18/14 из западного края «защитного» озера хвостохранилища

- из деривационного желоба (слив с поверхности у западного края «защитного» озера) в пробе 15/13: **Pb** – в 8 раз, а также насыщено такими элементами как: **Li**, **Mn**, **Cu**, **Zn**, **Mo**, **Ba**, **Te**, которые не превышают норму ПДК, но подошли к черте превышения ПДК. В пробе 26/14: **Si** – в 6, **Fe** – в 1,5, **Cd** – в 8177, **Na** – в 13, **As** – в 27201, **Pb** – в 103, **Zn** – в 1,7. Постоянно сливающаяся в р. Ардон «вода» из «защитного» озера очень сильно загрязняет ее воды (Рис. 4.7).

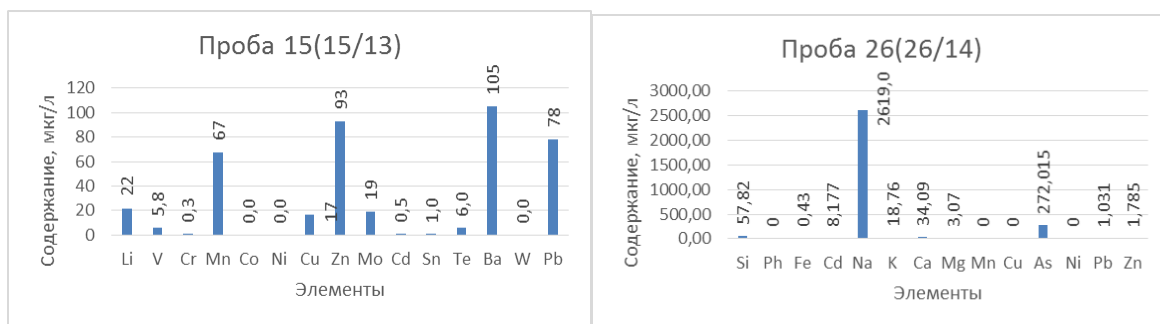


Рисунок 4.7 Содержание элементов в пробах 15/13 и 26/14 из деривационного желоба (слив с поверхности у западного края «защитного» озера)

из р.Ардон (в 200м ниже хвостохранилища и деривационного желоба) – в пробе 17/13: **Mn – в 3, Ni – в 14, Pb – в 45**; в пробе 28/14: **Fe – в 4, Cd – в 133, As – в 488, Pb – в 39** (т.е. еще явно фиксируется загрязнение вод р. Ардон рядом элементов-токсикантов, находящихся в сточных водах из «защитного» озера) (Рис. 4.8).

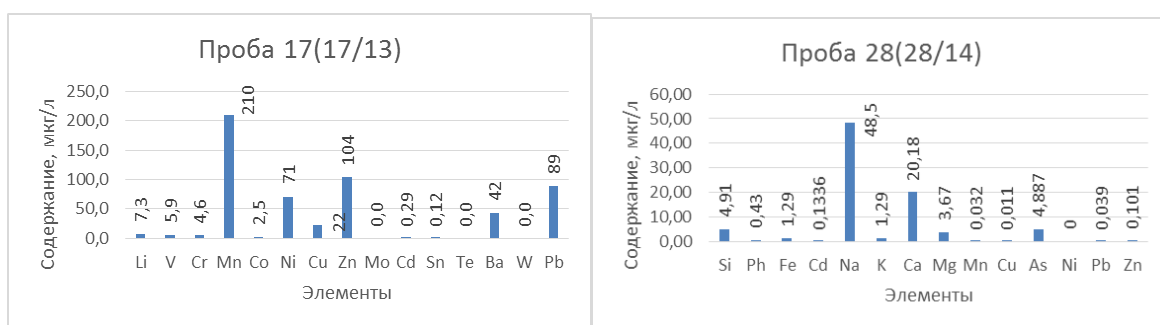


Рисунок 4.8 Содержание элементов в пробах 17/13 и 28/14 из р.Ардон (в 200м ниже хвостохранилища и деривационного желоба)

- из р.Ардон (в 7.6 км ниже по течению от проб 17/13 и 28/14) - в пробе 21/13: **Mn – в 3, Pb – в 11**; в пробе 32/14: **As– в 36, Fe – в 7, Cd – в 10** (т.е. еще явно фиксируется загрязнение вод р. Ардон рядом элементов-токсикантов, находящихся в сточных водах из «защитного» озера) (Рис. 4.9).

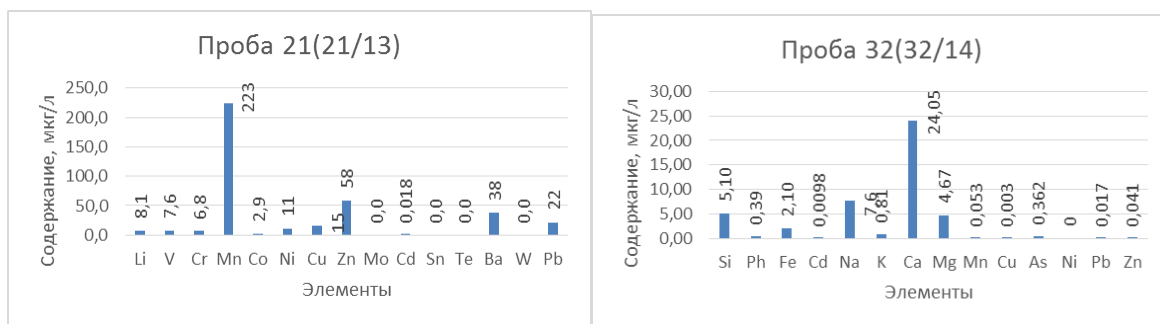


Рисунок 4.9 Содержание элементов в пробах 21/13 и 32/14 из р.Ардон (в 7,6км ниже по течению от проб 17/13 и 28/14)

- из р.Ардон (в 5,7 км ниже по течению от проб 22/13 и 33/14) – в пробе 23/13: **Mn – в 4.6, Pb – в 15; в пробе 34/14: Fe – в 3.5, Cd – в 6.9, As – в 27.6** (т.е. еще явно фиксируется загрязнение вод р. Ардон рядом элементов-токсикантов, находящихся в сточных водах из «защитного» озера) (Рис.4.10). [Гурбанов А.Г., Лолаев А.Б., Дзедобоев С.О., ...2018]

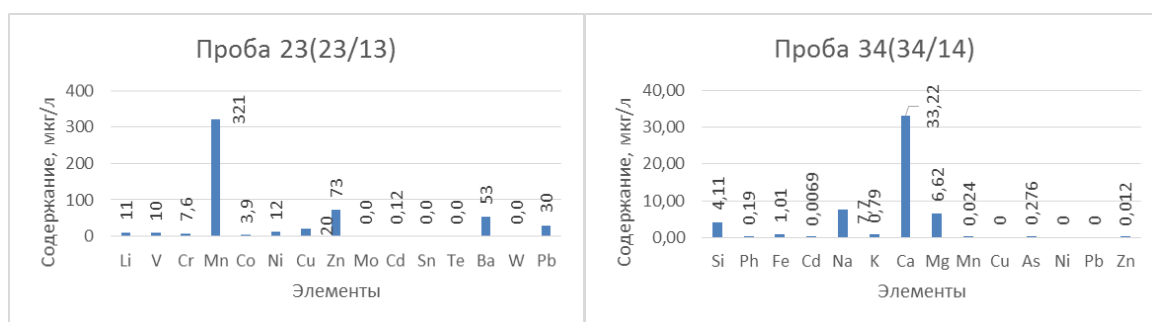


Рисунок 4.10 Содержание элементов в пробах 23/13 и 34/14 из р.Ардон(в 5,7 км ниже по течению от проб 22/13 и 33/14)

4.3.2 Динамика загрязнения водного бассейна р. Ардон захороненными промышленными отходами Садонского свиново-цинкового комбината (ССЦК) и шахтными водами с 2013 по 2015 гг.

Был проанализирован ряд из 58 элементов таких как: В, 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.

Результаты анализа позволили выделить те элементы, концентрации которых превышены в разы и которые несут угрозу окружающей среде по различным классам опасности.

Установлено что в 2013 году присутствуют повышенные концентрации след элементов: **Pb** (2 класс опасности), **Zn**(3 класс опасности), **Ni**(2 класс опасности).

Установлено что в 2014 году присутствуют повышенные концентрации следующих элементов: **Cd** (2 класс опасности), **Na** (2 класс опасности), **Pb** (2 класс опасности), **Zn** (3 класс опасности), **As** (1 класс опасности), **Si** (2 класс опасности).

Установлено что в 2015 году присутствуют повышенные концентрации следующих элементов: **Na** (2 класс опасности), **Zn** (3 класс опасности), **Pb** (2 класс опасности), **As** (1 класс опасности), **Ni** (2 класс опасности), **Cd** (2 класс опасности), **Si** (2 класс опасности). [Гурбанов и др., 2018; Лолаев и др., 2018].

Для выявления динамики загрязнения фоновой пробой была проба из устья р. Цейдон, результаты анализа которой не выявили никаких превышений норм ПДК в 2013 и 2014 гг., однако стоит заметить, что в 2015 г., в той же самой пробе были выявлены превышения ПДК для следующих элементов: **Zn** и **Ni** превышение в 2 раза, **As** – в 2.2 раза, **Cd** – в 2.8 раз, **Si** – в 1.7 раз, а это значит, что воды р. Цейдон загрязняют, в определенной мере воду р.Ардон. Поэтому, для построения графиков зависимости, начальной точкой отсчета была принята проба из р. Ардон, взятая на южной окраине пос. Бурон, в которой не было выявлено никаких превышений норм ПДК с 2013 по 2015гг. включительно.

Содержания **Pb** превышали нормы ПДК в разы в пробе из «защитного озера» хвостохранилища: 2013 – превышений нет, 2014 – **2123**раза, 2015 - **44** раза. Из деривационного желоба: 2013- **11** раз, 2014 – **1800** раз, 2015 - **22** раз. Из р.Ардон ниже по течению от хвостохранилища на расстоянии 1км: 2013 – **75** раз, 2014 – **2** раза, 2015 – **2** раза. (Рис. 4.11).

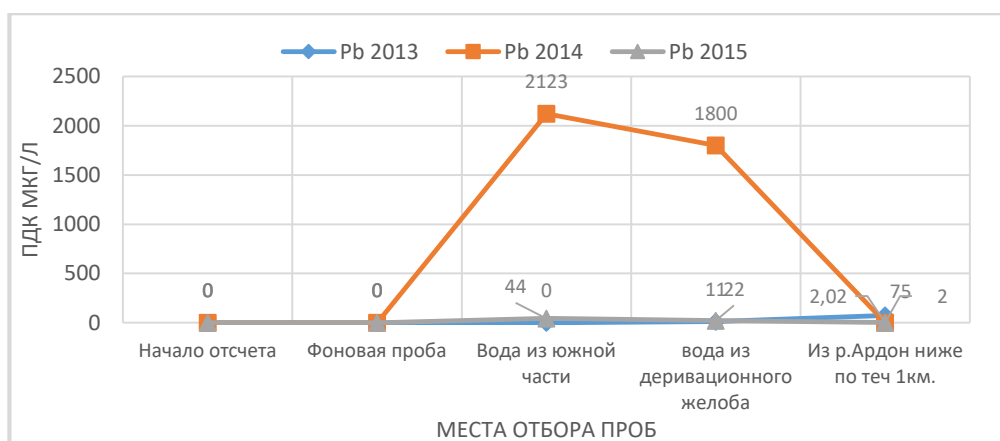


Рисунок 4.11 Превышение норм ПДК для элемента Рв.

Содержания **Zn** превышали нормы ПДК в разы в пробе из «защитного озера» хвостохранилища: 2013 - **2 раза**, 2014 – **6.5 раз**, 2015 – **1.5 раза**. Из деривационного желоба: 2013 – превышений нет. 2014 – **5 раз**, 2015 – **1.5 раз**. Из р.Ардон ниже по течению на расстоянии 1км от хвостохранилища: 2013 – превышений нет, 2014 – превышений нет. 2015 – **4.4 раза**. (Рис. 4.12)

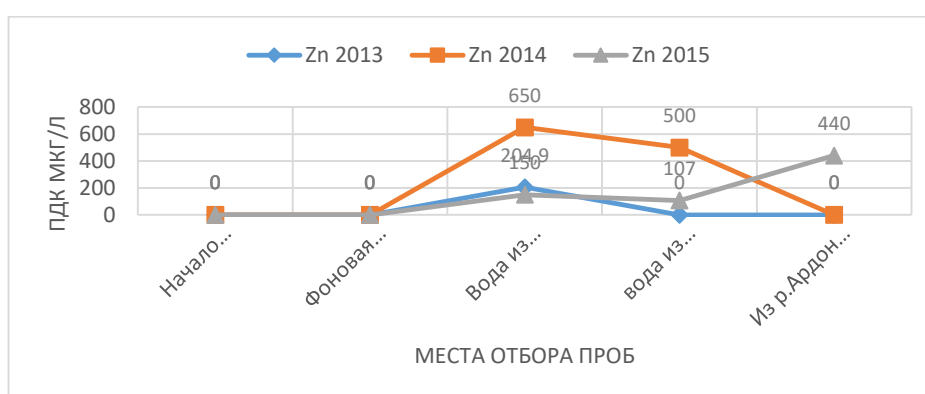


Рисунок 4.12 Превышение норм ПДК для элемента Zn.

Содержания **Cd** превышали нормы ПДК в разы в пробе из «защитного озера» хвостохранилища: 2013- нет превышений, 2014 – **8233 раза**, 2015 – **15.63 раза**. Из деривационного желоба: 2013 – превышений нет, 2014 – **8177 раза**, 2015 – **6.412 раза**. Из р.Ардон ниже по течению на расстоянии 1км от хвостохранилища : 2013 – превышений нет, 2014 – **33.96 раза**, 2015 – превышений нет.(Рис. 4.13)

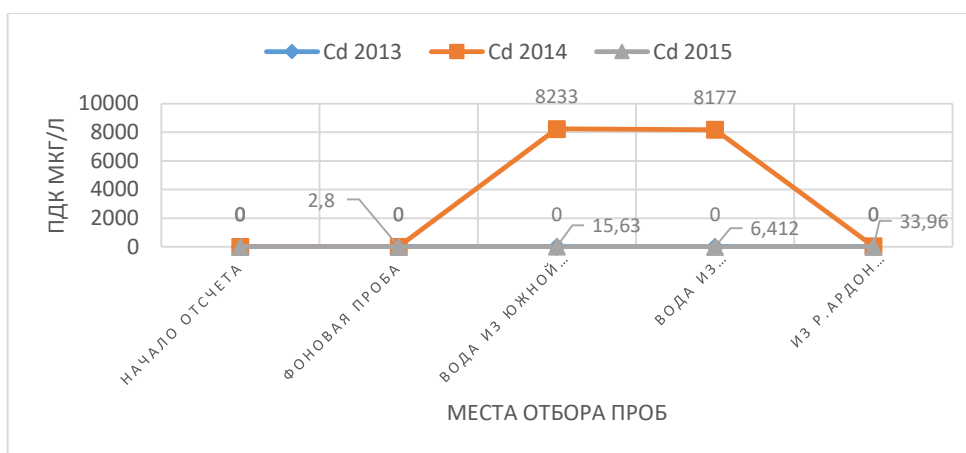


Рисунок 4.13 Превышение норм ПДК для элемента Cd.

Содержания **As** превышали нормы ПДК в разы в пробе из «защитного озера» хвостохранилища: 2013 – превышений нет, 2014 – **2750 раз**, 2015 – **45861 раз**. Из деривационного желоба: 2013- превышений нет, 2014 – **2684раза**, 2015 – **45644 раза**. Из р.Ардон ниже по течению на расстоянии 1км от хвостохранилища: 2013 – превышений нет, 2014 – **37.5 раз**, 2015 – **53.6 раза** (Рис. 4.14).

В 2015 году фоновая проба, она же проба из устья р. Цейдон, уже загрязнена элементом **As** (превышение норм ПДК в **2.2 раза**), поэтому в 2015г. начальной точкой отсчета была принята проба из р. Ардон, взятая на южной окраине пос. Бурон, в которой не было выявлено никаких превышений норм ПДК с 2013 по 2015гг включительно.

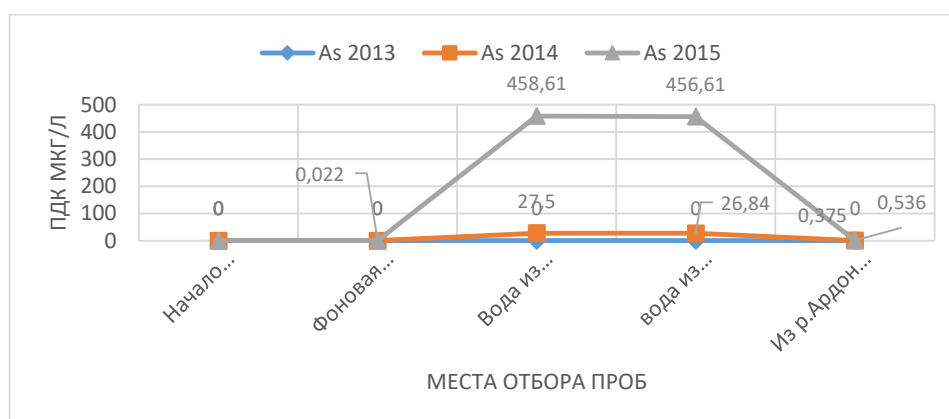


Рисунок 4.14 Превышение норм ПДК для элемента As.

Содержания **Na** превышали нормы ПДК в разы в пробе из «защитного озера» хвостохранилища: 2013 – превышений нет, 2014 – **10 раз**, 2015 – **5.6 раз**. Из деривационного желоба: 2013 – превышений нет, 2014 – 10 раз, 2015 – **15.5 раз**. Из р. Ардон ниже по течению на расстоянии 1км от хвостохранилища: 2013 – превышений нет, 2014 – превышений нет, 2015 – **2.6 раз** (Рис. 4.15).

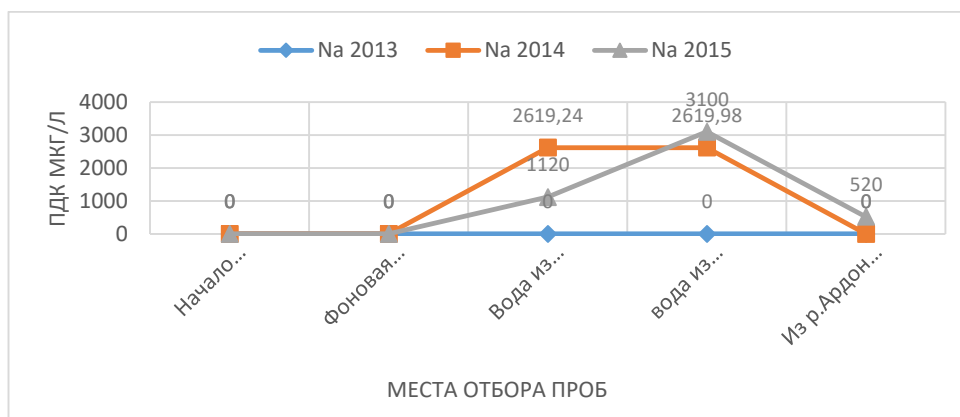


Рисунок 4.15 Превышение норм ПДК для элемента Na.

Содержания **Ni** превышали нормы ПДК в разы в пробе из «защитного озера» хвостохранилища: 2013- превышений нет, 2014 – превышений нет, 2015 –превышений нет. Из деривационного желоба: 2013 – **2.5 раз**, 2014-превышений нет, 2015 – превышений нет. Из р. Ардон ниже по течению на расстоянии 1км от хвостохранилища: 2013 – **1.5 раз**, 2014 – превышений нет, 2015 – **2.1 раз**. (Рис. 4.16).

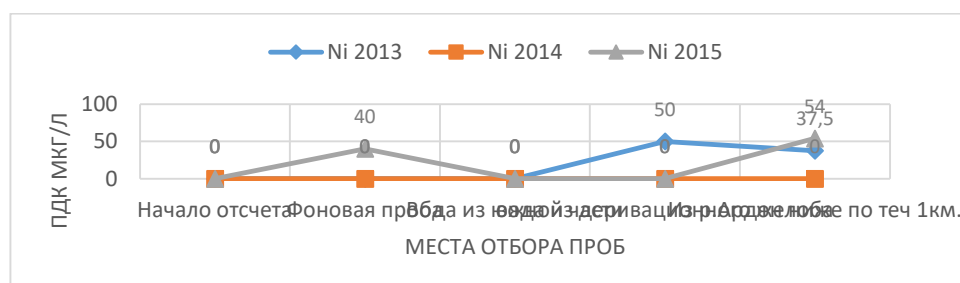


Рисунок 4.16 Превышение норм ПДК для элемента Ni.

Содержания **Si** превышали нормы ПДК в разы в пробе из «защитного озера» хвостохранилища: 2013 – превышений нет, 2014 – 5.8 раз, 2015 – 6.8

раза. Из деривационного желоба: 2013 – превышений нет, 2014 – 5.78 раза, 2015 – 6.7 раза. Из р. Ардон ниже по течению на расстоянии 1км от хвостохранилища: 2013 – превышений нет, 2014 – превышений нет, 2015 – превышений нет. (Рис. 4.17)

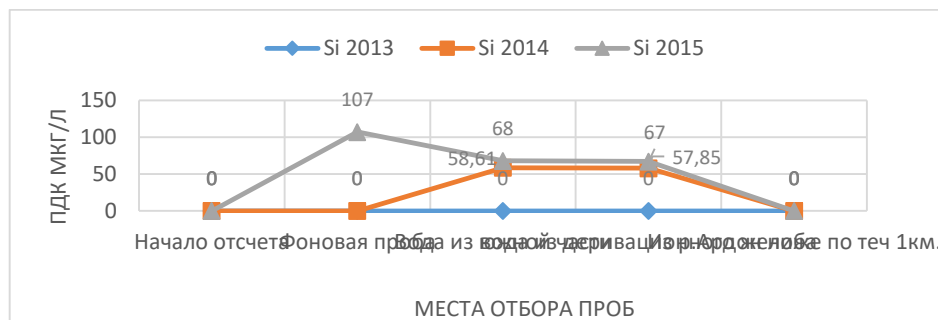


Рисунок 4.17 Превышение норм ПДК для элемента Si.

Выводы по аналитическим исследованиям проб воды

1. Сравнительный анализ пробы воды №36/15 из р. Ардон, при ее выходе на предгорную равнину (южная окраина г.Алагир) с фоновой пробой №20/15, отобранной в верховьях р. Ардон на южной окраине пос. Бурон и в 10-15 км выше по течению от полиметаллических месторождений Садонской группы (Верхний Згид. Садон, Архон, Левобережное, Холст, Джимидон, Бозанг), многочисленных рудопроявлений и Унальского хвостохранилища убедительно доказал, что в воде из р. Ардон на южной окраине г. Алагир произошло увеличение (в разы) концентраций элементов: 1^{го} класса опасности (**Tl** в 1.8, а **As** в 549), 2^{го} класса (**Co**, **Ni**, **B**, **Si**, **Pb** – от 2 и до 7 ; **W**, **Bi** – в первые десятки раз; **Na**, **Sb** - в первые сотни раз); 3^{го} класса (**Cu** в 3; **Zn** в 19 и **Mo** в 22 раза), характерных для руд Садонской группы месторождений. Следовательно, в воде р. Ардон постоянно накапливаются элементы 3-х классов опасности, которые могут проникать, за счет инфильтрации, в подземную гидросферу (водоносные горизонты) или накапливаться на природных геохимических барьерах, расположенных в низовьях р. Ардон или в долине р. Терек, после впадения в нее р. Ардон, загрязняя окружающую

среду. Поэтому, возникает проблема очистки от экологически опасных элементов вод р. Ардон и ее притоков

2. На основании геохимического анализа проб воды отобранных из боковых притоков р. Ардон и из «защитного» озера Унальского хвостохранилища доказано, что:

- основными природно-техногенными загрязнителями вод р. Ардон являются ее правые притоки р. Архон-дон (повышенные [в разы], по сравнению с фоновой пробой, концентрации для Al=4.2; Si=2.4; P=5.8; S=1.5; Ti=3.3; V=5.3; Cr=5.3; Mn=3.4; Fe=4.6; Co=5.1; Ni=6.2; Cu=5.4; Zn=8.8; As=18.9; Ba=1.6; Pb=12.8; Li=1.3; Be=2.9; Rb=3; Y=2.5; Zr=; 1.9; Mo=1.3; Ag=11.3; Cd=9.9; Sb=1.8; Cs=3.7; La=2.2; W=5.1; Tl=3.8; Bi=18.9; Th=2.6, а превышение ПДК [в разы] для Si=1.1; S=1.2; Ti=1.6; Mn=1.7; Fe=33.3; As=2.5) и р. Унал-дон (повышенные [в разы] концентрации, по сравнению с фоновой пробой, для S=2.2; Cu=1.8; Zn=45.8; As=13.7; Sr=1.9; Ba=1.5; Pb=2.4; Mo=2.7; Cd=65.7; Sb=6.4; W=2.1; U=1.3, а превышение ПДК [в разы] для Fe=21; As=1.8);

- основными техногенными загрязнителями вод р. Ардон являются как само Унальское хвостохранилище, так и вода «защитного» озера (превышение ПДК [в разы] для Na=15.5; Al=27.5; Si=6.7; S=96; V=5; Fe=1.6; Zn=1.07; As=45644; Pb=22; Mo=14.6; Cd=6.4; Sn=8.4; Sb=5638; W=2.1.), сливаемая по деривационной трубе прямо в р. Ардон. [Гурбанов А.Г., Лолаев А.Б., Дзэбоев С.О. ...2018]

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 его утилизации, 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 их 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 впервые 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 местности характеризуется 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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аверкин А.Н., Нгуен М.Х. Использование нечетких отношений в моделях представления знаний //Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1989. № 5. - С. 20-33.
2. Аксенов С.Г., Жабовский В.П. Проблемы безопасности накопителей промстоков (хвостохранилищ, шламохранилищ и гидроотвалов) промышленных предприятий и пути повышения их устойчивой работы. Четвертый международный симпозиум "Освоение месторождений минеральных ресурсов и подземное строительство в сложных гидрогеологических условиях. / ВНИИ ВИОГЕМ. Белгород, 1997, С.127-132
3. Акционерное общество «Севосетингеоэкомониторинг», проектная документация «Ликвидация негативного воздействия Унальского хвостохранилища на окружающую среду в районе с. Н.Унал Алагирского района РСО-Алания», раздел 7, Том 10. 2017. 89 с.
4. Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г. А. Управление производством при нечеткой исходной информации. М.: Энергоатомиздат, 1991.- 240с.
5. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Природно-технические системы и их мониторинг. //Инженерная геология. 1990, № 10, С. 3-9.
6. Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьев Г.В. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. -М.: Радио и связь. 1989. - 304 с.
7. Борисов Г.А., Шамшура Г.Я. Опыт проектирования, строительства и эксплуатации земляных плотин в Норильске. – М., Изд-во АН СССР, 1959. – С.110-119.
8. Будун.А.С. Природа, природные ресурсы Северной Осетии и их охрана; изд.2, Владикавказ, 1994. 254с.

9. Бутюгин В.В., Бутюгина Л.В., Галишевская В.В. Экономическая оценка антропогенных воздействий на окружающую среду. Учебное пособие / Норильский индустриальный институт. – Норильск, 2004. – 98 с.
10. Бутюгин В.В., Гришаева Л.В., Галишевская В.В. Природопользование. Влияние техногенных загрязнений на воздушный бассейн: Учебное пособие / Норильский индустриальный ин-т. – Норильск, 2001. – 79 с.
11. Бутюгин В.В., Пыхтин Б.С., Гришаева Л.В. О контроле безопасности накопителей промышленных отходов и проблемах их эксплуатации. // Гидротехническое строительство, 2004. - № 2, С. 35-40.
12. Бутюгин В.В., Савченко В.А. Основные принципы геоэкологического анализа при оценке влияния гидротехнических сооружений и гидротранспорта на геологическую среду. Геоэкологические и геоэкологические проблемы строительства в районах Крайнего Севера. Научно-практический семинар 15-17 марта 2001 г. Сб. трудов. Норильск: С. 118-123.
13. Бутюгин В.В., Шкода В.С. Роль гибридного моделирования в разработке технологий строительства намывных гидротехнических сооружений. Сборник тезисов докладов научно-технической конференции. / Норильский индустриальный ин-т. – Норильск, 2000. – С. 123-124.
14. Бутюгина Л.В. «Прогноз экологической безопасности хвостохранилищ в криолитозоне» - Владикавказ 2004г. Дис. на соискание ученой степени кандидата техн. наук, 121с.
15. Валасис А.Г., Ефименко Н.А. «Разработка научно-технического задания на утилизацию отходов горно-рудной перерабатывающей промышленности Северной Осетии и очистки загрязненных илов: отчет МП «ЭКО КРИОС» ИГФМ АН Украины; 1991. – 29 с.
16. Гаврилов А.Н., Грязнова Е.М., Власов А.Н., Мнушкин М.Г. Применение программного комплекса UWay к решению задач геомеханики. // Международная конференция по геотехнике, посвящённая 300-летию Санкт-

Петербурга. Реконструкция исторических городов и геотехническое строительство. Санкт-Петербург, 2003.

17. Газданов А.Ц. Комплексный геоэкологический мониторинг экосистемы «горная долина», отчет ГНПП «СЕВОСГЕОНАУКА», Владикавказ 1995 – 26 с.

18. Газданов А.Ц. Отчёт по научно-исследовательской работе "Подготовка экологически напряжённых локальных объектов к мониторингу (оценка техногенного воздействия хвостохранилищ Мизурской и Фиагдонской обогатительных фабрик на окружающую среду", 102. стр.2 текстовых приложений, исп.ист.. I кн. 1996г.

19. Гальперин А.М., Дьячков Ю.Н. Природоохранные гидромеханизированные технологии. М.: Недра. 1993. –165 с.

20. Гвоздик А.А. Решение нечетких уравнений //Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1984, № 5. - С. 176-183.

21. Голик В.И., Гегуев С.М., Цидаев Т.С., Сатцаев А.М. Природные и природно-техногенные проблемы экологии Осетии. Вестник МАНЭБ. – С.П. – Владикавказ. Терек, 2003.

22. ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация. – М.: Стандартинформ, 2020. – 42 с.

23. ГОСТ 3351 – 74 Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1974. – 8 с.

24. ГОСТ 4192 – 89 Вода питьевая. Методы определения минеральных азотсодержащих веществ. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1989. – 7 с.

25. ГОСТ 4151 – 72 Вода питьевая. Метод определения общей жесткости. – М.: Издательство стандартов, 1972. – 8 с.

26. ГОСТ 4389 – 72 Вода питьевая. Методы определения сульфатов. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1972. – 9 с.

27. ГОСТ 4011 – 72. Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1972. – 8 с.
28. ГОСТ Р 53857-2010 Национальный стандарт. Классификация опасности химической продукции по воздействию на окружающую среду. – М.: Стандартиформ, 2011. – 16 с.
29. Грязнов О.Н. Природно-технические системы – универсальные системы взаимодействия инженерных сооружений (объектов) и природной среды. Известия УГГУ №4(40), 2015. С. 5-10
30. Гурбанов А.Г., Богатилов О.А., Карамурзов Б.С., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзедоев 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
31. Гурбанов А.Г., Богатилов О.А., Карамурзов Б.С., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзедоев 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.
32. Гурбанов А.Г., Богатилов О.А., Карамурзов Б.С., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзедоев 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.
33. Гурбанов А.Г., Богатилов 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.

34. 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.

35. Гурбанов А.Г., Богатииков О.А., Винокуров С.Ф., Газеев В.М., Лексин А.Б., Гурбанова О.А., Цуканова Л.Е., Шевченко А.В., Лолаев А.Б., Дзедоев С.О., Илаев В.Э. Захороненные промышленные отходы обогатительных фабрик в Северо-Кавказском федеральном округе: оценка негативного воздействия на экосистемы прилегающих территорий и проблемы их полной утилизации. Коллективная монография: «Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований». Владикавказ, 2017. С.554-560.

36. 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.

37. 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.

38. 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.

39. Гурбанов А.Г., Лексин А.Б., Газеев В.М., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Цуканова Л.Е., Илаев В.Э., Дзэбоев 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.

40. Гурбанов А.Г., Газеев В.М., Лексин А.Б., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзэбоев С.О. Оценка масштабов и степени негативного воздействия Фиагдонского хвостохранилища на экосистему// Вестник Владикавказского научного центра. 2020. Т. 20. № 2. С. 54-62.

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

42. «Доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2006 году.». Министерство природных ресурсов Российской Федерации. М., 2006. 338 с.

43. Дроздов А.В., Спесивцев А.В. Формализация экспертной информации при логико-лингвистическом описании сложных систем //Техническая кибернетика 1994. № 2, -с. 89-96.

44. Епишин В.К., Трофимов В.Т. Литомониторинг – система контроля и управления геологической средой. В кн. «Теоретические основы инженерной геологии. Социально-экономические аспекты», М., 1985. С. 243–250.

45. Жигалин А.Д. Классификация источников и типов техногенного воздействия на геологическую среду. М. Деп.ВИНИТИ № 1871-85, 1985. С. 21-22
46. Журнал Природа. SU - <http://www.priroda.su/item/1869/category/7> «Экологическая катастрофа в Венгрии, 2010г.
47. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и ее приложение к принятию приближенных решений. -М.: Мир. 1976.- 165 с.
48. Заде Л.А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений / В кн.: Математика сегодня. -М.: Знание, 1974. - с. 5-49с.
49. Ивахненко А.Г., Юрачковский Ю.П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. -М.: Радио и связь, 1987. -120 с.
50. Исаев С.В. Концепция природно-технических систем и ее использование при изучении антропогенной трансформации природной среды// Географический вестник 3 (38)б 2016. С. 105-113.
51. Колесникова О.В. Исследование влияния строительных техногенных воздействий на формирование природно-техногенной системы в криолитозоне: На примере г. Норильска. Автореферат на соиск. уч. степ. канд. наук. Москва.1999. 22 с.
52. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. -М. Радио и связь,1982. - 432 с
53. Лолаев А.Б. Инженерно-геокриологические проблемы освоения криолитозоны. – М.:,1998. – 154 с.
54. Лолаев А.Б., Шкляр Н.Д., Галишевская В.В., Гришаева Л.В. и др. Прогноз и оценка устойчивости ГТС хвостохранилища Надеждинского металлургического завода. Отчет о НИР, МАНЭБ. - Норильск, 1999. – 136 с.
55. Лолаев А.Б., Гришаева Л.В., Галишевская В.В. и др. Разработка технологии опережающего наращивания ограждающей дамбы хвостохранилища «Лебяжье». Отчет о НИР, МАНЭБ. - Норильск, 2000. – 193 с.

56. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В., Гришаева Л.В., Галишевская В.В. Эколого-экономическая оценка загрязнения окружающей среды. Учебное пособие // Норильский индустриальный институт. – Норильск, 2000. – 110 с.
57. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В., Рященко Т.В., Акулова В.В. и др. Оценка и прогноз устойчивости техногенных намывных грунтов в массивах гидротехнических сооружений на базе микроструктурного анализа и моделирования. Отчет о НИР, МАНЭБ. - Норильск, 2000. – 114 с.
58. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В., Савченко В.А, Гришаева Л.В, Галишевская В.В. и др. Геоэкологический анализ и оценка состояния гидротехнических сооружений НПП с выдачей рекомендаций по снижению негативного воздействия при их строительстве и эксплуатации. Отчет о НИР, МАНЭБ. - Норильск, 2001, 308 с.
59. Лолаев А.Б., Галишевская В.В. Вопросы оценки и прогноза устойчивости русловой плотины хвостохранилища НМЗ // Сборник материалов научно-практической конференции «Геоэкологические и геоэкологические проблемы строительства в районах Крайнего Севера» - Норильск, 2001 г – С. 36-41
60. Лолаев А.Б., Гришаева Л.В. Мониторинг устойчивости гидротехнических сооружений. Сборник тезисов научно-технической конференции «Норильский промышленный район. Образование, наука, технологии, производство» - Норильск, 2001, С.
61. Лолаев А.Б., Галишевская В.В. Влияние хвостохранилища Надеждинского металлургического завода на окружающую среду // Сборник материалов межрегионального постоянно действующего научно-технического семинара «Экологическая безопасность регионов России и риск от техногенных аварий и катастроф» - Пенза, 2002 г. – С. 106-110
62. Лолаев А.Б., Бутюгина Л.В. Мониторинг устойчивости хвостохранилищ в изменяющихся режимах эксплуатации. Методика и результаты.// Сборник тезисов научно-технической конференции «Социально

экономические, научно-технические проблемы и пути их решения в НПП». - Норильск, 2002, С.

63. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В. Проблема проектирования, строительства и эксплуатации хвостохранилищ // Сборник научных статей «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений на Крайнем Севере». – Норильск, 2003. – С. 55-61

64. Лолаев А.Б., Бутюгин В.В. Накопители отходов рудообогащения в условиях Крайнего Севера. Проблемы и пути решения // Материалы II Международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр» - Москва, 2003 г., С.

65. Лолаев А.Б., Арутюнова А.В., Бадоев А.С., Дзэбоев С.О. Изучение физико-химических свойств лежалых хвостов Тырнаузского горно-металлургического комбината (Кабардино-Балкарская республика) методами выделения мономинеральных фракций. Труды СКГМИ (ГТУ) № 22, Владикавказ. 2015.

66. Лолаев А.Б., Арутюнова А.В., Бадоев А.С., Дзэбоев С.О., Илаев В.Э. Изучение физико-химических свойств лежалых хвостов методами выделения мономинеральных фракций. Материалы Всероссийской научной конференции "Геодинамика, вулканизм, сейсмичность и экзогенные геологические процессы природного и техногенного характера на Кавказе» ВНИЦ РАН, Владикавказ, 2015. С. 311-317.

67. Лолаев А.Б., Гурбанов А.Г., Дзэбоев С.О., Оганесян А.Х., Илаев В.Э. Оценка степени загрязнения тонкодисперсным материалом с пляжа Мизурского хвостохранилища почв, равнин, сельхозугодий Алагирского района. Сборник статей научно-технической конференции обучающихся и молодых ученых СКГМИ (ГТУ) "НТК-2016". Владикавказ, 2016. С. 36-38.

68. Лолаев А.Б., Гурбанов А.Г., Дзэбоев 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.

69. 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.
70. Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзиов Б.Ю., Дзедоев С.О. Комплексная проблема исследований при оценке, прогнозе и управлении рисками в процессе возведения и разработки техногенных месторождений. Материалы III Международной научно-практической конференции «Развитие регионов в XXI веке», г. Владикавказ, 1–2 октября 2021 г. С. 332-337.
71. Ломтадзе В.Д. Словарь по инженерной геологии. СПб: Изд. СПбГИ, 1999. 360с
72. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. – Л.: Недра, 1990. – 327
73. Методика обоснования состава и объемов инженерно-геологических изысканий для строительства различных типов зданий и сооружений промышленного, сельскохозяйственного и жилищно-гражданского назначения в районах распространения вечномёрзлых грунтов с учетом требований проектирования. /автор А.И.Левкович - М.: Изд-во Госстроя РСФСР, 1989, 173 с
74. Мирзаев Г.Г., Иванов Б.А., Щербаков В.М., Проскуряков Н.М. Экология горного производства: Учебник для вузов. — М.: Недра, 1991. —320 с.
75. МУ 2.1.7.730-99. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. г.Москва – М., 1999г.
76. Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. - М.: Наука, 1965
77. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта /Под ред. Д. А. Поспелова. -М.: Наука, 1989. - 312 с.

78. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения. -М.: Радио и связь, 1986. - 408 с
79. ОСТ 41-08-212-04 Стандарт отрасли. Управление качеством аналитических работ. Нормы погрешности при определении химического состава минерального сырья и классификация методик лабораторного анализа по точности результатов. ФНМЦ «ВИМС» - М., 2004 – 9 с.
80. Пахомов С.И., Монюшко А.М. Инженерно-геологические аспекты техногенного изменения свойств глин. М.: Наука, 1988.- 120 с.
81. Правила безопасности при эксплуатации хвостовых и шламовых хозяйств горнорудных и нерудных предприятий. / Ред. кол.: А.М. Ильин и др.; Утв. Госгортехнадзором СССР 22.12.87 М.: Недра. 1989. - 48 с.
82. Правила безопасности при эксплуатации хвостовых, шламовых и гидроотвальных хозяйств/Ред. кол.: Ильин А.М., Аксенов С.Г., Гринман М.М., Галзитский В.Т., Головишников В.И. и др.; Утв. Госгортехнадзором СССР 05.11.96 – НИИ ВИОГЕМ Минпрома России, 1997. – 98 с.
83. Протасов, В. Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России учебное и справочное пособие / В. Ф. Протасов - М.: Финансы и статистика, -2000. -672 с.
84. Пряничникова Е.В. Эколого-геохимическая оценка горнорудного района: На примере Садоно-Унальской котловины, Республика Северная Осетия-Алания: дис. канд.г-м наук: 25.00.09/ Пряничникова Елена Владимировна. – М. 2005г.
85. Рященко Т.Г. и Акулова В.В. Грунты юга Восточной Сибири и Монголии. Новосибирск: СО РАН, 1998. – 156 с.
86. Рященко Т.Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2010. – 287 с.
87. Рященко Т.Г., Акулова В.В. Проблемы лессоведения юга Восточной Сибири и сопредельных территорий (опыт регионального анализа) // Лессовые просадочные грунты: исследования, проектирование и

строительство. Докл. плен. заседания Международной научн.-практ. конф. – Барнаул, 1997. – С. 26-45.

88. Рященко Т.Г., Вашестюк Ю. В., Гринь Н. Н. Метод «Микроструктура» в практике региональных инженерно-геологических исследований лессовых и глинистых грунтов: монография. - Иркутск: Изд-во ИРННТУ, 2021. – 130 с.

89. Рященко Т.Г., Вашестюк Ю.В. Сравнительный анализ параметров микроструктуры глинистых и лессовых грунтов (программа «стандартная статистика»)// ВЕСТНИК ИрГТУ №9 (56), 2011. – С.64-72.

90. Сборник руководящих материалов по надзору за эксплуатацией гидротехнических сооружений на подконтрольных Госгортехнадзору России предприятиях и объектах /Сост.: А.М.Ильин, В.Т.Галзитский, С.Г. Аксенов, А.В. Хныкин.-Белгород, 1999. - 305 с.

91. Северо-Осетинский государственный заповедник /Ред. Липкович А.Д. -Орджоникидзе: Ир, 1989.

92. Семёнов Ю. Н., Литвиненко Ю.С. Отчет геохимической партии геологического факультета МГУ за 1990-91 г.г. по теме: "Оценка эколого-геохимической обстановки в районе деятельности Садонского СЦК." М.: МГУ, 1991.

93. СНИП 2.02.02-85* «Основания гидротехнических сооружений» - Москва, 2011. - 114стр

94. СНиП 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения (с 01.01.2004 взамен СНиП 2.06.01-86) – Госстрой России. 2004г.

95. СНиП 33-01-2003. Строительные нормы и правила Российской федерации. Гидротехнические сооружения.

96. Соловов А.П., Архипов А.Я., Бугров В.А. и др. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. М.: Недра, 1990. – 335стр.

97. Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы. Под ред. акад. Сергеева Е.М., Недра Москва. МГУ, 1985, 288 с.

98. Тимошкин Г.А., Беседина Э.И. Отчет по эколого-геохимической оценке состояния окружающей среды санаторно-курортных зон Северного Кавказа (отчет по теме ПР-132 за 1985-88 гг.) Мин Гео СССР, ИМГРЭ, ЦОМГЭ с. Н. Бирагзанг, 1988.
99. Токарев И.В., Тимошкин Г.А. Отчет ЦОМГЭ ИМГРЭ "Эколого-геохимическая оценка влияния геологоразведочных работ на окружающую среду". Н. Бирагзанг, 1985
100. Трофимов В.Т., Королев В.А., Герасимова А.С., Классификация техногенных воздействий на геологическую среду // Геоэкология. 1995, №6.
101. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 11.06.2021) "О промышленной безопасности опасных производственных объектов"
102. Davis, R. and Smith, R. G. (1983). Negotiation as a metaphor for distributed problem solving. *Artificial Intelligence*, 20:63–109
103. Dzeboev S.O., Lolaev A.B., Badoev A.S., Arutiunova A.V., Ilaev V.E. Determination of the Tails Consolidation Parameters of Alluvial Tailings Dump in Permafrost Region Proceedings of 1st International Conference on Natural hazards & Infrastructure Chania, GREECE 2016
104. 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.
105. Lolaev A.B., Badoev A.S., Arutiunova A.V., Dzeboev S.O., Ilaev 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.
106. Lolaev A.B., Spesivtsev A.V. Butyugin V.V. Pukhtin B.S. Savchenko V.A. Forecasting of the stability of the tailing dam in permafrost region on the basis

of fuzzy models/ Proceedings of 8th International Congress of International Association of Engineering Geology (IAEG), Vancouver, CANADA,1998.

107. Mizomoto, M., Tanaka, K. Fuzzy sets and their operations. //Information and Control. 1981, No 48. pp. 30-48.; Mizomoto, M. Fuzzy sets and their operations (part 2). //Information and Control. 1981, No 50. pp. 160-174

108. Tailings dams: risk of dangerous occurrence. ICOLD/UNTP. – Bull. 121. – Paris. – 2001

109. Vlasov A.N., Yanovsky Yu.G., Mnushkin M.G., Popov A.A. Solving geomechanical problems with UWay FEM package. // Proceedings EPMESC'IX. International Conference on Enhancement and Promotion of Computational Methods in Engineering and Science. Macao, 2003

110. Zadeh, L.A. Fuzzy algorithms //Information and Control. 1968. Vol.12, No 2. pp. 94-102.

111. Zadeh, L.A. Fuzzy probabilities and their role in decision analysis /Proceedings of IFAC Symp. Theory and Application of Digital Control. 1982. pp. 15-21

112. Zadeh, L.A. Fuzzy sets and information granularity /Advances fuzzy sets theory and applications. - Amsterdam: North-Holland Publ. Co., 1979. pp. 3-18.