

Государственная корпорация по атомной энергии «РОСАТОМ»
«Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт
промышленной технологии»
АО «ВНИПИпромтехнологии»

На правах рукописи



Дунаева Елена Владимировна

**«Научно-методическое обеспечение геоэкологических изысканий для
обоснования технических решений при безопасной эксплуатации и
рекультивации объектов переработки урановых руд»**

Специальность 1.6.21. «Геоэкология»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук

Научный руководитель:
Кандидат технических наук
Карамушка Владимир Петрович

Москва, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ ...	12
1.1 Технологии переработки урановых руд	22
1.2 Выщелачивание.....	24
1.3 Выделение урана из пульп и растворов после выщелачивания.....	26
ГЛАВА 2. РАСПОЛОЖЕНИЕ НА КАРТЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ АРИДНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ И ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА.....	29
ГЛАВА 3. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ, ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ВЛАГОПЕРЕНОС НА ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ И ЗОЛОШЛАКООТВАЛАХ.....	48
3.1 Гранулометрический состав техногенных грунтов хвостохранилищ.....	48
3.2 Сравнение свойств и гранулометрического состава техногенных грунтов золошлакохранилищ ТЭЦ (ПАО «ППГХО») и «Каджи-Сай (Киргизия).....	53
3.3 Гидрогеологические условия на хвостохранилищах	62
3.4 Изучение процесса влагопереноса	71
ГЛАВА 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВЫХ РУД.....	74
ГЛАВА 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПЕРЕД РЕКУЛЬТИВАЦИЕЙ.....	83
ГЛАВА 6. ПРИНЦИПЫ И КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИЗОЛЯЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ.....	98
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	112
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	115

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Рост количества предприятий металлургической и горно-обогатительной промышленности обуславливают необходимость строительства большого числа хвостохранилищ для аккумуляции твердых отходов, которые, как правило, состоят из сильно минерализованных и токсичных вод, к которым относятся: остатки сырья, исходного материала, которые в свою очередь представляют опасность для окружающей среды и человека. Такие хвостохранилища располагаются на больших площадях, измеряемых десятками, а иногда и сотнями гектаров.

Причем сырье предприятий подвергается механическому, физико-механическому воздействию, в результате которого отходы получают свойства, отличные от свойств материнских пород. В общей сложности в техногенные намывные массивы вторичных материальных ресурсов – как правило хвостохранилищ, но и также в их разновидности – золоотвалы и шламохранилища на территории РФ складировано более 6 млрд м³ отложений и более 4 млрд м³ воды. При этом используются как естественные – природные понижения рельефа, для которых характерно отсутствие ограждающих дамб, так и искусственные, складирование хвостов в которые обусловлено созданием ограждающих сооружений или упорных призм (плотин) [14].

В СССР было построено 9 комбинатов, расположенных на территории шести Республик – в настоящее время самостоятельных государств, действующих как производственные единицы.

Площади земель, нарушенных в результате добычи и переработки урановых руд, составили 82,5 км², распределение по странам представлено в таблице 1.

Таблица 1 – площадь нарушенных земель по странам

Страна	Площадь, км ²
Россия	16,0
Казахстан	51,7
Узбекистан	2,8
Таджикистан	3,0
Киргизия	6,5
Украина	2,5
ИТОГО:	82,5

В России действует ряд Федеральных законов, санитарных норм и правил, которые устанавливают нормативы для создания безопасных условий применения атомной энергии и радиационных источников в различных сферах деятельности человека. Важнейшими задачами Государственной Корпорации «Росатом» являются не только создание новых объектов атомной энергетики, но и рекультивация территорий, загрязненных в период работ по созданию «ядерного щита» бывшего СССР, а также территорий существующих в настоящее время хвостохранилищ, строительство которых обусловлено необходимостью складирования твердых промышленных сильно минерализованных отходов и токсичных сточных вод. Такие хвостохранилища располагаются на больших площадях, измеряемых десятками, а иногда и сотнями гектаров, и являются потенциально опасными объектами, поскольку нарушение процесса эксплуатации или рекультивации может привести к экологической катастрофе – растеканию неконсолидированной массы грунта и воды, и как следствие – загрязнению окружающей территории.

Поэтому уранодобывающая промышленность требует обеспечения высокоэффективных мер по обеспечению радиационной и экологической безопасности на этапе проектирования, изысканий и разработки технологических решений для объектов природоохранного назначения, что

является одним из важнейших факторов обеспечения национальной безопасности.

Значительный вклад в изучение грунтов и решение проблем хвостохранилищ внесли известные советские и российские ученые В.И. Вернадский, Г.К. Бондарик, Е.Н. Камнев, В.П. Карамушка, В.Д. Лонтадзе, В.В. Охотин, В.А. Петров, Р.Е. Кузин, Н.П. Лаверов, Н.К. Шандала и другие.

Ведущими организациями в области исследования хранилищ радиоактивных отходов являются АО «ВНИПИпромтехнологии», ФГБУН институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского (ВИМС), Горный институт НИТУ «МИСиС», Санкт-Петербургский горный университет, ФГБУ «Гидроспецгеология», АО «Механобр инжиниринг».

Результаты проведения геоэкологических изысканий и исследований выполненных в соответствии с методическими положениями, которые представлены в данной диссертационной работе, на действующих хвостохранилищах, а также на хвостохранилищах, выведенных из эксплуатации, позволяют прогнозировать и контролировать состояние таких объектов уранового производства в течение длительного периода времени.

Таким образом, актуальность и важность решаемой в диссертации новой научной задачи определяются обеспечением долгосрочной экологической безопасностью хранения отходов уранового производства.

Все вышеизложенное определяет актуальность и важность темы диссертации, направленную на создание и устранение пробела в методическом обеспечении изучения техногенных грунтов с целью обеспечения технического решения при рекультивации хвостохранилищ или их реабилитации.

Степень разработанности темы. Идея работы заключается в системном подходе в изучении физико-механических свойств грунтов хвостохранилищ и разработке методического обеспечения для технических решений на весь период эксплуатации и рекультивационных работ, что обеспечит долгосрочную экологическую безопасность хранения отходов уранового производства.

Цель исследования - на основе результатов экспериментальных и теоретических исследований физико-механических свойств природных и техногенных грунтов разработать методические положения проведения геоэкологических и инженерных изысканий для принятия технических решений на период эксплуатации, подготовки рекультивационных работ и дальнейшего мониторинга объектов добычи и переработки урановых руд.

Задачи исследования:

1. На основе результатов геоэкологических изысканий сделать системный сравнительный анализ свойств природных и техногенных грунтов, измененных во времени.

2. Сделать сравнительный анализ физико-механических и химических свойств энергетической золы топливно-энергетического производства и золы, образующейся при глубокой переработке радиоактивного сырья.

3. По результатам полевых работ разработать методику исследования влажностного режима в толще хвостовых отложений для безопасной эксплуатации предприятий ядерно-топливного цикла.

4. Научно обосновать методические положения технологии проведения геоэкологических изысканий на хвостохранилищах для принятия технических решений при эксплуатации и рекультивации объектов уранового производства.

Научная новизна результатов диссертационных исследований.

1. На основе системного анализа данных, полученных в ходе геолоэкологических изысканий, доказано различие природных грунтов от

техногенных минеральных образований и выявлены закономерности, характеризующие схожесть намывных грунтов хвостохранилищ с барханными песками зоны аэрации.

2. Доказано различие физико-механических и химических свойств энергетической золы топливно-энергетического производства и золы, образующейся при глубокой переработке радиоактивного минерального сырья.

3. Впервые представлены методика и результаты изучения влажностного режима в теле хвостохранилищ (линз с водой, водонасыщенных зон и островной мерзлоты) на длительный постэксплуатационный период времени территорий «уранового наследия».

4. Впервые для отечественного минерально-сырьевого кластера ядерной отрасли разработаны технологии совершенствования проведения геоэкологических изысканий на хвостохранилищах массовой переработки радиоактивных руд для обеспечения их долговременной экологической безопасности от окружающей среды.

Практическая значимость работы.

В рамках выполнения Межгосударственной целевой программы «Рекультивация территорий государств-членов ЕврАзЭС, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств», утвержденной 5.04.2012 г. № 602 Межгосударственным советом ЕврАзЭС, комплекс разработанных методических положений и рекомендаций был применен на урановых объектах республики Таджикистан и Кыргызской республики.

2. Представлен научный прогноз влажностного режима хвостохранилищ урановых производств и рекомендовано его применение на других производствах.

3. Предложенная технология геоэкологических изысканий позволяет предотвратить радиационно-экологические аварии, исключить необоснованный

риск для населения, для персонала, исключить дорогостоящие и небезопасные работы на хвостохранилищах, а также снизить материальные и финансовые затраты.

4. Разработанная инструкция «Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием на хвостохранилищах урановых производств», которая применяется на действующих хвостохранилищах ПАО «ППГХО», рекомендована к применению на других горно-перерабатывающих производствах.

Методика исследования

В основу решения поставленных задач положены данные, полученные непосредственно на площадках хвостохранилищ, теоретические и натурные исследования хвостохранилищ для получения необходимых лабораторных и полевых данных, рассмотрен отечественный и международный опыт.

Методы исследования.

При выполнении исследования применялись такие методы как: системный анализ полученных данных и научно-технической литературы, картографические и лабораторные методы, использование современного программного обеспечения.

Научные положения, выносимые на защиту.

1. Впервые для отечественного минерально-сырьевого кластера ядерной отрасли разработаны технологии совершенствования проведения геоэкологических изысканий на хвостохранилищах массовой переработки радиоактивных руд для обеспечения их долговременной экологической безопасности от окружающей среды.

2. Доказано различие физико-механических и химических свойств энергетической золы топливно-энергетического производства и золы, образующейся при глубокой переработки радиоактивного минерального сырья.

3. Разработан научно-обоснованный прогноз режима интенсивности влажности техногенных грунтов хвостохранилищ уранового производства на основе авторских методических положений инженерно-геологических и геоэкологических изысканий.

Апробация работы.

Основные результаты работы были представлены и обсуждались на Международных научно-практических конференциях: «Геотехнологические методы освоения месторождений твердых полезных ископаемых» (Москва, ВИМС, 2015г), «Философия обращения с радиоактивными отходами: плюсы и минус существующих технологий» (Москва, 2016г), «Проблемы и решения в экологии горного дела» (Москва, 2017); на Пятом международном симпозиуме Уран: геология, ресурсы, производство» (Москва, ВИМС, 23-24 ноября 2021г.), а также на технических совещаниях, проводимых на действующих горно-перерабатывающих комбинатах.

Соответствие паспорту специальности:

Диссертация соответствует паспорту специальности 1.6.21. - Геоэкология в соответствии с пунктами:

1.11 - Геоэкологические аспекты функционирования природно-технических систем. Оптимизация взаимодействия (коэволюция) природной и техногенной подсистем;

1.12 - Геоэкологический мониторинг и обеспечение экологической безопасности, средства контроля;

1.15 - Геоэкологическое обоснование безопасного размещения, хранения и захоронения токсичных, радиоактивных и других отходов.

3.3 - Геоэкологические аспекты рационального использования и охраны минеральных ресурсов Земли и рекультивации территорий, нарушенных при разработке месторождений и обогащении твердых полезных ископаемых.

3.4 – Развитие опасных технико-природных процессов, методы и технические средства прогноза, оперативного обнаружения и устранения последствий чрезвычайных ситуаций при разработке природных и техногенных месторождений и переработке твердых полезных ископаемых.

3.10 - Инженерная защита экосистем, прогнозирование, предупреждение и ликвидация последствий загрязнения окружающей среды при строительстве, консервации и ликвидации горных и горно-обогатительных предприятий.

Личное участие автора.

Диссертация является итогом исследований и изысканий, практической работы автора в АО «ВНИПИпромтехнологии». Основной объем материалов собран, проанализирован.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 9 научных трудов, 5 статей опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК РФ [11, 31, 32, 43, 44, 46], 4 доклада, представленных на научных конференциях [32, 33, 45, 46, 47].

Структура и объемы работ

Диссертационная работа состоит из введения, 6-ти глав, заключения и списка литературы. Содержание работы изложено на 125 страницах, включая 24 рисунка, 17 таблиц. Список литературы включает 108 наименований.

Благодарности

Автор благодарен научному руководителю к.т.н. В.П. Карамушке и ученому секретарю д. г-м н. Е.Н. Камневу за помощь, постановку задачи, обсуждению результатов и постоянное внимание к представленной работе. Автор выражает глубокую признательность Т.Ю. Лебедевой за объективные замечания и советы, позволившие повысить качество работы. Автор благодарен руководителям и коллегам из АО «ВНИПИпромтехнологии», руководителям и ведущим специалистам ПАО «ППГХО» за бесценный опыт и возможность поработать на ведущем уранодобывающем предприятии России.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ

Данная глава посвящена вопросам исследования физико-механических и инженерно-геологических особенностей техногенных грунтов хвостохранилищ отходов уранового производства, которые потенциально являются радиационно опасными объектами. Нарушение режима эксплуатации этих объектов может привести к экологической катастрофе – растеканию неконсолидированной массы грунта и воды из чаши хвостохранилища, а значит загрязнению окружающей территории.

По способу возведения хвостохранилища делятся на намывные и наливные (рисунок 1.1). Причем, на намывных хвостохранилищах ограждающие сооружения обычно возводят путем намыва хвостов с естественным отмывом мелких фракций [10].

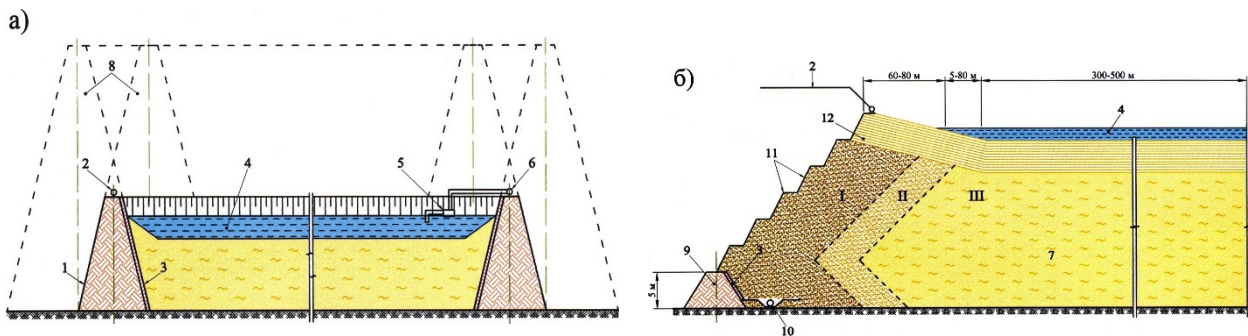


Рисунок 1.1 – типы хвостохранилищ по способу возведения:

а) наливное; б) намывное

I – упорная призма; II – переходная зона; III – центральная зона;

1 – ограждающая дамба; 2 – разводящий пульпопровод; 3 – экран из полимерных материалов или глинистых грунтов; 4 – прудок; 5 – плавучая насосная станция оборотного водоснабжения; 6 – водовод оборотной воды; 7 – отложения хвостового материала;

8 – варианты наращивания ограждающей дамбы; 9 – пионерная дамба из карьерных грунтов; 10 – дренаж; 11 – ярус намыва; 12 – слой намыва.

В зависимости от инженерно-геологических условий и рельефа района расположения намывных сооружений необходимо различать следующие типы хвостохранилищ [10]:

- овражно-балочные – располагаются в оврагах и балках, в низовьях, перегороженных плотиной (головной дамбой – упорной призмой);

- равнинные – намываются на равнинных участках со всесторонним отвалованием. Достоинство равнинных намывных техногенных массивов в отсутствии ответственных водосбросных сооружений для отвода и сброса естественного стока;

- овражно-равнинные – устраиваются на равнинах, пересеченных оврагами, которые перекрываются плотинами, а равнинная часть обваловывается;

- пойменные – располагаются в поймах рек с обвалованием с двух-трех сторон в зависимости от формы рельефа

- косогорные – намываются на склонах (косогорах), ограждаемые с трех сторон дамбами обвалования, с четвертой стороны – склоном;

- котлованные – устраиваются в выработанных пространствах карьеров и разрезов. Для складирования в них токсичных пульп требуется создание противofильтрационного экрана, исключающего загрязнение подземных вод;

- котловинные – в природных понижениях местности (котловинах). Потребность в дамбах определяется объемом и формой котловины.

Таким образом свойства техногенных грунтов определяются генетически унаследованным составом и структурой грунтов природного сложения, условиями переработки урановых руд, инженерно-геологическими условиями района работ, конструкцией намывного сооружения, технологией намыва и режимом эксплуатации объектов.

Стоимость проектирования и возведения хвостохранилищ напрямую зависит от способа укладки хвостов и таких условий как, геологические, гидрогеологические, гидрологические, технологические и климатические, а также от гидротранспортирования. При этом особое внимание необходимо уделять требованиям и нормативным документам по охране окружающей среды, действующим на территории расположения объекта, с целью обеспечения радиационной безопасности населения.

На рисунке 1.2. показано намывное хвостохранилище «Среднее», а на рисунке 1.3. «Верхнее» ПАО «ППГХО».



Рисунок 1.2 – намывное хвостохранилище «Среднее» ПАО «ППГХО»



Рисунок 1.3 – намывное хвостохранилище «Верхнее» ПАО «ППГХО»

Главными технологическими функциями хвостохранилищ являются:

- складирование твердой фазы отходов обогащения урановой руды;
- необходимое осветление воды и снижение содержания флотореагентов до значений, при которых допустимо использование всего слива хвостохранилища в технологическом процессе (таблица 2);
- создание накопительной ёмкости воды при замкнутом цикле водоснабжения производства.

Таблица 2 - содержание основных компонентов химического состава осветленной воды хвостохранилища ПАО «ППГХО» «Верхнее» и «Среднее»

Компоненты	Размерность	Хвостохранилище ПАО «ППГХО» «Верхнее»	Хвостохранилище ПАО «ППГХО» «Среднее»
Na ⁺	<u>мг/л</u>	<u>310 - 625</u>	<u>345 - 518</u>
	мг-экв/%	- -	- -
Ca ⁺²	<u>мг/л</u>	<u>301 - 377</u>	<u>286 - 417</u>
	мг-экв/%	- -	- -
Mg ⁺²	<u>мг/л</u>	<u>32 - 66</u>	<u>69 - 87</u>
	мг-экв/%	- -	- -
Cl ⁻	<u>мг/л</u>	<u>29 - 15</u>	<u>57 - 25</u>
	мг-экв/%	- -	- -
SO ₄ ⁻²	<u>мг/л</u>	<u>7540 - 8060</u>	<u>6960 - 7500</u>
	мг-экв/%	- -	- -
NO ₃ ⁻	<u>мг/л</u>	<u>189 - 418</u>	<u>250 - 375</u>
	мг-экв/%	- -	- -
HCO ₃ ⁻	<u>мг/л</u>	<u>0 - 0</u>	<u>0 - 0</u>
	мг-экв/%	- -	- -
Минерализация	мг/л	15215 – 14730	13840 – 13770
pH	ед.	2,8 – 2,7	3,00– 2,70
Жест. общ.	мг-экв/л	17,6 – 24,13	20,0 – 28,12
Fe _{общ}	мг/л	274 – 293	433 – 321
F	мг/л	274 – 290	214 – 192

Компоненты	Размерность	Хвостохранилище ПАО «ППГХО» «Верхнее»	Хвостохранилище ПАО «ППГХО» «Среднее»
Mo	мг/л	4,65 – <0,5	3,98 – 2,92
Mn	мг/л	442 – 500	332 – 396
Cu	мг/л	0,85 – 0,61	0,67 – 0,57
Zn	мг/л	5,50 – 3,45	4,19 – 3,39
Pb	мг/л	<0,1– <0,1	0,24 – <0,1
U	мг/л	1,7– 4,7	1,1 – 2,20

Хвостохранилище, в среднем, занимает площадь около 5 км², объем в отстойном пруду составляет 10-15 млн.м³, а утечка воды в результате фильтрации может достигать 600 м³/час. Поэтому весьма нежелательно дополнительные внесения каких-либо компонентов в воду, поскольку хвостохранилища являются постоянным и мощным источником загрязнения не только атмосферы, но и поверхностных и подземных вод. Контроль за этими процессами должен осуществляться с момента проведения инженерных изысканий при проектировании хвостохранилища до момента вывода их из эксплуатации и проведения рекультивационных работ, то есть на всем жизненном цикле хвостохранилища.

Техногенные грунты хвостохранилищ уранодобывающих и перерабатывающих производств под воздействием технологических процессов в своем эволюционном развитии проходят следующие стадии трансформации [31]:

- исходные горные породы;
- нарушение целостности пород;
- разрушение текстуры и структуры;
- разрушение кристаллических решеток порообразующих минералов;
- синтез минералов;
- формирование структуры и текстуры техногенных грунтов;

- образование техногенных отложений.

На данный момент для классификации грунтов используется «ГОСТ 25100-2020 Грунты, классификация» [23]. Данный ГОСТ классифицирует грунты как разновидность горных пород, используемых в качестве основания инженерно-строительных сооружений, а не как отходы (хвосты) урано-технологических производств, то есть техногенные грунты. Имеются существенные отличия морфологических признаков природных грунтов от грунтов техногенных, а именно: последние, подвергаясь процессу дробления, имеют более мелкую фракцию, и по гранулометрическому составу не могут классифицироваться как природные грунты, применяемые в строительстве.

Существует еще классификация грунтов по Охотину В.В. [77] и по Сергееву Е.М. [21].

Гранулометрическая классификация грунтов по Охотину В.В. была разработана применительно к подготовке грунта к анализу по Замятченскому П.А. (кипячение с аммиаком) и построена на основе изучения механических и физических свойств грунта. Ценность этой классификации заключается в том, что она построена на количественном учете глинистых частиц, которые содержатся в грунтах и которые в ряде случаев оказывают решающее влияние при определении свойств в дисперсных грунтах. Но в этой классификации одним из недостатков является то, что исследования велись на искусственных смесях примерно одинакового минерального состава без учета существующего многообразия пород в природе. Поэтому характеристика ряда гранулометрических групп грунтов была не всегда корректной.

Классификация грунтов по Сергееву Е.М. [21] более детально подразделяет отдельные гранулометрические группы грунтов. Основой для исследования природно-технических систем по этой классификации является выявление закономерностей их формирования и эволюции, масштаба и интенсивности взаимодействия с геологической средой. Но они не учтены и не изучены на примере техногенных грунтов хвостосхранилищ обогащения

урановых руд, а применимы только для природных грунтов в соответствии с потребностями различных видов строительства.

Разделение грунтов по фракциям у Охотина В.В. [77] более подробное: песчаные $d \geq 0,05$ мм, пылеватые $d = 0,05 \div 0,005$ мм, глинистые $\leq 0,005$ мм, тогда как в ГОСТ 25100-2020 [64] пески по крупности классифицируются по диаметру от 2 до 0,1 мм, а все что меньше 0,1 мм относятся к глинистым и пылеватым частицам.

В соответствии с методологическими положениями инженерно-геологических изысканий по Сергееву Е.М. [21] основой для исследования природно-технических систем является выявление закономерностей их формирования и эволюции, масштаба и интенсивности взаимодействия с геологической средой. Эти положения применимы только для природных грунтов в соответствии с потребностями различных видов строительства, но в них не учтены и не изучены техногенные грунты хвостохранилищ переработки и обогащения урановых руд.

Также существенным отличием техногенных грунтов от грунтов природного генезиса является фаза мобилизации и переноса (распределения) частиц по телу хвостохранилища, которое проходит при непосредственном участии и контроле специалистов Горно-металлургического завода (ГМЗ).

Основным процессом, определяющим формирование техногенных грунтов, является фракционирование их в водном потоке (пульпе). В точке сброса пульпы в хвостохранилище откладываются наиболее крупные фракции, по мере удаления уменьшается и крупность частиц. Перенос точки сброса пульпы обуславливает осадконакопление с образованием специфических форм частиц (техногенных текстур грунта), которые в дальнейшем будут служить границей разделения циклов седиментации.

Происходит также изменение физико-химических свойств намывных грунтов, так как в процессе обогащения руды используются различные химически активные вещества, применение которых зависит от метода обогащения, т.е. в зависимости от конечного вида продукта – диоксида урана,

или урана металлического, или тетрафторида урана – выбирается и технологическая схема переработки урановых руд. Наличие химических связей между частицами грунта влечет за собой образование новых техногенных минералов, которые ещё мало изучены, как, например, на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – новообразованные гипергенные минералы урана хвостохранилища Табошары

Методически существенным представляется и тезис М.М. Филатова [94] о необходимости при исследовании свойств грунтов особое внимание уделять наиболее дисперсным компонентам гранулометрического состава.

Но для наиболее точного и долговременного прогнозирования состояния техногенных грунтов в хвостохранилище необходимо изучение влажностного режима объекта.

Массив техногенных грунтов характеризуется практически отсутствием каких-либо структурных связей. Возраст техногенных грунтов в геологическом

масштабе времени практически равен нулю, так как происходит постоянное накопление грунта и формирование нового поверхностного слоя в течении всего жизненного цикла хвостохранилища.

Техногенные грунты сильнопросадочные и его относительная деформация просадочности $>0,01$. В засушливый период в результате испарения объем техногенного грунта может уменьшаться более чем в 2 раза.

По коэффициенту пористости грунты подразделяются на пески пылеватые рыхлые, если коэффициент пористости $>0,8$ (ГОСТ 25100-2020 табл. 2.22) [23]. По проведенным исследованиям в 2012 году на хвостохранилищах ПАО «ППГХО» коэффициент пористости техногенных грунтов варьировал от 1,2 до 1,29. Это указывает на то, что содержание пор превышало объем, занятый твердыми частицами. Следовательно, существует необходимость ввести понятие «грунт с высокой пористостью», т.к. техногенные грунты не уплотненные, не слежавшиеся, и при инфильтрации атмосферных осадков существует большая вероятность накопления воды в порах – образование линз – что в дальнейшем может привести к катастрофическим последствиям, а именно, к прорыву плотины.

Техногенные грунты являются недоуплотненными, имеющие неоднородный состав и слоистость. ГОСТ 25100-2020 (таб. 2.23) [23] не дает нам определения недоуплотненного грунта – существует только три степени плотности песка: слабоуплотненные, среднеуплотненные и сильноуплотненные.

Частицы грунта хвостохранилища находятся в состоянии предельного равновесия. Угол внутреннего трения связан с коэффициентом трения и зависит от фракций, степени их увлажнения, гранулометрического состава и формы, а также от удельного веса материала. Угол внутреннего трения естественной супеси равен от 24 до 30 градусов, а у техногенной супеси – от 20 до 23 градусов. У песков пылеватых естественного сложения – от 26 до 36 градусов, у техногенного песка – от 21 до 24 градусов.

Техногенные грунты, слагающие чашу хвостохранилища, имеют небольшое удельное сцепление и обладают тиксотропными свойствами.

Коэффициент фильтрации у супеси естественного сложения 0,1-0,7 м/сут, у суглинка естественного происхождения коэффициент фильтрации 0,005 – 0,4 м/сут. У техногенной супеси и суглинка по данным инженерно-геологическим исследованиям коэффициент фильтрации 0,07-0,18 м/сут. Эти показатели зависят также от технологии переработки урановых руд.

Модуль деформации (СП 11-105-97 часть 3, табл. Ж1) [91] в техногенных грунтах хвостохранилищ изменяется в диапазоне 5-10 МПа (для пылеватой разновидности) до 10-15 МПа (для мелких фракций). Также он изменяется в зависимости от того, какой грунт – свежесформованный или грунт, который прошел процесс самоуплотнения.

По результатам, проведенных изыскания на хвостохранилище «Верхнее», модуль деформации для песка пылеватого варьируется от 3,3 до 3,5 (при нормативном 3,8 МПа, по данным статического зондирования – 9,00 МПа); модуль деформации для супеси – 3,1-3,3 МПа (при нормативном 3,6 МПа, по данным зондирования 7,00 МПа); для суглинка модуль деформации по данным статического зондирования 7,0 МПа. Это говорит о том, что грунт слабый, неуплотненный, неслежавшийся.

Следует также отметить, что кровля прослоев многолетнемерзлых грунтов, погребённых в техногенных отложениях, может служить поверхностью скольжения, а это создаёт опасность выпирания. Погребённая мерзлота - высокотемпературная, склонна быстро деградировать, что может сильно увеличить сжимаемость слоя грунтов. Мерзлота в хвостохранилище «Верхнее» носит островной характер. Грунты, заполняющие чашу этого хвостохранилища, следует относить к сильнопучинистым.

Эксплуатация и дальнейшая рекультивация хвостохранилищ должна выполняться с учетом местных климатических условий, с учетом всех рекомендаций, основанием которых служат полученные в ходе инженерно-экологических изысканий результаты исследований всех характеристик техногенных грунтов, заполняющих чашу хвостохранилищ.

В каждом отдельном случае необходимо рассматривать условия создания объекта, изучать технологию переработки руд, химические процессы и знать, какие изменения происходили на площадке хвостохранилища в течение долгого периода времени.

1.1 Технологии переработки урановых руд

Урановые руды отличаются от других полезных ископаемых и вмещающих пород тем, что имеют явно выраженную радиоактивность [46]. Основной задачей технологии переработки урановых руд является получение урана в форме, пригодной для его использования на тех или иных предприятиях. Такими формами могут быть – диоксид урана, уран металлический, тетрафторид урана. В зависимости от конечного вида продукта выбирается своя технологическая схема переработки урановых руд, свойственная конкретному предприятию (рисунок 1.5) [46].

Способ переработку урановых руд определяется исключительно составом и свойством исходного сырья.

Основными технологическими характеристиками урановых руд являются:

- химический состав вмещающей породы;
- крупность зерен урановых минералов;
- контрастность руд – степень неравномерности содержания урана в кусковой фракции горной массы;
- минерало-петрографические и структурно-текстурные особенности, также морфология и мощность рудного тела.

Урановую руду добывают открытым или шахтным способом. С рудников на дальнейшую переработку руда поступает на ГМЗ. Минералы урана в руде практически экранированы минералами пустой породы. Поэтому первой стадией переработки урановых руд является их дробление и измельчение до размера 1,00м.

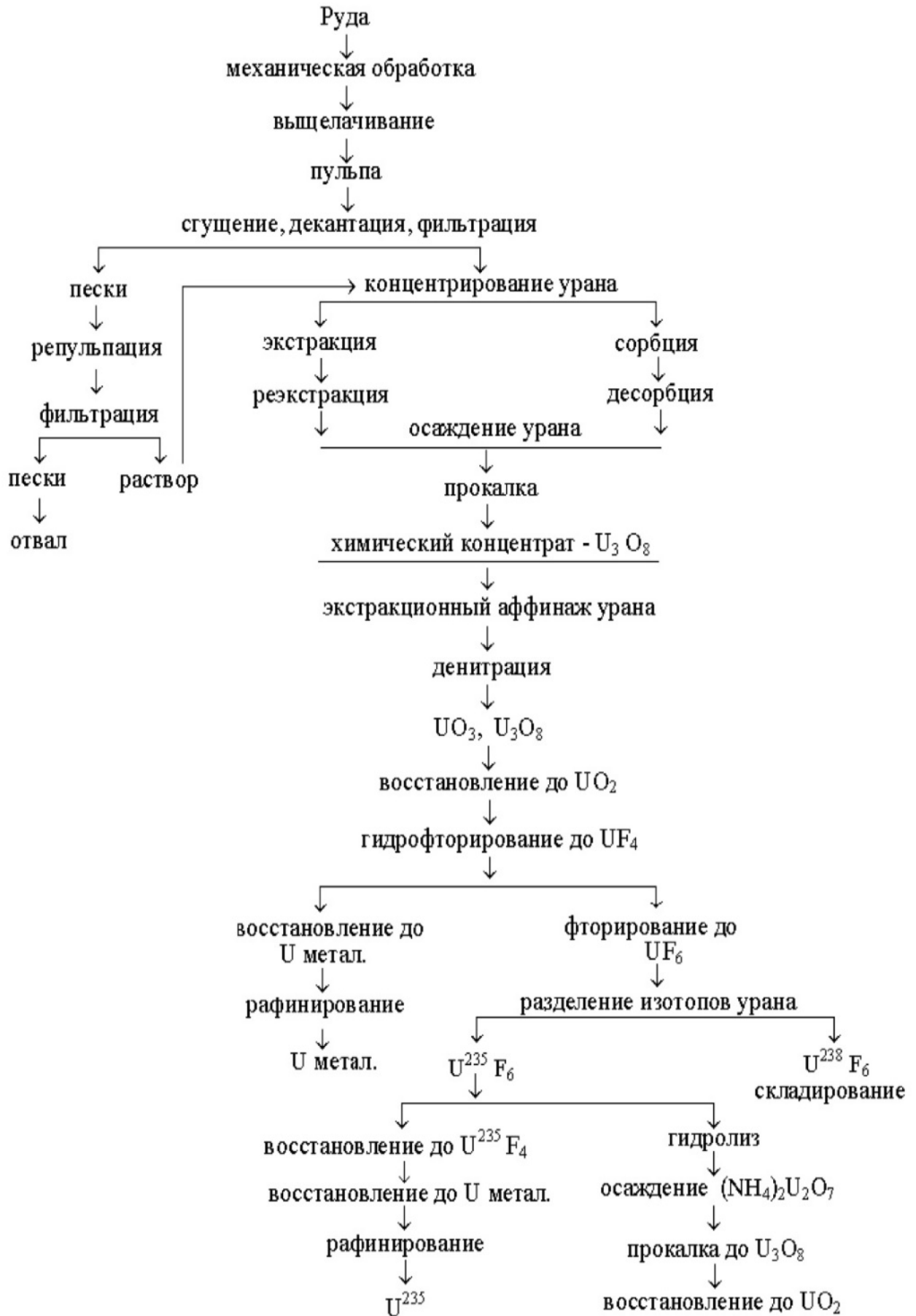


Рисунок 1.5 – общая схема переработки ураносодержащих руд

В зависимости от специфики последующей переработки, руда дробится и измельчается до определенных размеров частиц:

- для радиометрического обогащения – до 25-300 мм;
- для гравитационного обогащения – до 1-10 мм,
- для обжига – до 0,30 – 3 мм;
- для флотационного выщелачивания – до 0,07 – 0,13 мм;
- для выщелачивания – до 0,07- 0,60 мм.

На ГМЗ принято стадийное дробление и измельчение, чаще всего оно подразделяется на три стадии: крупное и среднее дробление и тонкое измельчение [87]. Процессу гидрометаллургической переработки урановых руд предшествует их радиометрическое обогащение. Основными операциями гидрометаллургической переработки руд являются процессы их разложения и извлечения из них урана.

1.2 Выщелачивание

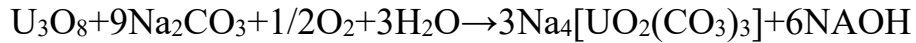
Основная цель выщелачивания урана – это селективное растворение урановых минералов. Эффективность данного процесса определяется степенью извлечения урана в раствор. Из силикатной руды уран выщелачивают кислотами, из карбонатных – содовыми растворами, сульфидные руды необходимо предварительно подвергнуть обжигу, железо-окисные руды – переплавке, а затем уран выщелачивают из шлака [70].

В основном методы химической переработки сводятся к разложению их кислотными и карбонатными растворами. Выбор реагента, в свою очередь, зависит от: типа залежи, природы урановых минералов; состава пустой породы; стоимости реагента для выщелачивания.

Карбонатное выщелачивание

Карбонатные растворы практически не взаимодействуют с минералами

пустой породы, поэтому для максимального извлечения урана первоначально требуется механическое вскрытие урановых минералов.

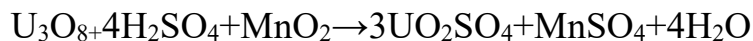


Нежелательными примесями при карбонатном выщелачивании являются сульфаты кальция и магния, так как они реагируют с содой, что резко увеличивает ее расход.

Кислотное выщелачивание

Основная масса урана из добываемых руд на рассматриваемых объектах выщелачивается серной кислотой. Основным недостатком применения серной кислоты при вскрытии урановых руд является необходимость добавления окислителя – HNO_3 , MnO_2 , KClO_3 и др. [70].

Кислотное выщелачивание – это гетерогенный процесс, протекающий с участием твердого минерала и жидкого химического реагента. Скорость процесса выщелачивания определяется скоростью химической реакции взаимодействия реагента с минералом, либо скоростью диффузионного массопереноса выщелачивания к поверхности взаимодействия и удаления продуктов реакции с поверхности. Скорость химической реакции в большинстве случаев превышает скорость диффузионных процессов. Поэтому скорость выщелачивания может быть описана уравнением диффузии [70]:



Указанные процессы разложения уранового сырья исключают разделение ^{234}U и ^{238}U и обеспечивают переход в растворы урана в равновесных соотношениях между указанными изотопами. С другой стороны, выщелачивание урана из урановых руд даже слабокислыми растворами не дает избытка ^{234}U в выщелатах, поскольку большое содержание ^{238}U в рудах нивелирует процесс разделения ^{234}U и ^{238}U .

1.3 Выделение урана из пульпы и растворов после выщелачивания

Сорбционный метод

После процесса выщелачивания следует процесс сорбции – процесс поглощения растворенных веществ твердыми материалами – сорбентами, которые контактирует с продуктивным раствором, содержащим уран.

Радиоактивность отходов (хвостов) переработки обусловлена природными радионуклидами урановой (^{238}U) и ториевой (^{232}Th) цепочек радиоактивного распада [70].

Характеристика радионуклидов, присутствующих в процессах переработки урановых руд, приведена в таблице 3[41].

Таблица 3 - характеристика радионуклидов, присутствующих в процессе переработки урановых руд

Радионуклид	Период полураспада	Поведение в процессе переработки руды
^{238}U	$4,5 \cdot 10^9$ лет	≈95% извлекается из руды и переходит в урановый концентрат
^{234}Th	24,1 дня	Следует за материнским радионуклидом: излишнее количество быстро распадается до установления равновесия с оставшимся ^{238}U
^{234}Pa		Аналогично ^{234}Th
^{234}U	$2,48 \cdot 10^5$ лет	Аналогично ^{238}U
^{230}Th	$8,0 \cdot 10^4$ лет	В присутствии макроколичеств тория ≈95% растворяется при кислотном выщелачивании, осаждается из рафинатов и поступает в отходы
^{226}Ra	1620 лет	Следует за материнским радионуклидом при карбонатном выщелачивании урана, а при кислотном в раствор переходит не более 5% радия
^{222}Rn	3,8 дня	Частично уходит в атмосферу при переработке руды, но быстро усваивается
$^{218}\text{Po}(\text{RaA})$	183с	Аналогично ^{222}Rn
$^{214}\text{Pb}(\text{RaB})$	1,608с	Аналогично ^{218}Po
$^{214}\text{Bi}(\text{RaC})$	1,182с	Аналогично ^{214}Pb

Радионуклид	Период полураспада	Поведение в процессе переработки руды
^{214}Po	$1,6 \cdot 10^{-4}\text{с}$	Аналогично ^{214}Bi
^{210}Pb	21 год	Следует за материнским радионуклидом
^{210}Bi	5 дней	Следует за материнским радионуклидом
^{210}Po	138,4 дня	Следует за материнским радионуклидом
^{206}Pb	Стабилен	Следует за материнским радионуклидом

На рисунке 1.6 изображена блок-схема распределения радионуклидов по основным операциям гидрометаллургической переработки урановой руды.

Из блок-схемы видно, что основная часть радионуклидов радия (Ra) и тория (Th) остается в отходах (хвостах), которые и складываются в хвостохранилище.

В процессе переработки руд извлекаются практически только уран. Радий и другие продукты распада урана попадают в отходы. При заполнении отдельных карт хвостохранилища наибольшее количество урана отлагается в их центре на дне, наименьшее – в боковых частях и дамбе. Радиоактивные элементы в твердых отходах находятся в виде нерастворимых соединений. Все жидкие отходы производства в виде пульпы направляются также на хвостохранилище.

Оценивая хвостохранилище переработки урановых руд, как компонент геосреды, стоит отметить, что процесс складирования таких отходов обогащения является, пожалуй, самым выразительным примером конфликтной ситуации в системе «человек-геосреда».

Только на основе изучения техногенных грунтов хвостохранилищ в инженерно-геологическом аспекте можно разработать эффективные методы по рекультивации хвостохранилищ уранового наследия с целью предотвращения экологических катастроф. А долгосрочная программа мониторинга и эпидемиологического надзора должна учитывать: воздействие эрозии; функционирование дренажных и фильтрационных коллекторов; изменение качества фильтрационных вод; изменение фильтрационных потоков и сбросов из дрен; работу водоочистительных установок; проверку водоочистных соору-

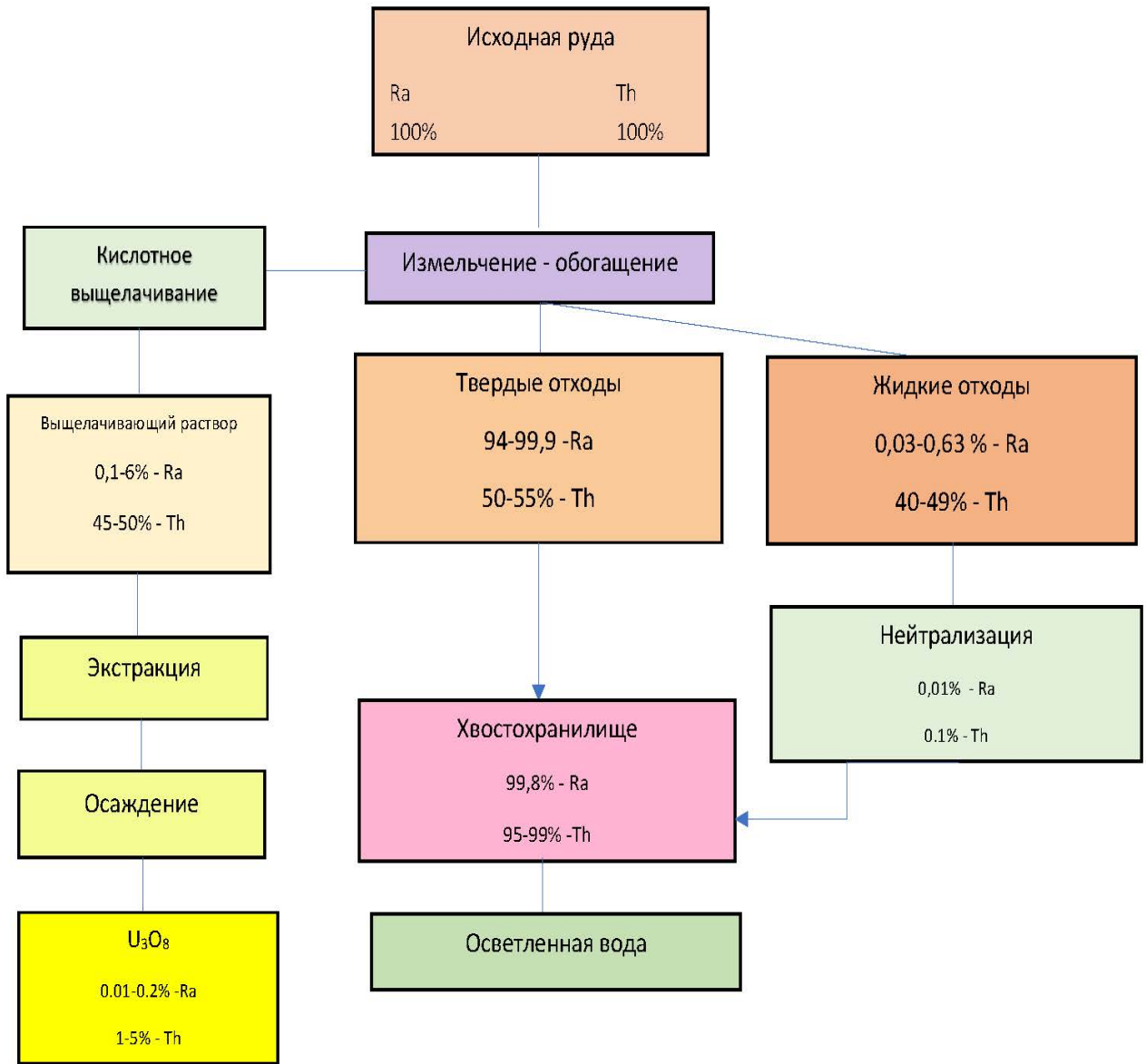


Рисунок 1.6 – блок-схема распределения радионуклидов по основным операциям гидрометаллургической переработки урановой руды

жений; мониторинг состояния окружающей среды. состояние инженерных сооружений (каналов, насыпей, дрен, растительного покрова и состоянием установок).

ГЛАВА 2. РАСПОЛОЖЕНИЕ НА КАРТЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ АРИДНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ И ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

В 1977 году ЮНЕСКО представило карту распределения степени аридности территорий, в аридную зону выделяются четыре биоклиматических зоны (рисунок 2.1).

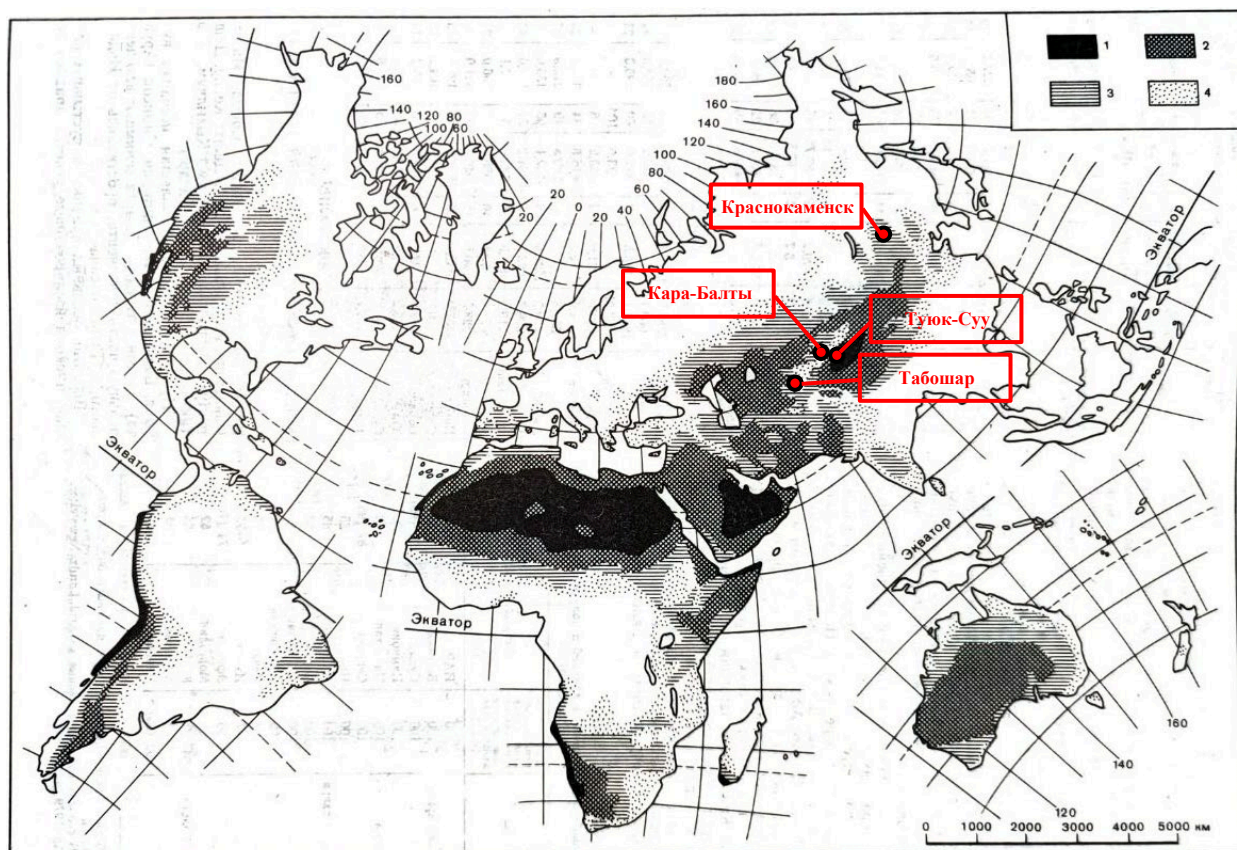


Рисунок 2.1 – карта распределения степени аридности территорий объектов исследования. 1 – экстрааридные районы; 2 – аридные районы; 3 – семиаридные; 4 – субаридные.

1. Экстрааридная зона. Годовая норма осадков – менее 100 мм;

2. Аридная зона. Годовая сумма осадков – 100-200 мм.

Индекс аридности – $<0,03$.

3. Семиаридная зона. Годовая сумма осадков – 200-400 мм.

Индекс аридности – 0,2-0,5.

4. Зона недостаточного увлажнения. Годовая сумма осадков – 400-800 мм.

Индекс аридности – 0,5-0,75.

По данной классификации исследуемые объекты, а именно предприятие ПАО «ППГХО» (г. Краснокаменск, Забайкальский край), объекты на территории республики Киргизия («Каджи-Сай», «Мин-Куш», «Кара-Балты») и республики Таджикистан («Табашар») относятся к семиаридной и аридной зоне.

Основное отличие аридной зоны от зон континентального и резкоконтинентального климата, применительно к хвостохранилищам, – особый влажностный режим в толще хвостовых отложений, а именно – в теле хвостохранилища возможно формирование линз воды. Согласно проведенным исследованиям механизм этого процесса в какой-то степени соответствует режимам питания грунтовых вод пустыни через зону аэрации. Анализ данного механизма показывает, что за очень длительный период в теле хвостов возникает образование водонасыщенной зоны, отрезанной от поверхности слоем мульчи, препятствующим испарительным процессам. [1].

Рассмотрим геологические характеристики хвостохранилищ «Верхнее», «Среднее» и золошлакоохранилища ПАО «ППГХО» (Рисунок 2.2).

Хвостохранилища «Верхнее» и «Среднее» находятся в Забайкальском крае, примерно в 10-12 км от г. Краснокаменск.

Климат района резко континентальный, с очень низкими (до -55°C) зимними и высокими (до $+40^{\circ}\text{C}$) летними температурами воздуха. Среднегодовая температура отрицательная. Наиболее холодным месяцем является январь, самым тёплым – июль. В течение всего лета существует вероятность ночного заморозка. Зима наступает в октябре, весна – в апреле.

По количеству осадков район исследований относится к степной зоне с недостаточным увлажнением. Среднегодовая норма осадков около 300мм.

В холодное время года устанавливается Сибирский антициклон, поэтому преобладает малооблачная погода со слабыми ветрами и малым количеством осадков. Высота снежного покрова колеблется от 3 до 46 см, в среднем – до 19 см. Число дней со снежным покровом – 137. Направление ветров в этот период преобладает западное, северо-западное и северо-восточное; число штилей от 20%.

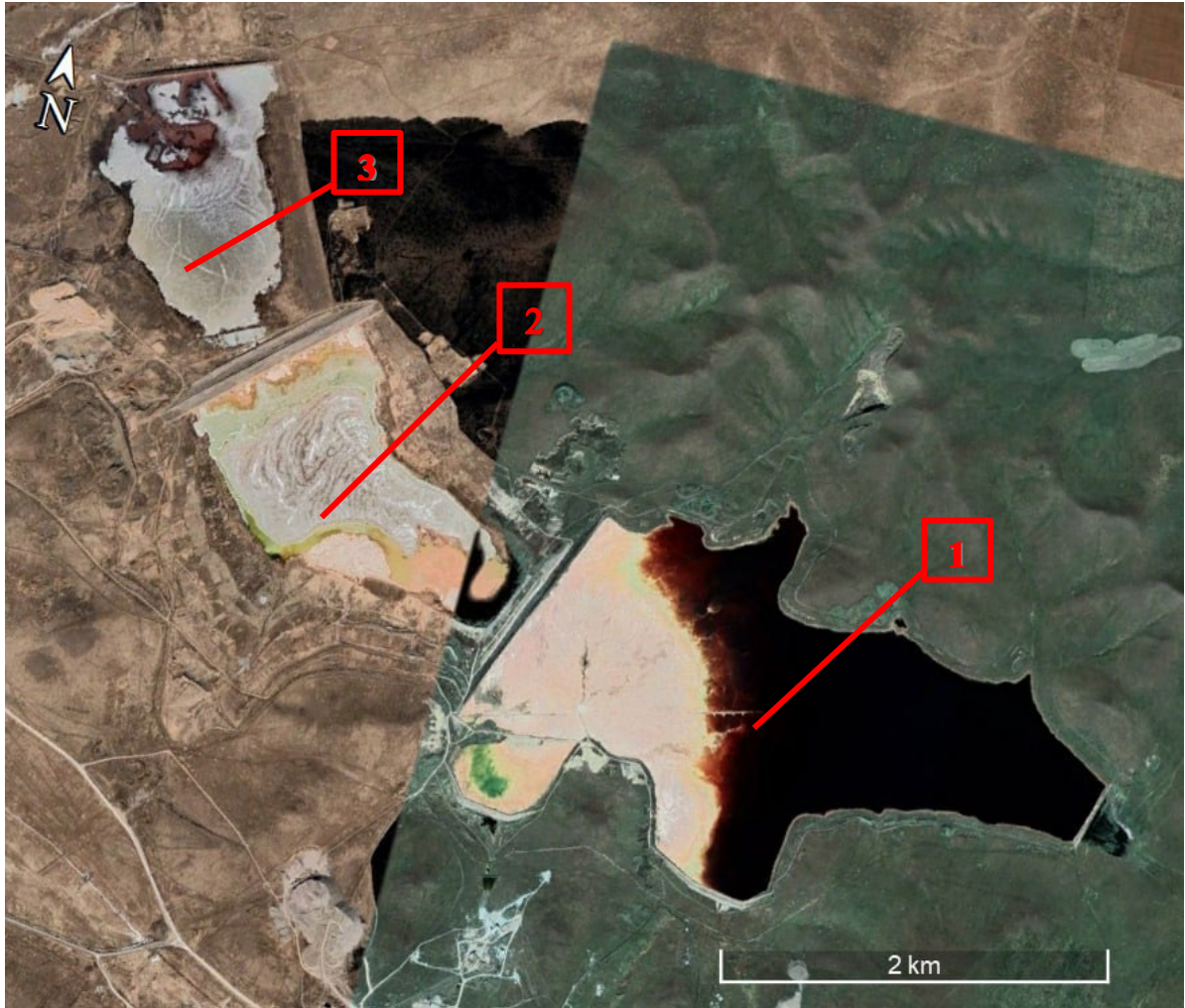


Рисунок 2.2 – космоснимок хвостохранилища «Верхнее» – 1, «Среднее» – 2 и 3- огаркоохранилище объекты ПАО «ППГХО»

В тёплое время за счёт оживления циклонической деятельности выпадает более 90% от годовой суммы осадков. Преобладают ветры северо-западных и северо-восточных румбов. Весной и летом наиболее часто наблюдаются сильные ветры.

Среднее количество сильных ветров в году – 106 дней.

Нормативная глубина промерзания 4м.

В геологическом плане природные основания хвостохранилища сложены палеозойскими магматическими породами, представленными гранитами и диоритами; верхнеюрскими эффузивными породами, представленными

фельзитами; мезо-кайнозойскими элювиальными образованиями, представленные выветрелой частью горных пород, а так же глинистыми разностями, элювий диорита может так же быть представлен песком; четвертичными делювиальными и делювиально-пролювиальными обложениями, представлены суглинками, глинами, местами супесью, гравийным и галечниковым грунтом, на бортах пади возможно встретить дресвяные и щебенистые грунты, техногенными образованиями.

Площадка хвостохранилища «Верхнее» расположена в средней части пади Широндукуй, имеющей на данном участке западное, а, в общем, северо-западное простирание и впадающей в падь Сухой Урулюнгуй. Падь имеет корытообразную форму, в пределах существующего хвостохранилища заполненного до отметок 703,0-704,0 м. Борта пади переходят в куполообразные сопки с абсолютными отметками, колеблющимися в пределах 740-800 м. К северу и к югу высота сопок увеличивается.

Техногенные грунты, накопленные в хвостохранилище, представлены песком пылеватым, супесью и суглинком. Причем эти три разновидности грунтов в пределах 50-метровой полосы вдоль дамбы часто образуют сложные переслаивания в разрезе и фациальные переходы в горизонтальной плоскости. Следует отметить, что в техногенных отложениях образуется погребённая многолетняя мерзлота. Причины появления этой мерзлоты связаны с эксплуатацией хвостохранилища в зимнее время, когда происходит постоянное намораживание слоя осадков. Образовавшийся слой мерзлоты не успевает протаять за летний период, особенно если год был холодным, тем более, что район характеризуется отрицательной среднегодовой температурой.

Площадка проектируемого расширения «Среднего» хвостохранилища расположена в средней части пади, от верховьев пади отделена плотиной существующего «Верхнего» хвостохранилища. Борта, примыкающие к зеркалу хвостохранилища, симметричны, средней крутизны, поверхность задернована.

Большая часть территории занята хвостохранилищем, заполненным техногенными отложениями. Техногенные отложения местами представлены

жидкой средой – технологическим раствором, разбавленным атмосферными осадками. В связи с этим образуется зеркало воды практически по всей территории хвостохранилища.

Золошлакохранилище ТЭЦ ПАО «ППГХО»

Площадка золошлакохранилища ТЭЦ расположена в средней части пади Безымянной, приуроченной к северным строгам Аргского хребта. Падь, длиною 5,2 км, плавно сливается с долиной пади Сухой Урулюнгуй (Рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – космоснимок расположения золошлакоотвала ТЭЦ (ПАО «ППГХО»)

Искусственные грунты пруда-накопителя, представленные шлаком и золой, характеризуются высокой степенью неоднородности гранулометрического состава и свойств, причем, зола имеет более низкие

значения физико-механических характеристик, проявляя при этом тиксотропные свойства и склонность к значительной потере прочности и деформационных характеристик при динамическом воздействии.

В ходе инженерно-геологических исследований выявлено, что зола по гранулометрическому составу представляется как песок мелкий и пылеватый с содержанием пылевато-глинистой фракции от 51 до 82%, насыщенной водой; по плотности сложения – рыхлая.

Шлаки по гранулометрическому составу классифицируются как пески гравелистые, крупные и средней крупности.

Чашу и нижний бьеф золошлакоотвала слагают делювиальные светло-коричневые полутвердые, туго-мягкопластичные суглинки, реже текучепластичной консистенции, участками опесчаненные, с линзами песка мелкого, глины полутвердой, с гравием до 10%, местами суглинок гравелистый с единичным щебнем.

В геологическом строении района принимают участие палеозойские магматические породы, мезо-кайнозойские элювиальные образования, перекрытые четвертичными делювиальными и делювиально-пролювиальными отложениями.

Палеозойские образования представлены гранитами среднезернистыми, окварцованными, слаботрещиноватыми, средней прочности.

Верхняя, наиболее выветрелая часть массива представлена мезо-кайнозойскими элювиальными образованиями, которые развиты на большей территории. Это преимущественно элювиальные глинистые грунты, реже элювий представлен крупнообломочными (дресвяный, реже щебенистый) грунтами.

Четвертичные отложения представлены делювиальными суглинками и делювиально-пролювиальными суглинками, глинами, крупнообломочным гравийным грунтом и песком. В глинистых и крупнообломочных грунтах встречаются прослойки песков различной крупности, мощностью от нескольких сантиметров до полуметра.

Хвостохранилища «Каджи-Сай» и «Мин-Куш» – Республика Киргизия.

Согласно имеющимся данным в Республике Киргизия насчитывается 72 объекта складирования радиоактивных отходов (хвостохранилищ и горных отвалов). Общий объем твердых радиоактивных отходов превышает 130 млн. м³, а занимаемая ими площадь составляет 650 гектаров (Га). Наибольшую опасность представляют 35 радиоактивных хвостохранилищ с общим объемом в 48,3 млн. м³, включая 29 м³ хвостохранилищ с отходами уранового производства общим объемом до 41 млн. хвостового материала. Дополнительно 35 объектов (отвалы пустой породы) с низким содержанием урановой руды общим объемом 83 млн. м³ также находятся на территории республики [108].

В прошлом неоднократно имели место аварии на хвостохранилищах в Майлуу-Суу, Мин-Куше, Ак-Тюзе с катастрофическими последствиями в виде радиоактивного загрязнения трансграничных территорий республик Киргизии, Казахстана и Узбекистана.

Рост трансграничного радиоактивного загрязнения по-прежнему наблюдается в большинстве мест на территории Кыргызстана и Таджикистана, где осуществлялась добыча и переработка радиоактивных руд. Наиболее критическая ситуация, связана с потенциальным риском трансграничного перемещения радиоактивных материалов из некоторых хвостохранилищ Майлуу-Суу в Ферганскую долину, что может представлять серьезную опасность для других стран Центральной Азии (Рисунок 2.4).

Хвостохранилище «Каджи-Сай»

Киргизия – горная страна, большую часть которой занимает одна из высочайших горных систем мира – Тянь-Шань. Более 75% территории страны расположено на высотах свыше 1500м над уровнем моря [108].

Средняя высота территории 2750 м. Наивысшая вершина пик Победы достигает 7439 м, минимальная высота -349 м.



Рисунок 2.4 – схема площади возможного загрязнения при разрушении хвостохранилищ

Гидрографическая сеть сложна и разнообразна: она включает в себя многочисленные реки, стекающие с горных хребтов в долины, большое количество озер, мощные высокогорные ледники-аккумуляторы влаги и источники питания рек. Реки страны относятся к трем основным бессточным бассейнам: Аральского моря (Нарын-Сырдарья), озера Иссык-Куль и к бассейну р. Тарим (Сарыджаз). Площади между этими бассейнами распределяется соответственно: 76,5; 10,8; и 12,4 %. И только 0,3 % площади на востоке Киргизии относятся к бассейну озера Балхаш.

На территории республики проявляются более 20 опасных природных процессов и явлений: землетрясения; обвалы и оползни; сели и паводки; подтопление территорий; снежные и фирно-ледовые лавины; пульсации и подвижки ледников; ливни и град; заморозки; засуха; лесные пожары;

шквальные ветра; солифлюкция и термокарст; нашествия саранчевых; природные очаги чумы и т.д.

Пространственное распространение, повторяемость, ущерб от перечисленных опасных явлений меняются из года в год. Однако, следует отметить, что в многолетнем плане наиболее опасными для объектов экономики инфраструктуры и населения являются землетрясения, сели и паводки, оползни, снежные лавины, весенние заморозки и снегопады, лесные и травяные пожары, ураганные и шквальные ветра. Опасные природные процессы за исключением землетрясений носят сезонный характер. В зимне-весенний период преобладают лавины; весной начинаются сели, паводки и активизируются оползни; в августе-сентябре господствуют лесные пожары.

Большая часть природных катаклизмов по своему генезису являются гидрометеорологическими и зависят от variability погодных и климатических условий.

Климат резко континентальный с холодной зимой и жарким летом в зависимости от высоты над уровнем моря. Осадки, в основном, концентрируются осенью, зимой и весной, в то время, как лето, обычно, бывает сухим. Зимние температуры, особенно в горах и горных долинах довольно низкие и доходят до минус 20-30 °С. Среди зимы нередки оттепели. Средние температуры июля составляют от 16-24 °С в долинах, до 5-8 °С в высокогорье. Наибольшее ежегодное количество осадков выпадает на западном склоне Ферганского хребта – 1090 мм, наименьшее – в западной оконечности Иссык-Кульской впадины – 140 мм. Обычно среднее количество осадков колеблется в пределах от 300 мм до 600 мм.

Район исследований находится на северном склоне хребта Терской Алатау.

В геологическом строении площадки хвостохранилища принимают участие насыпные крупнообломочные грунты защитного противозерозионного слоя золоотвала, насыпные искусственные грунты (отходы производств), флювиогляциально-пролювиальные отложения среднечетвертичного возраста,

делювиально-пролювиальные отложения современного возраста и осадки верхнего подотдела олигоцен-миоцена.

Для нас наиболее интересны насыпные грунты и отходы производства, которые подразделяются на энергетические и технологические золы.

Энергетические золы распространены на поверхности золоотвала. Золы от светло-серого до темно-серого, от маловлажных до влажных и водонасыщенных. По гранулометрическому составу и пластичности они, в основном, относятся к пылеватым пескам, реже, в зависимости от вмещающих пород – к супесям и глинам.

Зола технологического угля отмечена в южной части площадки – на участке аварийного прорыва хвостов. Цвет технологических углей изменяется от серого до темно-серого, естественная влажность которого составляет 70%. Технологический уголь представлен глинами от текучепластичной до твердой консистенции.

Хвостохранилище «Мин-Куш»

Поселок Мин-Куш расположен на территории Джумгальского района, в долине одноименной реки, относящегося к бассейну Нарына – Сыр-Дарьи. Со столицей республики г. Бишкек (расстояние примерно 260 км) связан асфальтированной и грунтовой автомобильными дорогами. Причём, грунтовая автомобильная дорога на протяжении 110км имеет весьма неудовлетворительное техническое состояние. В периоды выпадения осадков ливневого характера и интенсивном снеготаянии отдельные участки грунтовой дороги перекрываются отложениями селей, плоскостного смыва и обвалов (Рисунок 2.5).

Хвостохранилища пос. Мин-Куш размещаются на четырех законсервированных картах: Туюк-Суу, Талды-Булак. Данные объекты активно использовались с 1955 по 1960 г. и в настоящее время содержат 1,9 млн. м³ урановых хвостов и занимают 19,65 га. Участок расположен в 11 км от пос. Мин-Куш. Отмечаются эрозионные процессы на участке Туюк-Суу, загрязнения

дренажных сооружений Туюк-Суу и Талды-Булак, что способствует поднятию уровня воды, потоки которой могут перемещать отходы в реку Туюк-Суу.

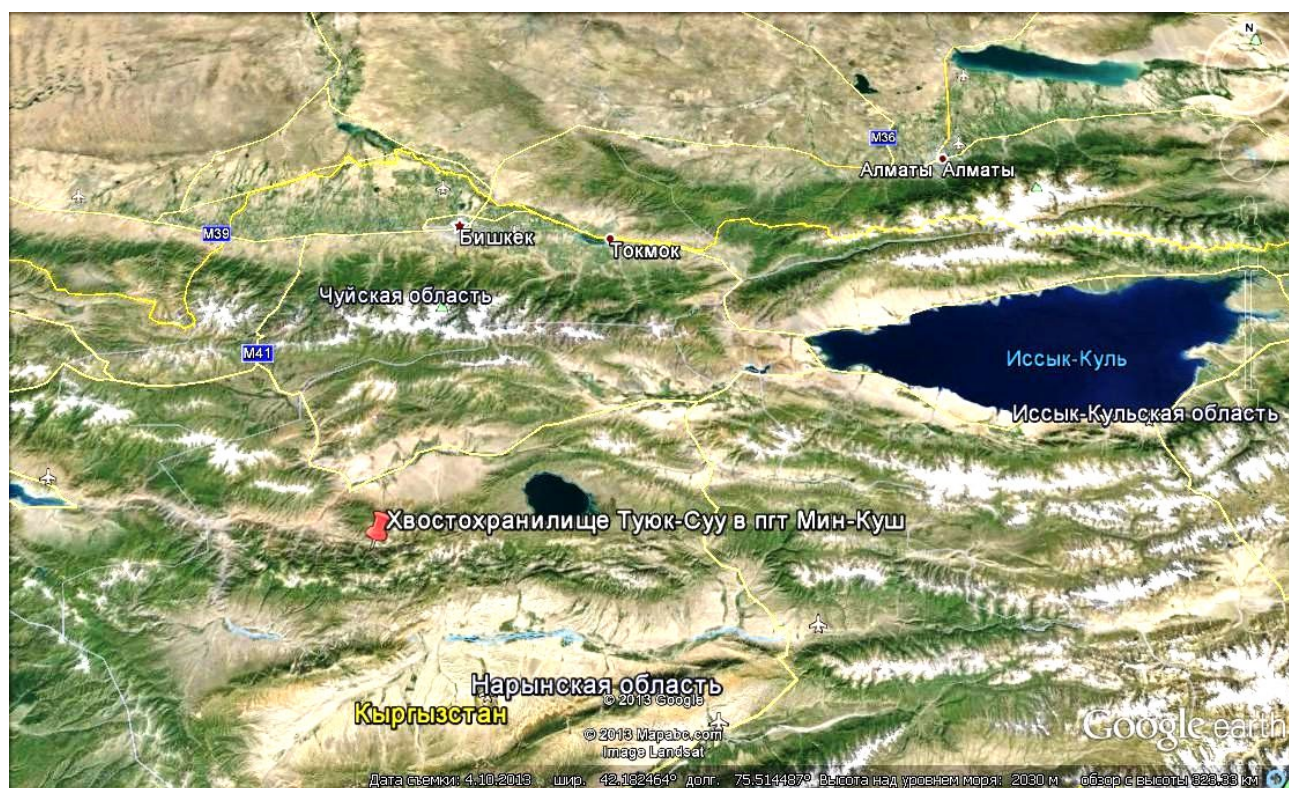


Рисунок 2.5 – карта расположения хвостохранилища Туюк-Суу и Мин-Куш

Поверхность хвостохранилищ разрушается, радиоактивность в этих местах отмечается до 1000 мкР/час.

Хвостохранилище Туюк-Суу намывного типа. Расположено в пойменной части долины реки Туюк-Суу (рисунок 2.6), ближе к левому берегу. Долина реки Туюк-Суу в месте расположения хвостохранилища имеет

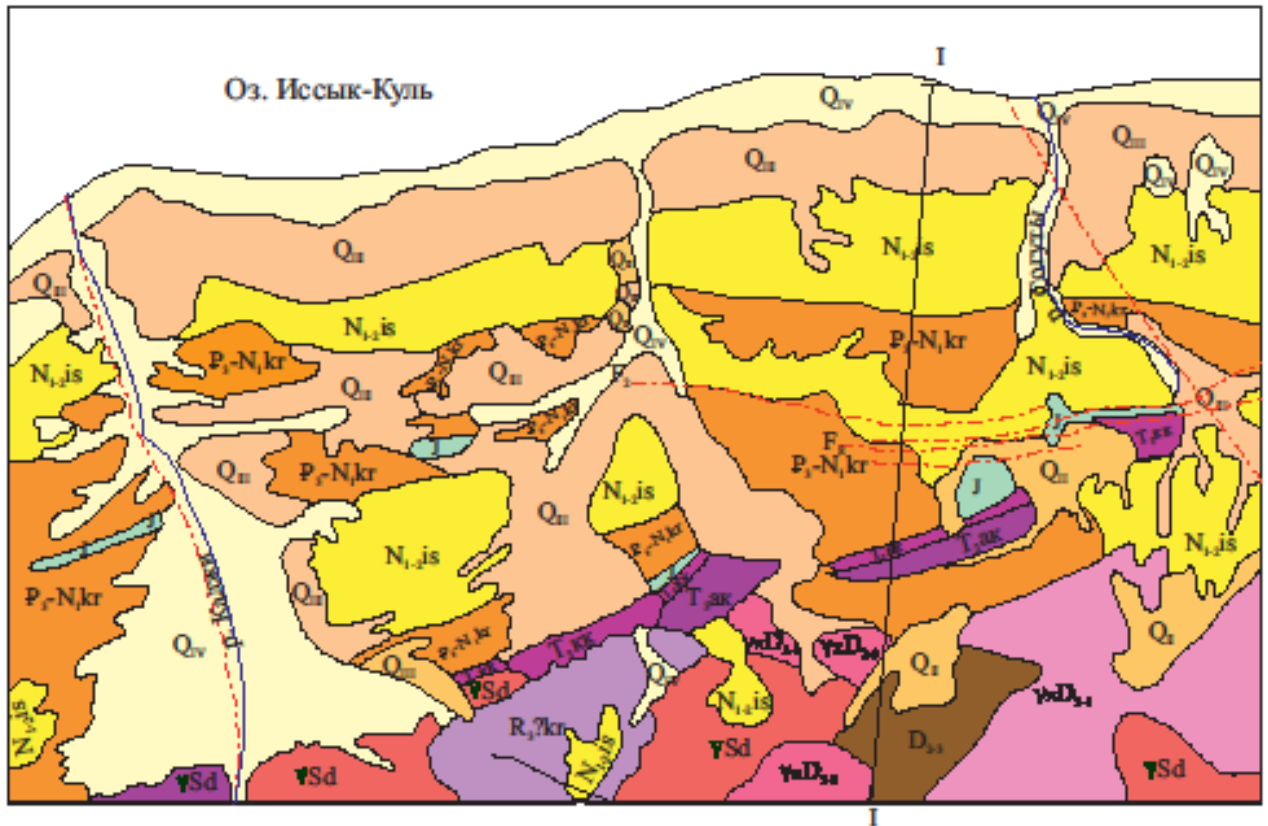
V-образную форму. Ширина её по поверхности хвостохранилища составляет 70-120м. Абсолютная отметка находится в пределах 2100м. Общий объем намывных хвостов – 450тыс. м³, занимаемая площадь – 3,2 га.

В состав сооружений хвостохранилища входят:

- нижняя и верхняя ограждающие дамбы;
- водоотводной канал по правому борту с входным сооружением,
- быстротокком и гасителем в нижнем бьефе;

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА

Масштаба 1: 50 000



Разрез по линии I-I

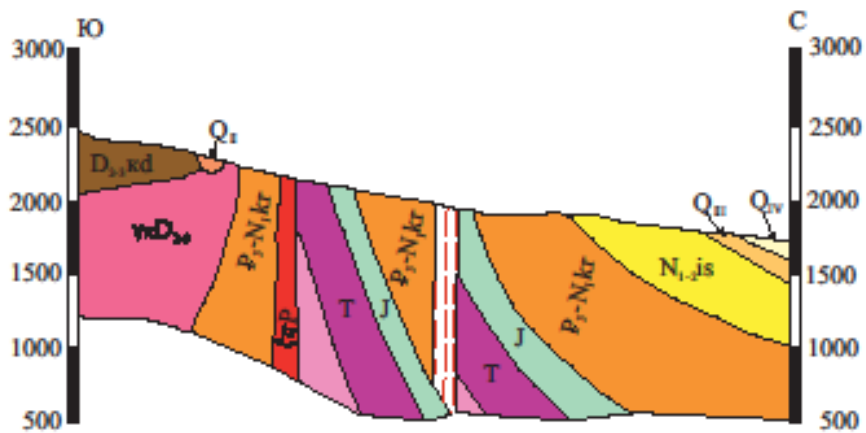


Рисунок 2.6 – геологическая карта района исследований

- нагорная канава, проложенная по левому борту;
- мостовые переходы через канал и нагорную канаву,
- покрытие хвостохранилища;
- закрытый трубчатый водосброс, состоящий из двух ниток с выходным оголовком в нижнем бьефе, проложенный под телом хвостохранилища;
- подъездная автодорога по левому борту долины.

К специфическим грунтам площадки хвостохранилища относятся намывные суглинки и супеси с показателем пластичности $I_p > 2,9-5,1$ и насыпные супесчаные грунты, слагающие тело дамб.

Намывные суглинки и супеси обладают высокими гидрофильными свойствами (способностью притягивать и удерживать воду), поэтому данные грунты интересны для исследования. Они высокопористые ($e = 0,819-1,211$), имеют высокую природную влажность (36,6-59,2 %), превышающую влажность на границе раскатывания. Характеризуются сильной сжимаемостью, медленным протеканием осадок во времени (коэффициент консолидации менее $0,1 \times 10^7$ см²/год), низкими прочностными характеристиками.

Насыпные супеси, содержащие дресву и щебень до 20 % залегают в нижних откосах верхней и пионерной дамб на локальных участках. Плотность в сухом состоянии (скелета) 1,52-1,57 т/м³. Максимальная плотность грунта при оптимальной влажности 13,9 % составила 1,82-1,88 т/м³. При коэффициенте уплотнения, равном 0,95 (95-ти % обеспеченности максимальной плотности) плотность грунта в сухом состоянии (скелета) составила 1,76 т/м³.

Насыпные супеси просадочные при водонасыщении от дополнительных нагрузок. Начальное просадочное давление составляет 0,7-1,3 кгс/см² (70-130 кПа). Тип грунтовых условий по просадочности – I (первый). Мощность просадочных супесей не превышает 2,5 м.

Результаты радиологического анализа проб подземных и поверхностных вод в районе хвостохранилища Туюк-Суу на момент проведения исследований (2008 г.) показывает:

1. Проба воды, отобранная из реки Мин-Куш, не превышает ПДУ
2. Проба из донного водопропуска не превышает ПДУ по величине суммарной бета активности и в 3 раза превышает ПДУ по величине суммарной альфа активности;
3. Проба подземной воды, отобранная из скважины № 9 на площадке хвостохранилища, в 5,8 раза превышает ПДУ по величине суммарной бета активности и в 180 раз превышает ПДУ по величине суммарной альфа активности.

В период выполнения инженерных изысканий из грунтовых и поверхностных вод в районе хвостохранилища было отобрано 8 проб воды на полный химический анализ и 4 пробы воды на стандартный химический анализ.

По результатам выполненных анализов поверхностные воды реки Туюк-Суу в 100 м. выше по течению от верхней дамбы (фоновые значения) имеют значения показателей ниже уровня ПДК для хозяйственно-бытового пользования, за исключением содержаний кадмия и стронция.

Грунтовые воды из водоносного горизонта аллювиально-пролювиальных отложений (выше верхней дамбы – фоновые данные) также имеют значения показателей ниже уровня ПДК, за исключением содержания стронция.

Поверхностные воды реки Туюк-Суу в 50 м. выше от слияния с рекой Мин-Куш имеют значения показателей ниже уровня ПДК, за исключением содержаний сульфатов и стронция.

Хвостохранилище «Кара-Балта»

Кара-Балтинский горнорудный комбинат (КГРК) перерабатывал урановую руду казахстанских месторождений. На территории комбината расположено действующее хвостохранилище общим объемом 34,5 млн. м³ и площадью 2576,5 тыс. м².

Район расположен в пределах западной части Чуйской впадины и ограничен с севера Большим Чуйским каналом (БЧК), с запада и востока – руслами рек Чонг-Кайынгды и Кара-Балта, на юге – границей сочленения четвертичных отложений с породами плиоценового возраста.

Климат района умеренно континентальный с высокими летними, умеренными зимними температурами и небольшим количеством атмосферных осадков (среднегодовое количество 380 мм). Наибольшее их количество выпадает в виде дождя и приходится на весну и осень, минимальное – на август и сентябрь. Атмосферные осадки и талые воды на площади предгорной части равнины и склона инфильтруются в рыхлообломочный материал, пополняя запасы подземных вод.

Максимальное значение относительной влажности (76-78 %) наблюдается зимой, минимальное (55-56 %) летом.

Минерализация поверхностных вод в районе изменяется в пределах 0,1-0,3 г/л. Химический состав этих вод – гидрокарбонатно-кальциевый.

Гидрографическая сеть на участке работ представлена реками Кара-Балта, Чонг-Кайынгды и целым рядом родниковых ручьев («карасу»). Питание рек происходит за счет подземных вод, выклинивающихся по глубоким эрозионным врезам горной части описываемого участка. Минимальные расходы рек наблюдаются, в основном, в зимнее время.

Территория Киргизии расположена в пределах Урало-Монгольского геосинклинального пояса. По особенностям геологического строения выделяют Северо-Тянь-Шаньскую область каледонской складчатости, Южно-Тянь-Шаньскую – герцинской складчатости и расположенную между ними Срединно-Тянь-Шаньскую – каледонско-герцинской складчатости.

Северо-Тянь-Шаньская область отличается широким развитием допалеозойских и нижнепалеозойских магматических и осадочно-вулканогенных образований. Архей-протерозойские кристаллические породы фундамента образуют крупные поднятые глыбы и имеют мощность до 5-14 км. В раннем палеозое (кембрий-ордовик) регион представлял собой

сложную геосинклинальную систему, включающую ряд прогибов и поднятий. Для каледонид Северного Тянь-Шаня характерны линейный (субширотное простирание) тип складчатости и многочисленные разрывные нарушения. Складчатые сооружения каледонид разделены глубинными разломами. Широко представлены интрузии каледонской эпохи - основные и ультраосновные (этап заложения прогибов), плагиогранит-гранодиорит-монцититовые (этап становления раннекаледонских поднятий) и гранитоидные (орогенного типа).

В Северном Тянь-Шане известны месторождения и многочисленные рудопроявления цветных и редких металлов. Большинство из них связывается с позднепалеозойским магматизмом, хотя известны проявления каледонской и более древней металлогении (медь, олово, молибден и др.).

Срединно-Тянь-Шаньская область сформирована на раннедокембрийском кристаллическом основании. С каледонидами Северного Тянь-Шаня она граничит по глубинным разломам «Главной структурной линии Николаева», а с герцинидами Южного Тянь-Шаня – по Ат-Башы-Иныльчекскому и Южно-Ферганскому глубинным надвигам. Каледонские тектонические движения в Среднем Тянь-Шане привели к общему поднятию региона и местами слабой складчатости. С орогеническими движениями в средне-позднем карбоне и перми связано внедрение интрузий монцитит-гранодиоритов, гранодиоритов и лейкогранитов, с вендскими тиллитовыми толщами – железной руды, с углеродисто-кремнистыми сланцами нижнего палеозоя – редкометалльная минерализация. В зонах дробления и окварцевания встречаются руды молибдена, вольфрама, олова и сурьмы.

Структуру Южно-Тянь-Шанской области формируют в основном осадочные и вулканогенные породы периода среднего и верхнего палеозоя. Общая картина для этой области характеризуется широко распространенными структурами, которые простираются субширотно и северо-восточно с резкими изгибами в восточной части Ферганской долины. В этой зоне интрузивные породы встречаются не часто. Наиболее ценными ископаемыми, обладающими

экономической и промышленной ценностью, являются руды сурьмы, ртути, олова и вольфрама. В области известны также месторождения свинца, висмута, мышьяка и многие другие полезные ископаемые.

Отложения мезозойского и кайнозойского периодов, включая эоцен, являются основным структурным слоем и складываются образованиями платформенного чехла. В эпоху олигоцена происходит начало эпиплатформенного орогенеза, при котором образуются современные горные хребты и межгорные впадины, такие как Ферганская, Нарынская, Иссык-Кульская. Кроме того, образуется Чуйский прогиб, где накапливаются обломочные континентальные отложения, такие как моласс. В этом слое находятся месторождения угля (юра), нефти и газа (мел-палеоген), гипса, каменной соли, глауберита (миоцен), строительных материалов и минеральных вод.

В геологическом строении изучаемой площади Кара-Балта принимают участия континентальные отложения четвертичного возраста, являющиеся отложениями конуса - выноса реки Кара-Балта и покровные суглинки незначительной мощности.

На площади занимаемой хвостохранилищем в разрезе зоны аэрации и водоносных пород преобладают чередующиеся между собой галечники от мелких до крупных с песчано-гравийным, реже песчано-суглинистым заполнителем. Мощность прослоев заполнителя изменяется от 2 до 37 м. Галечники имеют большую водопроницаемость (коэффициент фильтрации достигает 150 м/сутки). По всей площади участка, занимаемого хвостохранилищем, галечные отложения перекрываются маломощным (0,7-1,0 м) чехлом суглинков с коэффициентом фильтрации от 0,09 до 0,2 м/сут в радиусе 1 км от хвостохранилища.

В пределах исследуемого района развит один водоносный горизонт, приуроченный к пролювиально-аллювиальным отложениям. Глубина залегания грунтовых вод изменяется от 100 м на юге до 110 м на севере. Непосредственно

на участке глубина грунтовых вод равна 62-95 м (уменьшение глубины изменяется с юга на север).

Коэффициент фильтрации водоносных пород изменяется в широких пределах от 6 до 50 м/сут до 100 м/сут. Скорость движения подземного потока по данным резистивиметрии изменяется от 0.4 до 28 м/сут. Такое различие по скорости движения водоносного потока прослеживается не только по площади, но и по вертикальному разрезу, что объясняется неоднородностью заполнителя водовмещающих галечников.

Намытые грунты по отношению к естественным имеют свои специфические особенности, в нашем случае – илы и пылеватые пески, которые залегают в частом прослаивании, находящиеся на границе перехода из одной разновидности в другую.

Для данных грунтов характерны большие колебания значений влажности, пластичности, коэффициента пористости.

На данном объекте работ можно выделить три зоны:

- пляжевую (распространена с поверхности карт о бровки внешних откосов к центру карты); сложена зона песчаными грунтами (таблица 4).
- переходную (распространена от границы пляжевой зоны до границы иловой); для данной зоны характерны частые прослаивания песчаных грунтов и илов)
- иловую (распространена от границы с переходной зоной к центру карты); сложена иловая зона глинистыми грунтами-илами (таблица 5).

Таблица 4 - характеристики песчаных грунтов пляжевой зоны

Крупные песчаные пески	Средней крупности	Мелкие	пылеватые	Менее 0,05мм
0,9%	12,9%	36,1%	31,2%	18,9%

Таблица 5 - гранулометрический состав илов

Песчаных фракций	пылеватых	глинистых	Водорастворимых солей
32,6%	37,3%	9,8%	20,3%

Отмечаются несколько большие значения коэффициента фильтрации, особенно для илов, намывных в тело хвостохранилища. Это связано с тем, что для них характерно наличие трещин усыхания, а также частые переслаивания песчаных грунтов и илов.

Твердые отходы производства остаются в виде песков и илов и доставляются на хвостохранилище гидротранспортом. Илы отлагаются на дне хвостохранилища, а пески используются для сооружения тела дамбы.

Проведенные исследования показали различия техногенных грунтов от природных, что объясняется химическими связями частиц и дроблением частиц, отличным от природных песков.

ГЛАВА 3. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ, ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОЯ И ВЛАГОПЕРЕНОС НА ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ И ЗОЛОШЛАКООТВАЛАХ

3.1 Гранулометрический состав техногенных грунтов хвостохранилищ

Средневзвешенный диаметр частиц является одним из критериев, которые используются для характеристики размера намывого материала в хвостохранилищах. Этот параметр определяется путем фракционирования материала при его намыве, в результате чего происходит распределение частиц по средневзвешенному диаметру:

- в упорной призме – 0,33-0,05 мм,
- в переходной зоне – 0,1-0,02 мм,
- в центральной зоне – менее 0,02 мм.

Так, в соответствии с классификацией грунтов по гранулометрическому составу и средневзвешенным частицам, намывтый материал можно классифицировать следующим образом:

- глина, суглинок ($d_{cp} < 0,01$ мм),
- суглинок пылеватый (0,01-0,05 мм),
- супесь пылеватая (0,05-0,08 мм),
- супесь, песок пылеватый (0,08-0,15 мм),
- песок мелкий (0,15-3,33 мм).

Гранулометрический состав техногенных грунтов является важнейшим показателем, определяющим физические свойства, структуру и основные характеристики намывтых хвостов. К сожалению, в настоящее время нет общепринятой классификации техногенных грунтов, так как слишком различны объекты и цели исследований.

Гранулометрический состав можно представить дискретной или непрерывной зависимостью между содержанием частиц и их размерами.

Для того, чтобы определить дискретную зависимость, производится

подразделение интервала размеров частиц исследуемого вещества на несколько классов (фракций). Информация о гранулометрическом составе представляется как процентное содержание всех фракционных частиц.

Кривая гранулометрического состава дает возможность легко определить эффективный действующий диаметр и коэффициент неоднородности – параметры необходимые для вычисления коэффициента фильтрации по эмпирическим формулам Хазена и Сликтера [92].

В качестве примера проведем сравнительный гранулометрического состава отходов урановых производств в хвостохранилищах «Кара-Балта», «Туюк-Суу» и «Верхнее» с характеристиками барханных песков в зоне аэрации [95].

Для этого необходимо изучить климатические условия и питание грунтовыми водами данных объектов.

Пустыня, где находятся барханные пески, характеризуется малым количеством осадков, выпадающих преимущественно в холодную часть года в виде дождя, продолжительным сухим и жарким летом, а также большими величинами годовых и суточных амплитуд температур воздуха.

По гранулометрическому составу барханные пески можно разбить на следующие фракции < 0,005; 0,005-0,01; 0,01-0,05; 0,1-0,05; 0,1-0,25. При этом допускается, что частицы могут иметь форму шара.

Исходя из того, что барханные пески имеют в своем составе более 90% фракций размером 0,05-0,25 мм, они по классификационным параметрам сравнимы с песками мелкими.

Климат районов, где расположены исследуемые хвостохранилища, умеренно континентальный с высокими летними, умеренными зимними температурами и небольшим количеством атмосферных осадков (среднегодовое количество 380 мм). Наибольшее их количество выпадает в виде дождя и приходится на весну и осень, минимальное – на август и сентябрь. Атмосферные осадки и талые воды на площади предгорной части равнины и склона инфильтруются в рыхлообломочный материал, пополняя запасы подземных вод.

Максимальное значение относительной влажности (76-78 %) наблюдается зимой, минимальное (55-56 %) летом.

Сравнивая гранулометрический состав техногенных грунтов хвостохранилищ ПАО «ППГХО», исследуемых в разные годы, с гранулометрическим составом барханных песков, получаем кривые (рисунок 3.1).

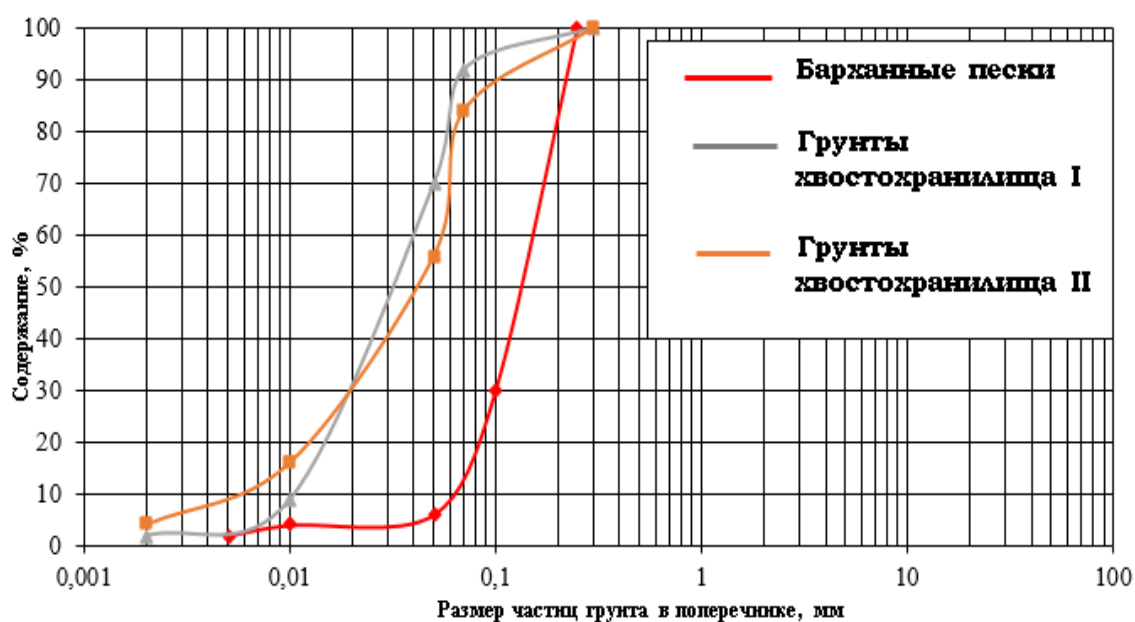


Рисунок 3.1 – кривые сравнения гранулометрического состава техногенных грунтов хвостохранилищ ПАО «ППГХО» и барханных песков в полулогарифмическом масштабе

Исследуя хвостохранилище «Кара-Балты» по программе ЕврАзЭс, были отобраны и проанализированы пробы песка из разных мест (карт). На рисунке 3.2 представлены кривые сравнения гранулометрического состава этих песков с гранулометрическим составом барханных песков.

На хвостохранилище «Туюк-Суу» также по программе ЕврАзЭс были проведены исследования техногенных грунтов. В результате построены кривые сравнения гранулометрического состава грунта хвостохранилища с гранулометрическим составом барханных песков (рисунок 3.3).

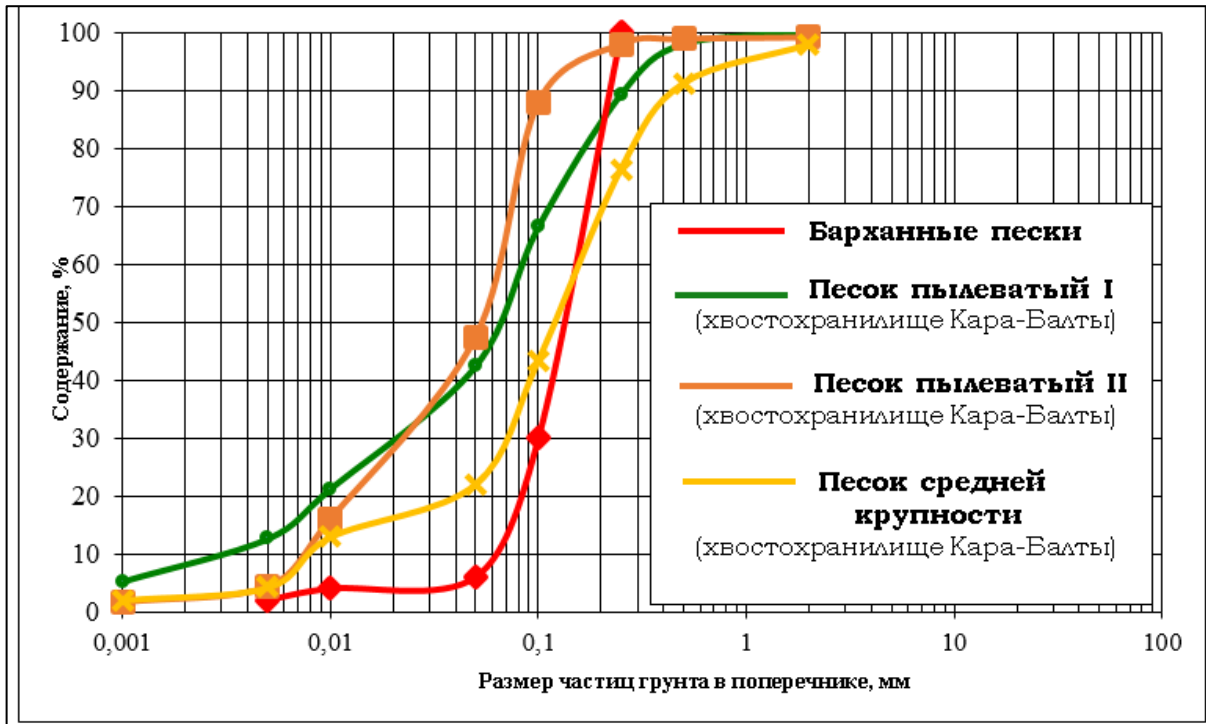


Рисунок 3.2 – кривые сравнения гранулометрического состава техногенных грунтов хвостохранилища «Кара-Балты» и барханных песков в полулогарифмическом масштабе

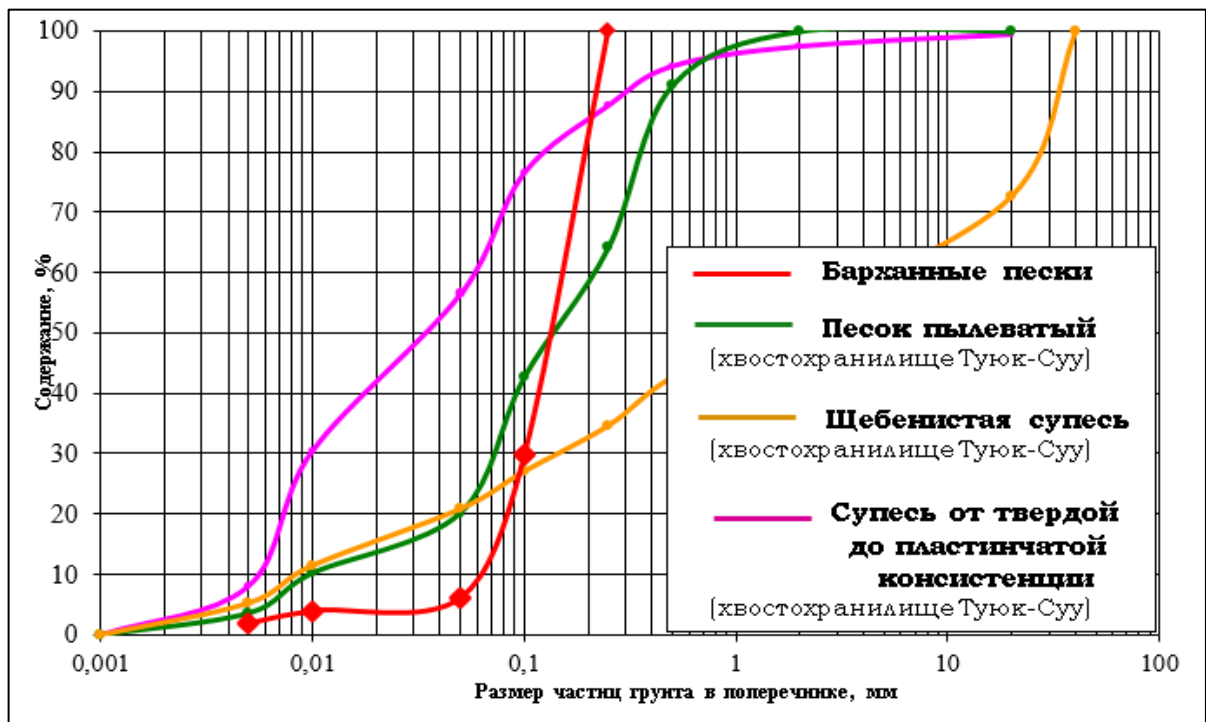


Рисунок 3.3 – кривые сравнения гранулометрического состава техногенных грунтов хвостохранилища «Туюк-Суу» и барханных песков в полулогарифмическом масштабе

На рисунок 3.4 приведены кривые сравнения гранулометрического состава техногенных грунтов исследуемых хвостохранилищ («Верхнее», «Кара-Балты» и «Туюк-Суу») с гранулометрическим составом барханных песков (по средним значениям) в полулогарифмическом масштабе.

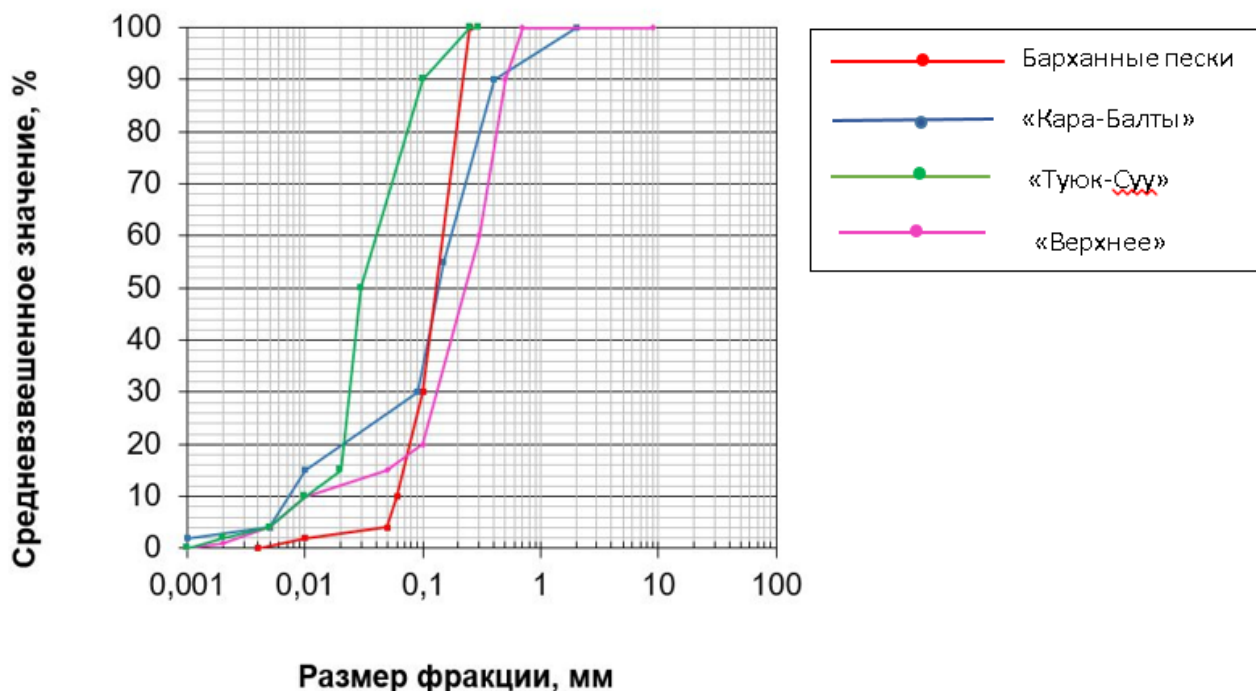


Рисунок 3.4 – кривые сравнения гранулометрического состава техногенных грунтов хвостохранилищ («Верхнее», «Кара-Балты» и «Туюк-Суу») и барханных песков в полулогарифмическом масштабе

Сравнивая приведенные кривые, можно сделать вывод, что природные пески пустыни (барханные пески) и техногенные грунты хвостохранилищ по гранулометрическому составу практически одинаковы, а отличаются они только происхождением, морфологией и химией поровых вод.

Поэтому в дальнейшем влагоперенос в хвостохранилищах можно рассматривать по аналогии с влагопереносом в условиях песчаной пустыни.

3.2 Сравнение свойств и гранулометрического состава техногенных грунтов золошлакохранилищ ТЭЦ (ПАО «ППГХО») и «Каджи-Сай (Киргизия)

В свое время на объектах ПАО «ППГХО» и «Каджи-Сай» уран добывали из природных углей. При этом отходы такого производства подразделялись на *энергетические золы* – отходы топливно-энергетического производства, то есть отходы после сжигания угля с целью получения электроэнергии, и *технологические золы* – отходы, образующиеся при обогащении ураносодержащих углей.

Все отходы таких производств складировались в золошлакохранилищах (золошлакоотвалах), которые в настоящее время подлежат рекультивации, поэтому изучение свойств указанных зол необходимо для принятия технологических и технических решений.

Чашу и нижний бьеф золошлакоотвала угольного *месторождения «Уртуйское» ПАО «ППГХО»* слагают делювиальные светло-коричневые полутвердые, тугомягкопластичные суглинки, реже текучепластичной консистенции, участками опесчаненные, с линзами песка мелкого, глины полутвердой, с гравием до 10%, местами суглинок гравелистый с единичным щебнем.

Техногенные грунты этого золошлакоотвала представлены шлаком и золой и характеризуются высокой степенью неоднородности гранулометрического состава и свойств. Зола по сравнению со шлаком имеет более низкие значения физико-механических характеристик, проявляя при этом тиксотропные свойства и склонность к значительной потере прочности и деформационных характеристик при динамическом воздействии.

Зола по гранулометрическому составу представлена как песок мелкий и пылеватый с содержанием пылевато-глинистой фракции от 51 до 82%, насыщенной водой; по плотности сложения – рыхлая.

Шлаки по гранулометрическому составу классифицируются как пески гравелистые, крупные и средней крупности.

Золошлакохранилище «Каджи-Сай» расположено в долине Сухого сая в двух километрах от южного берега озера Иссык-Куль. На шлакохранилище оксид урана получали помимо традиционного способа, но и также из золы «бурых» урансодержащих углей Согутинского месторождения. Уголь, добываемый на местной шахте подземным способом, предварительно сжигался с попутной выработкой электроэнергии, а затем оксид урана извлекался кислотным выщелачиванием из золы. Отходы производства складировались в золошлакохранилище.

В геологическом строении площадки золошлакохранилища «Каджи-Сай» принимают участие насыпные крупнообломочные грунты защитного противозерозионного слоя золоотвала, насыпные искусственные грунты (отходы производств), флювиогляциально-пролювиальные отложения среднечетвертичного возраста, делювиально-пролювиальные отложения современного возраста и осадки верхнего подотдела олигоцен-миоцена.

Энергетические золы - от светло-серого до темно-серого цвета, от маловлажных до влажных и водонасыщенных распространены на поверхности золоотвала. По гранулометрическому составу и пластичности, в основном, относятся к пылеватым пескам, реже, в зависимости от вмещающих пород, – к супесям и глинам.

Технологические золы представлены глинами от текучепластичной до твердой консистенции, от серого до темно-серого цвета и отмечены в южной части площадки – на участке аварийного прорыва хвостов, естественная влажность которых составляет 70%.

Геофизические работы на вышеуказанных объектах проводились для уточнения геологического строения между опорными и разведочными горными выработками, увеличения глубинности исследования, определения коррозионной активности грунтов. Эти работы выполнялись методом вертикального электрического зондирования, установкой Шлюмберже, с

разносами питающей линии до 100м.

В результате отбора и анализа проб техногенных грунтов золошлакоотвалов были построены кривые сравнения гранулометрического состава грунтов и барханных песков в полулогарифмическом масштабе (по средним значениям) (рисунок 3.5).

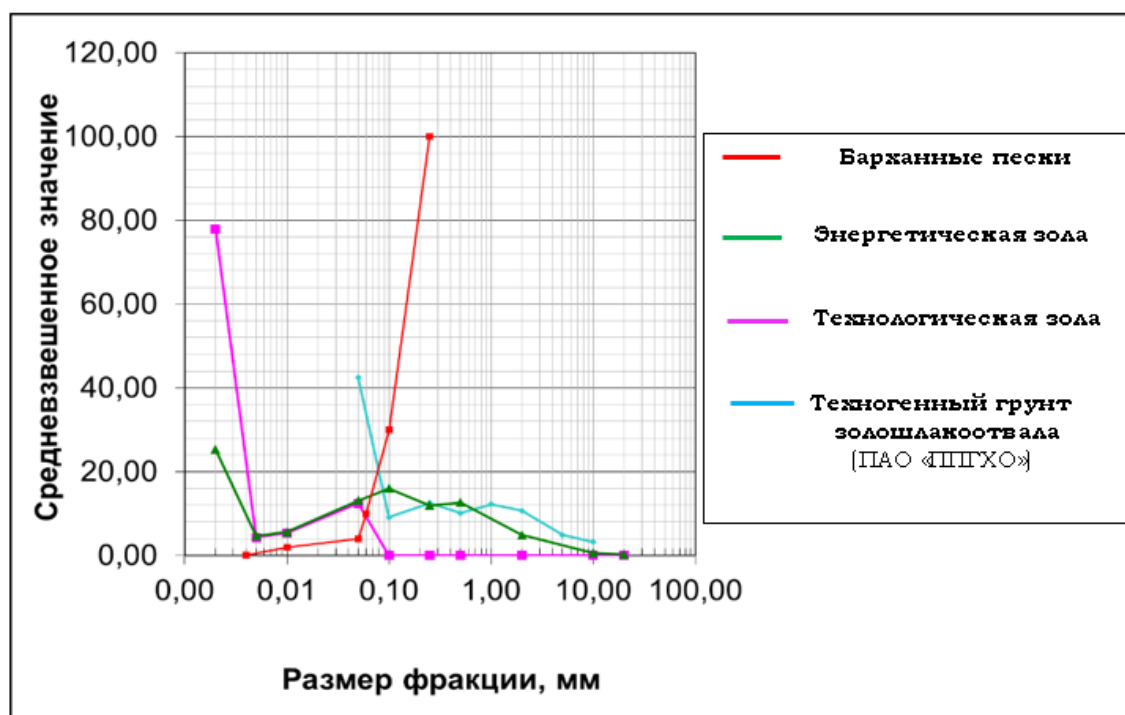


Рисунок 3.5 – кривые сравнения гранулометрического состава техногенных грунтов золошлакоотвала (ПАО «ППГХО»), энергетических и технологических зол «Каджи-Сай» и барханных песков

Сравнивая приведенные кривые, можно сделать вывод, что природные пески пустыни (барханные пески) и техногенный грунт золошлакоотвалов по гранулометрическому составу практически одинаковы, но они также, как и техногенные грунты хвостохранилищ отличаются происхождением, морфологией и химией поровых вод. Поэтому влагоперенос в золошлакохранилищах в дальнейшем можно также рассматривать по аналогии с влагопереносом в условиях песчаной пустыни.

В таблицах 6-8 представлены результаты определения гранулометрического состава по объектам исследований.

Таблица 6 - результаты определения гранулометрического состава и плотности крупнообломочных и песчаных грунтов

№	Наименование и номер выработки	Интервал определения, м	Вес пробы, т	Объем пробы, т/м ³	Размер фракций в мм, содержание в %										Содержание заполнителя (частиц менее 2,0мм)	Размер фракций в мм, содержание в %				Наименование заполнителя	Плотность ρ, г/м ³
					Более 200	200-70	70-40	40-20	20,0-10,0	10,0-2,0	2,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	Менее 0,1		2,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	<0,1		
Насыпные супеси дресвяные, щебенистые и дресвяные грунты противэрозийного слоя поверхности хвостохранилища																					
1	Ш-с-4	0-0,5	0,42563	0,18914	16,4	15	15,1	16,2	6,1	7,0	9,4	4,8	4,8	5,2	24,2	38,8	19,83	19,83	21,5	супесь	2,25
2	Ш-с-7	0,3-0,7	0,32789	0,155022	0	6,8	6,5	10,3	11,6	27,9	20,3	5,0	4,5	6,9	36,7	55,3	13,62	12,26	18,8	супесь	2,12
3	Ш-с-9	0-0,5	0,39752	0,18443	0	14,3	15,8	18,1	10,7	15,1	11,4	4,9	4,5	5,0	25,8	44,2	18,99	17,4	19,4	супесь	2,16
4	Ш-с-10	0-0,5	0,12770	0,073546	7,5	4,2	4,8	7,9	6,3	14,2	24,8	8,4	8,5	13,1	54,8	45,3	15,33	15,5	23,9	супесь	1,74
Среднее значение					6,0	10,1	10,6	13,1	8,7	16,1	5,8	5,8	5,6	7,6	35,4	45,9	16,9	16,3	20,9	супесь	2,07
Щебенистый грунт с супесчаным заполнителем до 35% и включением глыб																					
1	Ш-11	0-0,5	0,36594	0,16517	15,6	22,0	14,1	6,5	9,4	5,3	13,8	3,4	3,5	6,4	27,1	50,9	12,55	12,9	23,6	суглинок	2,22
2	Т-1(обн.5)	7,5-8,0	0,42367	0,18696	17,3	12,6	10,5	9,7	6,8	17,8	15,6	3,4	3,0	3,8	25,8	60,5	13,18	11,6	14,7	супесь	2,27
3	Т-2	1,0-1,5	0,25633	0,11971	6,2	24,2	13,3	10,1	6,2	4,3	15,6	8,3	5,1	6,7	35,7	43,7	23,25	14,3	18,8	Супесь	2,14
4	Т-5(обн.10)	1,0-1,5	0,35569	0,16233	11,6	18,4	17,2	10,8	6,6	7,1	12,2	6,3	4,9	4,9	28,3	43,1	22,26	17,3	17,3	Супесь	2,19
5	Т-15(обн.)	2,0-2,5	0,41367	0,18342	2,3	20,9	19,4	14,7	8,7	12,5	8,9	5,2	2,9	4,5	21,5	41,4	24,19	13,5	20,9	Супесь	2,26
6	Ш-с-7	9,5-9,7														51,2	19,5	12,4	16,9	Супесь	
7	Ш-с-8	7,9-8,3														41,7	25,5	13,6	19,2	Супесь	
8	Ш-с-8	6,4-6,6														45,2	24,4	14,8	15,6	супесь	
Среднее значение					10,6	19,6	14,9	10,4	7,5	9,4	13	5,3	3,9	5,3	27,5	47,0	20,6	13,8	18,4	супесь	2,07

Таблица 7 - результаты определения гранулометрического состава энергетических и технологических зол хвостохранилища Каджи-Сай

№	Наименование и номер выработки	Интервал определения, м	Размер фракций в мм, содержание в %													
			Более 200	200-70	70-40	40-20	20,0-10,0	10,0-2,0	2,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	<0,005	
ИГЭ 4 – Зола технологического уровня																
1	С-7	4,0-4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	4,7	3,6	81
2	С-7	7,0-7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	4,7	3,6	81
3	Ш-с-12	5,5-5,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	6,3	6,3	76,1
4	Ш-с-15	5,9-7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,6	4,7	3,6	72,1
5	С-19	0,5-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7	4,5	3,4	79,4
6	С-19	2,5-2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,6	7,1	5,4	77,9
Нормативные значения			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,4	5,4	4,3	77,9
ИГЭ 4 – Зола энергетического уровня																
1	С-2	0,0-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	19,6	9,6	12,1	27,8	5,8	4,4	16,5	
2	Ш-с-4	1-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9	16,3	17,5	20,1	6,8	4,9	5,1	21,4	
3	Ш-с-4	2,5-3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	15,9	13,4	18,2	16,6	4,7	1,8	27,7	
4	Ш-с-8	5,0-5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	11,0	13,5	23,3	11,4	5,6	6,4	22,4	
5	Ш-с-8	7,9-8,1	0,0	0,0	0,0	1,5	3,6	7,2	31,4	3,7	2,6	11,9	8,8	6,9	22,4	
6	Ш-с-9	4,9-5,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	11,9	13,8	19,8	4,2	3,9	3,3	41,2	
Нормативные значения			0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	4,9	17,7	12,0	13,1	13,1	5,6	4,6	25,3	

Таблица 8 - таблица физико-механических свойств грунтов хвостохранилища Каджи-Сай

№№	Наименование и номер выработки	Интервал отбора пробы, м	Удельный вес частицы грунта, кН/м ³	Удельный вес грунта, кН/м ³	Удельный вес сухого грунта, кН/м ³	Плотность частицы грунта, т/м ³	Плотность грунта, т/м ³	Плотность грунта в сухом состоянии, т/м ³	Природная влажность, %	Степень влажности	Влажность на границе текучести, %	Влажность на границе раскатывания, %	Число пластичности	Показатель текучести, д.е.	Пористость, %	Коэффициент пористости, д.е.	Влажность при полном водонасыщении %
			γ_s	γ	γ_d	ρ_s	ρ	ρ_d	W	Sr	W _L	W _P	I _p	IL	n	e	W _{sat}
ИГЭ 1-3 Насыпные дровяные супеси, щебенистые и дровяные грунты противозерозионного слоя поверхности хвостохранилища																	
1	Ш-с-4	0-0,5	26,6	22,5	22,1	2,66	2,25	2,21	1,8	0,24					16,91	0,2035	7,65
2	Ш-с-7	0,3-0,7	26,6	21,2	20,8	2,66	2,12	2,08	2,1	0,20					21,94	0,2811	10,57
3	Ш-с-9	0,0-0,5	26,6	21,6	21,2	2,66	2,16	2,12	2,0	0,21					20,39	0,2561	9,628
4	Ш-с-10	0,3-0,7	26,7	17,4	16,9	2,67	1,74	1,69	2,9	0,13					36,67	0,579	21,68
Нормативные:			26,6	20,7	20,3	2,66	2,07	2,03	2,2	0,19					23,86	0,3133	11,78
ИГЭ-4 Зола технологического угля (глина от твердой до текучепластичной)																	
1	С-1	13,0	24,5	16,6	11,1	2,45	1,66	1,11	49,0	1,00	53,3	47,2	6,1	0,30	54,5	1,1991	48,9
2	С-7	2,4-2,7	24,1	16,0	10,5	2,41	1,60	1,05	52,3	0,97	56,9	46,7	10,2	0,55	56,4	1,294	53,7
3	С-7	4,0-4,2	22,8			2,41			64,5		69,2	47,3	21,9	0,79			
4	С-7	4,8-5,0	24,5			2,45			63,4		70,1	46,7	23,4	0,71			
5	С-7	9,0-9,2	23,7			2,37			64,5		68,5	45,3	23,2	0,83			
6	Ш-с-12	1,3-1,5	23,3	14,2	10,7	2,33	1,42	1,07	32,3	0,64	56,9	37,6	19,3	-0,275	53,9	1,1708	50,3
7	Ш-с-12	1,7-1,9	22,7	14,4	10,9	2,27	1,44	1,09	32,3	0,68	57,6	38,8	18,8	-0,346	52,1	1,0856	47,8
8	Ш-с-12	5,5-5,7	21,3			2,13			70,1		74,0	44,1	29,9	0,87			
9	Ш- 13	2,2-2,4	24,6	11,1	7,2	2,46	1,11	0,72	53,5	0,55	70,1	46,7	23,4	0,29	70,6	2,4019	97,6
10	Ш-14	0,7-0,9	2,25	15,5	10,9	2,35	1,55	1,09	42,7	0,86	62,8	44,6	18,2	-0,104	53,8	1,1635	49,5
11	Ш-с-15	2,5-2,7	2,3	11,1	7,3	2,3	1,47	0,96	52,6	0,87	62,3	43,6	18,7	0,48	58,1	1,3876	60,3
12	С-19	0,5-0,7	22,9			2,29			56,4		63,7	44,4	19,3	0,62			
Нормативные:			23,5	14,6	9,55	2,35	1,46	0,96	52,8	0,85	63,8	44,4	19,4	0,43	59,3	1,459	62,1
ИГЭ-4 Зола энергетического угля																	
1	С-2	0,0-0,3	21,5			2,15			43,6								
2	Ш- 3	1,8-2,1	22,6	8,3	6,7	2,26	0,83	0,67	23,5	0,22					70,3	2,3628	104,5
3	Ш- 4	1,5-1,6	22,8	10,7	8,8	2,28	1,07	0,88	21,3	0,31					61,3	1,5847	69,5
4	Ш- 4	2,5-3,0	22,8						27,5								
5	Ш-с-5	1,5-1,7	25,1	8,0	7,0	2,51	0,92	0,80	14,3	0,17	34,8	22,8	12,0	-0,71	67,9	2,1184	84,4
6	Ш-с-8	1,0-1,5	23,8	8,0	6,5	2,38	0,80	0,65	23,5	0,21					72,8	2,6741	112,4
7	Ш-с-8	2,0-2,2	20,4	8,8	6,6	2,04	0,88	0,66	33,7	0,33					67,7	2,0994	102,9
8	Ш-с-8	3,0-3,3	2,3	10,1	7,5	2,9	1,01	0,75	35,1	0,39					67,4	2,0632	90,1
9	Ш-с-8	5,0-5,2							43,6								
10	Ш-с-8	7,9-8,1	21,3						70,6		60,6	43,1	17,5	1,57			
11	Ш-с-9	4,9-5,1	24						42,7								
Нормативные:			23,5	14,6	11,09	2,27	0,92	0,70	31,6	0,32					69,2	2,247	99,0

На золошлакохранилищах геофизические работы проводились для решения инженерно-геологических задач:

- выделение обводненных гравийных грунтов;
- определения мощности рыхлых отложений;
- определение глубины залегания коренных пород.

Для решения поставленных задач применялся метод вертикального электрического зондирования симметричной установкой с разносом АВ до 500м.

По данным интерпретации ВЭЗ были получены следующие данные, с помощью которых разрез был расчленен на геоэлектрические слои:

1. Почвенно-растительный слой – изменение кажущегося сопротивления от 60 до 310 Ом.

2. Делювиальный и делювиально-пролювиальный суглинок – изменение кажущегося сопротивления от 10 до 80 Ом.

3. Суглинок с прослоями и линзами песка – изменение кажущегося сопротивления от 17 до 170 Ом.

4. Гравийный грунт с единичным щебнем – изменение кажущегося сопротивления от 140 до 650 Ом

5. Глины – изменение кажущегося сопротивления от 8 до 40 Ом.

6. Граниты сильновыветрелые – изменение кажущегося сопротивления от 48 до 216 Ом.

7. Граниты – кажущееся сопротивление более 1000 Ом.

Повышение значений удельного электрического сопротивления суглинков от 240 до 360 Ом на левом борту золошлакохранилища можно объяснить высокой минерализацией грунтовых вод.

Сравнивая показатель степени влажности золошлакохранилищ «Каджи-Сай» и ПАО «ППГХО» видно, что показатели изменяются от 0,31 (ПАО «ППГХО») до 1,00 (Каджи-сай), т.е. грунт находится в состоянии от маловлажного до насыщенного водой. Это говорит о том, что грунт сложен неравномерно.

Все вышеописанное доказывает, что в настоящее время нецелесообразно и неправильно применять классификацию грунтов по ГОСТ 25100-2020, так как в хвостохранилищах техногенные, искусственного происхождения грунты со своими свойствами.

На каждом конкретном предприятии происходит свой технологический процесс переработки сырья, используются разные химические реагенты и разные степени дробления, поэтому необходимо ввести новую классификацию грунтов.

В качестве примера на рисунке 3.6 приведена инженерно-геологическая колонка, на рисунке 3.7 - инженерно-геологический разрез по чаше хвостохранилища «Каджи-Сай», где представлено заложение золы технологического и энергетического угля. На данном разрезе показаны инженерно-геологические выработки, проведенные геофизические исследования и отбор проб грунта.

Скважина № 24									
Способ проходки: Колонковое бурение диаметром 127 мм.									
Отметка устья: 1718,60 м.									
Номер ИГЭ	Геологический индекс	Глубина залегания слоя, м.		Мощность слоя, м.	Литологический разрез	Описание пород	Уровень грунтовых вод, м.		Группа ручной разработки по СНиП IV-5-82
		от	до				по яв. дата	уст. дата	
1	t Q _{IV}	0,0	1,1	1,1		Насыпной слежавшийся щебенистый грунт с пылевато-глинистым заполнителем до 30%.	На июнь 2004 г. не вскрыт		III
5		1,1	2,5	1,4		Насыпной щебенистый грунт: зола, дресва и щебень энергетического угля; зола, дресва и щебень вмещающих пород (алевролит, песчаник, аргиллит), дресва и щебень гранита.			III
4		2,5	4,6	2,1		Насыпной грунт: зола технологического угля - глина серого и тёмно-сероо цвета, от тугопластичной до мягкопластичной консистенции.			I
12	N ₂ -Q _I	4,6	5,6	1,0		Песчаник кирпичного цвета, до глубины 5,0м выветрелый до состояния дресвянистого песка, ниже невыветрелый, плотный, маловлажный.			V _p

Рисунок 3.6 – геолого-литологическое описание скважины хвостохранилища «Каджи-Сай».

Инженерно-геологический разрез по линии II-II

Масштаб: горизонтальный 1:10 00

вертикальный 1:1 00

Условные обозначения к разрезам и литологическим колонкам

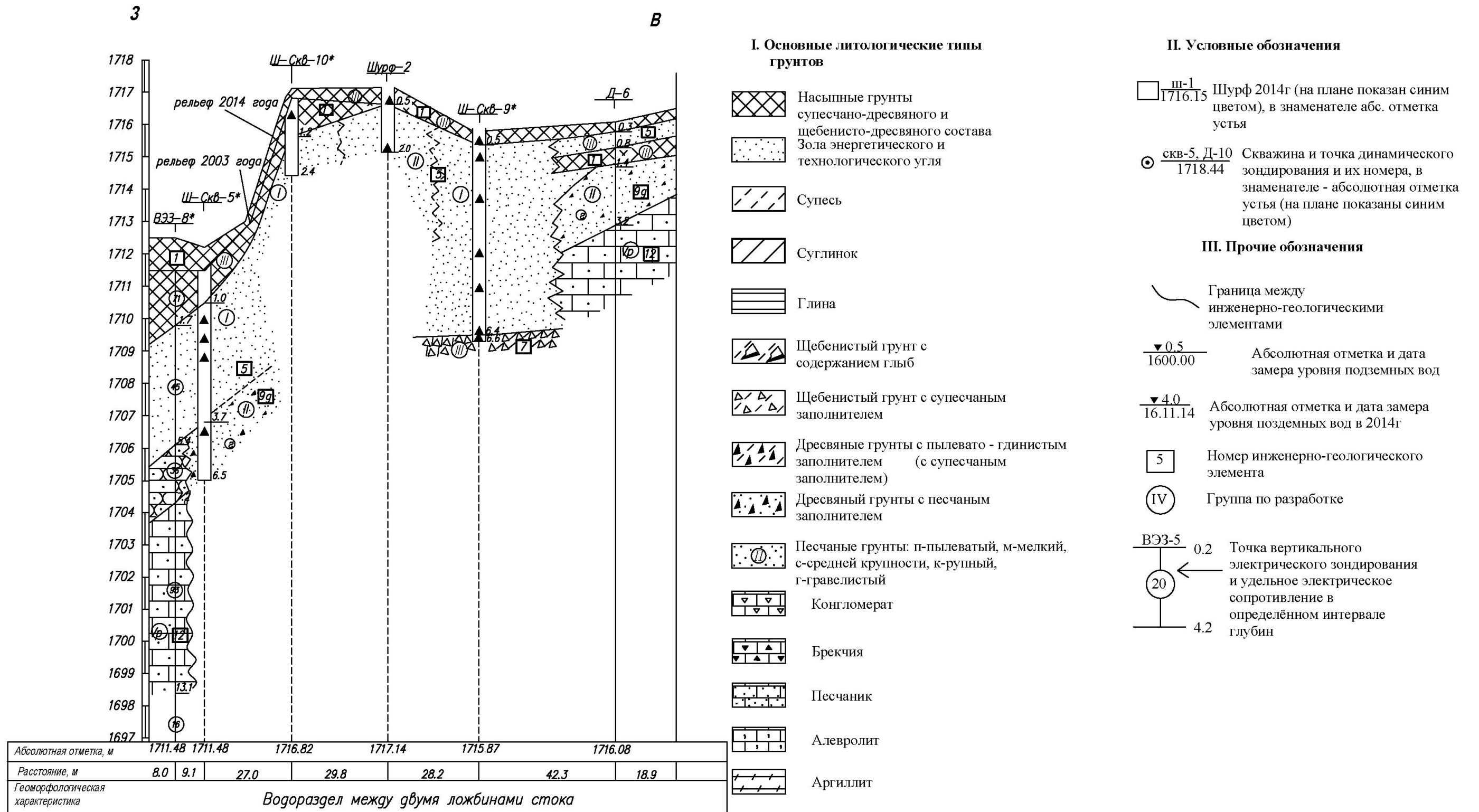


Рисунок 3.7 – инженерно-геологический разрез и условные обозначения по чаше хвостохранилища «Каджи-Сай»

3.3 Гидрогеологические условия на хвостохранилищах

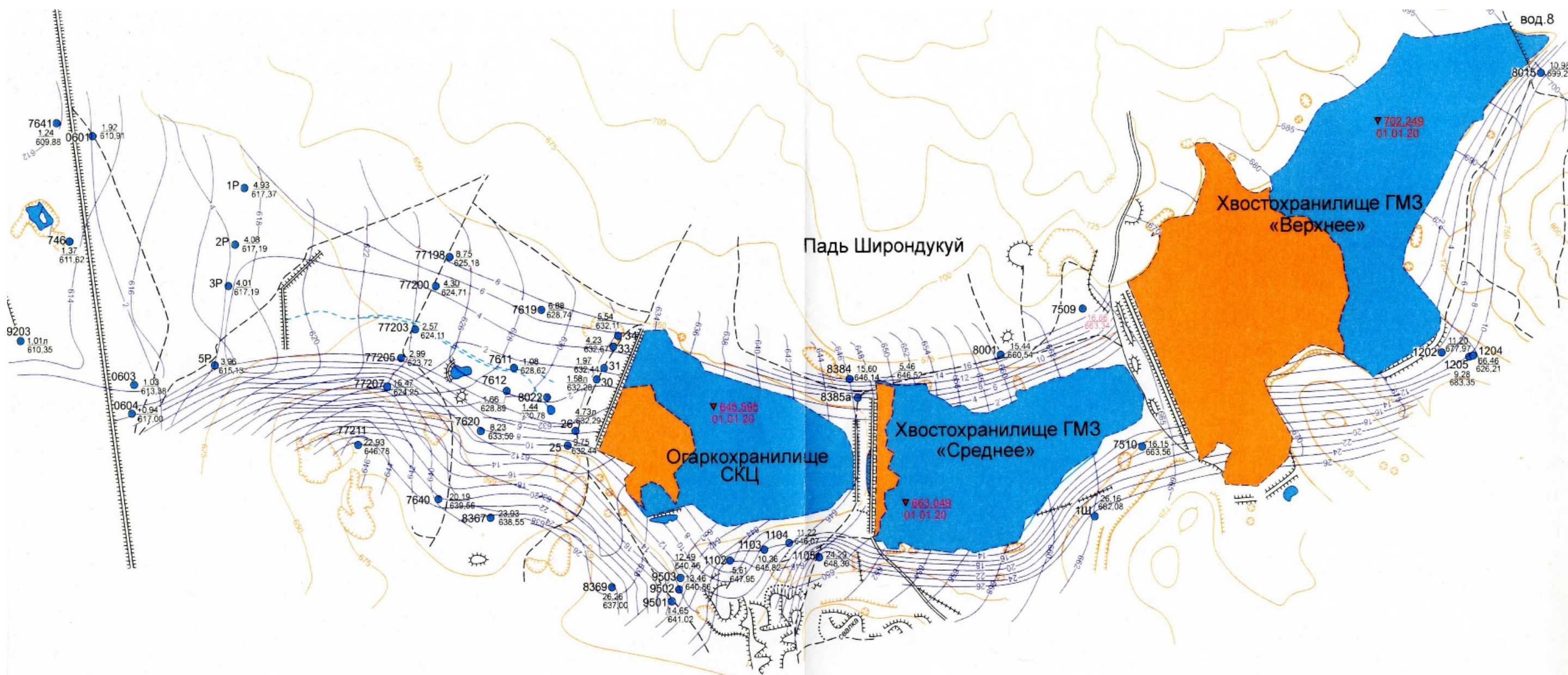
Изучение режима подземных вод является одним из важных элементов в общем комплексе контрольных наблюдений за состоянием хвостохранилищ и включает в себя: процесс изменения уровня подземных вод, расхода, температуры, химического состава подземных вод во времени и пространстве.

Разделяют два режима подземных вод: естественный – до строительства хвостохранилища и нарушенный – с момента строительства и на протяжении всего срока эксплуатации, а также после его консервации или рекультивации.

Естественный режим грунтовых вод изучается в процессе инженерных изысканий. Для контроля за нарушенным режимом подземных вод создается сеть наблюдательных скважин, которая устанавливается проектом хвостохранилища с условием включения в нее ранее пробуренных скважин для фиксации фонового уровня. Сеть наблюдательных скважин состоит из скважин первого пояса в пределах механической защитной зоны, которая составляет около 50 м от низового откоса дамбы, и скважин второго пояса по границе зоны санитарной зоны защиты с развитием по направлению распространения возможного ореола загрязнения, установленного прогнозными расчетами в период инженерных изысканий [34].

Скважины первого пояса предназначены для контроля работоспособности противодиффузионных сооружений и должны фиксировать места и характер возможных утечек. Проходка скважин осуществляется до грунтов водоупора.

Скважины второго пояса позволяют контролировать все водоносные горизонты, уделяя внимание створам, располагаемым по направлению источников потребления подземных вод (рисунок 3.8).



Условные обозначения

7620 ● $\frac{8,23}{633,50}$ слева: Режимная скважина и её номер
справа: Уровень подземных вод, м
Абсолютная отметка, м


 Гидроизогипсы

Рисунок 3.8 – схематическая карта изогипс по режимным наблюдениям за уровнем и химическим составом воды

Капиллярное поднятие – поднятие воды, содержащейся в грунте, по пустотам капиллярного поднятия под действием сил ее поверхностного натяжения. В зоне аэрации, расположенной выше уровня грунтовых вод, развиваются капиллярные явления, которые приводят к формированию капиллярной воды.

Капиллярная вода при однородном строении зоны аэрации бывает тесно связана с уровнем грунтовых вод. При неоднородном строении, обусловленном наличием в разрезе глинистых линз и прослоев, эта связь может отсутствовать или носить весьма сложный характер.

В связных грунтах высота капиллярного поднятия воды, которая зависит от гранулометрического и минералогического состава грунта зоны аэрации, формы частиц, степени окатанности частиц, структуры, плотности, однородности их сложения, удельного веса, температуры, и многих других условий, может достигать несколько метров (Таблица 9).

В песчано-глинистых породах высота капиллярного поднятия H_k приближенно может быть определена по формуле Козени [92]:

$$H_k = 0.446 \times \frac{1-n}{n} \times \frac{1}{de} \quad (3.1),$$

где: n – коэффициент пористости, доли единицы;

de – действующий диаметре, см.

Таблица 9 – значение предельной высоты капиллярного поднятия воды

Породы	Значение H_k , см
Песок крупный	2,0-3,5
Песок средней крупности	12,0-35,0
Песок мелкий	35,0-120,0
Супесь	120,0-350,0
Суглинок	350-650
Глина легкая	650-1200

Чтобы спрогнозировать появление линзы воды в теле хвостохранилища, произведем расчет коэффициента увлажнения.

Коэффициент увлажнения K_y — отношение годового количества осадков к годовой величине испаряемости для данного ландшафта, является показателем соотношения тепла и влаги вычисляется по формуле:

$$K_y = R/E \quad (3.2),$$

где: K_y — коэффициент увлажнения;

R — среднегодовое количество осадков, в мм;

E — величина испаряемости (количество влаги, которое может испариться с водной поверхности при данной температуре), в мм.

При $K_y > 1$ — увлажнение избыточное.

При $K_y \approx 1$ — увлажнение достаточное.

При $0,3 < K_y < 1$ — увлажнение недостаточное (если $K_y < 0,6$ — степь, $K_y > 0,6$ — лесостепь).

При $K_y < 0,3$ — скудное увлажнение (если $K_y < 0,1$ — пустыня, $K_y > 0,1$ — полупустыня).

Величина коэффициента увлажнения, напрямую зависит от температурного режима на конкретной территории, а также от количества атмосферных осадков, выпадающих за год.

Количество осадков, которое выражается в миллиметрах, зависит от типа почвы, температуры в данном регионе в конкретный период времени и многих других факторов. Поэтому, несмотря на кажущуюся простоту приведенной формулы, расчет коэффициента увлажнения требует проведения большого количества предварительных измерений при помощи точных приборов.

Гидрографическая сеть района хвостохранилища «Туюк-Суу» представлена рекой Туюк-Суу и временно действующими водотоками (логами). Инженерными гидросооружениями на площадке являются обводной канал и защитная нагорная канава.

Для изучения влажностного режима и возможности образования линз воды в теле хвостохранилища был изучен и исследован баланс подземных вод хвостохранилища.

Площадь водосбора хвостохранилища составляет около 1 км², площадь непосредственно хвостохранилища – около 4,0 га.

Годовой баланс подземных вод вычисляется по упрощенному уравнению, имеющему следующий вид:

$$X + \Phi - E - Q_{от} \pm \Delta Q = 0 \quad (3.3),$$

где: X – средняя многолетняя величина осадков, выпадающих над площадью водосбора хвостохранилища. (По данным метеостанции Мин-куш $X = 436$ мм или 13,8 л/сек).

Φ – фильтрационные потери. (По данным измерений 2008 года – 3% от среднего многолетнего расхода реки Туюк-Суу – $\Phi = 19,2$ л/сек.).

E – среднее годовое испарение с поверхности почво-грунтов, слагающих водосбор. (По «Рекомендациям...» [59], рассчитано в зависимости от высоты водосбора, экспозиции склонов и растительного покрова. $E = 420$ мм или 13,3 л/сек.).

$Q_{от}$ – отток подземных вод за пределы хвостохранилища. (Условно принят равным стоку воды в донном водосбросе, величина которого в августе 2008 г. составила 22 л/сек.).

$\pm \Delta Q$ – невязка баланса, совокупно отражает все неучтенные элементы баланса и ошибки определения его составляющих, $\pm \Delta Q = 2$ л/сек.

Исходя из вышеизложенного, фильтрационные потери реки соответствуют оттоку подземных вод с территории хвостохранилища по донному водопропуску.

По количеству выпадающих осадков изучаемый район относится к зоне с избыточным увлажнением, т.е. величина испарения с подстилающей поверхности существенно меньше количества выпадающих осадков, среднегодовые значения которых в исследуемой местности увеличиваются с высотой. Над водоемами наблюдается уменьшение осадков, что обусловлено их

термическими свойствами и меньшей, по сравнению с сушей шероховатостью (Таблица 10).

Таблица 10 - среднее месячное и годовое количество осадков (мм) с поправками на смачивание

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Температура, t°С	-11,3	-10,3	-5,2	1,7	5,1	8,8	11,4	11,7	7,6	1,5	-5,3	-8,2	0,6
Осадки, Y мм	16	21	35	71	106	103	75	39	33	31	25	18	573
Испарение, Z мм	6	7	11	45	60	53	37	22	13	6	9	6	275

Проведенные исследования и наблюдения для вычисления коэффициента увлажнения на территории хвостохранилищ рассмотрены ниже.

Проведя расчеты по формуле 3.2, для хвостохранилища Туук-Суу получаем $K_y=2,084$.

Западная часть хвостохранилища находится у подножия обрывистого горного склона, спускающегося непосредственно к его чаше. На склоне отмечается плоскостной смыв продуктов выветривания коренных пород и легко размываемых крупнообломочных глинистых отложений, а также струйчатая эрозия (промоины глубиной до 2м).

Указанные процессы проявляются во время дождей и таяния снежного покрова. Наиболее интенсивно они протекают во время выпадения ливневых осадков. Водные потоки имеют рассредоточенный характер с отсутствием выраженных русел.

По результатам изысканий можно сделать следующие выводы:

1. Через тело верхней грунтовой дамбы фильтрация подземных происходит только в галечниковом основании мостового перехода и его примыканиях.

2. Питание хвостовых вод осуществляется также за счёт фильтрационных потерь в разрушающемся железобетонном водоотводном канале. Расход воды в

водопрпускных трубах за последние 5 лет увеличился в 3 раза и составляет около 60 л/с. Пионерная грунтовая дамба частично размывта поверхностным стоком. Движение фильтрационных вод осуществляется через тело и основание дамбы.

По количеству осадков район, где находятся исследуемые хвостохранилища «Верхнее» и «Среднее», относится к степной зоне с недостаточным увлажнением. Среднегодовая норма осадков около 300 мм.

В тёплое время за счёт оживления циклонической деятельности выпадает более 90% от годовой суммы осадков. Преобладают ветры северо-западных и северо-восточных румбов. Весной и летом наиболее часто наблюдаются сильные ветры. Среднее количество сильных ветров в году – 106 дней. Нормативная глубина промерзания грунта 4м.

Испарение с водной поверхности и с поверхности водосборов является основной расходной характеристикой как при расчетах водного баланса, так и при проектировании различных гидротехнических сооружений (Таблица 11, 12, 13).

Расчетные величины испарения с поверхности водоемов получены методом расчетов по формуле Б.Д. Зайкова: [36]

$$E_0 = 0,15 \cdot n \cdot C \cdot d_{200}^{0,78} (1 + 0,85 \cdot W_{100}) \quad (3.4),$$

где: n – число дней в месяце;

C – коэффициент, зависящий от средних соотношений между температурами воды и воздуха (для рассматриваемого района $C = 1,8$);

d_{200} – среднемесячный дефицит влажности воздуха (по данным наблюдений на ближайшей метеостанции г. Краснокаменск);

W_{100} – средняя месячная скорость ветра на высоте 100 см.

Средняя месячная скорость ветра W_{100} определяется по формуле:

$$W_{100} = 1,523 / (\lg H - 0,477) \cdot W_H \quad (3.5),$$

где: H – высота расположения флюгера над поверхностью земли, см ($H = 10,5$ м на метеостанции г. Краснокаменск);

W_H – скорость ветра на высоте флюгера (по данным наблюдений на метеостанции г. Краснокаменск).

Таблица 11 - результаты расчетов величины испарения E_0 (мм) по климатическим характеристикам метеостанции г. Краснокаменск

Параметры	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Год
d_{200} , мм	4,5	8,5	10,0	8,5	7,3	5,5	3,3	
W_H , м/с	4,2	4,4	3,6	2,9	2,6	2,9	2,9	
W_{100} , м/с	2,52	2,64	2,16	1,74	1,56	1,74	1,74	
E_0 , мм	82	144	138	110	92	76	53	725

Из результатов расчета видно, что величина нормы годового испарения с поверхности воды почти в два раза выше количества выпадающих осадков.

Отклонение годового испарения относительно средней величины весьма незначительно, коэффициент вариации $C_v = 0,1$, а коэффициент асимметрии $C_s = 2 C_v$.

Наблюдений за испарением с поверхности водосборов на территории района не проводилось. Расчеты нормы испарения с поверхности водосборов проведены с использованием графиков Б.В. Полякова [81].

Как видно из результатов расчетов, практически все выпадающие в течение года на водосборную площадь осадки уходят на испарение и только небольшая часть, около 10%, идет на формирование поверхностного стока и пополнение подземных запасов воды.

Проведя расчеты по формуле 3.2, для хвостохранилища ПАО «ППГХО» получаем $K_y = 1,112$.

В районе расположения хвостохранилища «Табошар» выделяется два водоносных комплекса: в верхнечетвертичных-современных и плиоцен-

нижнечетвертичных отложениях. Водоносный комплекс среднечетвертичных-современных отложений (Q_{III-IV}) распространен на исследуемой территории почти повсеместно, за исключением Дигмайской и Исписарской возвышенностей. Мощность данного комплекса достигает 70м. Испарение с суши рассчитано с использованием графиков Б.В. Полякова.

Таблица 12 - величина среднего месячного испарения с поверхности суши

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Температура, $t^{\circ}C$	-0,9	2,1	8,7	16,1	21,9	26,9	28,6	26,7	21,1	13,5	6,8	1,6	14,4
Осадки, Y мм	32	32	51	55	41	20	11	5	9	32	32	36	355
Испарение, Z мм	23	38	53	58	50	42	30	14	15	23	13	7	366

Испарение с водной поверхности рассчитано по формуле Б.Д. Зайкова для определения слоя месячного испарения в мм, имеющей вид:

$$E_0 = 0,15 \cdot n \cdot C \cdot d_{200}^{0,78} (1 + 0,85 \cdot W_{100}) \quad (3.6),$$

где: n – число дней в месяце;

C – коэффициент, зависящий от средних соотношений между температурами воды и воздуха (для рассматриваемого района $C = 1,4$);

d_{200} – среднемесячный дефицит влажности воздуха (по данным наблюдений на ближайшей метеостанции «Худжанд»);

W_{100} – средняя месячная скорость ветра на высоте 100 см.

Средняя месячная скорость ветра W_{100} определяется по формуле:

$$W_{100} = 1,523 / (\lg H - 0,477) \cdot W_H \quad (3.7),$$

где: H – высота расположения флюгера в см над поверхностью земли ($H=11,0$ м на метеостанции «Худжанд»);

W_H – скорость ветра на высоте флюгера (по данным наблюдений на метеостанции «Худжанд»).

Таблица 13 - результаты расчетов величины испарения E_0 (мм) по климатическим характеристикам метеостанции «Худжанд»

Параметры	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
d_{200} , гПа	1,7	2,4	4,5	8,9	16	25,2	28,7	24,4	16,8	8,4	3,6	1,8	1,9
W_H , м/с	5,4	5,4	5,5	4,9	4,5	4,3	4,6	4,6	4,1	3,9	4,6	4,9	4,7
W_{100} , м/с	3,3	3,3	3,4	3,0	2,7	2,6	2,8	2,8	2,5	2,4	2,8	3,0	2,9
E_0 , мм	36	47	78	123	189	252	302	266	178	104	60	36	1672

Проведя расчеты по формуле 3.2, для хвостохранилища Табошар получаем $K_y=0,96$.

Количество осадков еще не дает полного представления об обеспеченности территории влагой, так как часть атмосферных осадков испаряется с поверхности, а другая часть просачивается в почву

3.4 Изучение процесса влагопереноса

В основе изучения влагопереноса и образования линз воды в теле хвостохранилищ лежит уравнение Дарси через капиллярно-пленочный потенциал, которое может быть применено с введением коэффициентов и учетом гранулометрического состава и влажностного режима.

Таким образом, для каждого участка получаем сведения для построения равновесной эпюры влажности на достаточно разных глубинах, где движение влажности в первом приближении считаем установившимся. На основании этих данных появляется возможность установить, происходят ли процессы питания, испарения, влагообмен грунтовых вод за счет атмосферных осадков.

Уравнение Дарси с применением коэффициентов.

$$q = -k \times \left(\frac{\partial \psi}{\partial h} + \frac{\partial \varphi}{\partial h} \right) \quad (3.8),$$

где: q – расход влаги через единицу сечения грунта

k – коэффициент влагопроводности

$\frac{\partial \psi}{\partial h} u \frac{\partial \varphi}{\partial h}$ – градиент капиллярно-пленочного потенциала

Рассмотрим два варианта влагопереноса:

1. Питание хвостохранилища за счет грунтовых вод отсутствует (хвостохранилище получает воду только от атмосферных осадков, которые впитываются поверхностью хранилища и попадают в свободные объемы между отходами.).

2. Питание хвостохранилища происходит за счет грунтовых вод.

Питание грунтовых вод отсутствует (питание хвостохранилища происходит грунтовыми водами, вода поступает внутрь его тела через дно и боковые стены.).

Капиллярная и пленочная влага сосуществуют и обладают одинаковыми свойствами, такими же, как и «вода в объеме», то есть свободная вода. Аномальными свойствами обладает только влага, соответствующая слою воды в несколько молекулярных слоев и по своим свойствам такая вода напоминает лед. Для расчета примем $q=0$, что означает, поток влаги через какую-либо пористую среду отсутствует, тогда получает уравнение следующего вида:

$$\frac{\partial \psi}{\partial h} = -\frac{\partial \varphi}{\partial h} \quad (3.9)$$

Учитывая, что при полном водонасыщении $h=0$, капиллярно-пленочный потенциал $\varphi=0$ и $\psi=0$, получаем следующий вид:

$$\psi = -\varphi \quad (3.10)$$

(капиллярно-пленочный потенциал и гравитационный потенциал в любом сечении).

Так получаем, что потенциал поля тяжести:

$$\varphi = g \cdot h = \frac{\rho \cdot g \cdot h}{\rho} = \frac{P}{\rho} \quad (3.11),$$

где: ρ - плотность воды,

P – давление столба воды высотой h .

Если мы выразим давление через высоту водного столба, а для воды $\rho=1$, получим, что численно $\varphi=h$, тогда:

$$\psi = -h$$

Ниже приводятся данные непосредственно для каждого изучаемого хвостохранилища:

1. «Верхнее» (г. Краснокаменск) $\psi = -338$ мм или $-0,34$ м
2. «Табошар» $\psi = -355$ мм или $-0,36$ м
3. «Туюк-Суу» $\psi = -573$ мм или $-0,6$ м

Питание хвостохранилища происходит за счет грунтовых вод

В этом случае, где имеет место питание хвостохранилища грунтовыми водами $q \neq 0 = \text{const}$, тогда будет применен прямой расчет по формуле:

$$q = k \cdot b \cdot i \quad (3.12),$$

где: k – коэффициент фильтрации;

b – площадь водоносного пласта, в нашем случае – ширина хвостохранилища.

i – напорный градиент, который рассчитывается как максимальная отметка уровня – минимальная отметка уровня / расстояние между отметками.

В хвостохранилище Кара-Балты отмечается несколько повышенный коэффициент фильтрации для илов, это можно объяснить тем, что для илов, намывных в тело карты, характерно наличие трещин усыхания, так же частое переслаивание песчаных грунтов и илов.

Проведенные впервые сравнения более чем 1000 проб, отобранных в различных климатических зонах, показало, что барханные пески и хвосты переработки урановых руд в ряде факторов совпало, что позволило определить положение влагопереноса для техногенных грунтов.

Впервые проведенные натурные детальные определения физико-механических характеристик золы, полученной после сжигания ураносодержащих углей и прошедшей технологию кислотного выщелачивания урана отличается от энергетических зол.

Данный фактор должен учитываться при проведении изысканий и тарифовке пенетрационных установок.

ГЛАВА 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ НА ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВЫХ РУД

Свойства техногенных грунтов определяются генетически унаследованным составом и структурой исходных грунтов, технологией намыва, инженерно-геологическими условиями района работ, конструкцией намывного сооружения и режимом его эксплуатации. Отличие техногенных грунтов от исходных природных грунтов в естественном залегании и от насыпных грунтов - в изменённом гранулометрическом составе за счёт отмыва части тонкодисперсных фракций, в распределении (фракционировании) частиц по крупности, в однородности их в массиве, выраженной анизотропии свойств, часто в более рыхлом сложении (особенно при намыве под воду). Физико-механические свойства техногенных грунтов существенно изменяются со временем под влиянием процессов уплотнения и упрочнения; увеличиваются плотность сухого грунта, модуль деформации, удельное сцепление, угол внутреннего трения и др.

Для оптимизации технологических работ на хвостохранилищах предлагается использовать научные работы по исследованию хвостов в области инженерной геофизики и геологии.

При исследовании техногенных грунтов в хвостохранилищах возникает необходимость в изучении физико-механических характеристик, к которым относятся объемный и удельный вес, коэффициент фильтрации, угол внутреннего трения и коэффициент уплотнения.

Данные вопросы можно изучить такими методами, как: бурение скважин, проходка шурфов, отбор монолитов, пенетрация (динамическое и статическое зондирование). С помощью отобранных образцов можно определить физико-механические характеристики в лабораторных условиях.

Известно, что техногенные грунты отличаются от природных своими физико-механическими свойствами, у них нарушены структурные связи и

изменена минерализация. Также в техногенных грунтах хвостохранилищ очень своеобразно ведет себя мерзлота, что в большинстве случаев требует дополнительного изучения.

Техногенные грунты при своем эволюционном развитии под воздействием энергии техногенных процессов проходят следующие стадии преобразования:

- исходные горные породы;
- нарушение целостности пород;
- разрушение текстуры и структуры;
- разрушение кристаллических решеток породообразующих минералов;
- синтез минералов;
- формирование структуры и текстуры техногенных грунтов;
- образование техногенных отложений.

Повышенная химическая активность глинистых пород хвостохранилищ, обусловленная высокой степенью их дисперсности, особенностями строения и вещественного состава глинистых минералов, приводит к техногенному литогенезу, происходящему в толщах отвалов при формировании техногенных отложений.

Геофизические методы существенно ускоряют и повышают качество и точность инженерно-геологической съемки.

Основным методом изучения условий залегания горных пород, оценки минерализации подземных вод и особенностей их фильтрации является электроразведка, т.к. основной параметр для геологического разреза – разграничение по формациям и его удельное электрическое сопротивление, следовательно, результат получается в виде геоэлектрического разреза, который имеет прямую связь с геологическим.

В связи с тем, что инженерно-геологическая зона (объект исследований) непрерывно изменяет своё состояние с течением времени, т.е. происходят изменения физико-механических свойств грунтов и материалов, нарушается динамика и химизм подземных вод, меняются их электрические и термические

поля, возникает необходимость изучать эти изменения. С этой целью проводятся режимные геофизические наблюдения, при которых соблюдается неизменность точек, а промежутки времени между наблюдениями и циклами наблюдений выбираются в зависимости от скорости протекания изучаемого процесса. На основании корреляции можно получить сведения, необходимые для прогнозирования физико-геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических процессов.

Геофизические исследования необходимо выполнять на всех стадиях изысканий в сочетании с другими видами инженерно-геологических и геоэкологических работ. Геофизические методы позволяют определить состав и мощность рыхлых четвертичных отложений, выявить литологическое строение массива горных пород, тектонические нарушения и зоны повышенной трещиноватости и обводненности. С помощью геофизических исследований можно определять глубины залегания уровней подземных вод и их движение, водоупоров, гидравлические параметры грунтов и водоносных горизонтов, состав, состояние и свойства грунтов в массиве и их изменения, изучаются геологические и инженерно-геологические процессы. Кроме того, с помощью геофизических исследований проводится мониторинг опасных геологических и инженерно-геологических процессов, сейсмическое микрорайонирование территории.

С целью уменьшения количества буровых выработок и получения физико-механических свойств грунтов без лабораторных испытаний предусматривается испытание намывных грунтов динамическим зондированием или пенетрацию, с помощью которой можно определить объемную массу скелета, коэффициент пористости, модуль деформации, сцепление, угол внутреннего трения, коэффициент сжимаемости, для илов- консистенция, для песков- степень плотности, динамическая устойчивость.

По результатам геофизических исследований получается важная информация, которая необходима для принятия решений при проектировании строительства и эксплуатации объектов, снижения рисков возникновения

аварийных ситуаций и уменьшения воздействия на окружающую среду.

С учётом сложности инженерно-геологических условий и характера решаемых задач определяется количество и система размещения геофизических профилей и точек.

После применения геофизических методов, уже на обследованной территории, при обнаружении изменения влажностных характеристик и обнаружении аномальных сопротивлений грунта, необходимо выполнить ряд инженерно-геологических изысканий, таких, как: бурение скважин, из которых будут отобраны пробы грунта для определения грансостава, пробы воды на химический анализ. После бурения скважин необходимо выполнить пенетрацию для получения физико-механических характеристик грунтов по инструкции «Методы полевых испытаний...» [37]. Так как в действующем ГОСТе приведены данные по грунтам естественного сложения, а хвостохранилища представлены искусственными техногенными грунтами, то необходимо произвести расчет зависимости изменения плотности от крупности частиц по эмпирическим формулам, согласно инструкции [37]:

$$P_d^H = 0,4 \cdot P_q \sqrt{d/d'}$$

$$P_d^K = 0,45 \cdot P_q \left(\frac{d}{d'}\right) \cdot 0,19$$

где: P_q – плотность частицы, г/см³ (пределы 2,5-2,8 г/см³);

d – средневзвешенная крупность хвостов (пределы 0,02-0,33 мм);

d' – контрольная крупность хвостов, равная 0,074 мм.

Применение методов пенетрационных испытаний, статического и динамического зондирования позволяет определить такие характеристики, как:

- характер залегания грунтов различного литологического состава, положение границ между слоями, включая оценку степени однородности грунтов и степени плотности песчаных грунтов;
- физические и механические характеристики грунтов (показатель текучести, коэффициент пористости, модуль деформации, угол внутреннего трения и удельное сцепление).

Все вышеописанные теоретические предпосылки рассмотрим на примере инженерно-геологических работ на хвостохранилищах ПАО «ППГХО» Рисунок 4.1.

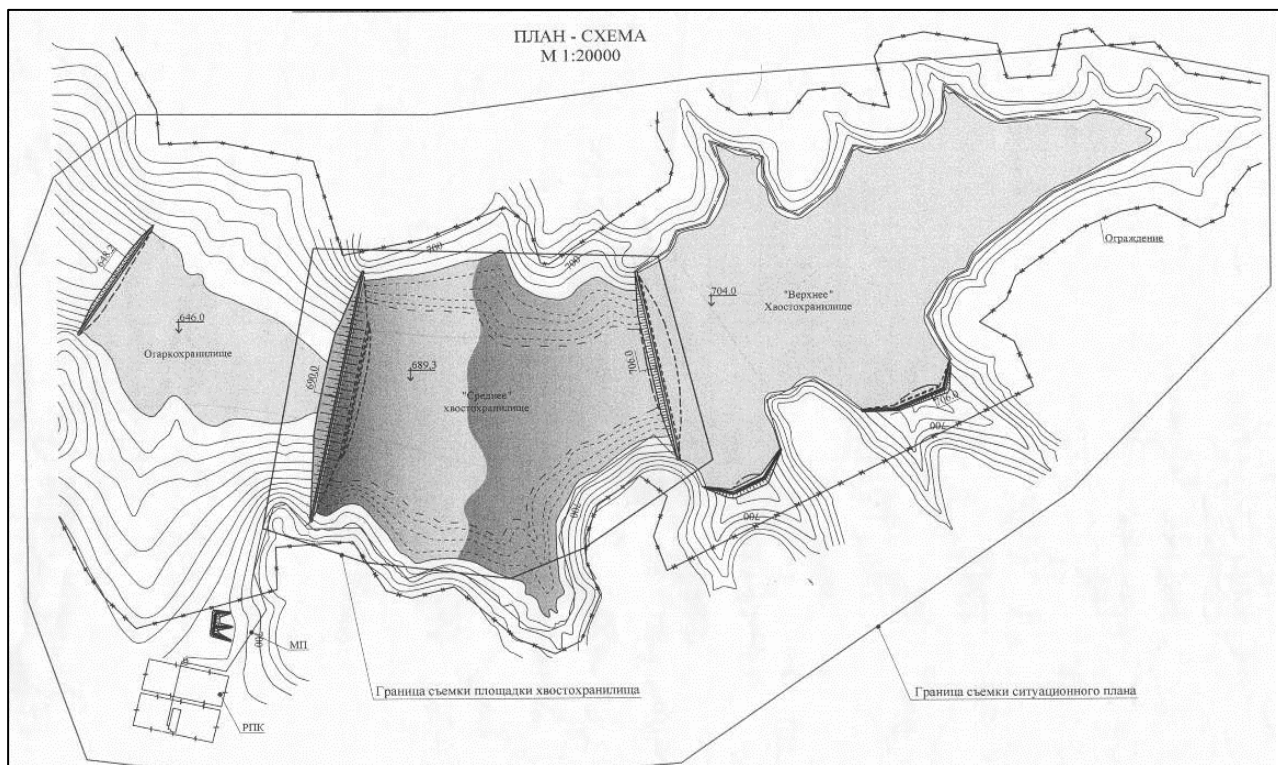


Рисунок 4.1 Схема расположения хвостохранилищ «Верхнее», «Среднее»

Площадка хвостохранилища «Верхнее» расположена в средней части пади Широндукуй, имеющей на данном участке западное, а, в общем, северо-западное простирание и впадающей в падь Сухой Урулюнгуй. Падь имеет корытообразную форму, в пределах существующего хвостохранилища заполненного до отметок 703-704,0 м. Борта пади переходят в куполообразные сопки с абсолютными отметками, колеблющимися в пределах 740-800 м. К северу и к югу высота сопки увеличивается.

Пылевато-илистые фракции, в основном, были представлены пылеватыми частицами ($d \geq 0,05 - 0,01$ мм). Основной составляющей песчаных фракций являются мелкозернистые частицы ($d = 0,05 - 0,074$ мм).

При изучении грунтов было выявлено, что распределение песчаной составляющей хвостов определяется удельными расходами и консистенцией пульпы. С увеличением степени разбавления пульпы содержание песка в ней по длине отложений увеличивается. Прочностные характеристики уменьшаются по мере удаления от места выпуска пульпы, т.к. более крупные частицы выпадают ближе к месту выпуска из пульповода, а мелкие выносятся в прудковую зону.

При проведении инженерно-геологических изысканий, которые включали в себя бурение скважин, были отобраны пробы грунта и воды, а также проведено статическое зондирование в чаше хвостохранилища для определения природной плотности песчаных грунтов, находящихся в рыхлом состоянии или ниже уровня подземных вод. Поскольку искусственную плотность этих грунтов трудно установить прямыми методами, приходится использовать косвенные, один из которых называется *зондированием грунтов*.

В ходе бурения скважин были вскрыты такие техногенные грунты, как: песок пылеватый многолетнемерзлый, льдистый, местами талый; супесь пластичной и текучей консистенций, редко супесь твердая пылеватая с прослоями песка пылеватого и суглинка; суглинок тугопластичной и мягкопластичной консистенций, пылеватый легкий с прослоями песка пылеватого и супеси, грунт талый, прослоями мерзлый, льдистый и слабольдистый, массивной, слоистой и сетчатой криотекстуры.

Также была обнаружена в чаше хвостохранилища «Верхнее» островная мерзлота, образование которой можно объяснить только способом укладки хвостов.

В таблице 14 приведены нормативные и расчетные значения физико-механических свойств грунтов хвостохранилищ «Верхнее» и «Среднее».

Исходя из полученных данных по инженерно-геологическим изысканиям, можно сделать следующие выводы, которые указывают на то, что в настоящее время необходимо ввести коррективы или совершенствовать методические рекомендации по техногенным грунтам для расчета нормативных показателей.

Таблица 14 - таблица нормативных и расчётных значений

Наименование грунта и геологический индекс	Плотность грунта в естеств. залег, $\frac{0,85}{0,95}$ г/см ³ Норм.	Плотность грунта в естеств. залег, $\frac{0,85}{0,95}$ г/см ³ Норм.	**Угол внутреннего трения, градус $\frac{0,85}{0,95}$ Норм.	**Удельное сцепление с, Мпа Норм. $\frac{0,85}{0,95}$	*Модуль деформации (по зондированию) Е, МПа	*Коэффициент фильтрации, м/сут.
Песок пылеватый tQIV	1.65 $\frac{1.59}{1.54}$	1.65 $\frac{1.59}{1.54}$	24 $\frac{23}{21}$	0.002 $\frac{0.001}{0.001}$	3.8 $\frac{3,5}{3,3}$ (9.0)	$\frac{0,30}{0,12}$ *
Супесь tQIV	1.70 $\frac{1.65}{1.61}$	1.70 $\frac{1.65}{1.61}$	23 $\frac{21}{20}$	0.009 $\frac{0.008}{0.007}$	3.6 $\frac{3.3}{3.1}$ (7.0)	$\frac{0,18}{0,07}$
Суглинок tQIV	1.65 $\frac{1.64}{1.63}$	1.65 $\frac{1.64}{1.63}$	-	(0.017)**	(7.0)	-
Суглинок dQ	1.69 $\frac{1.63}{1.58}$	1.69 $\frac{1.63}{1.58}$	20 $\frac{19}{18}$	0.036 $\frac{0.032}{0.028}$	3.2 $\frac{2.0}{1.0}$ 10**	0,7**

Примечание: () данные приведены по результатам статического зондирования;

* - коэффициент фильтрации для техногенных грунтов дан для максимально рыхлых грунтов;
для максимально плотных грунтов;

** - данные приведены по результатам полевых опытных инженерно-геологических работ.

По коэффициенту пористости грунты подразделяются на пески пылеватые рыхлые, если коэффициент пористости $> 0,8$. По результатам проведенных изысканий коэффициент пористости варьирует от 1,2 до 1,29. Это указывает на то, что содержание пор превышает объем, занятый твердыми частицами.

Следовательно, существует необходимость ввести понятие очень рыхлый грунт, т.к. техногенные грунты неуплотненные, не слежавшиеся.

Так, например, при инфильтрации атмосферных осадков существует большая вероятность накопления воды в порах, что в дальнейшем может привести к прорыву плотины.

Техногенные грунты являются недоуплотненными, имеющими неоднородный состав и слоистость. В ГОСТ 25100-2020 табл. 2.23 нет

определения «недоуплотненный» грунт, есть только три степени плотности песка: слабоуплотненные, среднеуплотненные и сильноуплотненные.

Частицы техногенного грунта хвостохранилища находятся в состоянии предельного равновесия. Угол внутреннего трения связан с коэффициентом трения и зависит от фракций, степени их увлажнения, гранулометрического состава и формы, а также от удельного веса материала. Угол внутреннего трения супеси (естественного грунта) варьирует от 24 до 30 градусов, а у техногенной супеси – от 20 до 23 градусов. У песков пылеватых естественного сложения – от 26 до 36 градусов, у техногенного песка – от 21 до 24 градусов.

Техногенные грунты, слагающие тело хвостохранилища имеют небольшое удельное сцепление и обладают тиксотропными свойствами.

Коэффициент фильтрации у супеси естественного сложения равно 0,1-0,7 м/сут, у суглинка естественного происхождения коэффициент фильтрации - 0,005 – 0,4 м/сут. У техногенной супеси и суглинка по данным инженерно-геологических изысканий коэффициент фильтрации = 0,07-0,18 м/сут.

По данным инженерно-геологических изысканий коэффициент фильтрации равен 0,12 м/сут для максимально уплотненного грунта и 0,30 м/сут для максимально рыхлого грунта.

В соответствии с СП 11-105-97 часть 3, табл. Ж1 в техногенных грунтах хвостохранилищ модуль деформации изменяется в диапазоне 5-10 МПа для пылеватой разновидности и 10-15 МПа для мелких. Также модуль деформации изменяется в зависимости от того, какой грунт – свежесформованный или грунт, который прошел процесс самоуплотнения.

Последние проведенные изыскания на хвостохранилище «Верхнее» показали, что модуль деформации для песка пылеватого варьирует от 3,3 до 3,5 – при нормативном 3.8 МПа, по данным статического зондирования – 9,00 МПа; модуль деформации для супеси – 3,1-3,3 МПа при нормативном 3,6 МПа, по данным зондирования 7,00 МПа; для суглинка модуль деформации по данным статического зондирования 7,0 МПа. Это говорит о том, что грунт слабый, неуплотненный, не слежавшийся.

Кровля прослоев погребённых многолетнемерзлых грунтов в техногенных отложениях может служить поверхностью скольжения, что создаёт опасность выпирания и деформации, включая разрушение плотины и ее элементов.

Погребённая мерзлота высокотемпературная и может быстро деградировать, что сильно увеличит сжимаемость слоя грунтов, но и снижает их прочностные свойства и устойчивость. Мерзлота в хвостохранилище носит островной характер.

Если применить усовершенствованные технологии проведения изысканий, то исключается негативное воздействие на организм человека, уменьшается стоимость изыскательских работ и экономический риск.

Полученные расчеты и значения коэффициентов для конкретных объектов позволяет впервые определить ориентировочное время водонасыщения, проверяемое при необходимости контрольные пенетрационные испытания.

Анализ аварий на хвостах намывного типа и шламоохранилищах показывает, что основной причиной является выклинивание кривой депрессии на низовой откос дамбы. Приведенная методика позволяет в длительном периоде времени (не менее года) спрогнозировать режим фильтрационных вод в теле дамбы и принять защитные мероприятия.

Предотвращенные аварии и ущерб от нее составляет не менее 500 млн.

ГЛАВА 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ ПЕРЕД РЕКУЛЬТИВАЦИЕЙ

При разработке проектов рекультивации хвостохранилищ требуется учитывать множество факторов, среди которых значительный объем данных о физико-механических свойствах хвостовых отложений. Поэтому ниже предлагается рассмотреть методические рекомендации по изучению хвостохранилищ урановых производств для принятия оптимальных технических решений как на период эксплуатации объектов, так и для разработки рекультивационных мероприятий.

В результате многолетних инженерно-геологических обследований, включающих в себя проходку шурфов, скважин, статическое и динамическое зондирование хвостохранилищ ГМЗ переработки урановых руд, удалось получить ряд важных характеристик намытых отложений.

В настоящее время при исследовании техногенных грунтов используется сочетание лабораторных и полевых методов определения их прочностных характеристик. Однако, как лабораторные определения прочностных свойств по образцам, отобраным в скважинах и шурфах, так и полевые испытания штампами и плоскостными срезами в грунтах, исследование крыльчаткой в скважинах, позволяют получить характеристику грунтов с перерывами по глубине. В первом случае это объясняется сложностью отбора образцов ненарушенной структуры непрерывно по всей глубине, во втором – сложностью и длительностью измерений.

В качестве альтернативных методов можно использовать георадарную томографию, геофизическое зондирование, индукционную электротомографию или лазерную дифракцию, которые обеспечивают более непрерывные данные о свойствах грунта. Более точные и непрерывные данные о прочностных характеристиках грунта позволяют более точно и надежно проектировать, и строить объекты на этих территориях.

Предлагаемый комплекс исследований

Особенностью проводимых исследований является то, что комплекс работ таких как, геологические, гидрогеологические и геофизические исследования проводились непосредственно в скважинах, пробуренных как в чаше хвостохранилищ, так и в бортах, и в приконтурных зонах.

Важной характеристикой работ является комплексность применяемых методов исследования, что обеспечивает необходимую полноту и достоверность полученных результатов.

Предлагаемый комплекс включает в себя:

- геологические работы, включающие буровые работы, документацию керна;
- геофизические исследования (вертикальное электрическое зондирование, скважинная геофизика, метод георадарной томографии, который позволяет получить 3D-изображение внутренней структуры грунта, методы индукционной электротомографии и методы лазерной дифракции);
- гидрогеологические исследования заключались в определении динамических и статистических уровней воды, определения коэффициентов фильтрации.

Глубины скважин определялись их местом расположения. При бурении скважин предусматривалось поинтервальное проведение гидрогеологических опытов и проб грунта на лабораторные работы.

Геологические исследования включают в себя документацию керна, который проходил послойное описание с точным указанием глубины, при этом фиксируются провалы инструмента, потеря жидкости и другие отклонения, что косвенным образом указывало на монолитность или нарушенную структуру пород.

Широко применяемый в опробовании природных грунтов способ динамического зондирования, который обеспечивает непрерывное погружение

зонда в грунт и фиксирование определенной зависимости между сопротивлением грунтов зондированию и их физико-механическими свойствами, также входит в предлагаемый комплекс, но с применением поправочного коэффициента. В 2013 году с участием автора диссертации была разработана инструкция «Методы полевых испытаний грунта статическим и динамическим зондированием на хвостохранилищах урановых производств».

В результате по внешнему периметру хвостохранилища образуются три основные зоны отложений: первая – зона упорных призм, формирование которых происходит в условиях надводного намыва – характеристики отложений этой зоны определяют устойчивость и надежность возводимого сооружений; вторая – промежуточная, формирование отложений в которой происходит из-за блуждания прудка как в условиях надводного, так и в условиях подводного намыва; третья – центральная (прудковая) зона, которая формируется в условиях подводного намыва. Физико-механические свойства отложений в первой и третьей зонах существенно отличаются друг от друга, а свойства отложений второй зоны близки к свойствам отложений первой зоны.

Одним из показателей, характеризующих крупность намывного материала, является средневзвешенный диаметр частиц. В результате фракционирования при намыве происходит следующее распределение хвостов по средневзвешенному диаметру: в упорной призме – 0,33-0,05 мм; в переходной зоне – 0,1-0,02 мм и в центральной – менее 0,02 мм. В соответствии с классификацией грунтов по гранулометрическому составу и с учетом значений средневзвешенных диаметров, намывтый материал может классифицироваться следующим образом: глина, суглинок ($d_{cp} < 0,001$ мм); суглинок пылеватый (0,01-0,05 мм); супесь пылеватая (0,05-0,08 мм); супесь, песок пылеватый (0,08-0,15 мм) и песок мелкий (0,15-3,33 мм).

Нужно иметь ввиду, что применение строительной классификации грунтов с подразделением хвостов на «глинистые» или «песчаные» следует считать весьма условным из-за формы частиц хвостов, которые существенно отличающихся от формы глинистых или песчаных грунтов естественного

происхождения, кроме того, фракции хвостов крупностью менее 0,005 мм не всегда представлены типично глинистыми материалами, а являются результатом механического дробления в виде обломков рудного материала различной формы и отличаются острогранностью и высокой степенью шероховатости. По обобщенному показателю морфологии, равному 0,296, хвосты классифицируются как необработанный материал.

Одной из основных характеристик намытых хвостов является их гранулометрический состав. Кроме того, на основе места их залегания можно определить и другие характеристики. Намытые хвосты, которые находятся в отложениях ниже кривой депрессии и в центральной зоне хвостохранилища в период эксплуатации, обычно характеризуются высокой влажностью, соответствующей полному водонасыщению. Поверхностный слой хвостов в период их формирования также находится в водонасыщенном состоянии. В период «отдыха» намытого слоя влажность уменьшается до значений, близких к максимальной влагоемкости грунта, и характеризуется при длительности «отдыха» не менее месяца (длительность отдыха принята с учетом самоуплотнения намытого слоя мощностью 0,1-0,3 м, которая зависит от крупности и изменяется по данным проведенных наблюдений в пределах 6-30 суток) следующими значениями: мелкий песок – 3-8 %; песок пылеватый и супесь – 5-12 %, супесь пылеватая – 8-11%, суглинок – 10-20 %.

При намыве последующего слоя влажность предыдущего увеличивается до значений, близких к полному водонасыщению. Влажность отложений, между поверхностным слоем и кривой депрессии в период «отдыха» близка к оптимальной влажности: мелкий песок – 12 %; песок пылеватый и супесь – 14 %; супесь пылеватая – 16 %. [1,2,3]

Следует отметить, что конкретные значения влажности для намытых хвостов могут различаться в зависимости от ряда факторов, включая геологические и климатические условия, в которых они образовались и находятся в настоящее время.

Для разработки проектов изыскательских работ на рекультивируемых хвостохранилищах за минимальную плотность сухих хвостов P_d^H принимаются значения поверхностного слоя мощностью 0,10-0,50 м, конечную плотность отложений P_d^K с учетом гранулометрического состава по данным таблицы 15.

Таблица 15 - конечная плотность отложений P_d^K с учетом гранулометрического состава

№	Характеристики	Виды хвостов			
		Пески мелкие	Пески пылеватые, супеси	Супеси пылеватые	Суглинки пылеватые
1	$P_d^K (P_d^H), \text{г/см}^3$	1,4 (1,42)	1,29 (1,19)	1,15 (1,025)	1,04 (0,88)
2	$P (P^H), \text{г/см}^3$	1.1 (1.3)	1.2 (1.5)	0.8 (1.0)	1.0 (1.3)

где: $P(P^H)$ – нормативные значения

P – установленные при 95% обеспеченности

Изменение плотности от крупности характеризуется установленными по результатам проведенных на действующих и законченных эксплуатацией хвостохранилищ многочисленных определений эмпирическими формулами:

$$P_d^H = 0,4 P_{\text{ч}} \sqrt{d/d^l} \quad (5.1)$$

$$P_d^K = 0,45 P_{\text{ч}} (d/d^l)^{0.19} \quad (5.2),$$

где: $P_{\text{ч}}$ - плотность частицы, г/см^3 (пределы 2,5-2,8 г/см^3);

d - средневзвешенная крупность хвостов (пределы 0,02-0,33 мм);

d^l - контрольная крупность хвостов, равная 0,074 мм.

Величина коэффициента относительной пористости I_d является еще одной важной характеристикой для намывных грунтов. Так коэффициент относительной пористости I_d от поверхности до зон полной стабилизации значений плотности составляет 0,20-0,47 – для песков мелких и 0,11-0,31 – для песков пылеватых, что свидетельствует о рыхлом сложении материала.

Статистическая обработка результатов динамического зондирования и соответствующих им показателей позволили выявить наличие прямой и тесной связи между результатами зондирования и характеристиками хвостов, что в свою очередь помогает определить оптимальные методы и технологии их использования и переработки.:

$$\gamma_c = 970 + 40P_q \quad (5.3)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = 0,25 + 0,04P_q \quad (5.4),$$

где: γ_c - плотность сухих хвостов;

$\operatorname{tg} \varphi$ - тангенс угла внутреннего трения;

P_q - условное динамическое сопротивление, кгс/см².

Результаты полевых и камеральных исследований по динамическому зондированию приведены в таблице 16 и рисунке 5.

Геофизические исследования

Геофизический комплекс исследований включал в себя вертикальное электрическое зондирование и проведение гамма-термокаротажа с целью выявления возможного выхода загрязнения через нарушенную конструкцию хвостохранилища, а также определение возможных границ утечек.

Для изучения направления миграции вод сделана электротомография по профилям при помощи многоэлектродной станции с использованием установки Шлюмберже, шаг между профилями – 10 м, между электродами- 5м. По результатам геофизической съемки выбирались места для проведения полевых опытных работ, а именно шурфы с целью опробования грунта.

Для изучения внутренней структуры ограждающей дамбы предложено использовать георадарное зондирование с целью исследования фильтрационных процессов и обнаружение локализации воды.. В процессе исследований выявлена закономерность изменения диэлектрической проницаемости грунта с

Таблица 16 - результаты динамического зондирования

№№ п.п.	Номер точки динамического зондирования	Номер скважины	Интервал зондирования, м	Мощность слоя, м	Условное динамическое сопротивление q_d МПа (кгс/см ²)	Модуль деформации E, МПа (кгс/см ²), СН 448-72, табл. 13	Угол внутреннего трения φ , град., СН 448-72, табл. 12	R_n , кгс/см ²	Удельное сцепление (с), кПа (кгс/см ²), СНиП 2.02-01-83, прилож. 1, табл. 1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ИГЭ-1. Насыпной грунт (щебень)									
1	1	скв-1	0,0-0,5	0,5	4,8 (48)	30,8 (308)			
2	1	скв-1	0,5-0,8	0,3	6,2 (62)	36,0 (360)			
3	2	скв-1*	0,0-0,5	0,5	5,1 (51)	31,9 (319)			
4	2	скв-1*	0,5-1,1	0,6	9,0 (90)	44,0 (440)			
5	2	скв-1*	1,1-1,4	0,3	13,9 (139)	54,8 (548)			
6	5	скв-3	0,0-0,6	0,6	4,1 (41)	28,2 (282)			
7	5	скв-3	0,6-1,5	0,9	2,4 (24)	21,6 (216)			
10	7	скв-4	0,0-0,3	0,3	2,4 (24)	21,6 (216)			
11	7	скв-4	0,3-0,5	0,2	9,6 (96)	45,5 (455)			
12	7	скв-4	0,5-0,9	0,4	18,0 (180)	60,0 (600)			
Среднее значение					6,4 (64)	37,4 (374)			
ИГЭ-3. Насыпной грунт (Супесь дресвяная)									
13	9	III - скв-9*	0,0-0,2	0,2	3,4 (34)	20,4 (204)		2,8	
14	9	III - скв-9*	0,2-0,5	0,3	6,2 (62)	37,2 (372)		4,9	
15	9	III - скв-9*	0,5-0,7	0,2	3,4 (34)	20,4 (204)		2,8	
16	9	III - скв-9*	0,7-0,9	0,2	2,4 (24)	14,4 (144)		2	
17	9	III - скв-9*	0,9-1,2	0,3	1,7 (17)	10,2 (102)		1,5	
Среднее значение					3,4 (34)	20,5 (205)		2,8	
ИГЭ-4. Зола технологического угля									
44	10	скв-5	1,8-2,3	0,5	4,1 (41)	24,6 (246)		3,3	
45	10	скв-5	2,3-2,7	0,4	6,4 (64)	38,4 (384)		5	
46	10	скв-5	2,7-3,1	0,4	4,7 (47)	28,2 (282)		3,8	
47	10	скв-5	3,1-3,5	0,4	3,5 (35)	21,0 (210)		2,9	
48	10	скв-5	3,5-4,0	0,5	4,7 (47)	28,2 (282)		3,8	
49	10	скв-5	4,0-4,4	0,4	5,4 (54)	32,4 (324)		4,3	
50	10	скв-5	4,4-4,7	0,3	7,7 (77)	46,2 (462)		5,5	
51	10	скв-5	4,7-5,4	0,7	5,0 (50)	30,0 (300)		4	
Среднее значение					5,2 (52)	31,1 (311)		4,0	
ИГЭ-5. Зола энергетического угля									
122	9	III - скв-9*	1,2-1,6	0,4	3,4 (34)	20,4 (204)		2,8	
123	9	III - скв-9*	1,6-2,1	0,5	2,0 (20)	12,0 (120)		1,7	
124	9	III - скв-9*	2,1-3,0	0,9	1,5 (15)	9,0 (90)		1,4	
125	9	III - скв-9*	3,0-3,5	0,5	2,0 (20)	12,0 (120)		1,7	
126	9	III - скв-9*	3,5-3,8	0,3	1,1 (11)	6,6 (66)		1,1	
127	9	III - скв-9*	3,8-4,0	0,2	2,9 (29)	17,4 (174)		2,4	

№№ п.п.	Номер точки динамического зондирования	Номер скважины	Интервал зондирования, м	Мощность слоя, м	Условное динамическое сопротивление q_d МПа (кгс/см ²)	Модуль деформации E, МПа (кгс/см ²), СН 448-72, табл. 13	Угол внутреннего трения φ , град., СН 448-72, табл. 12	Rn, кгс/см ²	Удельное сцепление (с), кПа (кгс/см ²), СНиП 2.02-01-83, прилож. 1, табл. 1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Среднее значение			5,9 (59)	35.4 (354)		4.0			
ИГЭ-6. Щебенистый грунт с пылевато-глинистым заполнителем до 30%.									
145	9	Ш - скв-9*	5.6-6.0	0,4	8.1 (81)	41.7 (417)			
146	9	Ш - скв-9*	6.0-6.8	0,8	6.4 (64)	36.7 (367)			
147	9	Ш - скв-9*	6.8-7.1	0,3	4.8 (48)	30.8 (308)			
148	9	Ш - скв-9*	7.1-7.8	0,7	4.4 (44)	29.3 (293)			
149	9	Ш - скв-9*	7.8-8.3	0,5	5.0 (50)	31.6 (316)			
150	9	Ш - скв-9*	8.3-8.5	0,2	4.4 (44)	29.3 (293)			
151	9	Ш - скв-9*	8.5-9.0	0,5	2.5 (25)	22.0 (220)			
152	9	Ш - скв-9*	9.0-9.2	0,2	2.2 (22)	20.8 (208)			
153	9	Ш - скв-9*	9.2-9.8	0,6	3.2 (32)	24.8 (248)			
154	9	Ш - скв-9*	9.8-10.1	0,3	5.0 (50)	31.6 (316)			
155	9	Ш - скв-9*	10.1-10.4	0,3	5.6 (56)	33.8 (338)			
156	9	Ш - скв-9*	10.4-10.7	0,3	6.6 (66)	37.5 (375)			
157	9	Ш - скв-9*	10.7-11.2	0,5	5.6 (56)	33.8 (338)			
158	9	Ш - скв-9*	11.2-11.6	0,4	4.7 (47)	30.4 (304)			
159	9	Ш - скв-9*	11.6-12.0	0,4	3.5 (35)	26.0 (260)			
160	10	скв-5	5.4-5.6	0,2	5.6 (56)	33.8 (338)			
161	10	скв-5	5.6-6.1	0,5	6.4 (64)	36.7 (367)			
162	10	скв-5	6.1-6.7	0,6	4.4 (44)	29.3 (293)			
163	10	скв-5	6.7-7.5	0,8	7.2 (72)	39.5 (395)			
164	10	скв-5	7.5-8.0	0,5	9.3 (93)	44.7(447)			
Среднее значение					5.3 (53)	32.0 (320)			
ИГЭ-9д. Песок гравелистый									
183	5	скв-3	3.6-3.9	0,3	10.5 (105)	47.7 (477)	38		
184	5	скв-3	3.9-4.2	0,3	6.8 (68)	38.2 (382)	36		
185	5	скв-3	4.2-4.5	0,3	4.1 (41)	28.2 (282)	33		
186	5	скв-3	4.5-5.1	0,6	2.2 (22)	20.8 (208)	30		
187	5	скв-3	5.1-5.4	0,3	4.1 (41)	28.2 (282)	33		
188	5	скв-3	5.4-5.7	0,3	5.9 (59)	34.9 (349)	35		
189	5	скв-3	5.7-6.7	1	4.1 (41)	28.2 (282)	33		
190	5	скв-3	6.7-7.0	0,3	2.7 (27)	22.8 (228)	31		
191	5	скв-3	7.0-7.4	0,4	5.9 (59)	34.9 (349)	35		
192	5	скв-3	7.4-7.6	0,2	8.7 (87)	43.2 (432)	37		
193	5	скв-3	7.6-8.0	0,4	11.3 (113)	49.6 (496)	38		
Среднее значение					6.0 (60)	34.2 (342)	35		
ИГЭ-12. Алевролит									
198	6		3.6-3.9	0,3	8.7 (87)	52.2 (522)		5,5	
199	6		3.9-4.7	0,8	5.0 (50)	30.0 (300)		4	

№№ п.п.	Номер точки динамического зондирования	Номер скважины	Интервал зондирования, м	Мощность слоя, м	Условное динамическое сопротивление q_d МПа (кгс/см ²)	Модуль деформации E, МПа (кгс/см ²), СН 448-72, табл. 13	Угол внутреннего трения φ , град., СН 448-72, табл. 12	Rn, кгс/см ²	Удельное сцепление (с), кПа (кгс/см ²), СНиП 2.02-01-83, прилож. 1, табл. 1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
200	6		4.7-5.3	0,6	7.4 (74)	44.4 (444)		5,5	
201	6		5.3-5.7	0,4	5.0 (50)	30.0 (300)		4	
202	6		5.7-6.7	1	6.3 (63)	37.8 (378)		5	
203	6		6.7-7.6	0,9	8.6 (86)	51.6 (516)		5,5	
204	6		7.6-8.0	0,4	10.4 (104)	62.4 (624)		5,5	
Среднее значение					7.3 (73)	44.0 (440)		5,0	

Ш-скв - 9*

Д-9

Точка динамического зондирования Д-9
 Расстояние в 8,2 м к СВ от Ш-скв-9*
 Абсолютная отметка 1716,8
 Тип установки ИРБ 2А-2

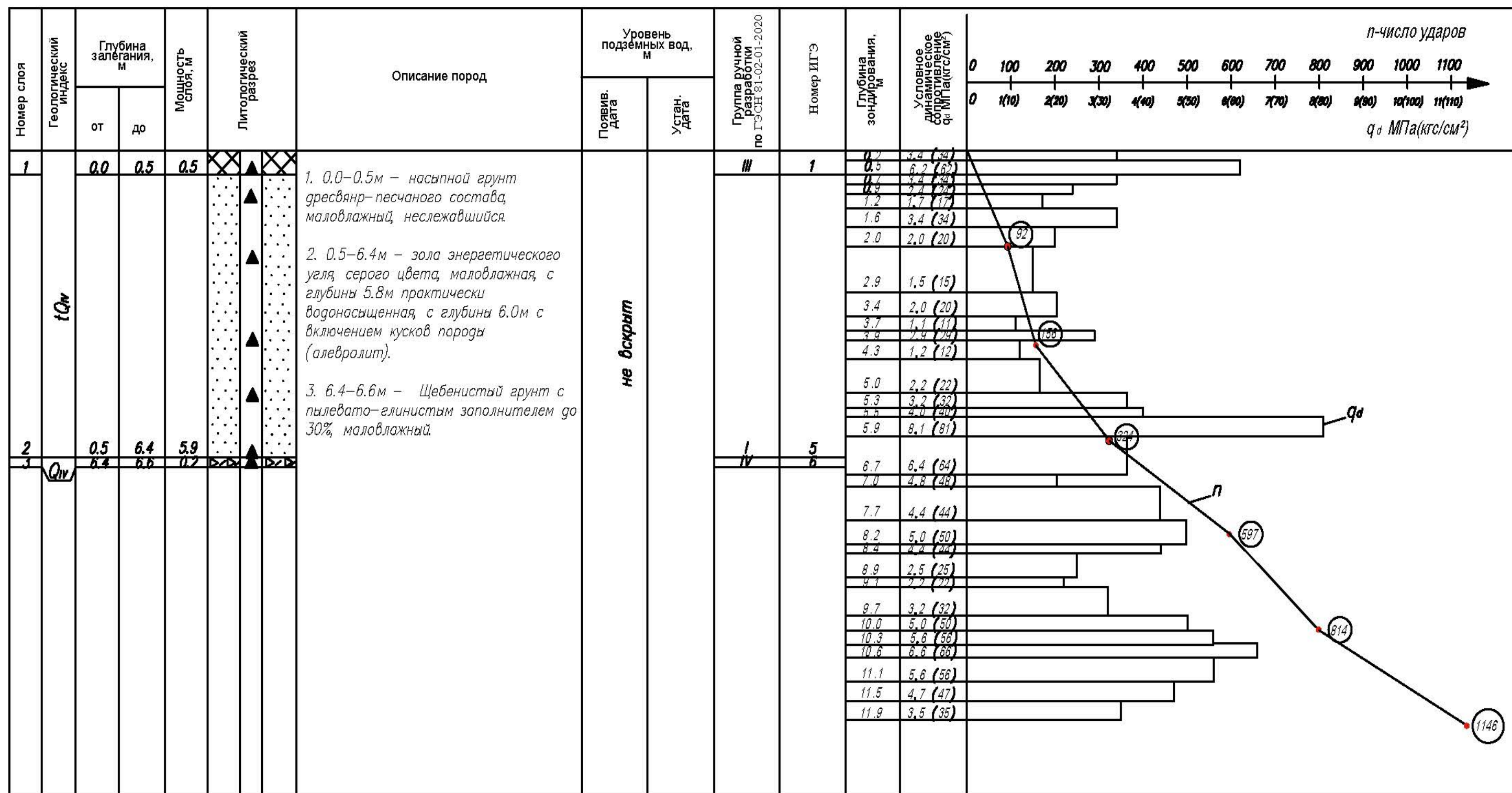


Рисунок 5 - результаты динамического зондирования

зоной влагонасыщения дамбы и ее фильтрации, при этом не разрушая поверхность дамбы. Основным параметром данного метода является скорость распространения электромагнитных волн.

При гамма-каротаже скважин оценивается глубина и мощность загрязненных пластов. Гамма-каротаж проводится при подъеме блока со скоростью, не превышающей 2м/м, время замера на точке- не менее 10 с, количество замеров- не менее трех, расстояние между точками замера в нормальном поле – 0,25м.

Если встречается диапазон с повышенной активностью необходимо проводить детальный каротаж с точной регистрацией через 0,1-0,15м. Результаты гамма-каротажа представляются в виде графиков: по оси абсцисс – глубина скважины в масштабе 1:100 или 1:50, по оси ординат – значение мощности дозы в соответствующих единицах в удобном масштабе, рядом с осью ординат строится литологический разрез.

Целью исследования температурного режима в наблюдательных скважинах, расположенных в теле хвостохранилищ и в массиве вмещающих пород, является распределение температур по глубине в течение определенного интервала времени. По данным термокаротажа строятся графики распределения температур по глубине скважины. На основе анализа этих данных определяется глубина промерзания среды.

В качестве нового метода для изучения прямого определения содержания урана в хвостохранилищах предложен каротаж нейтронов деления. Данный метод выполняется по двухзондовой методике с использованием каротажного комплекса.

Аппаратный комплекс, описанный выше, обладает способностью проводить одновременную регистрацию мгновенных нейтронов деления и гамма-излучения. Это означает, что он может одновременно измерять два излучения, которые обычно используются для анализа состава материалов.

При проведении каротажа скважин необходимо учитывать ряд факторов, которые обеспечат высокую точность получаемой информации:

- Регистрация должна проходить в режиме непрерывной записи, что позволяет получать более полные данные о составе и структуре скважины.
- Необходимо проводить одновременную регистрацию двух параметров: плотности потока нейтронов и мощности дозы гамма-излучения. Это поможет получить более точную информацию о составе горных пород, которые находятся внутри скважины.
- Рекомендуемая скорость подъема скважинного прибора не должна превышать 30 км/час. Это помогает избежать искажений данных и получить более точные результаты.
- Аппаратура должна выводить информацию с шагом квантования 10-20 см. Это позволяет получить более детальную карту скважины и выявить различные ее характеристики, такие как наличие трещин, пустот и других неоднородностей.
- Необходимо делать 15-минутные технические перерывы через каждые 20-30 минут работы аппаратуры. Это поможет сохранить исправность аппаратуры и избежать возможных сбоев в ее работе.

Данный метод позволяет провести расчет остаточного содержания урана, если выявляется повышенное содержание, то необходимо отработать хвостохранилище повторно с целью извлечения полезных компонентов. Технология обогащения должна обеспечивать наиболее полную индивидуализацию по составу, что обеспечит наиболее эффективный процесс обогащения.

Таким образом, помимо инженерно-геологических аспектов, выполняемые изыскания позволяют выявить особенности хвостохранилищ как техногенных месторождений.

Гидрогеологические исследования

Гидрогеологические исследования в скважинах заключаются в проведение

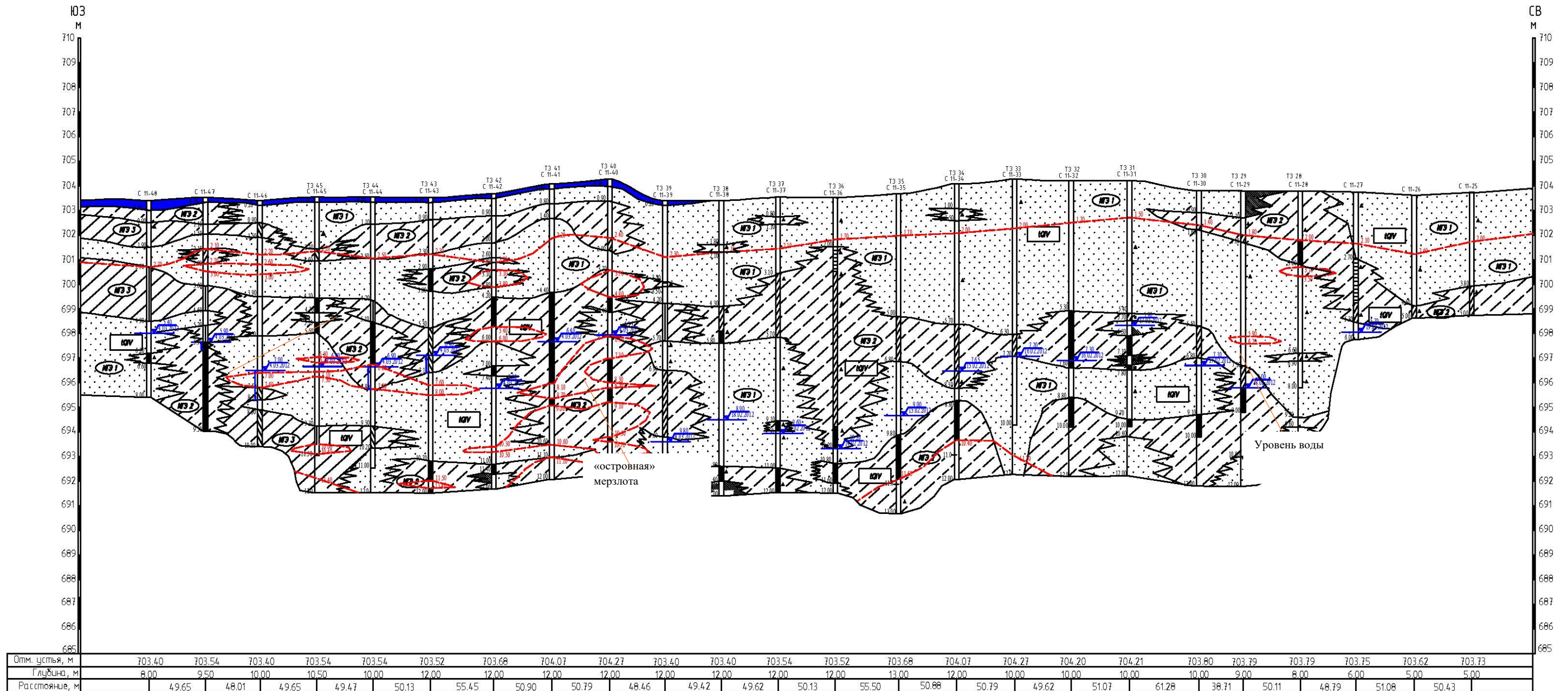
откачки либо проведение наливов поинтервально, так и определение динамических и статических уровней воды, отбор проб воды для проведения химического и радиометрического анализов

Гидрогеологические исследования включают в себя: проведение пробных одиночных наливов воды в скважины; определение статических уровней воды; определение динамических уровней воды; отбор проб воды для проведения химического анализа; определение коэффициента фильтрации.

Результатом использования комплекса инженерно-геологических изысканий может служить разрез чаши хвостохранилища «Верхнее» ПАО «ППГХО», полученный в результате изыскательских работ, проводимых с непосредственным участием автора (Рисунке 5.1).

По чаше хвостохранилища «Верхнее» была намечена сетка инженерно-геологических скважин и статического зондирования, где в ходе бурения при проведении изысканий в скважинах были вскрыты такие техногенные грунты: песок пылеватый многолетнемерзлый, льдистый, местами талый; супесь пластичной и текучей консистенций, редко супесь твердая пылеватая с прослоями песка пылеватого и суглинка; суглинок тугопластичной и мягкопластичной консистенций, пылеватый легкий с прослоями песка пылеватого и супеси; грунт талый, прослоями мерзлый, льдистый и слабольдистый, массивной, слоистой и сетчатой криотекстуры.

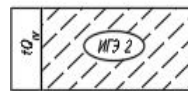
Также в чаше хвостохранилища «Верхнее» была обнаружена островная мерзлота, образование которой можно объяснить только способом укладки хвостов. Кровля прослоев погребённых многолетнемерзлых грунтов в техногенных отложениях может служить поверхностью скольжения, что создаёт опасность выпирания. При этом погребённая мерзлота высокотемпературная и может быстро деградировать, что сильно увеличит сжимаемость слоя грунтов.



Современные техногенные отложения



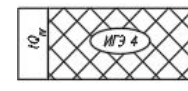
Песок бурый, светло-коричневый, розовато-бурый, желто-серый пылеватый; средней плотности и рыхлый; от малой степени водонасыщенности до насыщенного водой; талый, прослоями многолетнемерзлый, слабльдистый до льдистого, массивной, реже слоистой криотекстуры.



Супесь бурая, розовато-бурая, серо-коричневая, желтовато-бурая пластичной и текучей консистенции, редко твердая, пылеватая, с прослоями песка пылеватого и суглинка мощностью от 2-5 до 20-30 см; грунт талый, прослоями мерзлый, слабльдистый до льдистого, массивной, слоистой и сетчатой криотекстуры, со шпирями льда до 5 см.



Суглинок бурый, желто-бурый, боровато-коричневый, светло-коричневый, желтовато-коричневый тугопластичной и мягкопластичной консистенции, пылеватый, легкий, с прослоями песка пылеватого и супеси мощностью от 1-2 до 20-30 см; грунт талый, прослоями мерзлый, льдистый и слабльдистый, массивной, слоистой и сетчатой криотекстуры.



Насыпной грунт отвалов, дамб и автодорог - щебенистый грунт с глыбами. Обломки магматических пород прочные и средней прочности, реже строительный мусор (бетон, кирпич, обломки древесины и т.д.) Кавальеры складирования почвенно-растительного слоя и дельвиального суглинка; дельвиальный суглинок, как подсыпка и предохранительный слой при укладке противофильтрационной пленки. Грунт, в основном, слежавшийся или уплотненный, до глубины 2,6 м мерзлый.

Рисунок 5.1 – инженерно-геологический разрез по чаше хвостохранилища «Верхнее»

Выбор направлений рекультивации

Конечной целью проведенных инженерно-геологических изысканий и последующих исследований должно быть снижение радиоактивного загрязнения от уранодобывающих предприятий до уровня, обеспечивающего максимальную защиту населения от радиации и восстановление элементов геосистемы таких как вода и почва до существующих нормативов.

Поэтому необходимо изначально учитывать и делать расчет жизнедеятельности производства на всех этапах. В идеальном случае территория должна быть переведена в состояние, пригодное для последующего неограниченного использования (без необходимости регулирующего контроля).

Существует несколько вариантов рекультивации территории, закончивших эксплуатацию территории предприятий уранового «комплекса», но на их выбор влияет экономические возможности страны. В случае недостатка финансирования – минимальный уровень приемлемой безопасности на определенный период.

В руководстве МАГАТЭ были разработаны категории состояния территорий после проведения рекультивационных мероприятий [41]:

1. Возможно неограниченное использование территории. Данный процесс должен включать в себя изъятие загрязнения с территории, достаточные для ведения новой деятельности (есть международный опыт)

2. Возможно использование территории с ограничениями с необходимостью проведения контроля, так как нет возможности полностью удалить загрязнения. Требуются специальные ограничения для обеспечения безопасности населения и окружающей среды.

3. Территория остается зоной ограниченного доступа. В случае серьезного загрязнения территории требуется обеспечение ограниченного доступа на территорию.

Так же можно применять подходы к приведению территорий бывшего уранового производства в экологически безопасное состояние (концепция «зеленой» и «коричневой» лужайки).

ГЛАВА 6. ПРИНЦИПЫ И КРИТЕРИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИЗОЛЯЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Основной целью деятельности в области обращения с радиоактивными и токсичными отходами является надежное социально-эффективное обеспечение безопасности живущего сейчас и будущего поколения, защита среды обитания человека от загрязнений на весь срок существования опасности и при экстремальных чрезвычайных ситуациях.

К сожалению, аварии на хвостохранилищах радиоактивных, токсичных и ядовитых веществ происходили и у нас, и в других странах.

6.1 Аварии на хвостохранилищах добывающих и перерабатывающих производств.

В результате аварии на алюминиевом заводе в Венгрии – экологическая катастрофа, произошедшая в октябре 2010 года на крупном заводе «Ajkaí Timfoldgyar Zrt» в районе города Айка, в 160 километрах от Будапешта. Во время взрыва на заводе разрушилась плотина, что привело к выбросу около 1,1 миллиона кубометров токсичного вещества, известного как красный шлам, содержащего ядовитые отходы. Загрязнение затопило территории трех областей – Веспрем, Ваш и Дьер-Мошон-Шопрон. Общее число пострадавших в результате разлива ядохимикатов превысило 140 человек.

Экологическая катастрофа в Испании 1998 года – выход из строя дамбы хвостохранилища свинцово-цинкового рудника Aznalcóllar недалеко от Севильи привел к разливу почти 5 миллионов кубометров токсичных шламов и жидкости, покрыв несколько тысяч гектаров сельскохозяйственных угодий.

Экологическая катастрофа 1985 года на хвостохранилище в Италии – 200000 м³ отходов стекла вытекли со скоростью до 90 км/час, убив 268 человек и уничтожив 62 зданий.

Катастрофа 2000 года на хвостохранилище медного рудника на севере Швеции – в результате разлива 2,5 миллиона кубических метров жидких отходов попали в окружающую среду.

Экологические катастрофы в Бразилии (рисунок 6.1) – в 2015 году произошел прорыв сразу двух плотин, сдерживавших сточные шахтные воды (отходы добычи железной руды).



Рисунок 6.1 – селевой поток после прорыва дамбы хвостохранилища Vale (Бразилия)

Тонны жидкой токсичной грязи обрушились на близлежащие населенные пункты. Прорвавшийся поток токсичных отходов был настолько силен, что его следы прослеживаются на протяжении 440 км от дамбы и затрагивают 11 муниципалитетов Бразилии. Было уничтожено 10 мостов, и 18,5 км дорог, более 350 жилых и административных зданий. Восемь человек погибло, свыше 250 – получили ранения, более 20 – все еще числятся пропавшими без вести. Возник риск значительного ухудшения качества питьевой воды ближайших штатов. Материальный ущерб превысил 27 млн долларов США.

В 2019 году произошла катастрофа на хвостохранилище железорудной корпорации Vale в Corrego de Feijao, Бразилия, из-за обрушившихся ливней. Дамба на хвостохранилище прорвалась, вызвав грязевой поток, который затопил административные здания рудника и часть прилегающего поселка. По последним данным, в результате катастрофы погибли 58 человек, а более 300 считаются пропавшими без вести.

В таблице 17 приведены сведения о некоторых катастрофах на территории нашей страны.

Таблица 17 - аварии на хвостохранилищах.

Наименование	Местоположение	Дата аварии	Тип отходов	Причина аварии	Число пострадавших	Ущерб, тыс. долл.
Хвостохранилище рудника "Эль-Кобре"	Центральная часть Чили, город Эль-Кобре	28.03.1965	Отходы переработки медно-никелевых руд	разрушение дамбы вследствие землетрясения	300	
Качканарское Шламохранилище	Россия, Свердловская область	02.11.1999	отходы переработки железо-ванадиевых руд	прорыв дамбы в результате переполнения резервной емкости, в результате чего начали развиваться процессы фильтрации		>7
Карамкенское Хвостохранилище	Россия, Магаданская область	29.08.2009	отходы переработки золотосеребряных руд (цианиды)	прорыв дамбы вследствие фильтрации через трещины	1 погиб, 2 пропали без вести. 11 семей остались без крова	
Шламонакопитель ОАО "Аммофос"	Россия, Вологодская область	11.05.2010	отходы от производства азотно-фосфорных удобрений	появление в дамбе трещин (в результате просадки), по которым начали развиваться процессы фильтрации		>1
Абагурское хвостохранилище	Россия, Кемеровская область	19.09.2010	отходы переработки черных металлов	в результате переполнения хвостохранилища отходами	-	>0.5

Наименование	Местоположение	Дата аварии	Тип отходов	Причина аварии	Число пострадавших	Ущерб, тыс. долл.
				произошло разрушение дамбы		
Шламохранилище завода «MAL Hungarian Aluminum»	Венгрия. район города Айка	04.10.2010	отходы глинозема (красный иглам)	прорыв дамбы вследствие фильтрации через трещины	10 человек погибли, более 120 человек получили серьезные ожоги	>210

6.2 Принципы и критерии безопасности при захоронении радиоактивных отходов.

Для предотвращения опасного воздействия радиоактивных отходов на человека и окружающую среду его обитания необходимо выполнять следующие требования радиационной защиты:

- никакой вид деятельности, приводящий к образованию радиоактивных отходов, не должен вводиться, если его применение не дает реальную «чистую» пользу.

- снижение вредного воздействия до возможно низкого уровня с учетом экономических и социальных факторов, так называемая оптимизация защиты.

- не превышение установленных пределов безопасности.

Социально-экономическая эффективность обеспечения безопасности означает, что снижение вредного воздействия до возможно низкого уровня должно производиться с учетом экономических и социальных фактов.

Принципы безопасности:

- Экологические принципы.

Радиоэкологическая безопасность должна основываться на концепции, что уровень безопасности, необходимый для защиты человека, будет достаточным и для защиты других живых существ. Любые нормативы для человека должны гарантировать их надежность для отдельных биоценозов, биосферы в целом.

- Социально-экономические принципы.

Снижение вредного воздействия до возможно низкого уровня, сопоставление мер по защите основывается на концепции экономической оценки социального и экономического ущерба.

При сопоставлении разновременных затрат, затраты должны приводиться к одному моменту времени затрат.

Мерой радиационного воздействия ионизирующего излучения для человека является годовая индивидуальная эффективная доза E , а мерой воздействия на популяцию - ожидаемая коллективная эффективная доза Sec .

В случае детерминированного, действительного облучения человека, когда потенциально опасный источник находится под контролем, дозы облучения и риск последствия являются одновременной мерой безопасности человека.

В случае вероятного, потенциального облучения в результате аварий или экстремальных событий мерой безопасности человека является риск.

В затратах на обезвреживание РАО должны быть учтены все виды затрат, связанные с обезвреживанием.

Оптимизацию радиационной защиты может применяться на пяти уровнях.

- сравнение системы полного цикла удаления, обезвреживания отходов, включая условия их образования, хранения, перевозку и размещения.

- сравнение различных систем общего удаления и обезвреживания всех видов отходов.

- сравнение различных способов размещения отходов всех видов.

- сравнение различных вариантов размещения хранилищ для радиоактивных отходов.

- сравнение альтернативных технических решений и оценка эффективности дополнительных защитных мер при проектировании сооружений данного типа.

Критерии безопасности

Радиационная безопасность при нормальной ситуации обеспечивается при условии выполнения трех основных требований радиационной безопасности:

- исключение всякого необоснованного облучения;
- не превышение установленного основного дозового предела;
- снижение дозы до возможно низкого уровня.

Радиационная безопасность при случайных аномальных событиях обеспечивается при условии выполнения основных требований аварийной защиты:

- исключение необоснованного риска,
- не превышение установленного основного предела риска,
- снижение риска до возможно низкого уровня.

В связи с этим при проведении работ по обследованию радиоактивно загрязненных территорий, отходов отвалов и хвостохранилищ, необходимо руководствоваться следующими методическими соображениями [43]:

1. Необходимо априори произвести классификацию отходов, определив на первом же этапе, как сверхкатегорийные отходы, превышающие хотя бы по одному из критериев α - и γ –активности или интенсивности эксхалации радона предельно допустимые сверхфоновые концентрации более чем в 100 раз. Тогда отходы первой категории могут быть определены по превышению сверхфоновым предельно допустимых концентраций α - и γ – активности и эксхалации радона в 10-100 раз; отходы II- категории – при превышении сверхфоновых предельно допустимых концентраций – в 1-10 раз

2. На втором этапе должны быть определены объемы отходов и степень дисперсности твердых отходов. При забойной крупности отходов горнодобывающего производства в процессах последующего их выветривания или выщелачивания воднорастворимых фаз.

Особенностью захоронения радиоактивных отходов добычи и переработки руд является то, что, во-первых, в них содержатся долгоживущие радионуклиды, во-вторых, отходы имеют очень большие объемы, в-третьих, существующие хвостохранилища являются приповерхностными, что создает принципиальные трудности эксхалации хвостов на длительные периоды времени.

Методическое обеспечение экономической оценки экологического ущерба от воздействия снятых с эксплуатации предприятий и эффективности рекультивации исследованы концептуальные особенности методики укрупненной экономической оценки экологического ущерба от выбросов и сбросов радионуклидов в окружающую среду. В методическом обеспечении использован подход, изложенный во «Временной методике определения предотвращения экологического ущерба», а также в «Межотраслевой методике расчета экономического ущерба от радиационных аварий».

Рассматриваемый ущерб может быть социальным (вредное воздействие на здоровье человека), экологическим (вредное воздействие на окружающую среду) и материальным (ущерб или повреждение имущества, материальных ценностей).

Без специальных мер по радиационной защите этот источник опасности при эволюционном процессе непрерывно, в течение сотен тысяч лет может оказывать свое вредное воздействие.

Рекультивация загрязненных территорий и защитные меры (вмешательства) могут снизить вредное воздействие и сократить наносимый ущерб.

Социальный ущерб измеряется коллективной предстоящей дозой, которая устанавливается территориальными органами Роспотребнадзора или территориальным органом ФМБА.

Оценка экологического ущерба [47]. При наличии источника загрязнения, воздействующего одновременно на все или несколько видов природных ресурсов – атмосферу, воду, территорию и т.д., необходимо проводить оценку комплексного ущерба. Комплексный ущерб $Y_{\text{эк}}$ оценивается как сумма локальных ущербов от различных видов i ($i=1, \dots, n$) природонарушающих воздействия на j ($j=1, \dots, m$) виды реципиентов.

$$Y_{\text{эк}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Y_{ij} \quad (6.1)$$

Оценка величины ущерба от загрязнения водной среды проводится на основе региональных показателей удельного ущерба, представляющего собой удельные стоимостные оценки ущерба на единицу (1 условную тонну) приведенной массы загрязняющих веществ по формуле:

$$Y_{\text{эк}}^{\text{г}} = \sum_{j=1}^N Y_{\text{удрj}}^{\text{г}} \times M_r^B \times K_{\text{э}}^B \times J_D \quad (6.2),$$

где: $Y_{\text{эк}}^{\text{г}}$ - эколого-экономическая оценка величины ущерба водным ресурсам в рассматриваемом в г-м регионе (тыс.руб/год);

$Y_{\text{удрj}}^{\text{г}}$ - показатель удельного ущерба (цены загрязнения) водным ресурсам, наносимого единицей (условная тонна) приведенной массы загрязняющих веществ для j-го водного объекта в рассматриваемом г-м регионе (руб/усл.тонну);

M_r^B - приведенная масса загрязняющих веществ, сбрасываемых в г-ом регионе (тыс.т/год);

$K_{\text{э}}^B$ - коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния водных объектов по бассейнам основных рек;

J_D - индекс дефлятор по отраслям промышленности, устанавливаемый Минэкономикой России на рассматриваемый период и доводимый Госкомэкологией России до территориальных природоохранных органов.

Приведенная масса загрязняющих веществ рассчитывается, для каждого конкретного объекта или направления водоохраной деятельности региона по формуле:

$$\dot{I}_k^B = \sum_{i=1}^N m_i^B \times K_{\text{yi}}^D \quad (6.3)$$

для r-го региона (района) в целом:

$$\dot{I}_r^B = \sum_{k=1}^N M_k^B \quad (6.4),$$

где: m_i^B - масса фактического сброса i-го загрязняющего вещества или группы веществ с одинаковым коэффициентом относительной экологической опасности в водные объекты рассматриваемого региона (района), м/год;

$K_{эi}^B$ - коэффициент относительной эколого-экономической опасности для i-го загрязняющего вещества или группы веществ;

N - количество учитываемых загрязняющих веществ.

Для определения величины ущерба используют усредненные расчетные значения ущерба на единицу приведенной массы атмосферных загрязнений (удельные ущербы) [47].

$$Y_{эк\ r}^a = Y_{уд\ r}^a \times M^a \times K_{э}^a \times J_D \quad (6.5),$$

где: $Y_{эк\ r}^a$ - величина экономической оценки ущерба от выбросов, загрязняющих атмосферный воздух для r-го экономического района РФ (тыс. руб/год);

$Y_{уд\ r}^a$ - величина экономической оценки удельного ущерба от выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (далее показатель удельного ущерба) для r-го экономического района РФ (руб/усл. т);

M^a - приведенная масса выброса загрязняющих веществ в атмосферный воздух (усл.);

$K_{э}^a$ - коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха территорий экономических районов России;

JD - индекс-дефлятор по отраслям промышленности, устанавливаемый Минэкономикой России на рассматриваемый период и доводимый Госкомэкологией России до территориальных природоохранных органов.

Оценка величины ущерба от деградации почв и земель производится по формуле:

$$Y_{\text{эк}}^n = H_c * S * K_{\text{э}} * K_{\text{п}} \quad (6.6),$$

где: $Y_{\text{эк}}^n$ - величина ущерба от деградации почв и земель на рассматриваемой территории (тыс. руб/год);

H_c - нормативная стоимость земель (тыс. руб/га);

S - площадь почв и земель, подвергшихся деградации в результате воздействия промышленного объекта, га;

$K_{\text{э}}$ - коэффициент экологической ситуации и экологической значимости территории;

$K_{\text{п}}$ - коэффициент для особо охраняемых территорий.

Для расчета ущерба растительному и животному миру при эксплуатации хозяйственных объектов используется формула:

$$Y_{\text{эк}}^{\text{б}} = \sum_{i=1}^N N_i^P \times K_p \times \bar{H} \quad (6.7),$$

где: $Y_{\text{эк}}^{\text{б}}$ - оценка в денежной форме величины ущерба биоресурсам от эксплуатации крупных хозяйственных объектов (тыс. руб/год);

N_i^P - суммарная численность объектов животного и растительного мира (комплекс из видов от 1 до n), которая может быть потеряна в результате нерегламентированного воздействия, шт;

\overline{H} - такса ущерба биоресурсам (средняя величина от суммы такс по каждому виду из анализируемого комплекса видов данной территории), руб.

Общая величина экологического ущерба от загрязнения окружающей природной среды определится по формуле:

$$Y_{\text{ЭК}} = Y_{\text{ЭК}}^{\text{в}} + Y_{\text{ЭК}}^{\text{а}} + Y_{\text{ЭК}}^{\text{с}} + Y_{\text{ЭК}}^{\text{б}} \quad (6.8)$$

В настоящее время нет официального документа, в котором были бы представлены методы расчета экологического ущерба от выбросов и сбросов природных радионуклидов в окружающую среду, поэтому была выполнена разработка, по существу, новой методики применительно к радионуклидам, поступающим к окружающей среде из хвостохранилищ и рудников добычи и переработки урановой руды. В разработанной методике использован общий подход «Межотраслевой методики», но он не адаптирован к выбросам и сбросам природных радионуклидов [47].

Значение приведенной массы годового выброса загрязнений в атмосферу определяется по модифицированной формуле:

$$M^a = \sum_{i=1}^N Q_i \times K_i \times K_{\text{э}i} \times 10^{-6}, \text{ усл.т/год} \quad (6.9),$$

где: Q_i - годовой выброс i -го радионуклидов в атмосферу, Бк/год;

K_i - вес 1 Бк - i -го радионуклида, г/Бк;

$K_{\text{э}i}$ - коэффициент относительной эколого-экономической опасности для

i -го радионуклида, $\frac{\text{усл. т}}{\text{т}}$.

Коэффициент $K_{\text{э}i}$ определяется по формуле:

$$K_{эia} = 1(\text{усл. мг/м}^3)/\text{Д}O\text{Анас}(\text{мг/м}^3) \frac{\text{усл. т}}{t} \quad (6.10)$$

Экономическая оценка ущерба, причиняемого годовыми сбросами загрязненной воды в водоемы, определяется по модифицированной формуле:

$$УВ = УУ_{дВ} \times МВ \times КЭВ \times ЈД \quad (6.11),$$

где: УВ - эколого-экономическая оценка величины ущерба водным ресурсам (руб/год);

УУ_{дВ} - показатель удельного ущерба (цены загрязнения) водным ресурсам, наносимого единицей (условная т) приведенной массы загрязняющих веществ для водного объекта в рассматриваемом регионе (руб/усл.т);

МВ - приведенная масса загрязняющих веществ, сбрасываемых с водными стоками (усл.т/год);

КЭВ - коэффициенты экологической ситуации и экологической значимости состояния водных объектов по бассейнам основным рек (приводятся в соответствующих таблицах третьей главы);

ЈД - индекс дефлятор по отраслям промышленности, устанавливаемый Минэкономикой России на рассматриваемый период и доводимый Госкомэкологии России до территориальных природоохранных органов.

Для расчета ущерба растительному и животному миру используется расширенная формула :

$$У_6 = \sum_{i=1}^n N_i P \times K_p \times H_i \quad (6.12),$$

где: У₆ - оценка в денежной форме величины ущерба биоресурсов от эксплуатации крупных хозяйственных объектов (руб/год);

NiP - суммарная численность объектов животного и растительного мира (комплекс из видов от 1 до n), которая может быть потеряна в результате нерегламентированного воздействия (шт);

Kp - региональный коэффициент биоразнообразия (приводится в таблицах гл.3);

Ni - такса за ущерб i -му виду учитываемых животных или растительности, руб.

В основу количественного обоснования принимаемых решений положена концепция предотвращенного ущерба.

Соответственно:

1. Рекультивация территорий будет обоснована, если чистая польза от рекультивации будет положительна, т.е. если :

$$\Delta Y_{\text{пред}} > 3 Y_{\text{вм}} + Y_{\text{вм}} \quad (6.13)$$

или
$$П = \Delta Y_{\text{пред}} - (3 Y_{\text{вм}} + Y_{\text{вм}}) > 0 \quad (6.14),$$

где
$$\Delta Y_{\text{пред}} = Y_{\text{до}} - Y_{\text{после}}$$

$\Delta Y_{\text{пред}}$ – предотвращенный ущерб в результате рекультивации;

$Y_{\text{до}} - Y_{\text{после}}$ – ущерб от воздействия радиоактивного загрязнения до и после рекультивации;

$П$ - чистая польза от проведенных работ;

$Y_{\text{вм}}$ – ущерб, нанесенный населению и окружающей среде во время работ.

2. Меры по рекультивации будут обоснованы, если при выборе вариантов вмешательства чистая польза будет максимальной

$$П \rightarrow \max$$

После прекращения эксплуатации предприятий, до выполнения рекультивационных работ, они продолжают оставаться источниками радиационной и экологической опасности для населения и окружающей среды и наносят ущерб здоровью населения, качеству окружающей среды и экономике района.

Соответственно, ущерб может быть социальным (вредное воздействие на здоровье человека), экологическим (вредное воздействие на окружающую среду), материальным (ущерб или повреждение имущества, материальных ценностей).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основе теоретических и экспериментальных исследований представлено научно-методическое обоснование проведения геоэкологических изысканий для принятия технических решений при эксплуатации и рекультивации хвостохранилищ, внедрение в практику которых внесет значительный вклад в повышение экологической безопасности урановых объектов, экономическое развитие и обороноспособность страны.

Основная цель методического обеспечения геологоразведочных работ заключается в повышении их эффективности и качества, при этом достижение единства конечных результатов важно для обеспечения безопасности работников и охраны окружающей среды, а также для соблюдения требований по радиационной безопасности.

Разработка теорий, методических рекомендаций в рамках охраны геологической среды представляет собой самый главный аспект по снижению негативных последствий для человечества и на окружающую среду. Поэтому на основе исследований были достигнуты следующие цели:

1. Впервые для отечественного минерально-сырьевого кластера ядерной отрасли разработаны технологии совершенствования проведения геоэкологических изысканий на хвостохранилищах массовой переработки радиоактивных руд для обеспечения их долговременной экологической безопасности от окружающей среды.

Полученные впервые на фактическом материале данные позволяют прогнозировать изменения в рекультивируемом хвостохранилище в длительном расчетном периоде либо предусмотреть защитные мероприятия в проекте рекультивации

2. Доказано различие физико-механических и химических свойств энергетической золы ТЭК и золы, образующейся при переработки радиоактивного минерального сырья уран-угольных месторождений, что требует оценки наличия в золе попутных компонентов и негативного воздействия радиоактивной золы на окружающую среду.

Проведенные впервые сравнения более чем 1000 проб, отобранных в различных климатических зонах, показало, что барханные пески и хвосты переработки урановых руд в ряде факторов совпало, что позволило определить положение влагопереноса для техногенных грунтов.

Впервые проведенные натурные детальные определения физико-механических характеристик золы, полученной после сжигания ураносодержащих углей и прошедшей технологию кислотного выщелачивания урана отличается от энергетических зол.

Данный фактор должен учитываться при проведении изысканий и тарировке пенетрационных установок.

3. Разработан научно-обоснованный прогноз режима интенсивности влажности техногенных грунтов хвостохранилищ уранового производства на основе авторских методических положений инженерно-геологических и геоэкологических изысканий. Для наиболее точного и долговременного прогнозирования безопасного состояния хвостохранилищ необходимо изучение влажностного режима объекта.

Полученные расчеты и значения коэффициентов для конкретных объектов позволяет впервые определить ориентировочное время водонасыщения, проверяемое при необходимости контрольные пенетрационные испытания.

Проведенные исследования и изыскания представляются актуальными как в плане защиты окружающей среды, так и рационального использования месторождений урановых руд, в дальнейшем с применением методики для предприятий других направлений.

Необходимый мониторинг за хвостохранилищами прежде всего определяет герметичность хвостохранилищ и позволяет с достаточно высокой точностью оценить геоэкологическую безопасность для предотвращения экологической катастрофы.

Геоэкологическая оценка состояния хвостохранилищ, как чаши, так и бортовой зоны и массиве вмещающих пород проводится на основе комплекса геофизических, геологических, гидрогеологических исследований.

Проведение работ по разработанному регламенту геоэкологического мониторинга позволяет собрать достаточное количество исходных данных результатов исследований, позволяющие исключить ошибки при разработке мероприятий для рекультивации законченных эксплуатацией хвостохранилищ уранового «наследия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов С.Г. Основные принципиальные положения конструирования ограждающих сооружений хвосто- и шламохранилищ // Белгород: ГУПВИОГЕМ. 1997. № 1. С. 144-150.
2. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М., Недра, 1980, 415с.
3. Антоненко Л.К. и др. Оценка риска возникновения аварийных ситуаций на ограждающих дамбах // Горный журнал, 2003, №3. С.76-78.
4. Арну М. Теоретические основы взаимодействия человека и геологической среды // Доклад на 27-ом Международном геологическом конгрессе. Инженерная геология. Т.17. М.: Наука, 1984. С. 3-7.
5. Биянов Г.Ф. О температурном режиме и соответствующей классификации грунтовых плотин на вечной мерзлоте // Энергетическое строительство. 1983. №3. с. 44-46.
6. Биянов Г.Ф. Плотины на вечной мерзлоте // М.: Энергоатомиздат, 1983. 176 с.
7. Бересневич П.В., Кузменко П.К., Нежейцева Н.Г. Охрана окружающей среды при эксплуатации хвостохранилищ // М., Недра, 1993, 128с.
8. Бочевер Ф.М., Н.Н. Лапшин Защита подземных вод от загрязнения // М. Недра. 1979. 254с.
9. Бондарик Г.К. Методика инженерно-геологических исследований // М., Недра, 1986, 272с.
10. Бондарик Г.К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород // М., Недра, 1971, 272с.
11. Бунин Ж.В., Качур Л.Н., Сизова А.О., Карамушка В.П., Дунаева Е.В., Самородова Т.С. Исследование экологической обстановки в предпроектный

период освоения уранового месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень, № 5, Москва. 2014. С. 392-406.

12. Бутюгин В.В., Гулан Е.А. Геоэкологические аспекты фильтрационной устойчивости хвостохранилищ в криолитозоне // Современные технологии освоения минеральных ресурсов. Сб. науч. трудов. Красноярск: ГОУ «ГАЦМиЗ», 2003. С. 201-205.

13. Волков В.Н. Геология и охрана ресурсов ископаемых углей // М. Недра. 1985. 245с.

14. Гальперин А.М., Кириченко Ю.В., Ферстер В., Шеф Х.Ю. Геоэкологическое обоснование рекультивации намывных горнотехнических сооружений // Горный журнал, М., 1998, № 7, с.56-61.

15. Герасимова А.С., Королев В.А. Проблемы устойчивости геологической среды к техногенным воздействиям // Обзор. Гидрогеология, инженерная геология. М.: АО Геоинформмарк, 1994. 47 с.

16. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика / Под ред. Недрига В.П. // М.: Стройиздат, 1983. - 543 с.

17. Гидротехнические сооружения / Под ред. Гришина М.М. // М.: Высшая школа, 1979. - 615 с.

18. Гольдин А.Д., Рассказов Л.Н. Проектирование грунтовых плотин: Учебное пособие для вузов // М.: Энергоатомиздат, 1987. 304 с.

19. Гольберг В.М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения // М. Недра 1984 -262 с.

20. Гольберг В.М., Мелькановицкая С.Г. Методические указания по выявлению и оценке загрязнения подземных вод // М. ВСЕГЕНГЕО. 1988. 76с.

21. Грунтоведение. Под ред. Сергеева Е.М. // М, МГУ, 1983.

22. Грязнов Т. А. Оценка показателей свойств грунтов полевыми методами // М., Недра, 1984.
23. ГОСТ 25100-2020 Грунты. Классификация.
24. Гинц А.В. Системы водоотведения грунтовых вод в районе размещения радиоактивных отходов // Экологические вести, №6. СП-б, 2003 г. – с. 50-53.
25. Гольдберг В.М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнений // Изд. «Недра», Москва, 1984 г.
26. ГСИ. МИ 2453-2000. «Методики радиационного контроля. Общие требования» // г. Менделеево: ГМНЦ «ВНИИФТРИ», 2000 г.
27. Дашко. Р.Э. Механика горных пород // М., Недра, 1987.
28. Дзеваньский Я., Комаров И.О., Молоков Ю.А., Ройтер Ф.М. Инженерно-геологические изыскания при гидротехническом строительстве // М. Недра. 1981. 352с.
29. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии // М. Мир. 1981. 256с.
30. Дмитриева И.Л. Экология и безопасность гидротехнических объектов // Безопасность энергетических сооружений. Вып. 1. М.: АО НИИЭС, 1998. С. 70-74.
31. Дунаева Е.В., Карамушка В.П., Сизова А.О., Иванов В.Г. Совершенствование технологии проведения инженерных изысканий на хвостохранилищах переработки урановых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень, № 5, Москва. 2014. С. 370-376.
32. Дунаева Е.В., Карамушка В.П. Анализ и прогнозирование гидрогеологического режима в техногенных грунтах (хвостохранилищах) уранового «наследия», расположенных в аридной зоне // сборник докладов на международной научно-технической конференции «Проблемы и решения в

экологии горного дела». Москва. 28-29 марта 2017г. с. 172 ISBN 978-5-9908229-2-4.

33. Дунаева Е.В., Карамушка В.П., Титаренко В.С. Опыт снятия с эксплуатации объектов добычи и переработки урановых руд и рекультивация нарушенных земель // сборник докладов Пятого международного симпозиума. «Уран: геология, ресурсы, производство». Москва, 23-24 ноября 2021г., ISBN: 978-5-901837-92-4.

34. Дудлер И.В. Инженерно-геологический контроль при возведении и эксплуатации намывных сооружений // М., Стройиздат, 1987, 185 с.

35. Евдокимов П.Д., Сазонов Г.П. Проектирование и эксплуатация хвостовых хозяйств обогатительных фабрик // М., Недра, 1979, 439 с.

36. Зайков Б.Д. Испарение с водной поверхности прудов и малых водохранилищ на территории СССР. Ленинград, из-во гидрометиздат, 1949 г, 54 с.

37. Инструкция «Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием на хвостохранилищах урановых производств» // ГК по атомной энергии «РОСАТОМ».

38. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений // М.: Высшая школа. 1991. 447 с.

39. Карамушка В.П., Камнев Е.Н., Тедеев М.Н., Касаткин В.В. Кузин Р.Е. Исследование твердой фазы отходов обогащения урановых руд. Горный журнал, №8, 2012г. С.133-136.

40. Карамушка В.П. Опыт изыскательских и проектных работ при рекультивации территорий, нарушенных в результате добычи и переработки урановых руд // Горный журнал №1. Москва, 2011 г.

41. Карамушка В.П., Камнев Е.Н., Кузин Р.Е. Рекультивация объектов добычи и переработки урановых руд // Москва «Горная книга», 2014. 183 с.

42. Карамушка В.П. Опыт ведения изыскательских и проектных работ при рекультивации территорий, нарушенных при добыче и переработке урановых руд // Материалы общественных слушаний по рекультивации территорий производственного объединения «Алмаз». – Кисловодск, 2008.

43. Карамушка В.П., Камнев Е.Н., Дунаева Е.В. Экономическая оценка ущерба от радиационно-загрязненных отходов горных предприятий // Вестник Российской Академии Естественных Наук, Москва. 2017/2, том 17, С. 35-39.

44. Карамушка В.П., Камнев Е.Н., Дунаева Е.В., Титаренко В.С. Опыт перепрофилирования и рекультивации объектов добычи и обогащения урановых руд на примере Бештаугорского и Быкогорского месторождений // Горный журнал № 8. 2021. Москва. С. 67-71.

45. Карамушка В.П., Дунаева Е.В., Камнев Е.Н. Методическое обеспечение экономической оценки экологического ущерба от воздействия, загрязненных природными радионуклидами, отходов горных производств и обоснование экономической эффективности планируемых рекультивационных работ // сборник докладов. Москва, 30.11.2015 г.

46. Карамушка В.П., Камнев Е.Н., Дунаева Е.В. Разработка атласа природных сорбционных свойств пород на территории России для объектов скважинного подземного выщелачивания урана Москва // сборник докладов на научно-практической конференции с международным участием «Геотехнологические методы освоения месторождений твердых полезных ископаемых», ФГУП «ВИМС»2015. ISBN 978-5-9908343-0-9.

47. Карамушка В.П., Камнев Е.Н., Дунаева Е.В. Экономическая оценка ущерба от радиационно-загрязненных отходов горных предприятий // сборник докладов на международной научно-технической конференции «Философия обращения с радиоактивными отходами: плюсы и минусы существующих и новых технологий». Москва 23-24 марта 2016г. С... ISBN 978-5-9908229-1-7.

48. В.П. Карамушка, В.В. Остробородов, Б.Е. Серебряков. Оценка безопасности хранилища твердых радиоактивных отходов «Миронова гора». Инженерная геология, гидрогеология, геокриология, №4, 1997, с. 317-321.

49. Карамушка В. П., Белоусов В. И., Кедровский О. Л., Ренне В. Г. Способ захоронения радиоактивных и других химически вредных отходов: Патент 2111564 // Бюл. Роспатент № 14 от 20.05.98. С. 26-28.
50. Кини, Р.Л., Райфа, Х. (1981). Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М., Радио и связь. 1.2-3.
51. Кочкин Б.Т. Оценка гидрогеологических условий при выборе места для захоронения отвержденных радиоактивных отходов // «Геоэкология» №3, М., 1997г. – с. 68-78.
52. Критерии принятия решений по реабилитации территорий, загрязненных радиоактивными веществами в результате деятельности предприятий атомной промышленности (2003). М., Минатом РФ.
53. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России – М. : ИздАТ, 2010.
54. Калашник А.И., Калашник Н.А. Исследование ограждающего насыпного гидротехнического сооружения как прототипа дамбы хвостохранилища горно-обогатительного предприятия / ВЕСТНИК КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН / с.27-30.
55. Королев В.А. Мониторинг геологической среды // М. изд. МГУ. 1995. 272с.
56. Корнилов А. Н., Рябчиков С. Г. Отходы уранодобывающей промышленности // М. Энергоатомиздат; 1992. С.167.
57. Крылов А.Н. О некоторых дифференциальных уравнениях математической физики // М. - Л.: 1950. 368с.
58. Кутенов Ю.И., Кутенова Н.А. Техногенез намывных пород // «Геоэкология» 2003 №5 с.405-413.
59. Лапшин Н.Н., Орадовская А.Е. Защита подъемных вод от загрязнений // Изд. «Недра», Москва, 1979 г.

60. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология, ее содержание и задачи. Пути дальнейшего развития инженерной геологии. Материалы дискуссии 1-го Международного конгресса по инженерной геологии. Москва, из-во МГУ, 1971г, С 70-79.

61. Лыков А.В. Явления переноса в капиллярнопористых телах // М.: Гостехиздат, 1954. 296с.

62. Милентьев В.А. Проектирование и возведение хвостохранилищ за рубежом // Обогащение руд, 1981, №2, с.42-44.

63. Мелентьев В.А., Калпашников Н.П., Волнин Б.А. Намывные гидротехнические сооружения // М., Энергия, 1973, 247с.

64. Межотраслевая методика расчета экономического ущерба от радиационных аварий. Санкт-Петербург, ООО «РЭСцентр», рег.Р-03/98, 1998 (в редакции от 2006г.).

65. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Под редакцией Е.М. Сергеева, С.Н. Максимовой, Г.М. Березкиной // Москва, МГУ, 1968г, 468 л.

66. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения. Разработан совместно АЯЭ/ОЭСР, ВОЗ, МОТ, МАГАТЭ, ПОЗ, ФАО. Серия изданий по безопасности №115. МАГАТЭ, Вена, 1997.

67. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения. Разработан совместно АЯЭ/ОЭСР, ВОЗ, МОТ, МАГАТЭ, ПОЗ, ФАО. Серия изданий по безопасности №115. МАГАТЭ, Вена, 1997.

68. Международное право окружающей среды (Международное экологическое право) // Учебное пособие. / Издательство МНЭПУ, Москва. 1995 г. 43 с.

69. Методические указания по реабилитации земель, загрязненных искусственными радионуклидами (2003). М., Минатом РФ.

70. Мосинец В.Н. Обеспечение радиационной безопасности при ликвидации, консервации и перепрофилировании уранодобывающих предприятий // Атомная энергия, 1991, т.70, вып. 5.

71. Мироненко В.А. Динамика подземных вод // М. Недра. 1983. 357с.

72. Мирзаев Г.Г., Иванов Б.А., Щербаков В.М., Проскураков Н.М. Экология горного производства // Учебник для ВУЗов. М. Недра, 1991. 320 с.

73. Неизвестнов Я.В. Гидрологические условия, благоприятные для сооружения подземных могильников радиоактивных отходов. Экологические проблемы гидрогеологии: 8-е Толстихинские чтения, СПб, 16-17 ноября, 1999 г. // Материалы научно-методической конференции / СПб: Изд. СПбГГИ, 1999г., – с. 47-51.

74. Норватов Ю.А. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод // Л., Недра, 1988. С. 260.

75. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Москва. Роспотребнадзор, 2009.

76. Озмидов О.Р. Геофизический мониторинг ограждающих дамб накопителей промышленных отходов // М. изд. ТИМР 2022 г.

77. Охотин В.В. Грунтоведение. Ленинград, 1940, 204 с.

78. Орлова Е.И. Охрана подземных вод от радиоактивных загрязнений // Изд. «Медицина», Москва, 1968 г, 208с.

79. Пепояк В.С., Троицкий А.Н., Шульман С.Г. Методика оценки надежности грунтовых плотин с учетом сейсмического фактора // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева 1986. с14-17.

80. Попов В.И, Макарова С.Д. Основные законы образования формаций, их философское теоретическое и прикладное значение. Методология литологических исследований // Новосибирск. Наука 1985г, 190-205 с.

81. Поляков Б.В. Гидрологические расчеты при проектировании сооружений на реках малых бассейнов. Главгидроэнергострой СССР. Москва, Ленинград, 1937. 192 с.
82. Прозоров Л.Б., Мартьянов В.В., Корнева С.А. Геоэкологические исследования на площадке хранения РАО // Материалы международного симпозиума «Будущее гидрогеологии: современные тенденции и перспективы» / СПбГУ,; 2007 г. – с. 192.
83. Пухальский А.Ч. Теория контрастности урановых руд // Госатомиздат 1963г. С.176.
84. Рекомендации по оценке надежности гидротехнических сооружений // Гидропроект 1986г. П-842-86.
85. Рыбальченко А.И., Пименов М.К., Костин П.П. и др. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. М.: ИздАТ, 1994. С. 144-147.
86. Санитарные правила ликвидации, консервации и перепрофилирования предприятий по добыче и переработке радиоактивных руд (СП ЛКП-91). М.,1991.
87. Сарвин Г.Т. Из практики эксплуатации хвостохранилищ // М., Атомиздат, 1980. С.49.
88. Соболев И.А., Беляев Е.Н. Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды // Изд. «Медицина». Москва, 2002 г. 432 с.
89. Сысоев Ю.М., Кузнецов Г.И. Проектирование и строительство золоотвалов // М., Энергоатомиздат, 1990, 248с.
90. СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства.
91. СП 11-105-97 часть 3 Инженерно-геологические изыскания для строительства.

92. Справочник гидрогеолога. Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, Москва, 1962 г., 623 с.
93. Трубецкой К.Н., Уманец В.Н., Никитин М.Б. Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия // М., Горный журнал, 1989, №12, с.6-9.
94. Филатов М.М. «Основы дорожного грунтоведения», М. 1936г, 555 с.
95. Чубаров В.Н. Питание грунтовых вод песчаной пустыни через зону аэрации // Москва. Недра 1972г. 135с.
96. Чухин С. Г. Социально-экономические критерии приемлемости радиационного риска новых радиационных технологий // Энергоатомиздат. М., 1991. стр. 64.
97. Shandala N.K., Sheve M.K., Titov A.V., Smith G.M., Novikova N.Ya, Romanov V.V., Seregin V.A. Radiological criteria for the remediation of sites for spent fuel and radioactive waste storage in the Russian Northwest. J. Radiol. Prot, 28, (2008). 479-497.
98. IAEA Remediation Process for Areas affected by Past Activities and Accidents. Safety Guide N.WS-G-3.1, IAEA, Vienna. (2007).
99. Nikolai Savov UNECE, Geneva (Загрязнение воды как следствие промышленных аварий -накопленный опыт, взаимодействие и совместные действия между Конвенцией о промышленных авариях и Конвенцией по трансграничным водам).
100. Near Surface Disposal of Radioactive Waste. Safety Standards Series. N WS-R-1, IAEA, Vienna, 1999.
101. Safety Assessment for Near Surface Disposal of Radioactive Waste. Safety Guide. Safety Standards Series. N WS-G-1.1. IAEA, Vienna, 1999.

102. Dr. Manfred Hagen, Franz Beschorner, Werner Runge. Chronik der Wismut. Wismut GmbH. 2002. –s. 2739.

103. IAEA (1999). Technologies for remediation of radioactively contaminated sites. IAEA TECHDOC Series N.1086, 1999; IAEA, Vienna 1.2-24.

104. IAEA (2007). Remediation Process for Areas affected by Past Activities and Accidents. Safety Guide N.WS-G-3.1, IAEA, Vienna.

105. IAEA (2006). Remediation of sites with mixed contamination of radioactive and other hazardous substances, Tech.Rep.Ser.N.442, 2006; IAEA, Vienna.

106. Kryshev A.I., Kryshev I.I., Badalian K.D., Sazykina T.G. Assessment of permissible levels of radionuclides in soil for different types of land-use. Applied Radiation and Isotopes, 2008. Vol. 66 (11), p. 1572 – 1574.

107. Sterner H., Rittscher D. (2004). The Greifswald decommissioning project: strategy selection. In: Strategy selection for the decommissioning of nuclear facilities. Seminar Proc., Tarragona, Spain, 1-3 Sept. 2003.

108. <http://www.caresd.net/img/docs/5586.pdf> (12.06.2016)