

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА  
Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии

УДК: 626/627+629.039.58(575.3)

На правах рукописи



**ДАВЛАТШОЕВ Саломат Каноатшоевич**

**РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ И МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ  
ФИЛЬТРАЦИОННЫМ РЕЖИМОМ В ОСНОВАНИЯХ  
ВЫСОКОНАПОРНЫХ ПЛОТИН**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание учёной степени доктора технических наук по  
специальности 2.1. Геология, геодезия, гидрология, строительство,  
архитектура (2.1.8. Гидротехническое строительство)

Научный консультант: д.т.н., профессор  
**Фазылов Али Рахматджанович**

Душанбе – 2026

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	<b>ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....</b>	5
	<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	8
	<b>ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	10
<b>Глава 1.</b>	<b>ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН.....</b>	21
1.1.	Водно-ресурсный потенциал Таджикистана.....	21
1.2.	Особенности гидротехнического строительства в Таджикистане.....	26
1.3.	<b>Характеристика объекта исследований (Район строительства Рогунской ГЭС).....</b>	31
1.3.1.	Выбор объекта исследований. Анализ и оценка геологического строения района строительства высоконапорной плотины Рогунской ГЭС.....	31
1.3.2.	Особенности тектонических характеристик зоны объекта исследования.....	38
1.3.3.	Исследования и оценка состояния солевого пласта основания плотины.....	44
1.3.4.	Обзор, анализ и оценка противодиффузионных завес в зоне объекта исследования.....	50
1.3.5.	Формирование состава подземных вод в зоне объекта исследований.....	56
<b>Глава 2.</b>	<b>МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИССЛЕ- ДОВАНИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕ- МЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....</b>	61
2.1.	Принципы организации инженерного мониторинга. Натурные (полевые) измерения и наблюдения.....	61
2.2.	Особенности и область применения метода резистивиметрии и термометрии скважин.....	70
2.3.	Геотермические исследования пьезометрических скважин	72
2.3.1.	Базовые принципы, методика и технология отбора проб из скважины.....	76
2.4.	Область применения и технические особенности зонда- кондуктометра NELT для измерения уровня минерализации в скважинах и пространственно-временное изменение гидрогеохимического режима вокруг солевого пласта.....	78
2.5.	Область применения метода сейсмоакустического каротажа скважин и прижимное устройство сейсмических датчиков...	89
<b>Глава 3.</b>	<b>ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПУТЕЙ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ОСНОВАНИИ ПЛОТИНЫ.....</b>	95
3.1.	Математическая итерационная модель и алгоритм оптимального поиска путей сосредоточенной фильтрации...	96

3.2.	Совершенствование способов применения тепломеров для исследования путей сосредоточенной фильтрации в основании плотины. Научно-практические основы конструирования и изготовления.....	109
3.2.1.	Анализ и оценка изменения диапазона геотемпературного поля в зоне залегания пласта соли. Специальный диапазон тепломера.....	109
3.2.2.	Расчёт степени точности, база измерения и конструктивные особенности тепломера.....	114
3.2.3.	Назначение и состав тепломера. Конструкция погружного зонда.....	120
3.2.4.	Уравнения температуры и методика калибровки термометра	128
<b>Глава 4.</b>	<b>ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ОСНОВАНИИ ПЛОТИНЫ.....</b>	<b>133</b>
4.1.	Специальные измерительные устройства - кондуктометры. Математическое моделирование трансформаторного кондуктометра.....	135
4.2.	Метрологические характеристики трансформаторного кондуктометра прямого измерения.....	141
4.3	Научно-практические основы разработки и изготовления кондуктометра КАЛЬМАР.....	145
4.3.1	Анализ и оценка изменения диапазона минерализации в зоне залегания пласта соли (выявление специального диапазона кондуктометрического измерителя).....	145
4.3.2	Назначение и состав кондуктометра КАЛЬМАР.....	150
4.3.3	Конструкция погружного зонда.....	155
4.3.4.	Математическая модель функционирования кондуктометра КАЛЬМАР.....	158
<b>Глава 5.</b>	<b>ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОТЕРМИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ СТВОРА РОГУНСКОЙ ГЭС.....</b>	<b>167</b>
5.1.	Развитие теоретических и практических основ использования изменения геотермического режима земной коры.....	167
5.1.1.	Теоретические основы формирования теплового поля Земли. Теория терморазведки.....	167
5.1.2.	Разработка метода и системы контроля изменения теплового режима земной коры и расположения геотепловой завесы... ..	171
5.1.3.	Разработка метода определения коэффициента фильтрации в основании плотины и путей сосредоточенной фильтрации	180
5.2.	Теоретические и практические основы изменения гидрогеохимической особенности в основании высоконапорной плотины.....	192
5.2.1.	Анализ и оценка геологических и гидрогеохимических	

	условий в зоне залегания пласта соли.....	192
5.2.2.	Натурные исследования изменения гидрогеохимического режима вокруг солевого пласта в зависимости от изменения уровня воды в реке Вахш.....	200
5.2.3.	Мониторинг опреснения, отжатия подземных минерализованных вод и появления гидронапорно-осмотической завесы.....	205
<b>Глава 6.</b>	<b>НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОЗДАНИЮ УПРАВЛЯЕМЫХ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ И ПРОТИВОСУФФОЗИОННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ.....</b>	<b>212</b>
6.1.	Рекомендации по разработке и область применения управляемого противосуффузионного устройства за оголовком солевого пласта.....	212
6.1.1.	Оценка надежности и эффективности применения специальной временной солевой завесы.....	212
6.1.2.	Разработка управляемого противосуффузионного устройства за оголовкой солевого пласта.....	227
6.2.	Научно-практические рекомендации управляемого перехвата обходных фильтрационных потоков дренажными устройствами.....	230
6.3	Основные принципы оценки качества укрепительной цементации вмещающего массива песчаников в опытном участке трансформаторного помещения Рогунской ГЭС.....	234
6.4.	Технико-экономическая эффективность применения разработанных приборов.....	245
	<b>ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ .....</b>	<b>246</b>
	<b>РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ПРЕДЛОЖЕННОГО НАУЧНОГО НАПРАВЛЕНИЯ.....</b>	<b>248</b>
	<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>251</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>283</b>
	Приложение 1. Графики распределения температуры в пьезометрических сетях основания плотины Рогунской ГЭС	284
	Приложение 2. Графики распределения степени минерализации в пьезометрических сетях основания плотины Рогунской ГЭС.....	293
	Приложение 3. Справка об участие в разработке и изготовления кондуктометров.....	300
	Приложение 4. Акт внедрения в эксплуатацию.....	301
	Приложение 5. Акт внедрения в учебном процессе.....	302
	Приложение 6. Малый патенты Республики Таджикистан и патенты ЕАПО.....	304

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

<b>АН РТ</b>	Академия наук Республики Таджикистан
<b>АООТ</b>	Акционерное общество открытого типа
<b>АЦП</b>	Аналого-цифровой преобразователь
<b>АН СССР</b>	Академии наук Союза Советских Социалистических Республик
<b>Абс. отм.</b>	Абсолютная отметка
<b>ББПД</b>	Беспроводной блок передачи данных
<b>ВАК</b>	Высшая аттестационная комиссия
<b>ВСП</b>	Вертикальное сейсмическое профилирование
<b>ВЗС</b>	Временная солевая защита
<b>ВБ</b>	Верхний бьеф
<b>ГС</b>	Геотемпературная ступень
<b>ГЭС</b>	Гидроэлектростанция
<b>ГТС</b>	Гидротехническое сооружение
<b>ЕАПО</b>	Евразийская патентная организация
<b>КРУЭ</b>	Комплектное распределительное устройство с элегазовой изоляцией
<b>КТ</b>	Калибратор температуры
<b>КАЛЬМАР</b>	Название кондуктометра
<b>МЭиВР</b>	Министерство энергетики и водных ресурсов
<b>МП</b>	Микропроцессор
<b>МНК</b>	Метод наименьших квадратов
<b>МГЭИК</b>	Межправительственная группа экспертов по изменению климата
<b>МЗ</b>	Машинный зал
<b>МГЭС</b>	Малая гидроэлектростанция
<b>МГУ</b>	Московский государственный университет
<b>НИР</b>	Научно-исследовательская работа
<b>НАНТ</b>	Национальная академия наук Таджикистана
<b>НСУ</b>	Напорно-станционный узел
<b>НБ</b>	Нижний бьеф

<b>НПУ</b>	Нормальный подпорный уровень
<b>НПК</b>	Научно-практические конференции
<b>ОРП</b>	Отдел рабочего проектирования
<b>ОАО</b>	Открытая акционерная общество
<b>ООО</b>	Общество с ограниченной ответственностью
<b>ОГИиИ</b>	Отдел геофизических исследований и изысканий
<b>ООН</b>	Организация Объединённых Наций
<b>ПТС</b>	Природно-техническая система
<b>ПТС</b>	Преобразователь температуры струнный
<b>ПЦП</b>	Преобразователь цифровой портативный
<b>ПР</b>	Пробоотборник растворов
<b>ПЗУ</b>	Постоянное запоминающее устройство
<b>П</b>	Пьезометр
<b>ПИП</b>	Первичный измерительный преобразователь
<b>ПК</b>	Пикет
<b>РТ</b>	Республика Таджикистан
<b>РФ</b>	Российская Федерация
<b>РСМ</b>	Резистивиметр
<b>СНГ</b>	Содружество независимых государств
<b>США</b>	Соединённые штаты Америки
<b>САО</b>	Среднеазиатское отделение
<b>СИ</b>	СИ - средства измерений
<b>СКО</b>	Среднеквадратическая ошибка
<b>СКП</b>	Среднеквадратическая погрешность
<b>Скв.</b>	Скважина
<b>СК</b>	Сейсмический каротаж
<b>ТЭК</b>	Топливоно – энергетический комплекс
<b>ТЭЦ</b>	Теплоэлектроцентраль
<b>ТЭО</b>	Технико-экономическое обоснование

<b>ТП</b>	Телефонный провод
<b>ТР</b>	Термометр
<b>ТП</b>	Трансформаторное помещение
<b>УМО</b>	Уровень мертвого объёма
<b>УЭП</b>	Удельная электрическая проводимость
<b>УГВ</b>	Уровень горизонта вод
<b>ЧС</b>	Чрезвычайная ситуация
<b>ЭП</b>	Электрическая проводимость
<b>ЭФС</b>	Электрофизические свойства
<b>ЭДС</b>	Электродвижущая сила
<b>ЦА</b>	Центральная Азия
<b>IRENA</b>	International Renewable Energy Agency

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Гидроэнергетика является одним из основных секторов экономики способствующая устойчивому развитию Таджикистана. Создание комплекса гидротехнических сооружений гидроэнергетического назначения, позволяющий посредством возведения водоподпорных сооружений (плотин) и создания водохранилищ на территориях неблагоприятных в инженерно-геологическом отношении, в том числе наличием в основании высоконапорных плотин растворимых пород, должно сопровождаться обоснованным выбором инженерных мероприятий по защите пород от растворения в виде противодиффузионных и противосуффозионных устройств и контроля в реальном масштабе времени за их работой, а также организацию наблюдений за развитием физико-химических процессов в основании плотины, обеспечивает безопасность гидротехнических сооружений и их эксплуатацию, в частности высоконапорных плотин возведенных на растворимых породах.

Реализация обеспечения безопасности плотины, основания которых располагаются на растворимых породах, должно сопровождаться фундаментальными исследованиями, разработкой и применением надёжных методов ведения мониторинга, позволяющие своевременно оценить эффективность противодиффузионных и противосуффозионных мероприятий обеспечивающих сохранность солевого пласта; выработкой основного критериального показателя системы мониторинга оценки эффективности работы данных устройств и мероприятий по обеспечению безопасности основания плотины, с учетом изменения гидрогеохимической обстановки, после наполнения водохранилища и в процессе ее эксплуатации.

В связи с этим, реализация комплекса научных и практических исследований по управлению гидрогеохимическим, геотермическим и диффузионными режимами в растворимых основаниях высоконапорных плотин, обеспечивающих безопасность гидротехнических

сооружений и гидроэкологическую безопасность в целом, является актуальной задачей развития нового направления в области наук о Земле.

**Степень научной разработанности изучаемой проблемы.** Проблемам защиты основания плотин на растворимых породах от выщелачивания и суффозии при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений достигаемые созданием высокоплотных противофильтрационных завес, анализу и оценке а также расчёту их параметров связанных с инженерно – геологическими условиями посвящены труды С.Д. Воронкевича, А.Н. Адамовича, Л.И. Малышева, Г.В. Зернова, В.П. Недриги, И.А. Парабучева, Л.А. Молокова, Н.Г. Трупака, Б.А. Ржаницина, В.И. Сергеева, В.Е. Соколовича, А. Холсби, К. Карона, А. Камбефора, а также других исследователей.

Академик В.П. Вернадский создавший фундаментальный труд в области теоретических проблем гидрогеохимии, основоположником которой он является, осуществил систематизацию подземных вод по химическим свойствам и составам, выявил особенности их развития и выявил гидрогеохимические закономерности. Существенный вклад в развитии научных знаний в области гидрогеохимических исследований внесли ученые О. А. Алекин, М. Е. Альтовский, М. Г. Валяшко, А. П. Виноградов, В. П. Зверев, С. Р. Крайнов, А. М. Овчинников, К. Е. Питьева, В. С. Самарин, В. М. Швец, Г. А. Максимович и др.

Существенный вклад в развитие теории фильтрационных процессов в основании и теле плотины и обеспечение безопасности гидротехнических сооружений внесли учёные В.С. Рассказов, Н.А. Анискин, В.А. Волосухин, Д.В. Козлов, Г.В. Орехов, А.С. Бестужева, М.П. Саинов, В.В. Малаханов, М.Р. Бакиев и др.

Проблемам геодинамических исследований и повышения безопасности гидротехнических сооружений в Таджикистане посвящены труды таджикских учёных и исследователей - М.С. Саидова, М. Таджибекова, С.Х. Негматуллаева, Х.О. Арифова, А.Р. Фазылова, П.А. Ясунова и др.

Несмотря на то, что исследования в области развития теории и методов управления фильтрационным режимом в растворимых основаниях высоконапорных плотин в процессе проектирования, строительства и эксплуатации проводились и проводятся, современная действительность требует дальнейшего изучения проблем связанные с развитием теории сосредоточенной фильтрации в основании плотины; установления степени опреснения подземных минерализованных вод под действием гидростатического давления; разработки управляемых противосуффозионных устройств для защиты солевого пласта, оптимальной технологии уплотнительной цементации тела противофильтрационной завесы, соответствующих современных методов и технических средств исследований и др.

#### **Связь исследования с программами (проектами), научной тематикой.**

Диссертационная работа выполнялась с учетом положений «Стратегии Республики Таджикистан в области науки, технологий и инноваций на период до 2030 года» (от 30 июня 2021 года, №263), «Программы возобновляемых источников энергии на 2023-2027 гг.» (от 1 марта 2023 года, №51), «Закон Республики Таджикистан «О безопасности гидротехнических сооружений» (от 29 декабря 2010 года, №666), темы НИР «Стратегия развития и оптимизация баланса энергоресурсов. Гидро-угольный сценарий развития энергетики Таджикистана» (срок исполнения: 2020-2024 гг.) и реализации проекта Рогунской ГЭС.

### **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Цель исследований** - Развитие теории и методов управления фильтрационным режимом в растворимых основаниях высоконапорных плотин.

Для достижения названной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить существующие литературные источники, фондовые и архивные материалы; базу данных режимных наблюдений, а также сформировавшийся гидрогеохимический и другие режимы в основании плотины; геологическое строение, тектоническую особенность и характеристику пород района строительства высоконапорной плотины Рогунской ГЭС. Осуществить анализ и оценку современного состояния теории и методов исследований и управления гидрогеохимическим режимом в основании высоконапорных плотин на растворимых породах.

2. Развить теорию и методов управления фильтрационным режимом в растворимых основаниях высоконапорных плотин. Сформулировать концептуальные основы совершенствования методов ведения мониторинга, с разработкой критериального показателя для оперативной оценки эффективности противофильтрационных и противосуффозионных мероприятий и формирования мероприятий по обеспечению безопасности основания плотины.

3. Разработать высокочувствительный двухканальный геотермометр-тепломер с высокой точностью и создать математическую модель оптимального поиска путей сосредоточенной фильтрации.

4. Разработать математический модель трансформаторного кондуктометра, метод и аппаратура для оперативного измерения удельной электропроводности подземных минерализованных вод в широком диапазоне концентрации водных растворов.

5. На основе теории тепломассопереноса, разработать метод определения коэффициента фильтрации в основании плотины, с учетом изменения теплового поля основания плотины.

6. Исследовать аномальное распределение солевого облака вокруг солевого пласта в основании плотины Рогунской ГЭС; физическую природу существования границы резкого перехода значения минерализации между менее и сильноминерализованными подземными водами на коротком расстоянии; изменение его гидрогеохимического режима при повышении

гидростатического давления и разработать управляемые противосуффозионные устройства по защите солевого пласта в основании плотины.

**Объект исследования:** основание высоконапорной плотины на растворимых породах и происходящие в нем геотермические и гидрогеохимические процессы.

**Предмет исследования:** влияние изменения гидростатического давления на аномальные изменения геотермического и гидрогеохимического режима в основании высоконапорной плотины на растворимых породах.

**Методы исследований:** теоретические, экспериментальные и лабораторные исследования, с применением действующих стандартных разработанных и рекомендуемых методик; методы отбора проб из скважины для последующего химического анализа; геофизические каротажные методы: термометрия, кондуктометрия, сейсмоакустические и аппаратуры разработанной автором; теплофизические методы теплопереноса; методы математического анализа. В исследованиях использованы традиционные методы математической статистики, математического моделирования функционирования отдельных элементов, математический метод наименьших квадратов, а также различные программные обеспечения. Натурные исследования проведены на основе существующих методов организации и проведения изысканий.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

1. Получили дальнейшее развитие теория и методы управления фильтрационным режимом в растворимых основаниях высоконапорных плотин. Сформулированы концептуальные основы совершенствования методов ведения системы мониторинга, с разработкой критериального показателя для оперативной оценки эффективности противофильтрационных и противосуффозионных мероприятий и формирования мероприятий по обеспечению безопасности основания плотины.

2. Впервые создана математическая модель оптимального поиска путей сосредоточенной фильтрации, разработан высокочувствительный двухканальный геотермометр-тепломер с высокой точностью для исследуемого объекта.

3. Впервые разработана математическая модель трансформаторного кондуктометра, метод и прибор для измерения удельной электропроводности подземных минерализованных вод в широком диапазоне концентрации водных растворов.

4. Экспериментально установлено ранее неизвестное, физическое явление - возникновение геотепловой завесы и изменения расположения геотепловой завесы по вертикали для исследуемого объекта. Выявлена причина аномального прогрева приповерхностной части земной коры, в зоне исследуемого объекта, с разработкой метода и системы двухуровневого контроля изменения теплового режима.

5. Впервые на основе теории тепломассопереноса, разработан метод определения коэффициента фильтрации и пути сосредоточенной фильтрации в основании плотины, с учетом изменения теплового состояния земли.

6. Установлено ранее неизвестное физическое явление - возникновение гидронапорно - осмотической завесы между менее и сильноминерализованными подземными водами, связанное с повышением гидростатического давления, на основании которого, впервые разработано управляемое противосуффозионное устройство по защите оголовка солевого пласта в основании плотины.

**Теоретическая и научно-практическая значимость исследования** заключается в:

- разработке высокочувствительного двухканального геотермометр-тепломера с точностью  $0,001^{\circ}\text{C}$ , рекомендуемый для оптимального поиска участков зарождения путей сосредоточенной фильтрации и определения коэффициента фильтрации с применением теории тепломассопереноса.

- разработке, на базе современных микропроцессорных систем с улучшенными характеристиками индуктивного кондуктометра, рекомендуемый для измерения электрической проводимости подземных минерализованных вод в диапазоне от 0,2 до 600 мСм/см с погрешностью  $\pm 0,1$  мСм/см, при концентрации в диапазоне от 0,2 до 300 г/л с точностью  $\pm 0,1$  г/л.

- установлении (экспериментально) ранее неизвестного, для исследуемого объекта, физического явления - возникновения геотепловой завесы и изменения расположения геотепловой завесы по вертикали, рекомендуемый использовать при определении сужения зоны аккумуляции солнечной энергии (приповерхностная часть земной коры) и её прогреву как индикатора избыточного тепла в земной коре.

- методике определения коэффициента фильтрации с применением теории тепломассопереноса, рекомендована для определения изменения фильтрационной характеристики основания плотины и зону зарождения путей сосредоточенной фильтрации.

- установлении неизвестного ранее физического явление опреснения и отжатия подземных минерализованных вод, для исследуемого объекта, а также неизвестной ранее физической закономерности повышении глубины опреснения подземных минерализованных вод и рекомендуемые использовать для принятия адекватного технического решения, как на этапе возведения, так и в период эксплуатации сооружения.

- разработке управляемых противосуффозионных устройств по всей длине защищаемого участка солевого пласта в основании плотины применимые для прижатия минерализованны вод к солевому пласту, защищающие пласт соли от растворения пресными водами.

Результаты исследований применяются в проектной и эксплуатационной практике соответствующих подразделений Министерства энергетики и водных ресурсов РТ, Агентства мелиорации и ирригации при Правительстве РТ, при чтении лекций и на практических занятиях, а также

при проведении лабораторных работ для студентов по специальным курсам: «Гидротехнические сооружения», «Гидротехническое строительство», «Гидрология», «Комплексное использование и охрана водных ресурсов», а также по специальности «Управление водными ресурсами», и рекомендуются при чтении лекций и на практических занятиях, для студентов соответствующих специальностей обучающихся в высших учебных заведениях, а также при подготовке и переподготовке специалистов работающих в области эксплуатации гидротехнических сооружений.

**Положение выносимые на защиту:**

1. Концептуальные основы совершенствования методов ведения мониторинга, с разработкой критериального показателя для оперативной оценки эффективности противодиффузионных и противосуффозионных мероприятий и формирования технических и технологических мер по обеспечению безопасности основания плотины. Развитие теории и методов управления фильтрационным режимом в растворимых основаниях высоконапорных плотин.

2. Математическая модель оптимального поиска путей сосредоточенной фильтрации. Конструкция высокочувствительного двухканального геотермометр-тепломера с высокой точностью.

3. Математическая модель трансформаторного кондуктометра, метод и аппаратура для измерения удельной электропроводности подземных минерализованных вод в широком диапазоне концентрации водных растворов.

4. Экспериментально установленное ранее неизвестное физическое явление - возникновение геотепловой завесы и изменения расположения геотепловой завесы по вертикали для исследуемого объекта.

5. Метод определения коэффициента фильтрации и пути сосредоточенной фильтрации в основании плотины с применением теории тепломассопереноса.

6. Результаты исследований изменения гидрогеохимического режима вокруг солевого пласта в основании плотины Рогунской ГЭС, позволившие установить ранее неизвестное физическое явление - возникновение гидронапорно-осмотической завесы между менее и сильноминерализованными подземными водами, связанное с повышением гидростатического давления и разработанное управляемое противосуффозионное устройство по защите оголовка солевого пласта в основании плотины.

**Степень достоверности результатов.** Достоверность результатов работы основаны на применении существующих методов и средств исследований, подтвердившиеся многолетними результатами полученные отечественными и зарубежными учеными; в результатах, полученных в процессе научных полевых исследований; подтверждении результатов натурных исследований в сравнении с результатами полученными с применением современных методов и технологий, а также результатов других исследователей; реализации камеральных работ с использованием существующих методологий; применением методов статического анализа и критериев статистической оценки результатов, подтвердившие необходимой повторяемостью полученных результатов и сопоставлением с данными других авторов; одобрением, в процессе обсуждения, на научных семинарах и конференциях различного уровня. В процессе проведения эксперимента в пьезометрической сети основания плотины Рогунской ГЭС полученные результаты количественно и качественно согласуются с экспериментальными данными по химическому анализу, ранних проб из скважины. В процессе разработки и изготовления кондуктометров «NELT» и «Кальмар» измерения УЭП проводили по ГОСТ 8567–90. Поверочные растворы готовились согласно методике, указанной в ГОСТ 22171–90. Результаты измерений сравнивались с метрологическими характеристиками аттестованного прибора «АНИОН–7500» с использованием образцов УЭП.

### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности.**

Диссертация соответствует формуле специальности - 05.23.07 - «Гидротехническое строительство» по следующим положениям:

- п. 1 «Разработка теории, методов расчетного обоснования, проектирования и строительства плотин из грунтовых материалов; совершенствование геотехнических, динамических и фильтрационных исследований грунтовых водоподпорных сооружений, их откосов, оснований береговых примыканий и склонов, научное обоснование перспективных направлений ремонта, конструкции и эксплуатации земляных плотин;

- п.9 «Разработка методов оценки влияния гидротехнического строительства на прилегающие территории, создание новых методов расчётов и проектирования сооружений инженерной защиты»;

- п. 11 «Эксплуатационная надёжность гидротехнических сооружений, разработка новых критериев их безопасности, новые системы контроля и наблюдений за сооружениями, совершенствование методов технической диагностики и мониторинга водных систем и объектов».

**Личный вклад соискателя учёной степени в исследования.** Диссертация является результатом многолетних исследований автора в период непосредственной работы (1989 – 2019 гг.) на строительстве Рогунской ГЭС в качестве: начальника геофизической партии ОГИИИ Института Гидропроект г. Москвы (1989-1992), зам. главного инженера, главного инженера и директора дирекции строящейся Рогунской ГЭС (1993-2003), зам. генерального директора АООТ «Гидроспецстрой» (2004-2007), начальник отдела рабочего проектирования (ОРП), начальника отдела «Геофизических исследований и натурного наблюдения» ОАО «Рогунской ГЭС» (2008-2011) и директора ООО «Гидроспецпроект» (2012-2019), а в последствие в лаборатории «Гидротехнические сооружения» Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ.

Автором сформулированы и поставлены цели исследований, обобщены результаты режимных наблюдений предыдущих лет, разработан

кондуктометрический метод измерения электропроводности подземных минерализованных вод, изготовлен кондуктометр и экспериментально исследованы метрологические характеристики кондуктометра, а также разработан геотермометр и проведены эксперименты по измерению степени минерализации и температуры в пьезометрических сетях основания строящейся плотины Рогунской ГЭС. Обработка результатов исследований позволили автору установить неизвестные ранее физические явления, для исследуемого объекта.

**Апробация и реализация результатов диссертации.** Основные результаты диссертации были доложены и обсуждены на международных и республиканских научно-практических конференциях (НПК): X Межд. теплофизической школы «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий», 2016, Душанбе-Тамбов, Респ. н.-практ. конф. «Современные проблемы естественных наук», Душанбе, 2017, межд. конф. «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», Махачкала, 2017, XXVIII межд. н.-практ. конф. «Предотвращение. Спасение. Помощь», Химки, 2018, межд. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы развития современной науки, техники и технологий», Самара, 2018, IX межд. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций», Кокшетау, 2018, IX всеросс. науч.-практ. конф. «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы», Воронеж, 2018, VII межд. науч.-практ. конф. «Исторические аспекты, актуальные проблемы и перспективы развития гражданской обороны», Кокшетау, 2019, межд. конф. «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», Махачкала, 2019, XXIX межд. науч.-практ. конф. «Предотвращение. Спасение. Помощь», Химки, 2019, XIII межд. науч.-практ. конф. «Пожарная и аварийная безопасность», посвященной Году культуры безопасности, Иваново, 2018, VIII всерос. науч.-практ. конф. с межд. участием «Современная техника и технологии: проблемы, состояние и

перспективы», Рубцовск, 2018, межд. конф. «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах», Махачкала, 2019, V межд. науч.-техн. конф. «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ», Санкт-Петербург, 2019, XIV межд. молодёжная науч. конф. «Гинчуринские чтения», Казань, 2019, Респуб. науч.-практ. конф. «Энергетика: состояние и перспективы развития», Душанбе, 2020, IV всерос. науч.-практ. семинар «Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства», Москва, 2021, V межд. науч. конф. «Вопросы физической координационной химии», посвященной памяти докторов химических наук, профессоров Якубова Х.М. и Юсуфова З.Н., Душанбе, 2021, 12 межд. теплофиз. школы «Теплофизика и информационные технологии», Тамбов, 2022, Респуб. науч.-практ. конф. «Водохозяйственный комплекс: проблемы и пути их решения», Душанбе, 2022, 13 межд. теплофиз. школы «Теплофизика и информационные технологии», Душанбе-Тамбов, 2022, V всерос. науч. практ. семинара «Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства», Москва, 2022, VI всерос. науч. практ. семинара «Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства», Москва, 2023, а также в научных семинарах кафедры «Теплотехника и теплотехнические оборудования» Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими, Душанбе, 2007-2023 гг. и в Институте водных проблем, гидроэнергетики и экологии АН РТ, Душанбе, 2020-2023 гг.

**Реализация исследования.** Изготовленные, в производственных условиях, зонды-кондуктометры «NELT», «Кальмар» и геотермометр-тепломер совместно с ООО «NELT» эксплуатировались с 2012 года по 2018 год для мониторинга гидрогеохимического режима в пьезометрической сети основания плотины Рогунской ГЭС (справка прилагается); результаты исследований гидрогеохимической особенностей основания плотины способствовали принятию адекватных технических решений по проектированию мероприятий защиты солевого пласта от размыва;

разработанная, изготовленная и принятая в эксплуатацию прижимное устройства для сейсмических датчиков (признанное изобретением) применяется для оценки качества цементационных работ горных массивов.

Все эти разработки были испытаны в производственно-эксплуатационных условиях, разработки основания плотины Рогунской ГЭС.

**Внедрение результатов исследования.** Изготовленные зонды-кондуктометры «NELT», «Кальмар» и геотермометр внедрены в эксплуатацию с 2012 года для мониторинга гидрогеохимических и геотермических режимов в пьезометрической сети основания плотины Рогунской ГЭС. Кондуктометры и геотермометр эксплуатировался ООО «Гидроспецпроект» (акт внедрения прилагается). Разработанная математическая модель кондуктометра внедрена в учебный процесс при проведении лабораторных занятий на кафедре «Общей физики» Таджикского Государственного педагогического университета имени Садриддина Айни (соответствующий акт прилагается). Результаты исследований и разработок защищены Малыми патентами РТ и Евразийской патентной организации (прилагаются).

**Публикации по теме диссертации.** Основное содержание диссертации отражено в 82 печатных работах, в том числе 29 - в рецензируемых журналах из перечня ВАК при Президенте РТ и ВАК РФ, 8 малых патентах Республики Таджикистан и 4 патентах Евразийской патентной организации (ЕАПО), а также в 36 статьях, опубликованных в сборниках международных, республиканских научных конференций и в 5 монографиях. 16 работ написаны и опубликованы автором единолично.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, рекомендаций, списка литературы, включающего 302 библиографических ссылок изложен на 325 стр., из них 250 стр. основного текста, включающий 41 таблицу и иллюстрированный 103 рисунками. Приведены также 6 приложений на 42 страницах.

# Глава 1. ВОДНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

## 1.1. Водно-ресурсный потенциал Таджикистана

Водные ресурсы играют важнейшую роль в обеспечении устойчивого развития Таджикистана [1, 2].

Вода в настоящее время служит основным источником энергии в стране – более 95% электроэнергии в стране вырабатывается на гидроэлектростанциях [2].

Водные ресурсы используются в орошаемом земледелии, обеспечивающее около 80% сельскохозяйственной продукции, для целей питьевого водоснабжения и санитарии, в промышленности и рыбном хозяйстве, играющие важную роль в обеспечении продовольственной безопасности страны [2].

В Таджикистане зона формирования стока рек составляет 90% его территории. Основу водных ресурсов Республики Таджикистан составляют ледники, реки, озера, водохранилища и подземные воды.

В целом среднемноголетний сток рек, формирующихся в Таджикистане, равен  $64 \text{ км}^3/\text{год}$ , в том числе в бассейне реки Амударьи  $62,9 \text{ км}^3/\text{год}$  и в бассейне Сырдарьи  $1,1 \text{ км}^3/\text{год}$ . Реки Таджикистана формируют 55,4% среднемноголетнего поверхностного стока бассейна Аральского моря [2, 3]. На рисунке 1.1 приведен объём формирования поверхностного стока бассейна Аральского моря [3].

Среди основных речных бассейнов территории Таджикистана самый большой - бассейн реки Амударьи, включающий в себя три речных бассейна – Пяндж, Вахш и Кафирниган. В формировании водных ресурсов вышеуказанных речных бассейнов основную роль играют крупнейшие реки страны: Пяндж, Вахш, Ванч, Язгулем, Бартанг, Гунд, Обинхингоу Сурхоб, Муксу, Кафирниган, Зерафшан, Фандарья и т.д [1].

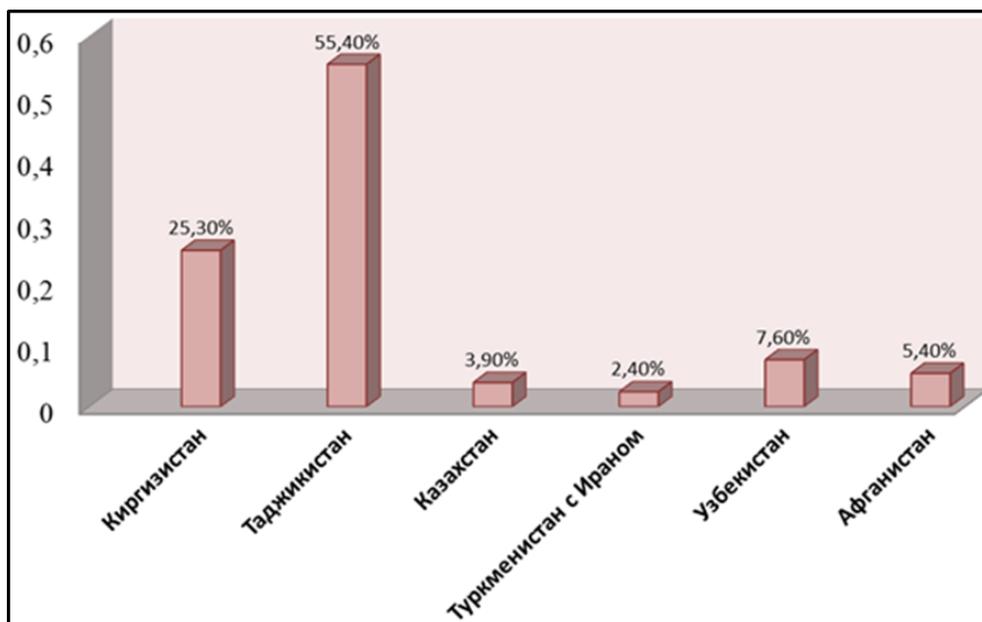


Рисунок 1.1. - Формирование поверхностного стока бассейна Аральского моря

На рисунке 1.2 представлена схема расположения речных бассейнов Таджикистана.



Рисунок 1.2. - Главные речные бассейны Республики Таджикистан

Около 133 тыс. км<sup>2</sup> горных территорий Таджикистана являются аккумулятором водных ресурсов, они за столетия сохранили атмосферные осадки в виде ледников и снежников - 845 км<sup>3</sup>, озера - 46,3 км<sup>3</sup>, водохранилища - 15,34 км<sup>3</sup>, подземные воды - 18,7 км<sup>3</sup> [1].

Питание рек определяется орографическим и высотным положением водозаборов, как интегральными показателями увлажнения бассейнов, и несколько меняется при продвижении с севера на юг за счет увеличения доли снегового и дождевого стока. В целом же, основным источником питания рек являются талые воды сезонных снегов, меньшую роль играют вечные снега и незначительную - дожди. По источникам питания и характеру внутригодового распределения стока реки Таджикистана делятся на четыре типа [1]:

1. Реки ледниково-снегового питания, берущие начало в верхних горизонтах гор у ледников и вечных снегов. Половодье на них длится 6-7 месяцев, а наибольший сток приходится на июль-август. Это - Пяндж, Вахш, реки Западного и Восточного Памира, Сырдарья, Зерафшан, Фандарья.

2. Реки снего-ледникового питания, также берущие начало в высокогорной зоне. Половодье длится 5-6 месяцев, а наибольший сток приходится на май-июнь. Это Кафирниган, Сорбог, Варзоб, Ханака, Каратаг и др.

3. Реки снегового питания - небольшие реки, притоки крупных рек 2-го и 3-го порядка. Половодье длится на них 4-6 мес., наибольший сток наблюдается в апреле - мае. Примером таких рек могут служить небольшие речные притоки Кафарнигана, Варзоба, Вахш, эти реки Явроз, Лучоб, Харангон, Курортная, Даштигурон и др.

4. Реки снего-дождевого питания, берущие начало в средневысотных зонах периферийных хребтов. Половодье длится на них до 4-ех месяцев, а максимум стока приходится на март-май. Это - реки Кызылсу (Южная), Яхсу, Таирсу и др.

В общей сложности на территории Таджикистана насчитывается более 14 000 ледников с общей площадью около 8500 км<sup>2</sup>. Ледники с площадью до 1 км<sup>2</sup> составляют около 80%, а площадью более 1 км<sup>2</sup> – около 20% от общего их количества, но основную площадь оледенения составляют ледники размером более 1 км<sup>2</sup> - до 85%; малые же ледники, несмотря на большое их

количество - всего 15%. По длине наибольшее распространение имеют ледники размерами 2-6 км - около 60% от общего количества; длиной 6-10 км - 4% и длиной 10-20 км - 2% (таблица 1.1) [1].

**Таблица 1.1. - Крупные ледники Таджикистана**

<b>Ледники</b>	<b>Площадь, км<sup>2</sup></b>	<b>Объём ледника, км<sup>3</sup></b>
Федченко	651,7	93,6
Грум-Гржимайло	143	19,84
Гармо	114,6	-
Виктовского	50,2	6,882
АН СССР	48,0	5,242
Наливкин	45,2	8,588
Бывачий	37,0	8,05

Потенциальные запасы подземных вод составляют 18,7 км<sup>3</sup>/год, при этом эксплуатационные оцениваются в 2,8 км<sup>3</sup>/год. Наибольшие запасы подземных вод имеются в бассейнах рек: Вахш – 4919 млн. м<sup>3</sup>/год, Сырдарья – 3579 млн. м<sup>3</sup>/год и Кафирниган – 2505 млн. м<sup>3</sup>/год. Ресурсы подземных вод по Согдийской области оцениваются в размере 25,6% от общереспубликанского значения, а эксплуатационные запасы 45,8%, соответственно по Хатлонской области – 21,8% и 25,9%, по Горно-Бадахшанской автономной области – 21,4% и 1,28%, по районам республиканского подчинения [1].

Подземные воды в Таджикистане используются для различных целей, в том числе [1]:

- 39,3% - на хозяйственно-питьевые нужды;
- 7,7% - на производственно-технические нужды;
- 38,1% - на орошение.

В Таджикистане насчитывается около 1300 озер общей площадью 705 км<sup>2</sup>. Большинство озер представлено водоёмами с площадью зеркала менее 1 км<sup>2</sup>. И на их долю приходится 97,5% общего число озёр [3].

Основное количество озёр (73%) сосредоточено в горах Памиро-Алая в интервале высот 3500-5000 м. над уровнем моря. Их площадь составляет 80%

общего водного пространства озёр республики. В озёрах Таджикистана содержится более 46,3 км<sup>3</sup> воды, из которых 20 км<sup>3</sup> являются пресными [3].

Наряду с другими водными ресурсами Таджикистана водохранилища являются искусственными сооружениями где можно накапливать воду для нужд энергетики и ирригации, играющие важную роль в регулирование стока рек для их рационального использования в интересах экономики стран речных бассейнов. Это значение водохранилищ становится более очевидным на фоне происходящего изменения климата. Не малое значение водохранилища играют в предотвращении паводков и защиты народнохозяйственных объектов от их разрушительного воздействия, которые нередки в условиях Центральной Азии [3].

В Таджикистане построены и эксплуатируются 11 водохранилищ различного назначения. Наиболее крупные из них: Кайракумское, расположенное в северной части, и Нурекское – в центральной части Таджикистана. Общая акватория всех водохранилищ составляет 664 км<sup>2</sup>, полный объём 15,344 км<sup>3</sup>, в том числе полезный 7,63 км<sup>3</sup> [3].

В таблице 1.2 представлены характеристики крупнейших водохранилищ Таджикистана [1].

**Таблица 1.2.** - Основные характеристики водохранилищ Таджикистана

Водохрани-лища	Река	Год экс-плуатация	Объем, млн. км <sup>3</sup>		Площадь	Цель*
			Пол-ный	Полез-ный		
Байпазинское	Вахш	1986	0,23	0,02	5,0	И, Э, Р
Бахри точик	Сырдарья	1956	4,10	2,67	520	И, Э, Р, В
Даханасайское	Даганасай	1981	0,06	0,02	2,1	И, В, С
Головной	Вахш	1962	0,10	0,02	6,5	И, Э, Р, В
Катгасайское	Катгасай	1965	0,06	0,03	2,0	И, С, Р, В
Муминабадское	Обисурх	1958	0,03	0,03	2,9	И, Р, В
Нурекское	Вахш	1979	10,5	4,50	98	И, Э, Р, В
Сангтуда-1	Вахш	2009	0,26	0,01	5,1	И, Э, В
Сангтуда-2	Вахш	2012	0,02	0,01	5,1	И, Э, Р
Сельбурское	Кызылсу	1963	0,03	0,03	2,6	И, Р, В, С
Фархадское	Сырдарья	1948	0,33	0,20	46	И, Э, Р, В

*Примечание:* Э – энергетика; И – ирригация; В – водоснабжение; Р – рекреация; С – селезащита.

Здесь, важно отметить, что создание крупных водохранилищ в значительной степени влияет не только на режим рек, но и на условия окружающей среды, природные ресурсы, санитарную обстановку населённых пунктов, сельское хозяйство. Для рек Таджикистана характерно наличие значительного количества твердого стока, что приводит к потере функции водохранилищ как регулятора сезонного, годового и многолетнего стока рек из-за их быстрого заиления и увеличения мертвого объема, что также сокращает потенциал выработки электроэнергии [1].

На территории республики зарегистрировано свыше 200 источников минеральных вод. В регионах развития палеозойских отложений и магматических пород отмечено 86 естественных выходов углекислых и азотных вод; около 70 из них находится на Памире. Наиболее высокодебитные источники – Обигарм, Ходжа-Обигарм расположенные в пределах Гиссарского хребта [3].

Особую известность получили также минеральные источники: Шаамбары, Анзоб, Файзабад, Истаравшан, термальные и лечебные источники: Хаватаг, Табошар, Адрасман, Явроз, Каратаг, Бабатаг, Гармчашма, Айвадж, Бахмыр, Эллис и др. На базе некоторых источников построены курорты и санатории [3].

## **1.2. Особенности гидротехнического строительства в Таджикистане**

Строительство гидротехнических и гидроэнергетических объектов в Таджикистане, как основа топливно-энергетического комплекса (ТЭК) было обусловлено природно-географическими факторами, обусловленное тем, что свыше 50 % гидроресурсов Центральной Азии сосредоточено в Таджикистане. Развитие гидротехнической отрасли страны началось еще в 30-е гг. XX века. Первые гидротехнические комплексы были возведены на р. Варзоб. В конце декабря 1936 г. была введена в эксплуатацию Варзобская ГЭС-1 – первая гидроэлектростанция в Таджикистане, изначальная мощность которой составила 7,4 МВт [4]. Варзобская ГЭС-1

обеспечила энергией Варзобский район и г. Душанбе, однако полностью решить проблему энергообеспечения развивающегося города не смогла, поэтому строительство Варзобского каскада было продолжено. К середине 1950-х гг. функционировало уже три гидроагрегата. Вместе с тем набирающая обороты промышленность страны требовала больших энергозатрат и вырабатываемой электроэнергии на р. Варзоб оказалось недостаточно для удовлетворения растущих потребностей. Так, в 1956 г. на р. Сырдарья была создана более крупная - Кайраккумская ГЭС, а на реке Вахш сооружен каскад ГЭС - Перепадная, Головная, Центральная на р. Вахш.

В конце 1970-х – в начале 1980-х гг. был взят курс на строительство крупных ГЭС: построены и сданы в эксплуатацию самая большая в Таджикистане и во всем Центрально-Азиатском регионе Нурекская ГЭС [1, 4], далее Байпазинская, Сангтудинская ГЭС-1 и ГЭС-2 и др, а также положено началу строительства Рогунской гидроэлектростанции.

Гидроэнергетика занимает в Таджикистане 98% общей мощности производимой электроэнергии. Динамика развития энергетики Таджикистана, в виде роста суммарной мощности энергосистемы, показана на рисунке 1.3 [1, 4].

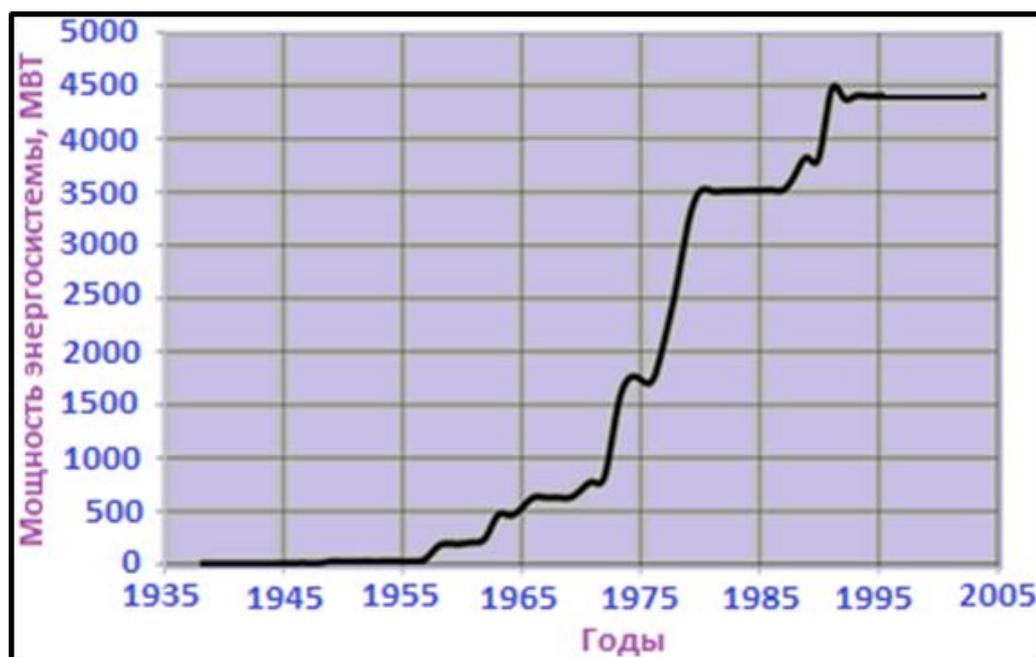


Рисунок 1.3. - Динамика развития энергетики Таджикистана

Таким образом, во второй половине прошлого века, особенно в период с 50-х до 80-х годов, энергетика республики развивалась высокими темпами. Выработка электроэнергии к концу этого периода достигла в среднем 16 млрд. кВт.ч. в год.

По потенциальным гидроэнергоресурсам Таджикистан (таблице 1.3) среди стран СНГ занимает второе место после России, в мире занимает восьмое место после Китая, России, США, Бразилии, Заира, Индии и Канады [1].

**Таблица 1.3. - Потенциальные запасы гидроэнергоресурсов Таджикистана**

Басейны рек	Среднегодовая мощность, мВт.ч	Среднегодовая энергия, тВт.ч	Доля в общем объёме, %
Пяндж	14030	122,90	23,2
Гунд	2260	19,80	3,73
Бартанг	2969	26,01	4,93
Ванч	1191	10,34	1,96
Язгулом	845	7,40	1,39
Кызылсу	1087	9,52	1,78
Вахш	28670	251,15	48,00
Кофарнихон	4249	37,22	7,00
Оз. Кара-Куль	103	0,90	0,17
Сурхандарья	628	5,50	1,03
Зерафшан	3875	33,94	6,38
Сырдарья	260	2,28	0,43
Итого	60167	527,06	100,00

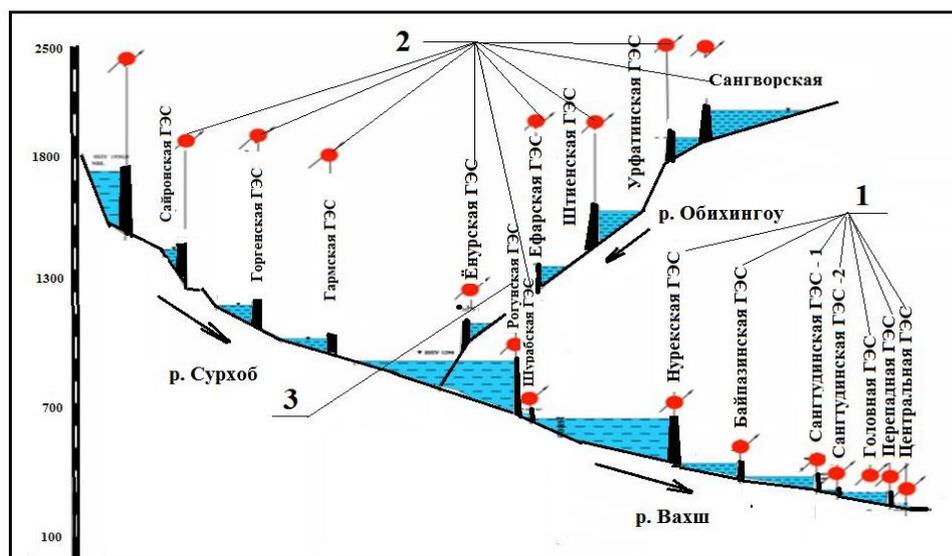
Источник: Министерство энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан

Общая величина потенциальных запасов гидроэнергоресурсов Таджикистана составляет 527,06 млрд. кВт/ч в год, из которых используется только 4-5%.

К середине 1990-х гг. общая мощность энергосистемы Таджикистана составляла 4,4 ГВт, причем тепловых электростанций насчитывалось лишь две – Душанбинская (196 МВт) и Яванская (120 МВт) ТЭЦ, остальная часть приходилась на гидроэнергетику.

Наиболее освоенным по гидроэнергетическому потенциалу является река Вахш, гидроэнергетический потенциал, которой оценен в 251,15

млрд.кВт.час., при этом технически возможные и экономически целесообразные гидроэнергоресурсы для строительства ГЭС составляют 37 млрд.кВт.час. По имеющимся оценкам существует 9 створов, выгодных для строительства ГЭС с водохранилищами. В настоящее время на 7 из 9 возможных створов построены ГЭС с общей установленной мощностью 4775,05 МВт (рисунок 1.4).



**Рисунок 1.4.** - Схема каскада ГЭС в бассейне р. Вахш. 1 - построенные ГЭС; 2 - перспективные ГЭС; 3 – строящаяся ГЭС

В годы независимости, в начале 2000-х гг. Таджикистан взял курс на продолжение строительства незавершенных станций, сооружение новых и модернизацию устаревших мощностей.

Сегодня гидроэнергетика является главным источником энергии страны. Основной потенциал гидроресурсов сосредоточен в бассейнах рек Пяндж, Вахш, Кафирниган и Зеравшан. Согласно данным Евразийского банка развития по гидроэнергетическому потенциалу Таджикистан занимает восьмое место в мире, но при этом, используется лишь 4–5 % от его потенциала [5]. В стране насчитывается 11 крупных и средних ГЭС и порядка 300 малых [6]. По данным IRENA, в 2021 г. общая установленная мощность ГЭС Таджикистана превысила 5274 МВт [7].

Выработка электроэнергии более чем на 90 % осуществляется за счет гидростанций. Потенциальные возможности генерации на основе гидроэнергии составляют порядка 527 млрд кВт·ч, технические – 317 млрд кВт·ч [8 - 10]. Для сравнения по итогам 2022 г. было выработано 21 млрд кВт·ч электроэнергии, что стало рекордным показателем за всю историю с момента становления страны в качестве независимого государства [11]. До 2030 г. Правительство Таджикистана намерено увеличить выработку до 40,7–45 млрд кВт·ч, при этом на ГЭС должно приходиться от 37,6–41,6 млрд кВт·ч (порядка 92,4 % от общего объема генерации) [12].

На стадии проектирования находится Шуробская ГЭС. Расположена она будет между Рогунской и Нурекской ГЭС, а ориентировочная мощность составит 862 МВт. В настоящее время, помимо ГЭС Шураб, предварительное ТЭО с финансовым и техническим анализом разработаны для 5 ГЭС [9].

Осуществляется модернизация ряда системообразующих ГЭС Таджикистана: Нурекской, Головной, Кайраккумской. В октябре 2022 г. после модернизации, был введен в эксплуатацию, первый гидроагрегат Нурекской ГЭС [13]. Ожидается, что по итогам реабилитационных работ мощность Нурекской ГЭС составит 3375 МВт (+375 МВт), а среднегодовая выработка энергии 12,6 млрд кВт·ч (+1,4 млрд кВт·ч) [14]. После модернизации Нурекской ГЭС энергобезопасность страны повысится и появится возможность увеличения возможности экспорта «чистой» электроэнергии.

Следует отметить вклад малой гидроэнергетики в общую энергообеспеченности страны. В настоящее время в стране насчитывается порядка 300 малых ГЭС (мощностью порядка 132 МВт), однако около трети от этого количества не функционируют ввиду того, что многие из них построены без проведения надлежащих гидрологических исследований [15]. Кроме того, невозможность эксплуатации некоторых малых ГЭС связана с нехваткой воды: в летний период – в связи с ирригационными нуждами местных хозяйств, в зимний – в связи с отсутствием необходимого стока [15]. При этом правительство намерено поддерживать дальнейшее развитие МГЭС в рамках

«Стратегии-2030», преследующая цель, в условиях горно-предгорной зоны, обеспечить электроэнергией населения удаленных труднодоступных районов, а также создать перспективные условия развития МГЭС, способствующая созданию новых предприятий малого и среднего бизнеса, в этих районах.

В настоящее время наиболее значительным событием для гидроэнергетического строительства Таджикистана является строительство Рогунской ГЭС, на реке Вахш. Проектом предусматривается установка шести гидроагрегатов общей мощностью 3600 МВт со среднегодовой выработкой 13,8 млрд кВт·ч [16].

Освоение гидроэнергетического потенциала в бассейне реки Вахш посредством завершения строительства Рогунской ГЭС и его водохранилища может полностью покрыть возрастающие внутренние потребности в электроэнергии и обеспечить увеличение её экспорта в зарубежные страны (Национальная водная стратегия Республики Таджикистан до 2040г.).

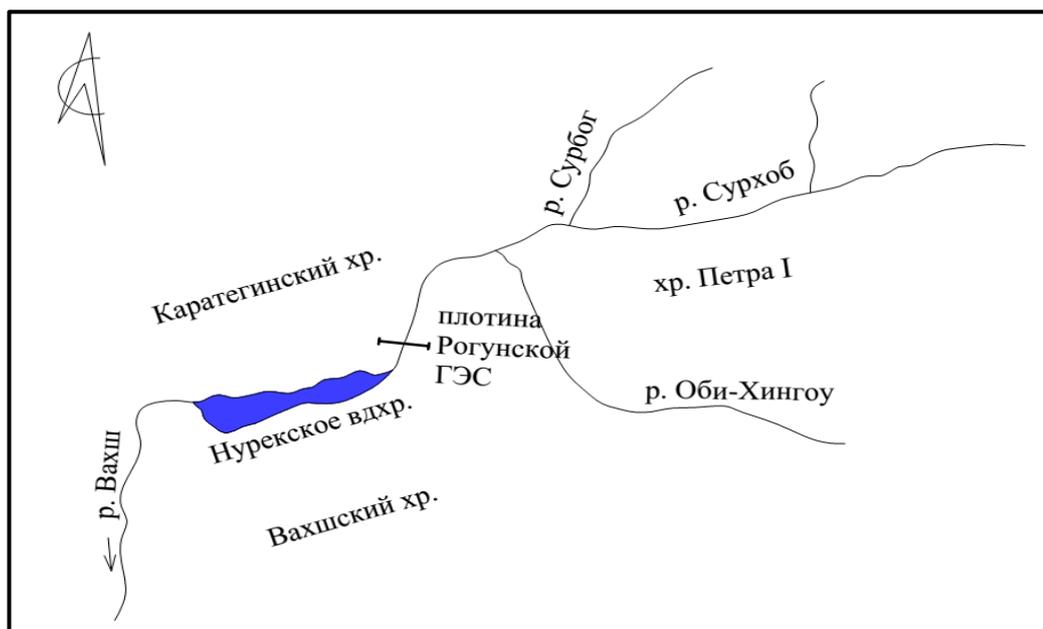
Плотина Рогунской ГЭС высотой 335 метр станет самой высокой каменно-набросной плотиной в мире. Она образует Рогунское водохранилище полным объёмом 13,3 км<sup>3</sup> и полезным объёмом 10,3 км<sup>3</sup>. Основным назначением Рогунской ГЭС считается использование её в качестве многоцелевого гидроузла - выработка электроэнергии, регулирования стока, снижение риска наводнений и смягчения засух.

Ниже изложены основные факторы, повлиявшие для обоснования выбора гидроузла Рогунской ГЭС, в качестве объекта диссертационных исследований.

### **1.3. Характеристика объекта исследований (район строительства Рогунской ГЭС)**

#### **1.3.1. Выбор объекта исследований. Анализ и оценка геологического строения района строительства плотины Рогунской ГЭС**

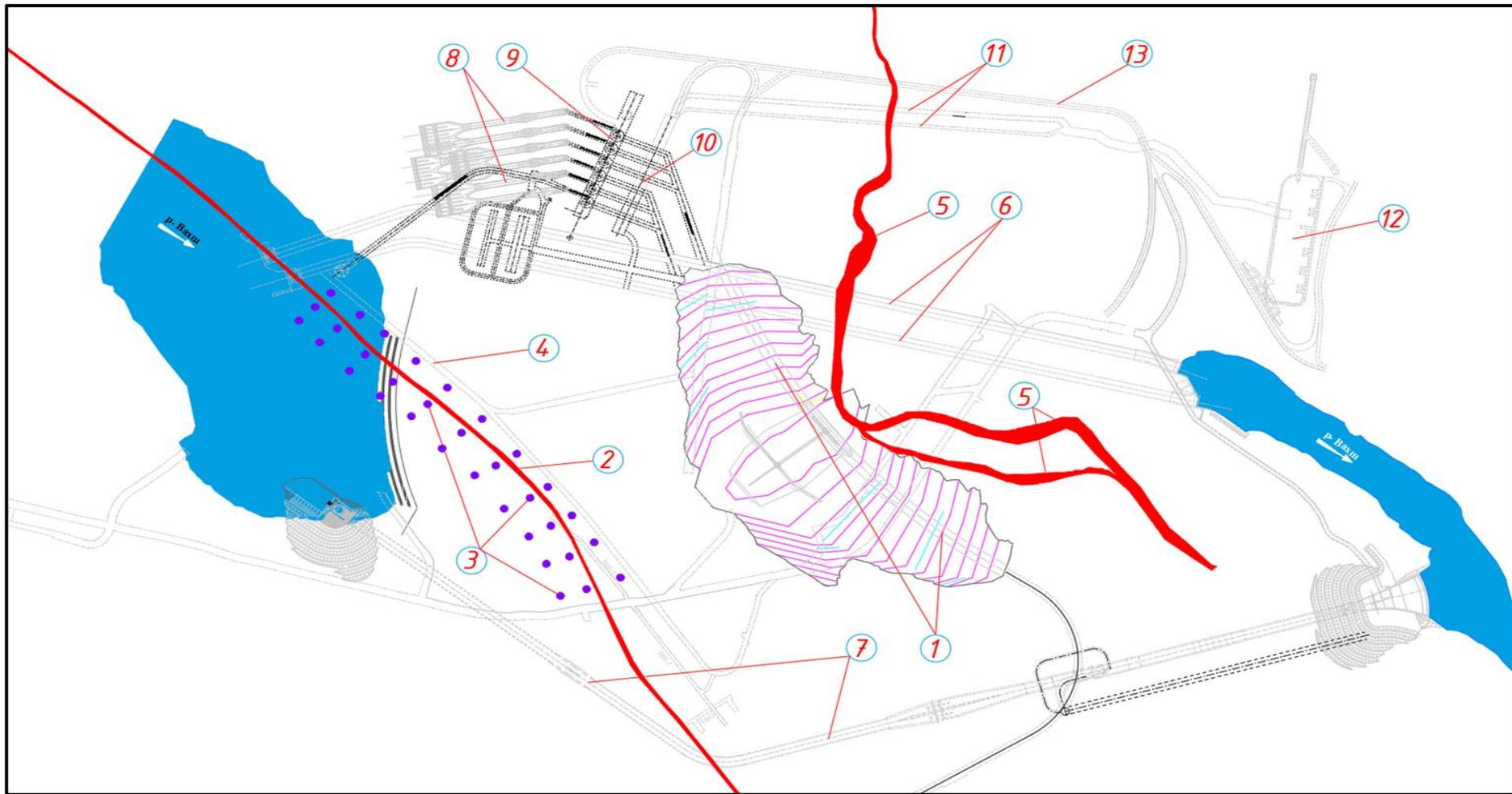
Рогунский гидроузел расположен на территории Таджикистана в области сочленения хребтов: Каратегинского, Петра I, Вахшского и Сурх – Ку (рисунок 1.5).



**Рисунок. 1.5.** - Обзорная схема района Рогунского гидроузла (масштаб 1:1 500 000)

Состав сооружений Рогунской ГЭС включает (рисунок 1.6) [17]:

- Каменно-набросную плотину с противофильтрационным ядром из суглинка высотой 335 м и объемом 73,6 млн м<sup>3</sup>;
- 7 строительных и эксплуатационных водосбросных туннельных сооружений с рабочими напорами на затворах от 150 до 200 м и диаметрами туннелей от 10 до 15 м, общей пропускной способностью 8220 м<sup>3</sup>/сек;
- многоуровневый 5-ярусный глубинный водоприемник с проектным напором на аварийно-ремонтных затворах в 140 м;
- 6 подводящих турбинных водоводов с металлической облицовкой диаметром 7,5-7,0 м с напорной шахтой высотой 212 м и горизонтальным участком 356 м;
- подземное здание ГЭС;
- подземное помещение трансформаторов;
- селезащитный комплекс в основании плотины с металлической облицовкой и оборудованием;
- транспортные туннели и подходные штольни общей длиной около 75 км.



**Рисунок 1.6.** - Схема створа плотины Рогунской ГЭС (1-створ (ось ядра) плотины, 2-Ионахшский разлом (солевой пласт), 3-пьезометрическая наблюдательная сеть, 4-левобережная солевая штольня, 5-разлом №35, 6-строительные туннели 1-го и 2-го яруса, 7-строительный туннель 3-го яруса, 8-водоводы 1-6-го агрегата, 9-машинный зал, 10-трансформаторное помещение, 11-кабельные туннели, 12-Комплектное распределительное устройство элегазовой изоляцией (КРУЭ), 13- Транспортный туннель Т-4

Строительство Рогунской ГЭС планируется осуществить в несколько этапов, в состав первой очереди входит отсыпка плотины до высоты 135 м и монтаж двух гидроагрегатов, работающих на пониженном напоре.

29 октября Таджикистан приступил к перекрытию русла реки Вахш и началу строительства плотины Рогунской ГЭС (рисунок 1.7). В мероприятии 29 октября принял участие глава государства Эмомали Рахмон. Его сопровождали члены правительства, депутаты обеих палат парламента, представители аккредитованного в РТ дипломатического корпуса, интеллигенция, многочисленная группа молодёжи.



**Рисунок 1.7.** - Перекрытие река Вахш в створе Рогунской ГЭС

Первый гидроагрегат Рогунской ГЭС был введён в эксплуатацию 16 ноября 2018 году. С вводом в эксплуатацию Рогунской ГЭС в полную мощность, позволить полностью покрыт дефицит электроэнергии в зимнее время и увеличить экспортные возможности энергетической системы Таджикистана, а также будет способствовать увеличению срока эксплуатации всех гидроузлов каскада реки Вахш. Наряду с этим появятся технические возможности по каскадному регулированию гидроэлектростанций, что позволит оптимизировать деятельность энергетической системы и увеличить выработку электроэнергии на нижележащих станциях.

Осуществляя многолетнее регулирование стока, Рогунская ГЭС не только увеличит общую выработку электроэнергии каскада гидроэлектростанций на р. Вахш, но и самое главное, позволит ему вырабатывать базисную энергию, которая будет иметь, прежде всего, региональное значение.

Водохранилище Рогунского гидроузла, совместно с Нурекским на реке Вахш и Туямуюнским на реке Амударья, общей полезной емкостью 18-19 км<sup>3</sup>, способно обеспечить многолетнее регулирование стока реки Амударьи с дополнительной гарантированной водоотдачей в размере 5,0-5,9 км<sup>3</sup> на земли Амударьинского бассейна, расположенных на территориях Узбекистана и Туркменистана.

С учетом значимости строительства Рогунского гидроузла, а также с учетом того, что он расположен в сложных инженерно-геологических, геотектонических, гидрогеохимических и сейсмических условиях, следует повысить требование к исследованию и изысканию основания сооружения во время строительства и эксплуатационные периоды на основе современных методов и аппаратур, разработке инженерных мероприятий по защите основания плотины от разрушения.

Район сооружения Рогунского гидроузла - долина верхнего течения р. Вахш - приурочен к зоне раздела двух крупных геологических регионов Средней Азии – юго-западного Тянь – шаня и Афгано – Таджикской депрессии, резко отличающихся геологическим строением и историей развития. Границей между этими регионами является Вахшский разлом (Петровско – Илякская зона разломов) протягивающейся в юго – западном направлении по долине р.Сурхоб, затем по долине р.Вахш до его правого притока р. Обиджушон и затем вдоль последней за пределы долины р. Вахш.

В геологическом строении рассматриваемой территории, непосредственно примыкающая к участку строительства Рогунской ГЭС, принимают участие мезо – кайнозойские образования, среди которых

преобладают осадочные породы мелового возраста, смятые в сложные, местами опрокинутые, складки [18].

На участке строительства Рогунской ГЭС распространены скальные породы с чередованием песчаников, аргиллитов, алевролитов [19, 20]. Инженерно – геологическая характеристика района гидроузла, тектонические особенности местности и разломы изучены САО Гидропроекта [21 - 23].

Трещиноватость пород совершенная, интенсивность трещиноватости преимущественно средняя, трещины полые, ширина их вне зоны ослабления не превышает первых долей мм. Более крупные разрывные нарушения заполнены глиной и брекчией трения мощностью 2-3 см. Мощность брекчии трения в разломе № 35 достигает 20 см, в Ионахском – 1-2 м. Основные физико – механические свойства пород приведены в таблице 1.4.

Самыми прочными являются песчаники кызылташской и верхне-обигармской свит, слагающие примыкания ядра плотины и район размещения НСУ. Временное сопротивление одноосному сжатию в водонасыщенном состоянии 1020-1100 кгс/см<sup>2</sup>. Модуль деформации в образце 370 тыс. кгс/см<sup>2</sup>, в массиве 80 тыс. кгс/см<sup>2</sup>,  $C=20$  кгс/см<sup>2</sup>,  $\phi = 67^{\circ}$ . Модули деформации образцов алевролитов и аргиллитов составляют 310 тыс. кгс/см<sup>2</sup>.

В зонах тектонического дробления прочность сильно перемятых пород существенно не однородно и в общем снижена.

Физико-механические и упруго-прочностные свойства массива пород зависят как от структуры массива и свойств пород в образце, так и экзогенных изменений, обусловленных процессами выветривания и разгрузкой естественных напряжений. В результате выполненных в процессе изысканий инженерно-геологических работ, которые включали в себя гидрогеологические, геомеханические и геофизические исследования, в массиве выделены четыре инженерно-геологические зоны, которые отличаются по значениям этих свойств [19]:

I - зона сильного выветривания и разгрузки,

II - зона выветривания и разгрузки,

III – зона разгрузки

IV – практически неизменные горные породы.

**Таблица 1.4. - Основные физико – механические свойства пород**

Краткая характеристика пород и стратиграфический индекс	Инженерно – геологические зоны	Модуль деформации в массиве $E_{\text{деф}} \times 10^{-3}$ кгс/см <sup>2</sup>	Параметры сдвига скального массива		Физ.-мех. свойства пород в образце		
			φ, град.	С, кгс/см <sup>2</sup>	Временное сопротивление одноосному сжатию, кгс/см <sup>2</sup>		Модуль деформации $E_{\text{деф}} \times 10^{-3}$ кгс/см <sup>2</sup>
					Воздушно - сухое	Водонасыщенное	
<b>Гаурдакская свита J<sub>3</sub>gr</b> -сильно загипсованные аргиллиты и алевролиты -каменная соль	IV	14/30	56/56	1/5	160 310	62 230	130 130
<b>Яванская свита K<sub>1jv</sub></b> -алевролиты (48%) -аргиллиты (45%) -песчаники (7%)	II III IV	15/28 25/30 25/40	56/63	10/10 15/13	680 - 1010	370 - 860	210 - 330
<b>Кызылташская свита K<sub>1kz</sub></b> -песчаники (87,3%) -алевролиты -аргиллиты	I II III IV	15/22 22/40 28/57 30/80	56/56 56/63 59/63	1/5 3/15 5/6 5/20	1180-1260	1020-1170	310-370
<b>Нижеобигармскаяп/св. K<sub>1ob1</sub></b> -алевролиты (85%) -аргиллиты	IV	30/70	56/63	5/15	590	570	260
<b>Верхнеобигармскаяп/св. K<sub>1ob2</sub></b> -песчаники (95%) -алевролиты -аргиллиты	I II III IV	16/24 24/50 65/60 30/90	56/56 56/63 59/67	1/5 5/15 5/15 5/20	1080-1200	970-1110	290-390
<b>Каракузская свита K<sub>1gz</sub></b> -песчаники (69%) - алевролиты (12%) - аргиллиты (19%)	I II III IV	10/17 21/40 27/55 35/80	56/56 56/63 59/63	1/5 3/15 5/15 5/20	720-1060	530-660	250-280
<b>Мингбатманская свита K<sub>1mg</sub></b> -песчаники	I II III IV	15/22 22/40 28/57 42/90	56/56 56/63 59/67	1/5 5/15 5/15 5/20	1100-1210	820-830	300-340
<b>Породы в зонах тектонического дробления</b> Сильно перемятые песчаники, алевролиты, аргиллиты	IV	15/20	45/56	1/5	200-800	100-700	100-300

Инженерно–геологические зоны: I - сильного выветривания и разгрузки; II - выветривания и разгрузки; III - разгрузки; IV - массив вне влияния экзогенных процессов; 27/55 – значения физ.– мех. свойств пород: в числителе – в области ослабленных пород; в знаменателе – в естественном массиве скальных пород .

В IV зоне изменения геомеханических характеристик и величин удельного водопоглощения имеют случайный характер.

Тот же характер изменений можно принять и для I зоны, где неоднородность и анизотропность свойств массива сглажена влиянием процессов выветривания.

### **1.3.2. Особенности тектонических характеристик зоны объекта исследования**

Район строительства Рогунской ГЭС находится в зоне влияния Вахшского разлома – сейсмогенерирующей структуры, по которой Афгано-Таджикская депрессия надвигается на Южный Тянь-Шань. Как свидетельствуют результаты 50-ти летних натурных наблюдений, вертикальная составляющая скорости этого движения составила, в среднем, 1,6 мм/год, горизонтального – 9 мм/год [24]. Согласно современному сейсмическому районированию территории Таджикистана сейсмичность территории ГЭС оценивается в 9 баллов.

Зона Юго-Западного Тянь-Шаня имеет блоковое строение без отчетливо выраженной складчатости. Породы залегают преимущественно моноклинально и имеют углы падения до  $40^{\circ}$  на юг и юго-запад.

Разрывные нарушения имеет северо – западное простирание с крутым падением на северо – восток. Мощность зон дробления изменяется от нескольких метров до 100 м. Амплитуды смещения – несколько километров. Основные смещения по разрывам произошли на позднегерцинском этапе деформации.

Северо – западная часть описываемого района (правый берег реки Сурхоб и Вахш) относится к Тяньшанскому региону, для которого характерно широкое развитие гранитоидов, сланцев, карбонатных пород среднего палеозоя, разбитых разрывными нарушениями на отдельные тектонические блоки. В новейшее время эти блоки перемещались друг относительно друга в вертикальном направлении. Отложения мезозоя здесь

имеют относительно небольшую мощность и ограниченную площадь распространения.

Юго – восточная часть площади – (Афгано – Таджикская депрессия) имеет двухярусное строение. В непосредственной близости к Вахшскому разлому породы фундамента опущены на 3-5 км и погружаются в юго-восточном направлении.

Верхний ярус (чехол) представлен, в основном, породами мезозоя мощностью 2-3 км. Эти отложения смяты в крупные асимметричные складки, оси которых вытянуты субпараллельно Вахшскому разлому и рассечены редкими крутопадающими разломами, параллельными осям складок.

Зона Вахшского разлома представляет собой сложное сочетание многочисленных субпараллельных крутопадающих разрывов. Суммарная мощность раздробленных пород в этой зоне достигает 1,5 км. Амплитуда перемещения по разлому 5 - 6 км.

Вахшский разлом является сейсмогенным, с ним связываются такие разрушительные землетрясения силой 9 баллов и более, как Каратегинское (1907г.), Гармское (1941г.), Файзабадское (1943г.), Хайтское (1949г.).

Наиболее важными определяющими тектоническое строение участка расположения плотины являются, Гулизинданский и Ионахшский взбросы. Оба разрыва отчленяются от Вахшского разлома в районе устья р. Оби – Гарм и прослеживаются субпараллельно в юго – западном направлении, ограничивая тектонический блок в пределах которого, располагается Рогунская плотина. В пределах участка расположения плотины Гулизинданский взброс протягивается вдоль левого берега, Ионахшский пересекает русло р. Вахш на его излучине в 0,5 км выше по течению от оси плотины и далее прослеживается вдоль хребта Сурх – ку на правом берегу реки, постепенно удаляясь от нее.

Оба разлома прослеживаются на расстоянии более 100 км, имеют крутое (70-85°) падение на юго – восток и амплитуду перемещение более 1

км. Характерной особенностью этих взбросов является то, что они проходят по простиранию вмещающих их пород и на большей части своего протяжения приурочены к соленосным отложениям верхней юры.

Из двух разломов 2-го порядка, непосредственно образующих на створном участке единый тектонический блок, Гулизинданский проходит в стороне, за пределами основных сооружений (рисунке 1.8 и 1.9).

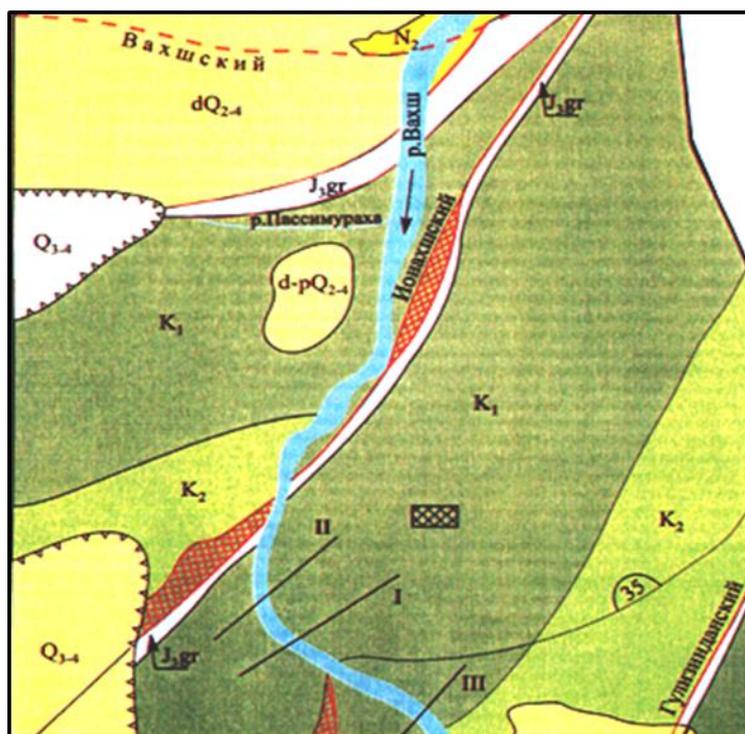


Рисунок 1.8. - Геологическая структура створа Рогунской ГЭС

Наиболее крупными разрывными нарушениями, наблюдающимися непосредственно на участке Рогунской ГЭС, являются Гулизинданский и Ионахшский правые взбросо-сдвиги, оперяющие Вахшский разлом I порядка и простирающиеся параллельно слоям пород в юго-западном направлении.

Гулизинданский разлом [25] протягивается вдоль левого берега р. Вахш из верхнего бьефа в нижний, ответвляясь от Вахшского надвига в 4-5 км севернее гидроузла. Минимальное расстояние от плотины 0,5 км. Азимут падения плоскости сместителя  $110-130^{\circ}$  под углом  $70-88^{\circ}$ . Висячее крыло сложено верхнеюрскими гипсами, алевролитами, аргиллитами; лежащее – отложениями верхнего и нижнего мела.



**Рисунок 1.9.** - Схема современных тектонических движений

Мощности зон дробления Ионахшского и Гулизинданского разломов составляют 8-10 м, иногда до 100 м. Амплитуды смещения более 1,0 км, взброшены юго-восточные крылья. Швы разломов представлены передробленными породами и глиной трения. Выходящие вдоль швов гипсы гаурдакской свиты (мощностью 2,4 – 3,1 м), с параллельными разлому прослоями и линзами алевролитов, частично были выдавлены в приповерхностную зону в результате тектонических движений [26].

Породы моноклинали рассечены более мелкими (III и IV порядка) разрывами, которые в большинстве представляют собой надвиги (аз.пад. 310-350°, углы 20-50°), образовавшиеся одновременно с Ионахшским и Гулизинданским разломами и являющиеся их оперением.

Примером может служить разлом III порядка №35, который протягивается от Гулизинданского до Ионахшского разлома и пересекает русло реки Вахш в 110 м ниже основания плотины. Плоскость сместителя

падает в направлении верхнего бьефа под углом  $45-50^{\circ}$ . Амплитуда смещения около 200 м. Мощность глинки трения по шву разлома не превышает 10-15 см. Зона дробления имеет мощность до 10 м, в основании плотины не превышает 5-7 м [27].

По разломам № 1 и № 35 фиксируются современные тектонические движения, средние скорости вертикальных смещений по которым составляют, соответственно, 1.6 и 0.8 мм/год. Во время повышения в районе числа землетрясений 8 -15 классов скорость смещения по этим разломам возрастает в 2- 3 раза. Относительная деформация сжатия  $\varepsilon$  в зоне дробления Ионахского разлома составляет  $(0,5-7,5)\times 10^{-5}$ , разлома № 35 –  $\varepsilon = 0.3\times 10^{-5}$ . С этой особенностью горного массива связаны высокие скорости смещения грунтов в зонах разломов в сторону выработанного пространства, которые равны соответственно 2,8 и 1,8 мм/год. Вне зон разломов относительная деформация сжатия в массиве  $\varepsilon_0 = 8\times 10^{-6}$  [27, 28].

Современная тектоническая активность района строительства гидроузла обусловила высокий уровень естественных напряжений. Значения этих напряжений измерялось с помощью геофизических методов и методом торцевой разгрузки в скважинах, расположенных в горных выработках на глубине до 350 м. Установлено, что с некоторой глубины (для нижней части склона это глубина 120-150 м), значения напряжений остаются практически постоянными. Вектор максимальных напряжений имеет субгоризонтальное заложение и направлен вкрест слоистости пород и основным разломам участка. Значение его близко к 19 МПа, что более чем в 2 раза превосходит напряжения от веса лежащих выше пород, вертикальная составляющая естественных напряжений в 1.5 раза меньше горизонтальных [29, 30]. Следует отметить, что измеренные на участке параметры поля естественных напряжений близки к таковым, установленным по сейсмологическим данным [28]. Наблюдения за динамикой параметров поля напряжений, которые проводились в течение трёх лет, свидетельствуют, что эти параметры практически не изменяются. Таким образом, можно говорить о

стабилизированном напряжённо-деформированном состоянии массива пород, обусловленном динамическим равновесием между повышением уровня напряжений и его реализацией в виде смещения по разломам.

Разрывы IV порядка распространены повсеместно. В большинстве своем это взбросо-надвиги с амплитудами смещения не более 1,0 м (исключения составляет разлом №70, имеющий амплитуду перемещения 15 м). Мощность глинки трения по этим разрывам не превышает первых см.

Ионахшский взброс и оперяющий его надвиг №35 ограничивают блок скального массива Рогунской ГЭС, где выделяются 4 системы трещин, из которых преимущественное развитие получили трещины, согласные с напластованием. Объемная трещинная пустотность 0,5-0,7%, блочность 30-40 см [31]. Большинство крупных трещин имеют протяженность 100-200 м, мощность зон дробления 10-30 см, падение в сторону верхнего бьефа под углом 20-40°, расстояние между ними 30-50 м, смещения незначительны.

Системы трещин, развитые в массиве, имеют следующие параметры [32]:

- 1 система (трещины напластования) – аз.пад. 130°, угол 70°;
- 2 система (трещины тектонические) – аз.пад. 30°, угол 30°;
- 3 система (трещины тектонические) – аз.пад. 220°, угол 55°;
- 4 система (трещины тектонические) – аз.пад. 340°, угол 40°.

Крутые трещины единичны и имеют ту же ориентацию, что и трещины системы 4. Выполнены эти трещины глиной трения мощностью до 1 см.

Разлом №70, который пересекает выломку машинного зала на ПК0+60 – ПК1+00, имеет амплитуду смещения, как было указано выше, до 15 м, зона дробления пород не более 0,5-1,0 м, мощность глинки трения до 3-5 см. Зона повышенной трещиноватости вдоль разлома -8-10 м. Плоскость сместителя падает на северо – запад (аз.пад. 330°, угол 65°).

Горный массив в районе машинного зала характеризуется сравнительно высокими сжимающими тектоническими напряжениями: средняя величина горизонтального напряжения равна 18 МПа, вертикального

– 14 МПа, напряжение от массы вышележащих пород составляет 10 МПа [33, 34].

Высокая прочность пород, естественные напряжения массива обусловили значения его упруго – прочностных свойств и низкую водопроницаемость (вне зоны экзогенного изменения пород  $K_{\phi}=0,003$  м/сут.).

### 1.3.3. Исследование и оценка состояния солевого пласта основания плотины

В верхнем бьефе, в 400 – 500 м от оси плотины, под ее верховым клином, нижнемеловая толща согласно подстилается отложениями верхней юры, представленной пачкой аргиллитов мощностью около 20 м и пластом каменной соли, непосредственно контактирующей с Ионахшским разломом, пересекающим реку под углом около  $30^{\circ}$  (рисунок 1.10). При этом шов разлома простирается параллельно слоям пород нижнемеловой толщи и отложений верхней юры и падает в ту же сторону, в связи с чем пласт соли колеблется осредненно от 1 до 10-12 м и на каждые 100 м глубины увеличивается на 15 м [17, 35].

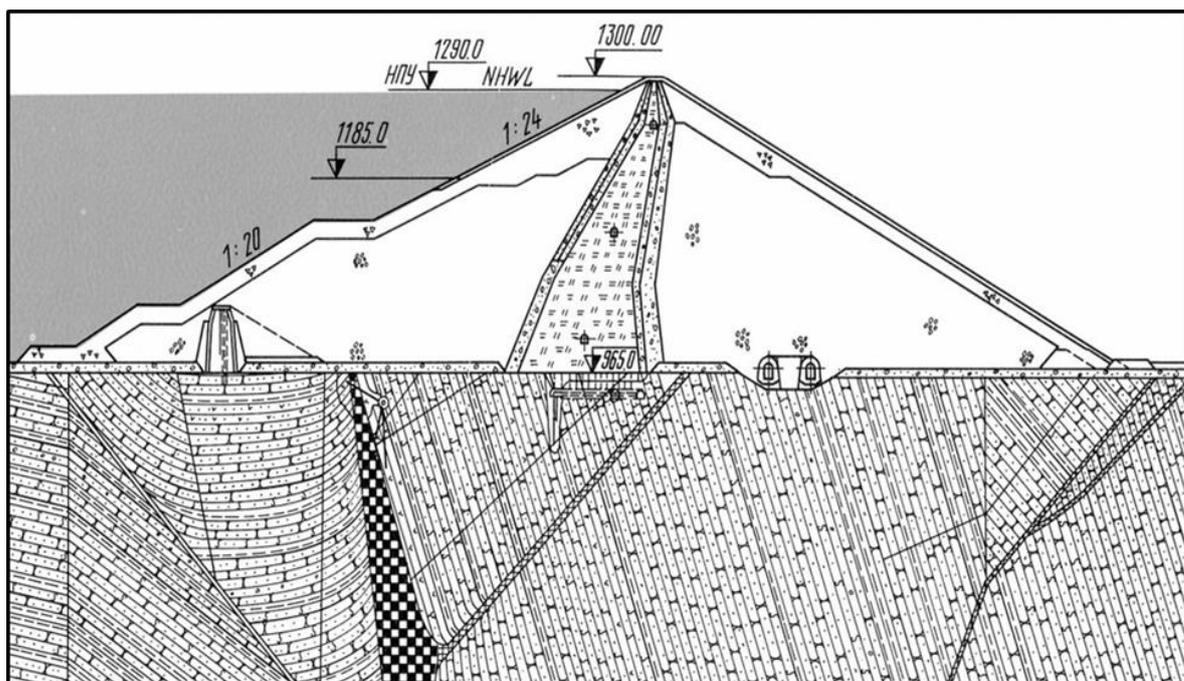


Рисунок 1.10. - Продольный разрез основной плотины и основания

Рогунской ГЭС

Поверхность зеркала солевого пласта прослеживается на 20 - 25 м ниже уреза воды в реке и на уровне грунтовых вод в бортах ущелья. Под ядром крутопадающий пласт каменной соли находится на расстоянии около 900 м.

Пласт соли имеет сложную конфигурацию, обусловленную тектоническими процессами.

Вмещающими породами пласта соли являются:

- в висячем боку пласта – пачка верхнеюрских аргиллитов стратиграфически согласно залегающих на соли;

- в лежащем боку пласта соли залегают песчаники мингбатманской свиты, слагающие здесь тектоническую линзу, ограниченную вышеописанными ветвями разлома.

Юрские аргиллиты вблизи контакта с солью сильно перемяты, слабые, приобретают землистую структуру. В средней и верхней частях пачки они плотные, крепкие. Временное сопротивление сжатию пород, прилегающих к разлому, в воздушно – сухом состоянии изменяются в пределах 43,2 - 450,0 кг/см<sup>2</sup>, в водонасыщенном состоянии максимальное значение 140 кг/см<sup>2</sup>.

Вблизи пласта соли (10 - 15 м) аргиллиты загипсованы. Гипс заполняет микротрещины и мелкие пустоты, как бы цементируя породу. Содержание гипса в породе составляет в среднем 5,5% при максимальном содержании 19%. Породы мингбатманской свиты, заключенные между швами разлома, представлены интенсивно дислоцированными песчаниками с прослоями алевролитов. Среднее расстояние между крупными разрывами в этом блоке с амплитудой смещения от нескольких сантиметров до первых метров составляет 10 - 15 м.

Мелкие трещины образуют 4 - 5 систем, создающие среднюю блочность не более 8 - 15 см. Алевролиты здесь сильно перемяты с блочностью менее 5 см. Трещины в основном заполнены глиной, на поверхности стенок следы скольжения. Объемная трещинная пустотность составляет в среднем 2 - 3%.

Прочность пород в образце по визуальной оценке уступает тем же породам, расположенным вне линзы в 1,3 - 1,5 раза. Мощность линзы на левом берегу составляет несколько метров, на первом резко возрастает до 80 м в районе 1-й правой рассечки штольни 1001<sup>a</sup> и далее на юго – запад вновь уменьшается до 28 метров в 2 - й правой рассечке той же штольни . Уменьшение мощности также наблюдается по восстанию и падению разлома.

Контакт соли с юрскими аргиллитами плотный, часто неровный, с явным проращением или взаимопроникновением этих двух пород; приконтактных трещин нигде не установлено.

В плане контакт прямолинеен, в вертикальном разрезе углы падения контакта не выдержаны. Так в северо – восточном конце участка разведки солевого пласта контакт имеет падение 74 - 77<sup>0</sup>. В верхней части угол падения 70<sup>0</sup>, а ниже отметки 640 м - 55<sup>0</sup>, в юго – западной части вверху падение контакта 85<sup>0</sup>, ниже 98<sup>0</sup> - 72<sup>0</sup>.

Контакт пласта соли с песчаниками мингбатманской свиты тектонический и, по видимому, неоднороден. Иногда соль плотно контактирует с песчаниками, иногда между солью и песчаниками залегает прослой перетертого супесчано – суглинистого материала мощностью до нескольких сантиметров.

Элементы залегания контакта – азимут падения 130 - 140<sup>0</sup>, угол падения 75 - 68<sup>0</sup>. В некоторых местах имеются разные искривления контакта. Так, при сочленении второго шва Ионахшского разлома с описываемым контактом происходит перегиб последнего с уменьшением мощности соли.

Третьей поверхностью, кроме описанных контактов ограничивающей пласт соли, является поверхность размыва соли грунтовыми водами. Повсеместно она располагается ниже уровня грунтовых вод на 25 - 30 м, при удалении от реки отметки верха соли постепенно повышаются. Так, скважина №4, пробуренная вблизи реки, на левом берегу, вскрывает верх соли на отметке 956 м, на правом берегу, в 500 м от р. Вахш на отметке 964 м. , (скв. 2013<sup>r</sup>), на левом берегу – на отметке 972 м. (скв. 1019).

По мере удаления от створа Рогунской ГЭС Ионахский разлом все более отходит от современного уреза Вахша. Так, в 8 км от створа, разлом отстоит от Вахша на 2,5 км, а в 12 и 27 км соответственно 4 и 6,2 км.

В 1,5 км от створа, в пределах составленной схематической карты гидроизогипс отметка поверхности размыва соли не превышает 1080 м.

Надсолевое пространство, где соль выщелочена, заполнено брекчийей. Она представляет собой коричневатую-красную, местами серую, песчано-суглинистую, плотную, загипсованную массу с включением обломков аргиллита и гипса размером от 1 - 2 мм до 3 - 5 см, встречаются обломки гипса и ангидрита до 30 см. Мощность брекчийей на отметках 1010 - 1020 изменяется от 1 - 3 м до 15 - 20 метров, непосредственно над солью заполнено еще не уплотненной массой. На это указывают резкие повышения скорости бурения, а также провалы бурового инструмента.

Так при бурении скважины № 1004<sup>б</sup> по уплотненной брекчийей в интервале 46,8 - 58,4 м средняя скорость бурения составляла 7 - 10 см/мин по разуплотненной брекчийей в интервале 58,4 - 61,8 - 21-50 см/мин, а в интервале 61,8 - 64,8 м произошел провал бурового снаряда.

Пласт соли, ограниченный описанными тремя поверхностями, пересекая реку, протягивается из верхнего в нижний бьеф. Мощность соли, в ее верхней части, на рассматриваемом участке увеличивается к юго-западу, т. е. в направлении нижнего бьефа. Так по скважинам 1019 и 1001 она составляет соответственно 1,0 и 0,5 м, а на правом берегу (скв. 1004, 1004<sup>а,б,в</sup>) достигает 12,0 м.

Увеличение мощности соли по простиранию указывает на небольшое ( 1 - 2° ) расхождение в направлении простирания разлома и пласта соли. С глубиной по падению мощность пласта соли увеличивается в среднем около 15 м на каждые 100 м, что соответствует средней разнице в углах падения разлома и пласта соли, т. е. 8 - 9°.

Соль (галит), слагаемая пласт, представляет собой плотную темно-серую, розовую, охристую породу, с хорошо выраженной кристаллической

структурой, стекляннм блеском в свежих изломах. По химическим анализам средний состав соли, выраженный в форме гипотетических солей [36], представлен в таблице 1.5.

**Таблица 1.5.** - Гипотетические соли в %%

NaCl	MgCl <sub>2</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgCO <sub>3</sub>	CaCl <sub>2</sub>	CaSO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Ca(HCO <sub>3</sub> )	обл. пород	сумма
79,32	0,05	0,08	1,08	0,03	11,1	1,69	0,03	6,76	100,06

Как видно из таблицы, основной солью здесь является NaCl т. е. галит, остальные соли имеют подчиненное значение.

Растворимая в воде часть соли представлена галитом и составляет 75,8 - 92,0% от всей породы, а нерастворимая представлена включениями ангидрита, карбонатов, обломков вмещающих пород и рудных минералов.

Общее содержание различных петрографических разновидностей нерастворимых в воде включений приведены в таблице 1.6.

**Таблица 1.6.** - Содержание и петрографический состав включений в пласте соли

№	Наименование	Количество опред.	Содержание		
			Минимальное	Максимальное	Среднее
	1	2	3	4	5
1.	Ангидрит в т.ч.	25	4,2	31,6	14,4
а)	идiomорфные		4,2	27,5	13,0
б)	окатанные		0,0	4,1	1,4
2.	Карбонаты в виде ромбоэдров	25	1,3	4,4	2,4
3.	Песчано-алевролитовая порода	25	0,8	10,2	4,1
а)	окатанные		0,8	6,1	2,7
б)	угловатые		0,0	4,1	1,4
4.	Белая карбонатно-глинистая порода с ангидритом	25	0,0	1,5	0,4
а)	окатанные		0,0	1,1	0,3
б)	угловатые		0,0	0,4	0,1
5.	Рудные (халькопирит и офалерит)	25	0,0	0,2	0,1

Наличие рудных минералов в соли по видимому указывает на гидротермальные процессы, протекавшие в зоне Ионахшского разлома, что, в свою очередь, может указывать на унаследованность его разлому, существовавшему в палеозойском фундаменте или возникновению разрыва палеозойского фундамента в альпийскую орогению при образовании Ионахшского разлома.

Характеристика физико-механических свойств соли приведена в таблице 1.7.

О состоянии соли в естественных условиях можно судить только по результатам колонкового бурения, вскрыть соль горными выработками до настоящего времени не представилось возможным. Судя по полученному керну, соль имеет плотное монолитное строение, трещины, каверны, следы выщелачивания в ней отсутствуют, что дает основание считать данный пласт соли водонепроницаемым. При извлечении керна по многим скважинам с глубин, превышающих 60 м, он расслаивается на пластинки, перпендикулярные оси керна, независимо от наклона скважины и элементов залегания соли. Этот факт указывает на напряженное состояние соли, при котором существование открытых трещин невозможно.

**Таблица 1.7. - Физико - механические характеристики соли**

№	Показатели	Единица измерения	Значения		
			макс.	мин.	среднее
	1	2	3	4	5
1.	Удельный вес	гр/см <sup>2</sup>	2,24	2,21	2,23
2.	Объемный вес	гр/см <sup>2</sup>	2,33	1,97	2,18
3.	Временное сопротивление сжатию				
	а) в естественном состоянии	кг/см <sup>2</sup>	460,1	155,6	319,7
	б) в соленасыщенном рас-соле	кг/см <sup>2</sup>	298,8	111,5	229,4
4.	Временное сопротивление растяжению	кг/см <sup>2</sup>	23,9	18,0	19,7
5.	Модуль деформации	10 <sup>-3</sup> кг/см <sup>2</sup>	130	97	114
6.	Модуль упругости	10 <sup>-3</sup> кг/см <sup>2</sup>	380	104	260
7.	Коэффициент Пуассона		0,42	0,153	0,26

Быстрому залечиванию трещин в соли, в случае возникновения таковых, несомненно, должно способствовать наличие рассолов, омывающих соль. В лабораторных условиях для компрессионных исследований соли в нарушенном состоянии образцы изготавливались следующим способом. Соль (порода) дробилась на отдельные фракции, с максимальным размером гранулы 2 - 2,5 мм (грануло-метрический состав подготовительного материала: 2,5 - 1мм = 35%, 1 - 0,5мм = 25% и < 0,5 мм = 40%).

Подготовленный таким образом материал увлажнялся добавлением 5 - 6% воды и помещался на 24 часа в эксикатор для равномерного распределения влаги в пробе. После чего материал пропусклся через сито 2,5 мм (для сохранения агрегированного состояния) и загружался в компрессионный прибор, в котором уплотнялся нагрузками до 32 - 37 кг/см<sup>2</sup>. Изготовленный таким способом образец внешне ничем не отличался от природной соли, но плотность его, хотя и незначительно, была ниже природной соли (см. таблицу 1.8).

Этот опыт является одним из доказательств способности соли к быстрому самозалечиванию разрывных деформаций.

**Таблица 1.8.** - Свойства соли в изготовленном образце

№	Состояние образцов	Объемный вес скелета	Коэффициент пористости
1	Нарушенной структуры	2,12	0,057
2	Ненарушенной структуры	2,18	0,027

#### **1.3.4. Обзор, анализ и оценка противofильтрационных завес в зоне объекта исследования**

С освоением новых экономически выгодных створов гидроузлов появилась необходимость строительства крупных гидроэлектростанций на участках, неблагоприятных с инженерно – геологической точки зрения. Сложность инженерно – геологических условий таких участков заключается в наличии в их пределах легкорастворимых пород.

Защита пород от выщелачивания и суффозии при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений можно достигнуть в результате создания высокоплотных противofильтрационных завес. Противofильтрационные завесы являются основным элементом большинства плотин гидроэлектростанций в результате использования, которых решаются следующие основные задачи:

а) уменьшение потерь воды до допустимых пределов на фильтрацию из водохранилищ; б) снижение скорости фильтрационных потоков воды в трещинах и предотвращение развития механической и химической суффозии; в) снижение воздействия фильтрационного потока на основание плотины; г) обеспечение равномерного распределения статического и динамического воздействия фильтрационного потока на основание плотины; д) предотвращение образования путей сосредоточенных фильтраций.

В работах С.Д. Воронкевича [37 - 39], А.Н. Адамовича [40 - 42], Л.И. Малышева [43, 44], Г.В. Зернова [45], В.П. Недриги [46 - 48], И.А. Парабучева [49, 50], Л.А. Молокова [51, 52], Н.Г. Трупака [53], Б.А. Ржаницина [54, 55], В.И. Сергеева [56], В.Е. Соколовича [57], А. Холсби [58, 59], К. Карона [60, 61], А. Камбефора [62, 63], а также других исследователей обобщен большой опыт по созданию противofильтрационных завес и расчёт их параметров связанных с инженерно – геологическими условиями основания плотины.

При наличии легкорастворимых пород в основании плотины (каменная соль, гипсы, ангидриты) требуется создание высокоплотных противofильтрационных завес в виде устройства двухрядных или трехрядных завес в зависимости от проницаемости пород [40].

В практике гидротехнического строительства при создании противofильтрационных завес широко используются методы физико – химической мелиорации, которые могут приводит к изменению инженерно – геологических условий отдельных участков и территорий [64 -66].

В трудах С. Д. Воронкевича [67 - 69] отмечается, что при применении методов технической мелиорации в верхних горизонтах литосферы

образуются искусственные физические тела с определенными геометрическими параметрами.

В работах Л.И. Малышева и др. [43, 44], В.И. Брызгалова и А.Д. Щушарина [70], К.И. Максимова и Н.А. Сташевской [71], Е.С. Баранова и др. [72], В.А. Мироничева и В.Г. Скокова [73], А. Рабадо [74], а также других исследователей представлены данные многолетних наблюдений за эффективностью цементационных завес гидротехнических сооружений построенных на скальных основаниях (гранитах, диоритах, траппах, известняках, песчаниках и др.).

В таблице 1.9 приведены результаты оценки эффективности устроенных цементационных завес на некоторых гидротехнических сооружениях [43]. Анализ данных натурных исследований фильтрации показывает, что эффективность цементационных завес зависит от инженерно-геологических условий (литолого-петрографических особенностей), параметров трещиноватости и напряженно-деформированного состояния пород основания плотины [72].

**Таблица 1.9.** - Обобщённые результаты оценки эффективности цементационных завес в скальных основаниях (по Л.И. Малышеву)

ГЭС	Породы основания	Действующий напор, м	Коэф. фильтрации, м/сут	Падение напора на цемзавесе, %	Градиент напора
Чиркейская	известняки доломиты	223	0,01	10-70	3,0-9,3
Ингурская	тоже	181	0,02	45-60	5,0-6,0
Токтогульская	известняки	152	0,03	10-55	4,0-9,0
Саяно-Шушенская	сланцы	134	менее 0,02	30-60	4,0-6,0
Красноярская	граниты	92	0,005-0,015	72,5	4,5-6,0
Братская	песчаники, траппы	106	менее 0,02	30,5	2,6
Усть-Илимская	песчаники, алевролиты, траппы	89	0,01 и менее	56-68	5,0-6,0
Чарвакская	известняки	157	около 0,03	53,8	8,3
Нурекская	песчаники, алевролиты	270	менее 0,02	10-20	2,0-5,0

Эффективная толщина цементационной завесы зависит от характера распределения напора по пути фильтрации в основании. Эффективная толщина цементационной завесы определяется тем, что насколько происходит сосредоточенное гашение напора. На Ингури ГЭС такая эффективная толщина в русловом сечении составляет 15-17 м, где наблюдается сосредоточенный перепад напора. На других гидроузлах (Токтогульской, Чиркейской, Саяно – Шушенской ГЭС и др.) эффективная толщина завес превышает 10 – 12 м [73 - 75].

Эффективность устройства цементационной завесы существенно зависит от степени водопроницаемости пород. В слабопроницаемых породах цементация, неэффективна. На ряде объектов при низкой средней исходной водопроницаемости скальных пород Чиркейской и Саяно – Шушенской ГЭС после процесса цементации пород в завесе были получены удельные водопоглощения 0,01 л/мин. Такой высокий эффект цементации завесы связан с отдельными мелкими, средними и крупными (по Л.И. Нейштадт [76]) трещинами, которые хорошо цементируются [43].

В последние годы начали строить крупные гидротехнические сооружения на скальных грунтах типа аргиллиты, алевролиты, песчаники, гравелиты, известняки, доломиты и др. Эти породы относятся к группам осадочных сцементированных и осадочных химических и биохимических пород по классификации Е.М. Сергеева [77].

При цементации таких типов пород появляются значительные сложности, обусловленные их инженерно-геологическими условиями [39]:

- многие литологические разности этих пород имеют низкую проницаемость, коэффициенты фильтрации в массивах изменяются от 1-3 м/сут. до  $n \times 10^{-2}$  м/сут.,

- механическая прочность их относительно низкая, что не позволяет при инъекционных работах использование высоких давлений нагнетания растворов. Опыт института «Гидроспецпроект» показал, что в таких случаях происходят гидравлические разрывы пород и качество инъекции резко падает,

- многие литологические разности обладают микротрещинами. Это вызывает поглощение воды из инъекционного раствора проницаемыми стенками трещин. В результате этого происходят изменения физического свойства раствора, такие как вязкость, время гелеобразования («схватывания») и другие.

Размер наиболее крупных частиц для цемента обычного заводского помола соответствует 0,9 – 0,15 мм, где распространение цементной суспензии может беспрепятственно происходить только по трещинам, имеющим раскрытие более 0,1 мм [54]. В трещинах, имеющих меньшее раскрытие, при цементации образуются своды из крупных частиц цемента, которые препятствуют его дальнейшему поступлению в трещину и остаются некоторые объемы открытых пустот. Эти пустоты определяют остаточную водопроницаемость пород после цементации, где в ряде случаев может оказаться весьма значительный, и при этом необходимый эффект цементации не достигается [63].

Таким образом, при возведении плотины на осадочных сцементированных породах применение цементных суспензионных растворов не обеспечивает требуемой высокоплотной противofильтрационной завесы. С целью достижения высокоплотной завесы в последние годы наряду с цементными растворами используют маловязкие химические гелеобразующие растворы, обладающие высокой и глубоко проникающей способностью. В практике гидротехнического строительства в настоящий момент накопленный опыт применения химических растворов свидетельствует о значительном снижении проницаемости уплотненных массивов пород [78 - 81].

На основании натуральных данных и анализа результатов опытных инъекционных работ на Перепадной ГЭС–1 и Камской ГЭС щавелевоалюмосиликатные химические гелеобразующие растворы были рекомендованы к использованию при сооружении или доуплотнении противofильтрационных завес как на выше приведённых сооружениях, так и

при возведении гидротехнических сооружений на слабопроницаемых грунтах в других районах [38].

При возведении плотин на осадочных цементированных грунтах, содержащих легкорастворимые породы, в результате суффозии и выщелачивания интенсивность фильтрационных потоков постоянно повышается, что может привести к нарушению работы гидротехнического сооружения и риску появления аварийной ситуации [82 - 85].

Изучению вопроса о выщелачивании цементного камня, фильтрационными водами, посвящены ряд исследований [42, 86 - 88]. В работах отмечается, что выщелачивание цементного камня в основании плотины является условие длительного воздействия фильтрующейся воды.

Бетонная гравитационная плотина Красноярский ГЭС высотой 124 м возведена в 1961-1969 гг. Наблюдения за фильтрационными расходами были организованы в 1971г., а в 1975 г. количество систематически контролируемых точек составило 194. Предполагалось, что под действием фильтрационного потока может происходить постепенное выщелачивание цемента противofильтрационной завесы. Для оценки степени выщелачивания цемента из цементационной завесы определяли химический состав фильтрующейся воды 3-4 раза в год (по 50-60 проб). Анализ полученных данных показывает, что в реальных условиях эксплуатации из глубокой (до 60 м) противofильтрационной завесы толщиной 10-15 м за один год (1975) вынесено 6240 кг извести (в форме CaO) [89]. Постепенное выщелачивание цементного камня из тела завесы может привести к изменению фильтрационных параметров завесы. Соответственно эта приведёт к снижению перепадов напора на завесе из-за увеличения коэффициента фильтрации.

В настоящее время накоплен большой опыт по созданию противofильтрационных завес и экранов в дисперсных грунтах с использованием химических тампонажных растворов и имеется большое количество данных по коэффициентам фильтрации различных типов

дисперсных грунтов, закрепленных химическими вяжущими растворами [54, 55, 90, 91].

Период эффективного существования противofильтрационной завесы в основании Рогунской ГЭС определяется не только изменением коэффициента фильтрации в результате физико – химического взаимодействия инъекционного раствора и инжецируемого грунта, но и растворением каменной соли. Осуществление мероприятий по созданию защитного экрана позволит значительно снизить скорость потока подземных вод.

### **1.3.5. Формирования состава подземных вод в зоне объекта исследований**

Для удовлетворения потребностей в воде высокого качества, пригодной для питья, для лечения и солеварения и др. перед исследователями вставали вопросы, связанные с определением химического состава подземных вод. Изучалось содержание в подземных водах отдельных элементов, газов и органических веществ и общий минеральный состав.

Дальнейшие гидрогеохимические исследования были связаны с развитием нефтяной промышленности. В области теоретических проблем гидрогеохимии, основоположником которой является В. П. Вернадский, был создан фундаментальный труд об истории формирования природных вод, систематизация подземных вод по химическим свойствам и составам, особенности их развития и основные гидрогеохимические закономерности. Научные исследования В. П. Вернадского [92 - 94] посвященные развитию и формированию проблем гидрогеохимии в прикладных целях, создали основу для её представления в качестве самостоятельного раздела гидрогеологии.

В настоящее время гидрогеохимические исследования получили наиболее широкое распространение в следующих областях использования подземных вод:

- 1) при изысканиях для питьевого и технического водоснабжения;

- 2) при использовании подземных вод в качестве минерального сырья, а также в лечебных целях;
- 3) при поисках рудных и нерудных полезных ископаемых;
- 4) при подземном выщелачивании из пород ценных элементов;
- 5) при подземном захоронении биологически вредных стоков промышленных предприятий;
- 6) при изысканиях для подземных хранилищ газа;
- 7) при мелиоративных работах;
- 8) при закачке вод в пласты для поддержания давления в процессе эксплуатации месторождений нефти и газа;
- 9) при разработке рудных полезных ископаемых.

В последнее время исходя из важности теоретических гидрогеохимических вопросов для многих отраслей народного хозяйства, некоторые исследователи считают гидрогеохимию самостоятельной наукой, изучающей химический состав подземных вод, его изменения в пространстве и времени, происходящие под воздействием естественных и искусственных факторов.

Многочисленность и разнообразие вопросов вызваны сложностью и многогранностью проблем гидрогеохимических закономерностей и формирования химического состава подземных вод, а также необходимостью их решения с позиций комплексного рассмотрения максимального числа задач. Это - задачи по формированию химического состава подземных вод, их классификации по химическому составу и установлению видов гидрогеохимических разрезов земной коры, а также характера зональности подземных вод и др. Некоторым из упомянутых задач до настоящего времени уделялось мало внимания, в связи с чем они находятся на стадии становления. В частности, это задачи по разработке факторов формирования составов вод, принципов гидрогеохимического районирования и классификации подземных вод по условиям формирования химического состава.

Многообразие химического состава самых разных типов природных вод побудило исследователей систематизировать и классифицировать их. Было предложено большое число классификаций природных вод по их химическому составу. Результаты гидрогеохимических исследований изложены в монографиях и статьях О. А. Алекина [95], М. Е. Альтовского [96], С. А. Брусиловского [97], А. Н. Бунеева [98], М. Г. Валяшко [99 - 101], А. П. Виноградова [102], Е. А. Барса и М. И. Зайдельсона [103], И. К. Зайцева [104 - 107], В. П. Зверева [108], Н. К. Игнатовича [109], В. В. Красинцевой [110], С. Р. Крайнова [111], А. М. Овчинникова [112 - 115], К. Е. Питьевой [116], Е. В. Посохова [117, 118], В. С. Самарина [119, 120], С. И. Смирнова [121], В. М. Швеца [122], Г. А. Максимовича [123, 124] и др.

Вопросы химии природных вод содержатся в учебниках и учебных пособиях: чл.-корр. АН СССР О. А. Алекина «Общая гидрохимия» [125] и «Основы гидрохимии» [126], а также Г. А. Максимовича «Химическая география вод суши» [127].

Свойства и условия формирования химического состава подземных вод рассмотрены в следующих книгах: А. М. Овчинникова «Гидрогеохимия» [112]; К. Е. Питьева «Основы региональной геохимии подземных вод» [116]; Е. В. Посохова «Формирование химического состава подземных вод» [117], «Общая гидрогеохимия» [118].

Сведения о химическом составе подземных вод отдельных областей Советского Союза приведены в учебниках по региональной гидрогеологии: Г. Н. Каменский «Вопросы формирования подземных вод» [128]; Г. Н. Каменский, М. М. Толстихина, Н. И. Толстихин «Гидрогеология СССР» [129]; А. М. Овчинников «Общая гидрогеология» [130]; К. Е. Питьева «Подземные воды палеозоя Северного Прикаспия» [131].

Химический состав подземных вод на участках развития соли в основании плотины Рогунской ГЭС, начиная с отметок ее свода (оголовка), более однообразен. Здесь, как правило, подземные воды хлоридно - натриевые. Величина сухого остатка, при котором воды приобретают этот

тип минерализации, различен. На участке известны хлоридно-натриевые воды с минерализацией 5,0 - 8,0 г/л. Однако устойчивые воды этого типа образуются при минерализации около 60 г/л [2-А, 47-А].

При изменении общей минерализации от 3 до 60 г/л наблюдается постепенная смена типов вод в такой последовательности [2-А, 47-А]:

сульфатные кальциевые	не более 4 г/л
сульфатные натриевые	от 2,5 до 12 г/л
сульфатно-хлоридные натриевые	от 2,5 до 17 г/л
хлоридно - сульфатные натриевые	от 7,5 до 60 г/л
хлоридные натриевые	более 60 г/л

Границы минерализации перехода от одного типа вод к другой установлены весьма условно и зависят от целого ряда факторов.

После всего оказанного, общая картина гидрогеологической обстановки может быть представлена следующим образом.

На участке развития соли по Ионахшскому разлому отмечается вертикальная зональность минерализации подземных вод. Подземные воды до глубины 40-50 м обладают низкой минерализацией 2 до 10 г/л, относясь по типу к сульфатным кальциевым, сульфатным натриевым и сульфатно - хлоридным натриевым. Наиболее низкой величиной минерализации (2-3 г/л) обладает первый тип вод и соответственно более высокой (3 - 30 г/л) - второй, третий и четвертый. Образованию этих вод несомненно способствует и инфильтрация из реки, в зоне циркуляции возвратных вод.

Подземные воды с минерализацией свыше 30 г/л относятся, как правило, к хлоридно - натриевым. Переход к этому типу вод происходит на абсолютных отметках около 950 м, т.е. на отметках верха соли.

Изменения химического состава подземных вод в пространстве и времени, может происходить под воздействием естественных и искусственных факторов. Один из таких искусственных факторов может быть возведение высоконапорных плотин, который приведёт к изменению

гидрогеохимического, геотермического и фильтрационного режима в основании плотины.

Ниже излагаются методика и технология исследования изменения состава подземных вод классическими методами и приборами резистивиметрией, термометрией и отбором проб из скважины.

В главе 2, диссертации, также рассмотрены и обоснованы возможности применения современных технологий изучения изменения состава подземных вод (гидрогеохимический режим), геотермической обстановки и фильтрационного режима.

## **Глава 2. МЕТОДЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

В первой главе диссертации были освещены особенности геологического строения района строительства Рогунской ГЭС. Ниже с учетом особенностей, исследуемого объекта рассмотрены современные технологии и технические средства мониторинга условий [80-А] и режима работы растворимых оснований высоконапорных (грунтовых) плотин.

### **2.1. Принципы организации инженерного мониторинга. Натурные (полевые) измерения и наблюдения.**

Для гидротехнических сооружений (ГТС), аварии которых могут привести к возникновению чрезвычайной ситуаций (ЧС), устанавливают критерии безопасности. Критерии безопасности разрабатывают и устанавливают на стадии проектирования [32-А – 34-А].

Применяемые при проектировании критерии безопасности ГТС уточняют на стадиях строительства, при вводе объекта в эксплуатацию, при эксплуатации, реконструкции, консервации, в связи с изменениями условий эксплуатации, а также при изменении требований законодательства, норм и правил технического регулирования в области безопасности ГТС [32-А – 34-А].

К критериям безопасности ГТС устанавливают по основным показателям безопасности сооружений отнесены следующие показатели: прочность, устойчивость, фильтрационная (суффозионная) прочность, фильтрационный расход, фильтрационный режим в основании плотины [32-А – 34-А].

При составлении прогноза фильтрационного режима в основании сооружений особое внимание уделяют исследованию взаимодействия фильтрационных вод из водохранилища с подземными минерализованными водами и с соленосными породами основания [5-А, 48-А].

При повышении уровня воды в водохранилище происходит увеличение фильтрационных потоков в основании плотины. Пресная вода в зависимости от действующего напора (гидростатического давления) проникая по имеющимся трещинам, достигая высокоминерализованных вод, защищающие пласт соли, изменяет концентрацию подземных минерализованных вод по глубине. Далее под действием фильтрационных потоков отжатая часть минерализованных вод переносится дальше от солевого пласта, ведущая к изменению гидрогеохимического режима в основании плотины.

Следует отметить, что в системе мониторинга решаются задачи как узкой детализации, так и задачи, требующие принятия «глобальных» решений, меняющих целые звенья в системе защиты основания. В связи с этим, система мониторинга должна быть всесторонней, унифицированной и гибкой, удовлетворяющей потребности всех уровней системы управления [4-А].

К основным задачам, решаемые в процессе мониторинга, отнесены [63-А]:

- контроль за гидрогеохимическим режимом в основании плотины;
- контроль геотермического и фильтрационного режима в основании плотины;
- организация наблюдений за работой системы защиты основания;
- обнаружение причины отключений от заданного режима;
- оценка наблюдаемых отклонений в основании во время строительства, эксплуатации и управлении техногенными процессами;
- прогноз развития возникающих ситуаций и выбор оптимального варианта, исключающего отрицательные последствия нарушений заданного режима.

Осуществление мониторинга требует наличия детальной информации об особенностях гидрогеохимического режима в основании плотины во время строительства, в нормальном эксплуатационном режиме и выработке критериальных значений этих параметров.

Если результаты работы наблюдательной сети свидетельствуют о возникновении новой ситуации, решение по которой отсутствует, то это влечет за собой необходимость специальных обследований и внесения дополнительных данных в систему мониторинга.

Система мониторинга основания плотины является автономной составной частью общего мониторинга, принципиальная схема которого представлена на рисунке 2.1.

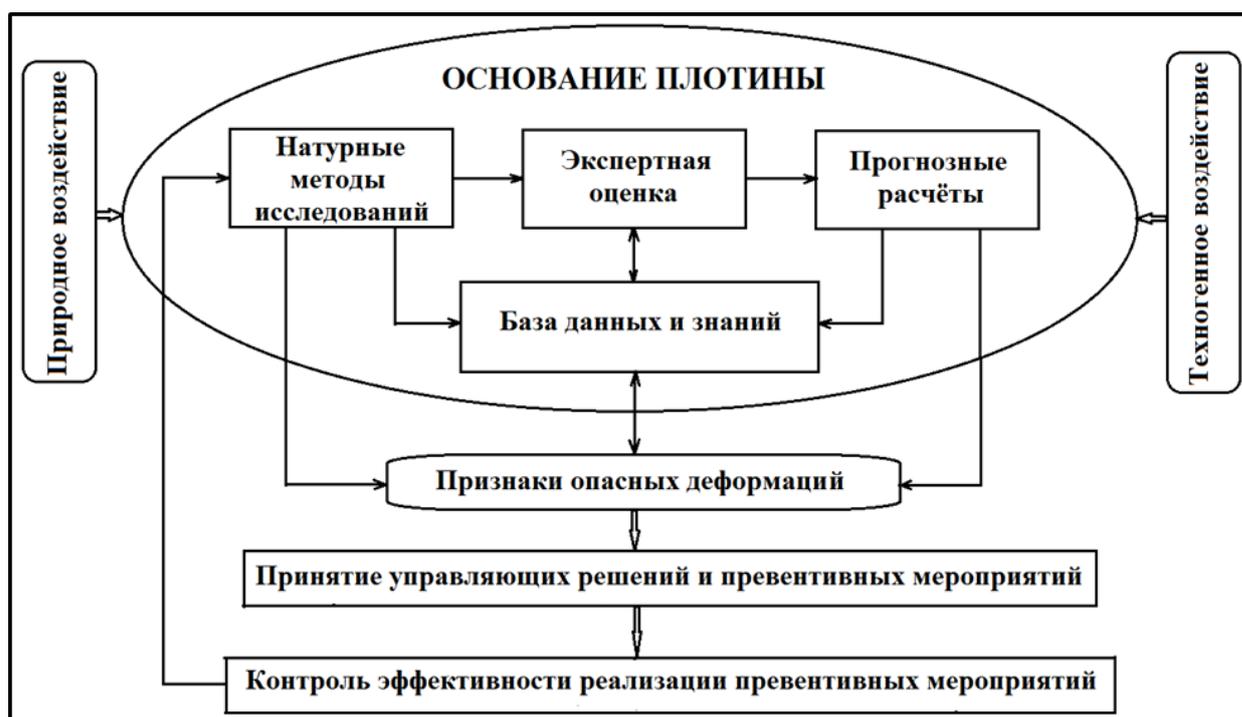


Рисунок. 2.1. - Общая схема системы мониторинга основания плотины

Для эффективной работы всей системы мониторинга большое значение имеет создание функциональной модели мониторинга и планирование всей технологической цепочки от получения информации до принятия решения. Недостаточная проработка какого-либо звена этой цепочки неизбежно приведет к резкому снижению ценности всей получаемой от мониторинга информации. Проектирование системы мониторинга защиты пласта соли включает пять этапов [63-А].:

**1. Определение задач системы мониторинга и требований к информации,** необходимой для их выполнения. на этом этапе

проектирования должны быть выбраны основные статистические методы обработки данных, т.к. от них зависит в значительной степени частота и сроки наблюдений, а также требования к точности получаемых значений.

**2. Создание организационной структуры сети наблюдений и разработка принципов их проведения.** Это основной и наиболее сложный этап, в процессе которого, с учетом поставленных задач определяется основная структура наблюдательной сети.

На этом же этапе решается вопрос о целесообразности и масштабах использования автоматизированных, дистанционных и других подсистем мониторинга системы защиты основания. На втором этапе разрабатываются, также, методические рекомендации и руководства по: выбору мест расположения пунктов контроля, их категория в зависимости от важности объекта и его состояния; определение расположения наблюдательных створов и т. д.; составление программ наблюдений (какие показатели, в какие сроки и с какой частотой наблюдать). Выдаются рекомендации по соотношению физических и химических показателей для типичных ситуаций и организация системы контроля. При этом, предполагается, что имеются стандартные руководства по отбору, консервации проб и их химическому анализу, а при необходимости они дорабатываются или составляются вновь.

**3. Построение сети мониторинга.** На этом этапе уточняется соотношение видов наблюдательных сетей; устанавливаются места расположения пунктов сбора информации. При наличии автоматизированных и дистанционных систем уточняется программа их работ.

**4. Разработка системы получения данных и представления их потребителям.** На этом этапе определяются особенности иерархической структуры получения и сбора информации; планируется разработка банка данных, определяются виды и условия информационных услуг, выполняемых с их помощью; дается детальная характеристика основных

информационных форм (отчет, обзор, справка, команда); предусматривается, также система контроля точности и правильности данных на всех этапах работ.

**5. Создание системы проверки полученной информации на соответствие исходным требованиям и пересмотр, при необходимости, системы мониторинга.**

Анализ функционирования существующих систем мониторингов показывает, что в ряде случаев, когда система мониторинга строилась без специальных исследований, позволяющих уточнить и откорректировать критериальные значения измеряемых параметров, эффективность мониторинга существенно понижается.

Вместе с тем, следует иметь в виду, что какие бы мероприятия не разрабатывались по мониторингу, всегда следует учитывать возможность возникновения непрогнозируемых ситуаций и предусматривать предупредительные меры, лежащие за пределами системы мониторинга.

Рекомендуемая архитектура мониторинга должна быть в дальнейшем оптимизирована в отношении количества первичной информации, поступающей из контролируемой среды, и приведена в соответствие с разрешающей способностью измерительной аппаратуры.

Кроме того по мере освоения системы мониторинга накопление и обработка информации должны быть автоматизированы или переведены на телеметрический способ осуществления сбора, обработки и анализа информации. Пример такого построения системы мониторинга приведён на рисунке 2.2.

Информация с автоматических измерительных устройств, установленных на пункте измерения, по телеметрическим каналам поступает в центр мониторинга, который осуществляет накопление, классификацию, оценку информации и обеспечивает подачу предупредительных сигналов на

пульт управления системой обеспечения гидрогеохимического режима. Такая организация мониторинга даёт возможность осуществлять всесторонний контроль накопленных данных и проводить перспективное планирование мероприятий, направленных на сохранение заданного режима эксплуатации системы.

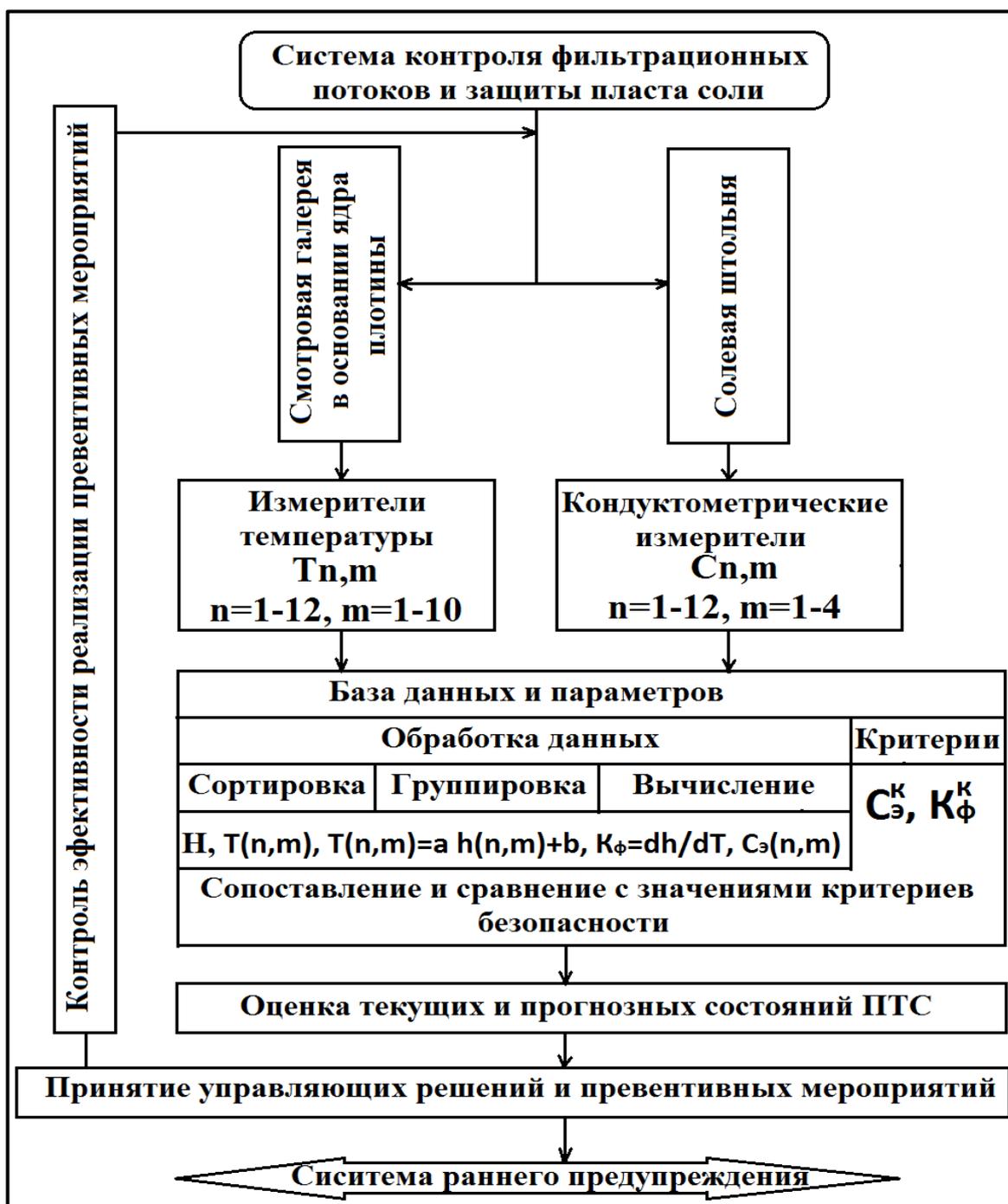


Рисунок 2.2. - Принципиальная схема архитектуры системы мониторинга геотермического и гидрогеохимического режима

Основной задачей натуральных наблюдений является установление момента начала выноса продуктов растворения из защищаемого пласта; установление границ области, затронутой процессом растворения.

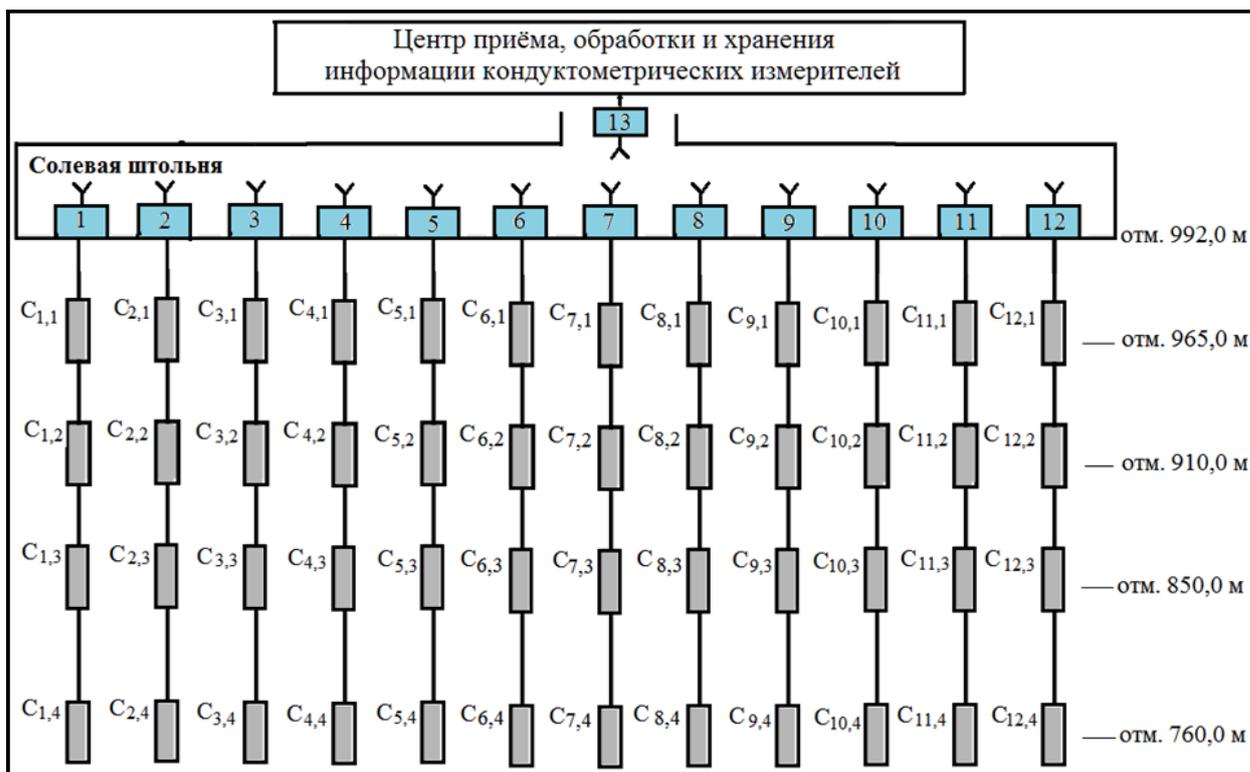
Количественные показатели, характеризующие начало процесса химической суффозии в данной точке, представляют собой критериальные значения наблюдаемого параметра.

Контрольно - измерительные приборы размещаются в наиболее характерных точках защищаемого комплекса. На количество наблюдательных точек, необходимых для получения наиболее полной и достоверной картины изменения фильтрационных и гидрохимических параметров вблизи пласта соли, оказывают существенное влияние такие свойства пород, как расстояние между трещинами в породе и их раскрытие.

Проведенные обследования основания будущей плотины Рогунской ГЭС, позволили оценить изменения гидрогеохимической обстановки во времени и взаимодействии фильтрационного потока с подземными водами, соленосными породами [60-А, 62-А, 67-А, 72-А] и предложена автоматизированная система мониторинга защиты основания плотины.

Учитывая инженерно-геологические особенности (гидрогеохимические условия вокруг солевого пласта, физико-механические и фильтрационные характеристики вмещающих пород, отжатие, перенос солевой составляющей и переотложение минерализованных вод фильтрационными потоками пресных вод) в створе Рогунской ГЭС, предлагается схема размещения кондуктометрических измерений за пластом соли из солевой штольни (рисунок 2.3).

В качестве измерителей степени минерализации предлагается использовать кондуктометрические измерители, устанавливаемые в 12 створах и 4 -х уровнях по глубине из солевой штольни, для измерения уровня минерализации, определяющей изменения установившейся границы слабо и сильно минерализованных вод в зависимости от действующего напора на верхнем бьефе [14-А, 15-А, 55-А, 56-А, 58-А, 59-А].



**Рисунок 2.3.** - Схема расположения кондуктометрических измерителей за пластом соли из солевой штольней

Проектом Рогунской ГЭС, на всю длину защищаемого пласта соли (1100 м), для всех видов наблюдения предусмотрено 12 наблюдательных створов. Исходя из этого в предложенной схеме предусмотрено 12 створов кондуктометрических измерителей, совмещённых с наблюдательными створами, утверждённым проектом.

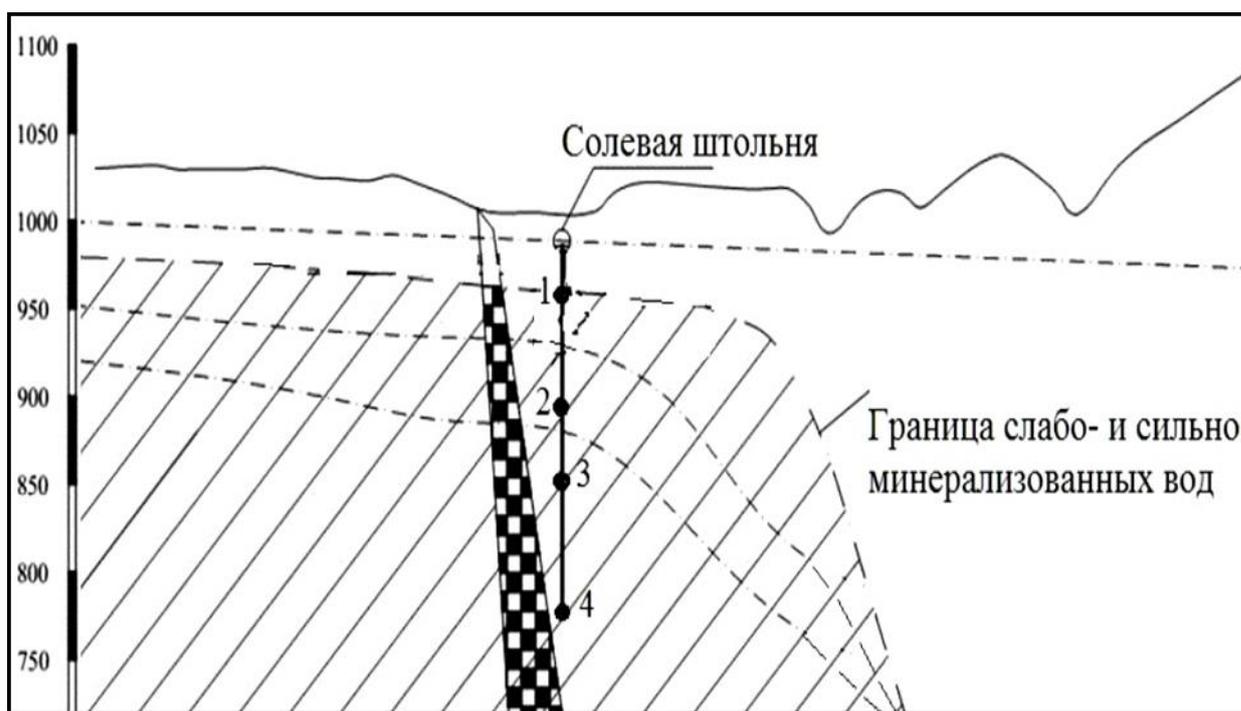
По каждому створу по глубине, в схеме предусматривается на четырёх уровнях размещения кондуктометрических измерителей:

1 - й уровень на отметке 965,0 м, где на этом уровне находится оголовок солевого пласта;

2 - й, 3 - й и 4 - й уровни на отметке 910,0, 850,0 м и 760,0 м, для определения скорости, глубины отжатия минерализованных вод и изменения границы уровня слабо и сильноминерализованных вод в зависимости от действующего напора на верхнем бьефе (рисунок 2.4).

Информация с автоматических измерительных устройств ( $C_{ij}$ , где  $i = 1 - 12$ ,  $j = 1 - 4$ ), установленных на пункте измерения, по телеметрическим

каналам (блок 1 - 12) поступает в центр мониторинга (через блок 13), который осуществляет накопление, классификацию, оценку информации и обеспечивает подачу предупредительных сигналов на пульт управления системой защиты соли. Такая организация мониторинга даёт возможность осуществлять всесторонний контроль накопленных данных и проводить перспективное планирование мероприятий, направленных на сохранение заданного режима эксплуатации системы.



**Рисунок 2.4.** - Изменение границы уровня слабо и сильно минерализованных вод

Предлагаемая концепция системы мониторинга, позволяет повысить защиту основания плотины, как гаранта безаварийной её работы в целом. Мониторинг основания плотины на растворимых породах обеспечивает организовать регулярные наблюдения, позволяющие выявить отклонения в эксплуатационном режиме основания и принять меры, предотвращающие отрицательные последствия произошедших изменений. Важной задачей предложенной системы мониторинга является то что, накопление и обработка информации должны быть автоматизированы и переведены на телеметрический способ осуществления сбора, обработки и анализа информации.

## **2.2. Особенности и область применения метода резистивиметрии и термометрия скважин**

Метод резистивиметрии применяется для измерения удельного электрического сопротивления растворов электролитов, проб воды в лабораторных условиях и грунтовых вод, промывочной жидкости в скважинах. Измерение производится резистивиметрами, которые могут быть скважинными и лабораторными, последние предназначены для измерения сопротивления жидких проб в лабораторных условиях [132].

Электрические резистивиметры представляют собой систему электродов, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга, помещенных в специальном корпусе из изолятора с целью уменьшения влияния горных пород и обсадки на величину измеряемого сопротивления грунтовых вод и бурового раствора  $\rho_0$ , заполняющего скважину.

Коэффициенты резистивиметров определяют с помощью растворов известного удельного электрического сопротивления. Для получения коэффициента поверхностного резистивиметра тщательно готовят раствор электролита известной концентрации. Для этого необходимо использовать дистиллированную воду и химически чистую соль, например NaCl и KCl. Перед взвешиванием соль следует обезводить путем прокалывания. Удельное сопротивление электролита с учетом температуры находят из таблиц [132].

Коэффициент скважинного резистивиметра обычно определяют в растворе, удельное сопротивление которого устанавливают с помощью проэталонированного поверхностного резистивиметра [132].

Резистивиметрия также используется для установления мест притоков и скорости фильтрации подземных вод, интервалов поглощения промывочной жидкости в скважине, определения мест нарушения обсадных колон [132 - 134].

Целью специальных геофизических исследований в зоне защиты пласта соли является оперативный контроль гидрогеологического, гидрохимического и геотермического режимов.

Задачи геофизических исследований:

- **уточнить модели водопроницаемости массива пород на участке солевой завесы** (изучение фильтрационной неоднородности и анизотропности, определение типа движения подземных вод, изучение динамики фильтрационного потока),

- **изучить влияние техногенных воздействий на изменение водопроницаемости горного массива** (режимные наблюдения за динамикой фильтрационного потока, за общей минерализацией подземных вод и их температурой, изучение суффозионных явлений).

Для изучения изменения минерализации в зоне оголовка солевого пласта были выбраны термометрия и резистивиметрия. Как показывает опыт предшествующих работ на этом объекте, эти методы являются наиболее эффективными и технологичными. Основным методом в этом комплексе является геотермический метод с применением термисторов. Он обладает высокой информативностью и возможностью изучения всего разреза скважин, включая обсаженные зацементированные и безводные интервалы пьезометрических скважин. Геотермический метод в фильтрационных исследованиях основан на выявлении аномалий геотермического поля, обусловленных конвективным теплопереносом. Форма аномалий геотермического поля, амплитуда и знак определяются геотермическими параметрами фильтрационного потока подземных вод, характером их взаимодействия с поверхностными водами, направлением и скоростью фильтрации.

Резистивиметрия основана на выявлении гидрохимических аномалий, обусловленных сосредоточенными потоками фильтрующихся русловых вод, направленных в обходные строительные туннели.

Геофизические исследования в скважинах пьезометрической сети выполнялись с помощью переносной аппаратуры, включающей скважинный термометр КТ - 1 и специальный трехэлектродный резистивиметр РСМ - 56. Отличительной особенностью данного резистивиметра является его широкий

диапазон измеряемых удельных электрических сопротивлений электролитов от ультрапресных до рассолов.

Особенность методики проведения полевых работ заключалась в строгом соблюдении очередности выполнения выбранных методов. В первую очередь, с целью минимального искажения температурного поля, при спуске прибора в скважину, выполнялась термометрия с точечной регистрацией и с шагом 2 м. В интервалах резких изменений температур предусматривалась детализация с шагом 0,5 - 1 м. Измерения температуры производились по всему стволу пьезометрической скважины, включая сухую и обводненную его части. Затем выполнялась резистивиметрия по той же схеме, но только в обводненном интервале пьезометров.

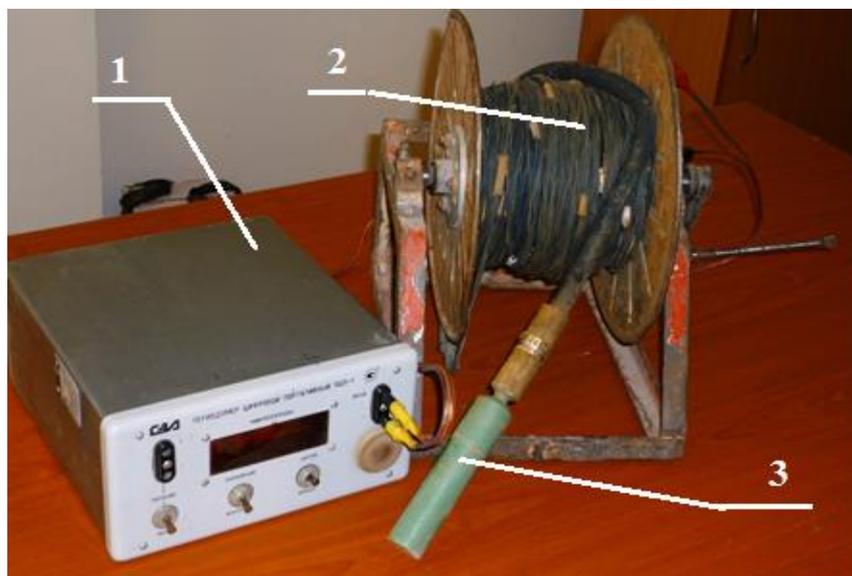
### **2.3. Геотермические исследования пьезометрических скважин**

В 2008 году начались работы по достройке Рогунской ГЭС и было решено в конце 2011 года возобновить геотермические исследования в основании плотины. Было произведено два цикла геотермических исследований в ноябре и декабре месяцах.

Термометрические исследования в скважинах пьезометрической сети выполнялись с помощью переносной аппаратуры (рисунок 2.5), включающая в себя скважинные преобразователи температуры измерительные струнные типа ПТС-60, предназначенные для измерения температуры в элементах гидротехнических сооружений и измерительного прибора для снятия показаний преобразователя типа ПЦП-1(специализированный портативный цифровой периодомер) [135, 136].

Принцип работы струнного преобразователя основан на зависимости собственной частоты свободных затухающих колебаний струнного резонатора от его степени натяжения. Роль струнного резонатора выполняет натянутая стальная струна вдоль продольной оси струнного преобразователя,

который совершает свободные затухающие синусоидальные колебания. Струнный резонатор приводится в колебательное движение посредством возбудителя синусоидального колебания, функцию которого выполняет электромагнитная катушка.



**Рисунок 2.5.** - Скважинная термокаротажная установка. 1 – ПЦП-1, 2 – катушка для кабеля, 3 – ПТС-60

Возбудитель синусоидального колебания преобразует энергию электрического импульса, поступающего от измерительного устройства ПЦП в энергию колебаний струнного резонатора.

Электромагнитная катушка струнного преобразователя используется как для подачи возбуждающего импульса запроса, так и для приема затухающих свободных синусоидальных колебаний, генерируемых струнным резонатором.

Частота колебания струнного резонатора, является информативным параметром выходного сигнала струнного преобразователя.

Преобразователь содержит трубчатый чувствительный элемент и встроенный в него соосно струнный резонатор, причем чувствительный элемент и струнный резонатор выполнены из материалов с разными

коэффициентами линейного расширения. При колебании температуры в струне возникает усилие, которое приводит к изменением периода собственных колебаний струнного резонатора, которые измеряются вторичным прибором - ПЦП. Зависимость между измеряемой температурой и частотой колебания (выходным сигналом), для каждого струнного преобразователя является индивидуальной и определяется градуировочным уравнением (характеристикой) следующего вида:

$$Y=A/X^2+B/X+C \quad (2.1)$$

где Y-значение измеряемой температуры, К (<sup>0</sup> С);

X-значение информативного параметра выходного сигнала струнного преобразователя, мс;

A, B, C-постоянные коэффициенты, определяемые по результатам градуировки преобразователя.

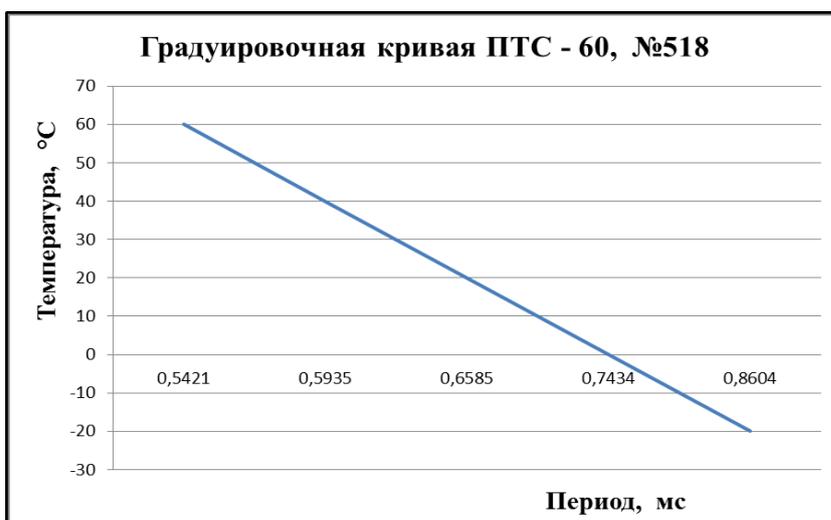
Термокаротажные исследования были проведены струнными преобразователями температуры типа ПТС-60 с заводскими номерами 518 и 457 (таблицах 2.1 - 2.2). Градуировочные графики приборов приведены на рисунках 2.6-2.7.

**Таблица 2.1.** - Технические характеристики преобразователей температуры

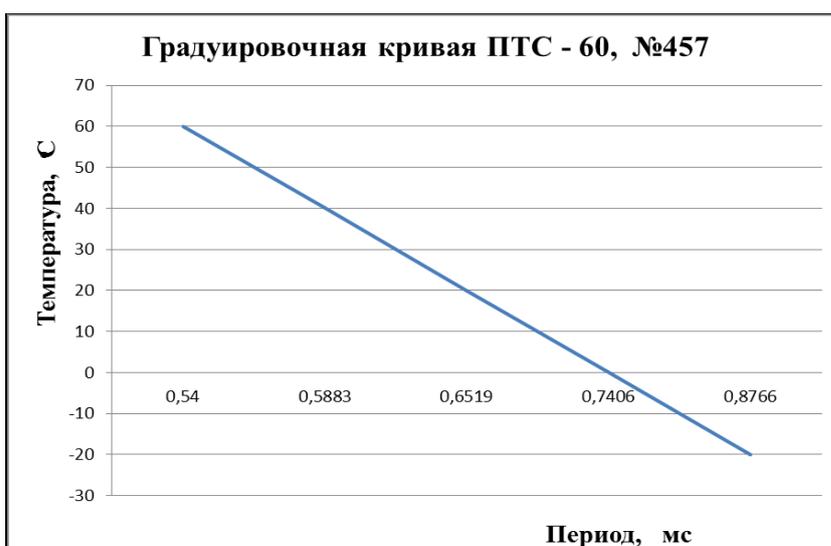
Тип: ПТС-60    Зав. номер: 518    Дата изготовления: 09.12.88		
№ п/п	Наименование параметров	Значения
1	Градуировочная характеристика	$Y = 15,37/X^2 + 71,06/X - 123,3$
2	Диапазон измерений, °С	от -20 до +60
3	Предел допускаемой суммарной погрешности приведённый к диапазону измерений	от -2% до +2%
4	Вариация, приведённая к диапазону измерений	не более 1%

**Таблица 2.2. - Технические характеристики преобразователей температуры**

Тип: ПТС-6 Зав. номер: 457 Дата изготовления: 22.08.89		
№ п/п	Наименование параметров	Значения
1	Градуировочная характеристика	$Y = 33,92/X^2 + 10,99/X - 123,3$
2	Диапазон измерений, °С	от -20 до +60
3	Предел допускаемой суммарной погрешности приведённый к диапазону измерений	от -2% до +2%
4	Вариация, приведённая к диапазону измерений	не более 1%



**Рисунок 2.6. - Градуировочная характеристика ПТС-60, №518**



**Рисунок 2.7. - Градуировочная характеристика ПТС-60, №457**

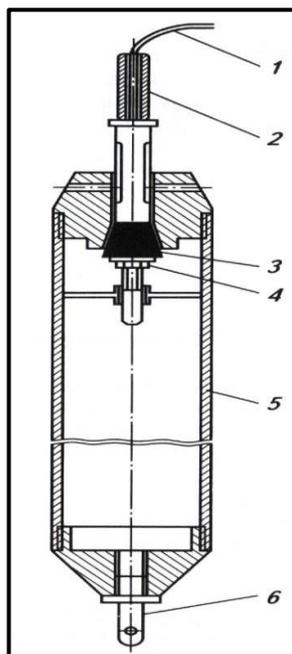
### **2.3.1. Базовые принципы, методика и технология отбора проб из скважины**

Изучение состава подземных вод является одним из основных видов гидрогеологических исследований и производится на всех стадиях гидрогеологических работ в процессе строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений. Также в процессе вскрытия, освоения и эксплуатации водоносных горизонтов и входит в круг задач гидрогеологических работ по изучению качества подземных вод.

Получение достоверных данных о гидрогеохимическом составе подземных вод осуществляется путем отбора проб воды из различных интервалов скважин с помощью специальных глубинных пробоотборников. На практике применяются множество пробоотборников, выпускавшихся различными заводами-изготовителями, конструктивно различающихся по способу наполнения приемной камеры, ее объему, способу управления работой клапанов и т.д.

Рассмотрим устройство пробоотборника на примере пробоотборника ПР-1,5 (рисунок 2.8), позволяющего отбирать пробы воды и растворов из скважин глубиной до 200 м. Он представляет собой цилиндр 5 наружным диаметром 50 мм, внутренним - 46 мм и длиной 900 мм, в верхней части которого установлен клапан 3, поднимаемый уплотнительной гайкой 4, а в нижней части - пробкой-краном 6 [137].

Перед спуском пробоотборника в скважину на поверхности следует определить максимальное время наполнения цилиндра путем погружения прибора в емкость с водой и открытия клапана вручную. После чего необходимо промыть цилиндр чистой пресной водой, собрать пробоотборник, закрепить лебедку на обсадной трубе и, регулируя тормозом, плавно опустить пробоотборник на необходимую глубину и зафиксировать его.



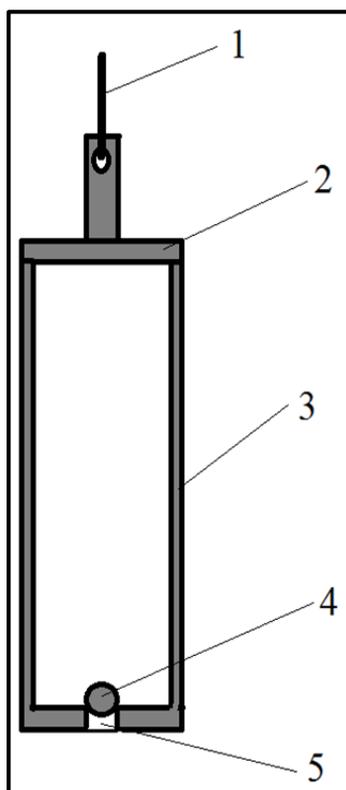
**Рисунок 2.8.** - Пробоотборник ПР-1,5  
(1 - трос; 2 - лот; 3 - клапан; 4 - поджимная гайка; 5 - цилиндр; 6 - пробка-кран)

Трос (длиной 200 м, диаметром 2 мм), на котором спускается пробоотборник, не должен иметь перегибов, смятия, обрывов проволок. На нем не должно быть никаких меток, увеличивающих его диаметр. В скважине он должен быть в натянутом состоянии, т.е. пробоотборник не должен упираться в забой или уступы в скважине.

После спуска пробоотборника в скважину на необходимую глубину по тросу сбрасывается лот 2 массой 0,5 кг, который ударяется о прибор, и в результате открывается клапан 3.

По прошествии расчетного времени жидкость в объеме 1,5 л заполняет цилиндр и пробоотборник поднимается на поверхность. Герметичность водонаборного сосуда регулируется гайкой 4. При отвинчивании пробки-крана 6 жидкость выливается из пробоотборника в емкость для хранения и транспортировки в лаборатории для проведения химического анализа.

Инженеры - геологи, осуществляющие гидрогеологические исследования, применяли зачастую пробоотборники собственного изготовления, не всегда удовлетворяющие необходимым требованиям (рисунок 2.9).



**Рисунок 2.9.** - Пробоотборник (1 - трос;  
2 - крышка; 3 - цилиндр;  
4 – шар-клапан; 5 - отверстие)

После спуска пробоотборника в скважину на необходимую глубину, тросом 1 поднимают пробоотборник на высоту 0,5 метра и резко отпускают вниз. В это время шар-клапан 4 поднимается вверх и вода поступает по отверстию в цилиндр 3. Таким образом, эту процедуру выполняют несколько раз до заполнения цилиндра. По прошествии расчетного времени жидкость в объеме 1,5 л заполняет цилиндр и пробоотборник поднимается на поверхность.

**2.4. Область применения и технические особенности зонда-кондуктометра NELT для измерения уровня минерализации в скважинах и пространственно-временное изменение гидрогеохимического режима вокруг солевого пласта**

**Назначение и состав кондуктометра NELT.** Кондуктометр NELT предназначен для определения концентрации и температуры водного

раствора поваренной соли NaCl (рисунок 2.10). В таблице 2.2 приведены технические характеристики кондуктометра NELT. Концентрация определяется по электропроводности раствора измеренной индукционным методом [136, 138, 139, 4-А, 50-А, 57-А].



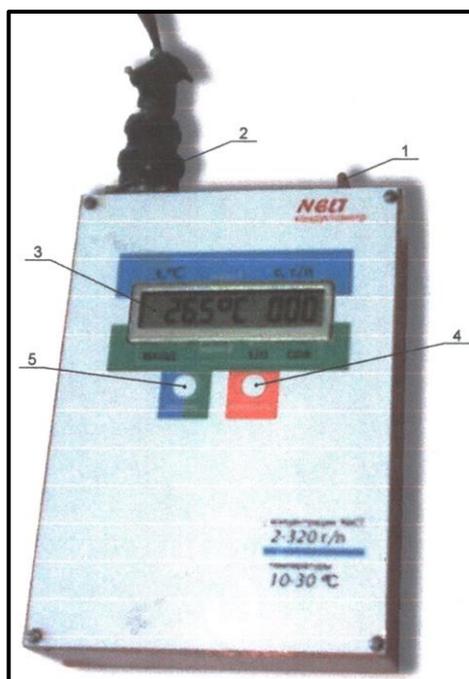
**Рисунок 2.10.** - Кондуктометр в сборе

Области применения: мониторинг солёности грунтовых вод, производства, связанные с приготовлением и использованием солевых растворов. Состоит из двух частей: погружного зонда и регистратора, служащего для отображения и сохранения результатов измерений [140 - 142]. Погружной зонд связан с регистратором кабелем и может быть удалён от регистратора на расстояние до 100 м. Предусмотрена возможность калибровки прибора для измерения концентрации других не агрессивных растворов электролитов.

**Таблица 2.2.** - Техническая характеристика кондуктометра NELT

Наименование параметров	Значение параметров
Диапазон измеряемых концентраций	2 ÷ 300 г/л
Точность измерения концентрации Na Cl	± 2 г/л
Температура измеряемого раствора	10 ÷ 30 <sup>0</sup> C
Точность измерения температуры	± 0,5 <sup>0</sup> C
Интерфейс погружного зонда	Токовая петля 1 – 100 мА
Интерфейс регистратора	RS - 232
Время измерения	2 с
Потребляемая мощность	1 Вт
Средний срок службы погружного зонда	5 лет
Средний срок службы регистратора	10 лет
Длина информационного кабеля	До 100 м
Масса погружного зонда	850 г
Габариты погружного зонда	301 x 34 мм
Габариты регистратора	140 x 100 x 30 мм
Питание прибора	Встроенное, 12 В

Кондуктометр «NELT» использует тороидальный сенсор, который не имеет электродов, работающий в режиме трансформатора тока. Регистратор (рисунок 2.11) и погружной зонд созданы на базе микропроцессорной (МП) технологии позволяющие сохранить информацию (концентрации в граммах на литр и текущую температуру) на ПЗУ (постоянном запоминающем устройстве) регистратора [143 - 145].



**Рисунок 2.11.** - Элементы управления регистратора

Регистратор имеет следующие элементы управления: 1 - тумблер включения/выключения; 2 - разъём подключения измерительного блока; 3 - жидкокристаллический дисплей; 4 - кнопка проведения измерений; 5 - кнопка переключения режима отображения информации.

При рассмотрении и сравнении кондуктометра «NELT» с аналогами производителей ABB, NashLange, EndressHauser, нужно иметь в виду следующее:

- комплекты приборов данных компаний для измерения электропроводности состоят из сенсоров (самих датчиков) и преобразователей (транзмиттеров), которые отображают результаты. Длина соединительного кабеля у этих приборов всегда менее 30 м, поскольку аналоговые сигналы, идущие по этому кабелю, чувствительны к наводкам и помехам.

- погружной зонд кондуктометра «NELT» является цифровым сенсором и допускает удаление от регистратора на расстояние более 100 м по интерфейсу цифровой токовой петли [146-148]. Питание зонда и информация от него использует двухпарный телефонный провод ТП 724, который к тому же служит и силовым тросом.

- питание приборов вышеуказанных компаний обычно осуществляется напряжением 220 или 36 В, при потребляемой мощности более 10 Вт.

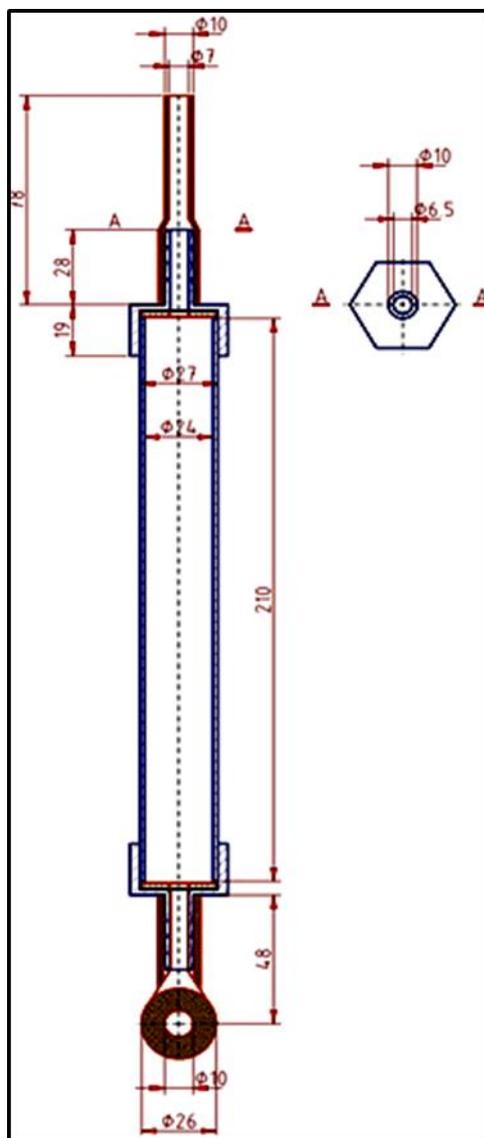
- кондуктометр «NELT» питается напряжением 12 В при потребляемой мощности менее 1 Вт.

**Конструкция погружного зонда.** Погружной зонд состоит из металлического корпуса, электронной части и герметизирующего наполнения.

Металлический корпус (рисунок 2.12) состоит из трёх элементов — трубы и двух штуцеров, накручиваемых на трубу с обеих сторон. Снаружи и внутри металлический корпус покрыт водостойкой эпоксидной эмалью.

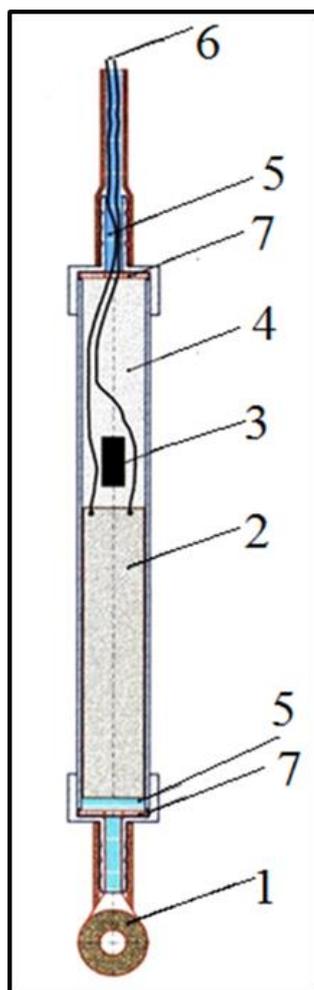
Электронная часть (рисунок 2.13) включает в себя индуктивный сенсор (1), микропроцессорное устройство (2), датчик температуры (3) и витую пару

соединительных проводов (6), ведущих к регистратору. Индуктивный сенсор реагирует на изменение концентрации раствора электролита и находится снаружи металлического корпуса. Состоит их двух колец индуктивности залитых эпоксидным компаундом.



**Рисунок 2.12.** - Корпус погружного зонда

Микропроцессорное устройство [145, 148 - 150] отвечает за обработку и передачу на регистратор обработанного сигнала от индуктивного сенсора. Устройство расположено в металлическом корпусе, защищающем его от внешних воздействий — высокого давления и попадания жидкости. Датчик температуры вместе с микропроцессорным устройством расположен в металлическом корпусе.



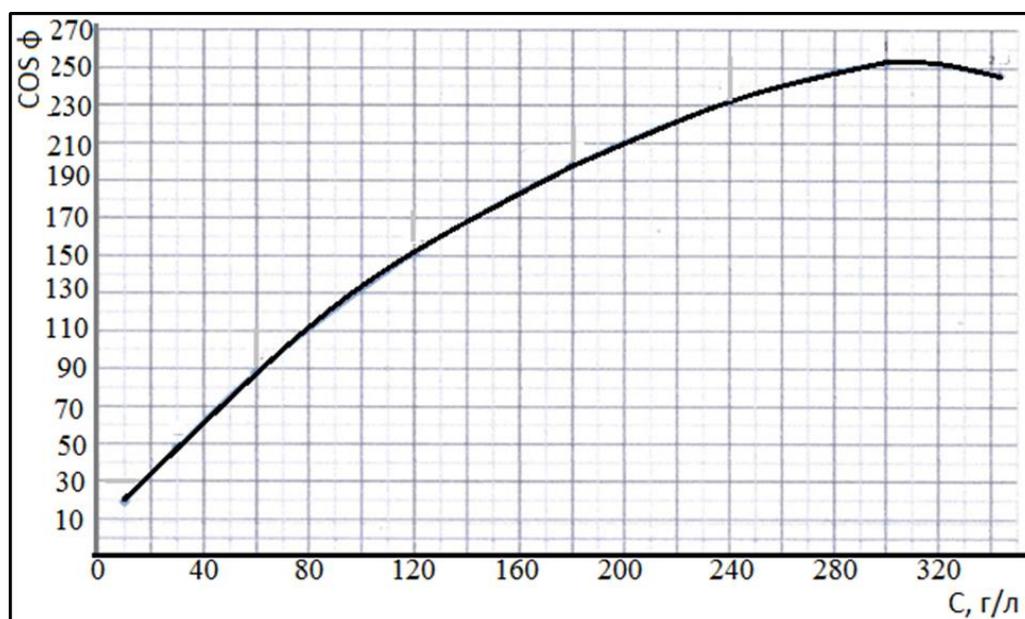
**Рисунок 2.13.** - Схема расположения элементов погружного зонда: индуктивный сенсор, 2-микропроцессор, 3-датчик температуры, 4-парафиновый наполнитель, 5 –эпоксидный компаунд, 6-сигнальный провод, 7-резиновые прокладки

Герметизирующее наполнение (рис. 2.13) служит для защиты электронной части датчика от попадания жидкости извне. Внутренность трубы, вместе с микропроцессорным устройством и датчиком температуры, заполнена парафином (4). Внутренность обоих штуцеров и резьбовых соединений заполнена эпоксидным компаундом (5). В торцах трубы с обеих сторон имеются резиновые прокладки (7) с прорезями для проводов, служащие дополнительной герметизацией мест соединений штуцеров с трубой.

**Нахождение концентрационной и температурной зависимости электропроводности.** Для нахождения зависимости показаний прибора от концентрации раствора NaCl, было приготовлено восемь стандартных растворов поваренной соли концентрации 10, 30, 60, 120, 180, 240, 300 и 340 г/л [151 – 154, 60-А, 70-А].

Растворы готовились из пищевой поваренной соли марки «Экстра» с содержанием NaCl 99,7%. Для растворения использовалась водопроводная вода общей жесткостью 2 мг-экв/л.

При постоянной комнатной температуре поочерёдно были промерены все растворы и выявлена зависимость показаний прибора от концентрации. Кривая зависимости приведена на рисунке 2.14. Как видно из рисунка, кривая имеет экстремум в районе концентрации 300 г/л. Это значит что выше концентрации 300 г/л невозможно точное определение солёности данным методом.



**Рисунок 2.14.** - Зависимость значений  $\cos \phi$  от концентрации NaCl при температуре 21<sup>0</sup>C

Значения электропроводности и отражающего её значения  $\cos \phi$  сильно зависят от изменений температуры. Для определения этой зависимости понадобилось снять несколько концентрационных кривых при различных температурах.

Измерения проводились в динамике, медленно нагревая или охлаждая исходный раствор [154]. Для нахождения температурной зависимости для температур выше комнатной, ячейка с раствором нагревалась на водяной

бане выше 30 °С, изымалась из водяной бани и по мере остывания до комнатной температуры снимались показания прибора с интервалом 0,5 °С.

Для нахождения температурной зависимости для температур ниже комнатной, ячейка с раствором охлаждалась льдом на водяной бане ниже +10 °С, изымалась из бани и по мере нагревания до комнатной температуры снимались показания прибора с интервалом 0,5 °С.

Для получения достоверных результатов, изменения температуры должно происходить очень медленно, со скоростью не более 10 мин/град, чтобы прибор целиком успевал прогреться или охладиться.

Результаты измерений, представленные на рисунке 2.14. позволили сделать следующее заключение:

1. Температурные кривые подобны и отличаются только углом наклона к осям координат;
2. Угол наклона изменяется линейно в температурном диапазоне 8-21 °С и нелинейно при температурах свыше 21 °С;
3. Выявление точной зависимости угла наклона кривой от температуры позволить выстроить все промежуточные кривые смещением ранее измеренных точек, без проведения дополнительных измерений.

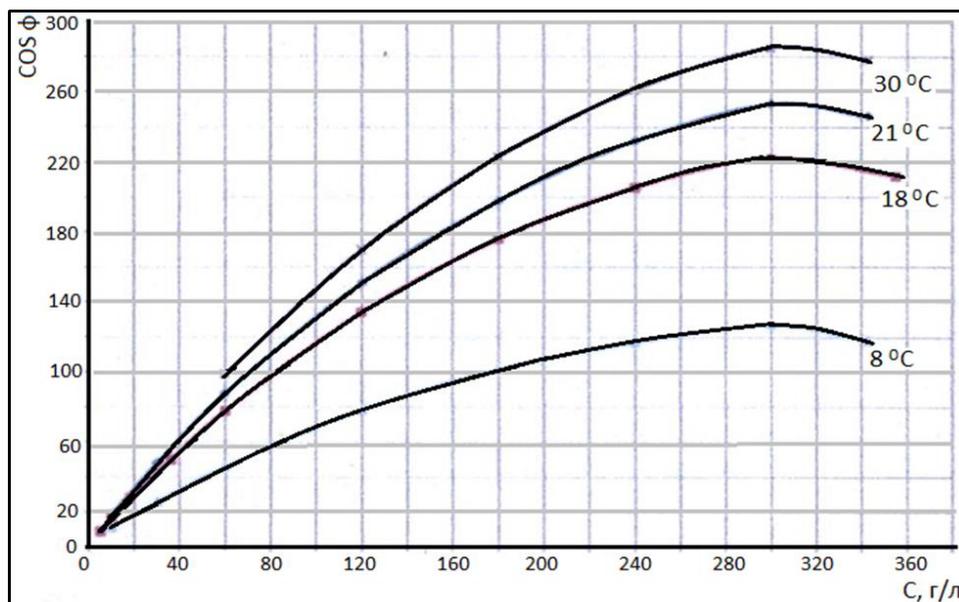
Для нахождения температурной зависимости угла наклона концентрационной кривой было проведено исследование  $\cos\phi$  раствора NaCl концентрации 180 г/л в диапазоне температур 20 - 30 °С.

Основываясь на экспериментальных данных для температуры 21°С и величине смещения найденной по рисунку 2.15, были просчитаны основные 7 точек для промежуточных кривых концентраций с шагом 0,5°С (рисунок 2.16). Для каждой кривой было найдено математическое описание с целью нахождения промежуточных значений. Кривые описываются полиномиальной функцией второго порядка следующего вида [155 - 157]:

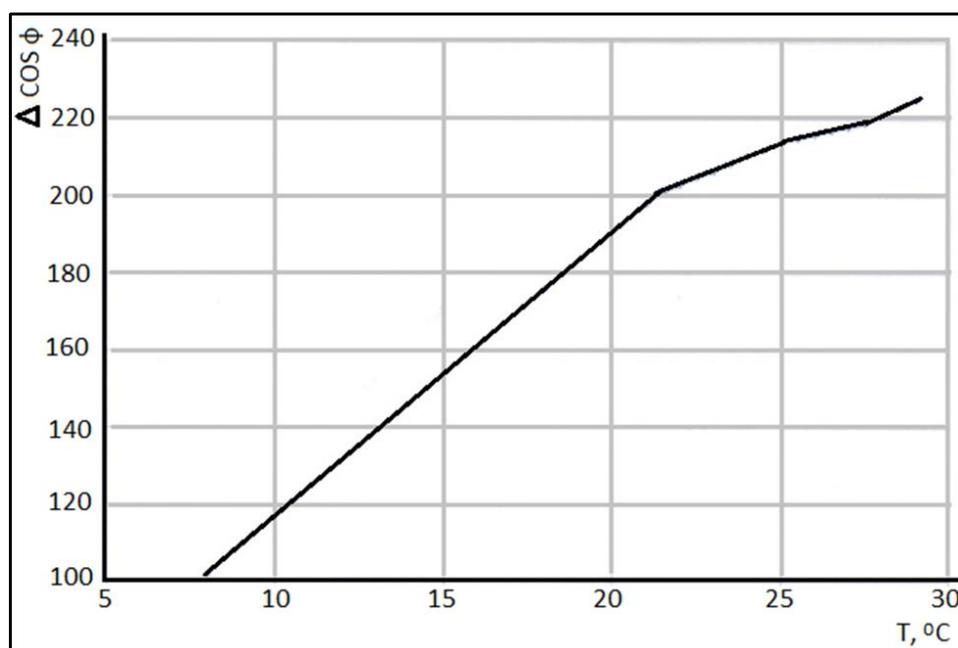
$$\cos \phi = -a \cdot c^2 + b \cdot c + d \quad (2.2)$$

где  $c$  — концентрация раствора NaCl;

$a, b, d$  — коэффициенты.



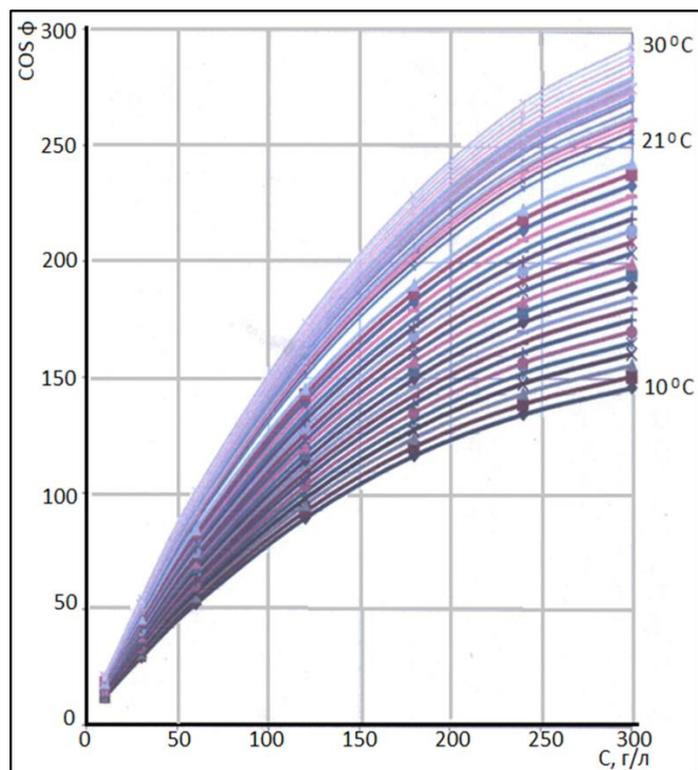
**Рисунок 2.15.** - Зависимость значений  $\cos \phi$  от концентрации NaCl при разных температурах



**Рисунок 2.16.** - Смещение значений  $\cos \phi$  с ростом температуры

По уравнению (2.2) определены основные точки концентрационных кривых и полиномиальные функции для каждой температуры.

Для каждого уравнения были рассчитаны все возможные значения  $\cos \phi$  в диапазоне концентраций 2-300 г/л и составлена таблица концентраций, соответствующих значениям  $\cos \phi$  в диапазоне температур 10-30 °C с шагом 0,5 °C. Данная таблица была записана в ПЗУ кондуктометра (рисунок 2.17).



**Рисунок 2.17.** - Концентрационная зависимость  $\cos\phi$  в диапазоне 10-30<sup>0</sup>С с шагом 0,5<sup>0</sup>

**Испытания кондуктометра.** Измерялась серия растворов поваренной соли известной концентрации при температуре 22 °С. Результаты измерений приведены в таблице 2.3 и на рисунке 2.18.

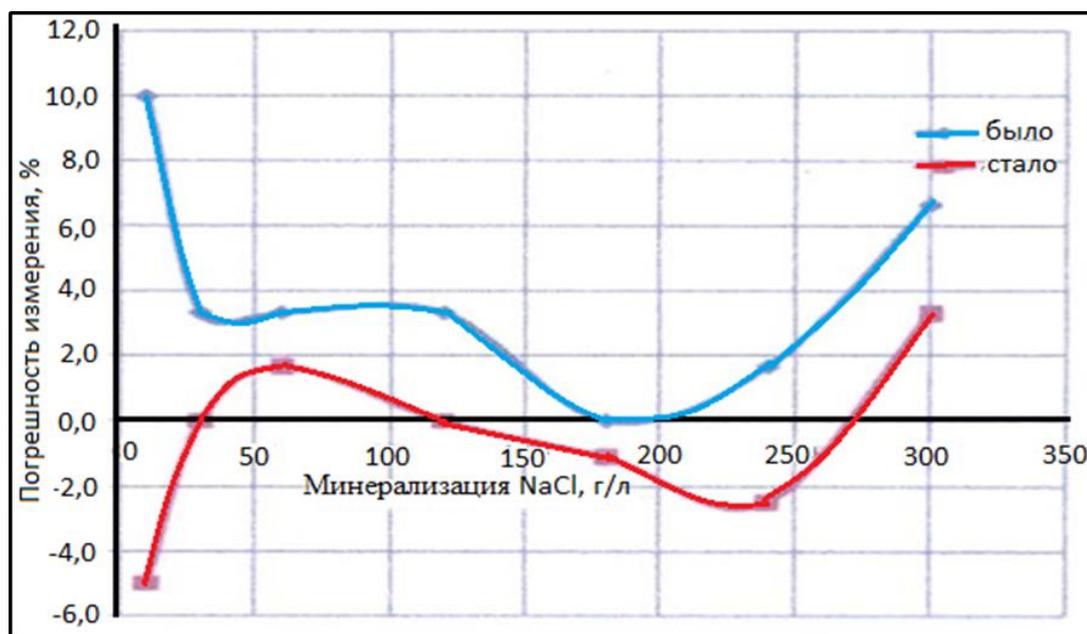
**Таблица 2.3.** - Погрешность кондуктометра в зависимости от концентрации солевого раствора

Концентрация истинная, г/л	Концентрация измеренная, г/л	Погрешность, %
10	11	10
30	31	3,3
60	62	3,3
120	124	3,3
180	180	0
240	244	1,7
300	320	6,7

Исходя из полученных данных приняли решение уменьшить значения  $\cos \phi$ , зашитые в таблицу ПЗУ прибора, на величину 3,3%. Результаты испытаний кондуктометра с таблицей  $\cos\phi$ , уменьшенной на 3,3% приведены в таблице 2.4.

**Таблица 2.4.** - Погрешность кондуктометра в зависимости от концентрации солевого раствора

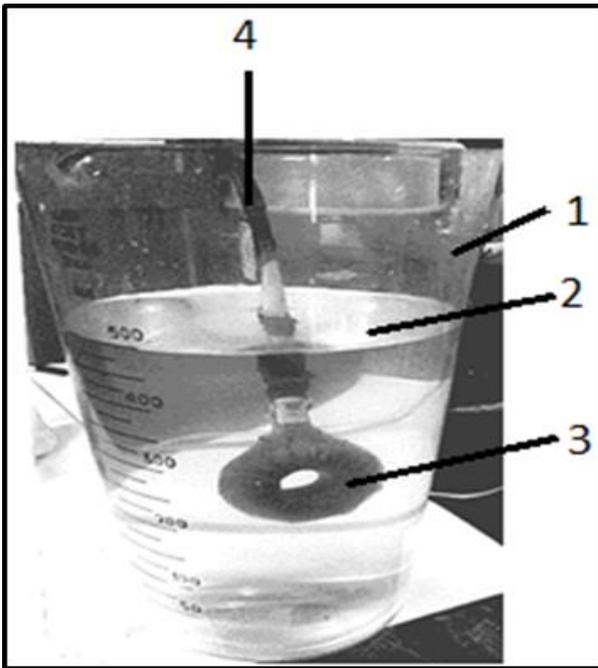
Концентрация истинная, г/л	Концентрация измеренная, г/л	Погрешность, %
10	9,5	-5
30	30	0
60	61	1,67
120	120	0
180	178	-1,11
240	234	-2,5
300	310	3,33



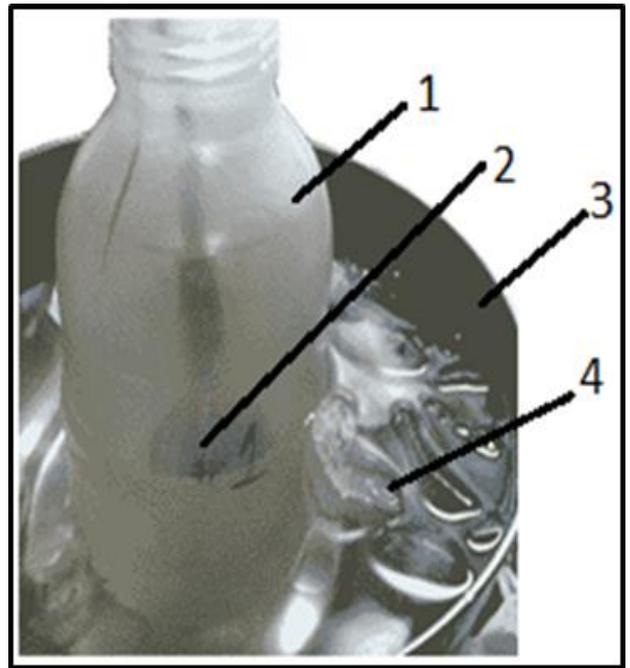
**Рисунок 2.18.** - Величина погрешности кондуктометра NELT в зависимости от концентрации раствора NaCl при температуре 21<sup>0</sup>C

**Методика калибровки кондуктометра «NELT» для измерения NaCl.** Прибор может быть калиброван на изменение концентрации любых не агрессивных растворов электролитов. Далее описывается методика калибровки прибора на водные растворы поваренной соли (NaCl) [142, 158].

Требования к измерительной ячейке минимальные (рисунки 2.19 и 2.20). Она может быть из любого материала, главное условие - зазор между измерительным кольцом и стенками сосуда должен быть не менее 15 мм и в отверстии кольца не должно находиться посторонних предметов, грязи или пузырьков воздуха, присутствие которых исказит результаты измерений.



**Рисунок 2.19.** - Измерительная ячейка с кольцом кондуктометра: 1-сосуд (измерительная ячейка), 2-раствор, 3-измерительное кольцо кондуктометра, 4-кабель



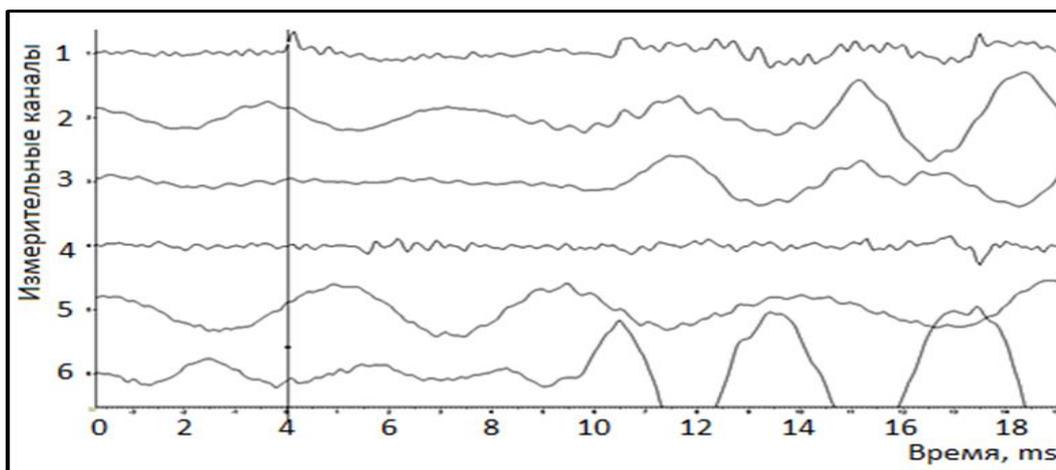
**Рисунок 2.20.** - Измерительная ячейка на водяной бане со льдом: 1- сосуд с раствором, 2- измерительное кольцо кондуктометра, 3-ёмкость, 4-лёд

## **2.5. Область применения метода сейсмоакустического каротажа скважин и прижимное устройство сейсмических датчиков**

Сейсмоакустические исследования в подземных выработках Рогунской ГЭС решались методом сейсмического каротажа скважин.

Для исследования скорости прохождения сейсмических волн по скважине была разработана сейсмическая коса, состоящая из 6-ти каналов. Сейсмическую косу для каждого пяти метрового интервала передвигали с помощью штанги по стволу скважины и возбуждение колебаний осуществляли с дневной поверхности в устье скважины с помощью кувалды весом 8 кг.

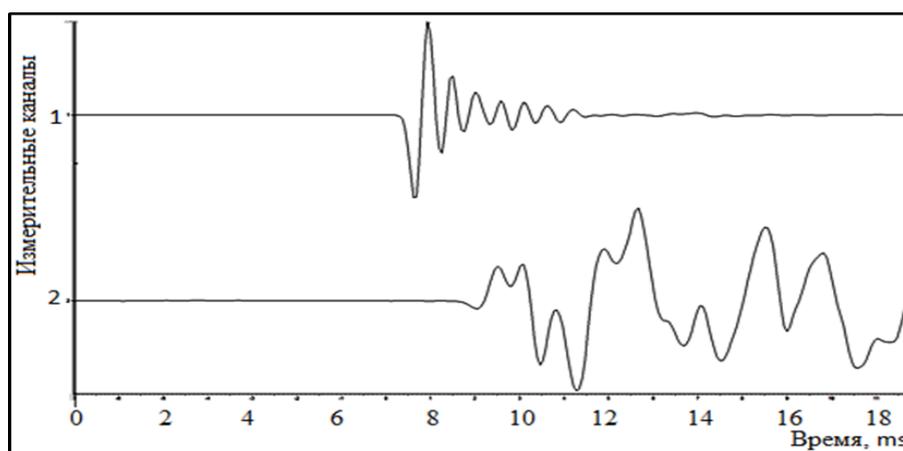
В результате обработки этих материалов выяснилось, что данная методика технически не всегда обеспечивала хорошее качество материала (рисунок 2.21), так как исследования проводились в горизонтальных скважинах и наклонных и вертикальных скважинах в своде выработок.



**Рисунок 2.21.** - Примеры сейсмограмм сейсмического каротажа сейсмической косой, отсутствие контакта сейсмоприемника со скалой

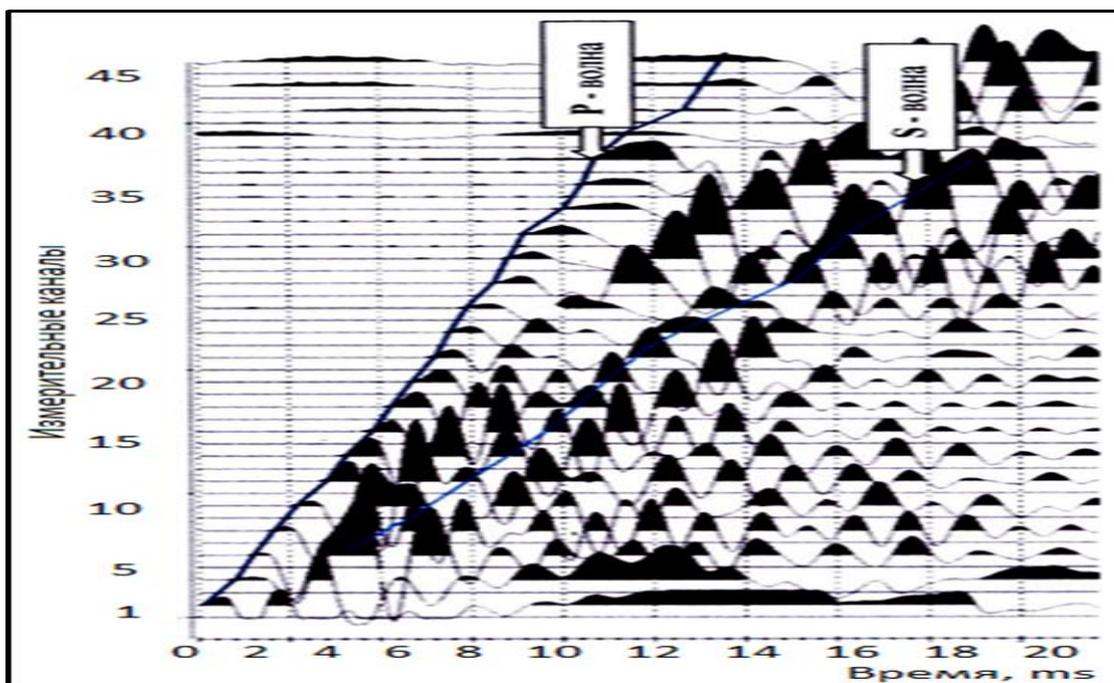
Тогда было принято решение перейти на работу с однокомпонентным сейсмическим зондом (имеющим прижимное устройство) [36-А], когда один сейсмоприемник устанавливался в устье скважины для синхронизации получаемых записей, а другой, прикрепленный к жесткой штанге, передвигался по стволу скважины с шагом 1 м.

Таким образом, для каждого удара была получена двухканальная запись (на одном канале регистрировались колебания вблизи пункта удара, на другом - на глубине) (рисунок 2.22).



**Рисунок 2.22.** - Примеры сейсмограмм, полученные при работе с одноканальным зондом

Полученные записи собирались в сводную сейсмограмму с помощью программы RadExPro (рисунок 2.23).



**Рисунок 2.23.** - Сводная сейсмограмма, составленная из одноканальных записей, полученных с использованием однокомпонентного сейсмического зонда

В связи с вышеизложенным, изменением диаметра скважины по стволу от начала до конца, автору пришлось изобрести совершенно новое устройство прижима сейсмического датчика к стенке скважины [36-А].

Изобретение относится к области скважинной сейсморазведки и может быть использовано при проведении работ методами вертикального сейсмического профилирования (ВСП), сейсмического каротажа и другими методами, требующими надежный контакт скважинного прибора со стенкой скважины.

При проведении в скважинах работ методами ВСП и сейсмического каротажа одним из основных условий получения качественных результатов является надежный механический контакт скважинного прибора со стенкой скважины, при котором исключается искажающее влияние на сейсмическую запись таких помех, как кабельные волны и резонансные механические колебания. При нежестком контакте скважинного прибора со стенкой скважины могут иметь место проскальзывание прибора относительно стенки скважины в процессе приема упругих колебаний, а также вращательные колебания относительно линии касания корпуса прибора со стенкой

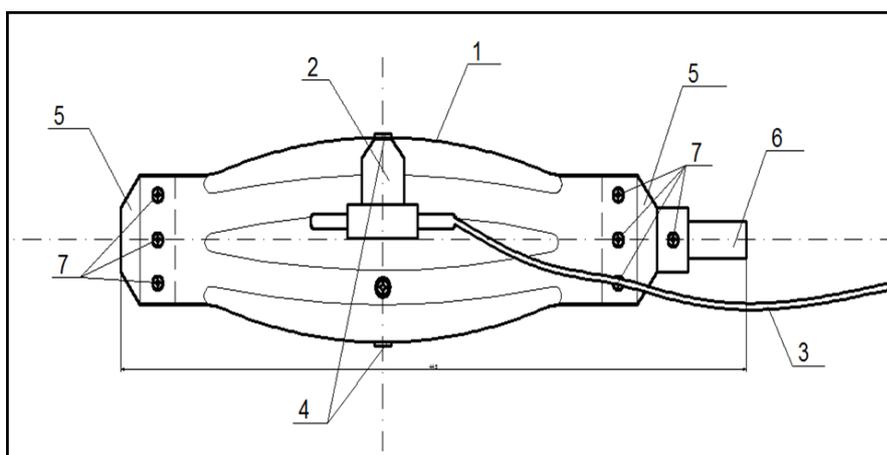
скважины, наиболее ощутимые на записях горизонтальных сейсмоприемников при трехкомпонентных наблюдениях.

Таким образом, полученные данные предопределили необходимость разработки прибора разрешающего данную проблему.

Целью изобретения было обеспечение надежного прижима сейсмодатчика к стенке скважины с изменяющимся диаметром, упрощение конструкции скважинного прибора, повышение точности измерений параметров волн и повышение чувствительности сейсмического датчика при регистрации их в скважине .

Поставленная цель достигается тем, что в скважинном сейсмическом приборе, содержащем корпус из упруго – пластичной пластмассовой трубы разрезанной вдоль в нескольких местах на равные расстояния, на отдельные ребра и выпуклые посередине, служит одновременно как прижимной элемент к стенке скважины, длина которого соизмерима с длиной прибора. Диаметр прибора должен быть больше диаметра исследуемой скважины. При перемещение прибора по стволу скважины, прибор беспрепятственно принимает форму диаметра скважины.

На чертеже (рисунок 2.24) схематически показан разрез предлагаемого скважинного сейсмического прибора (сейсмический зонд).

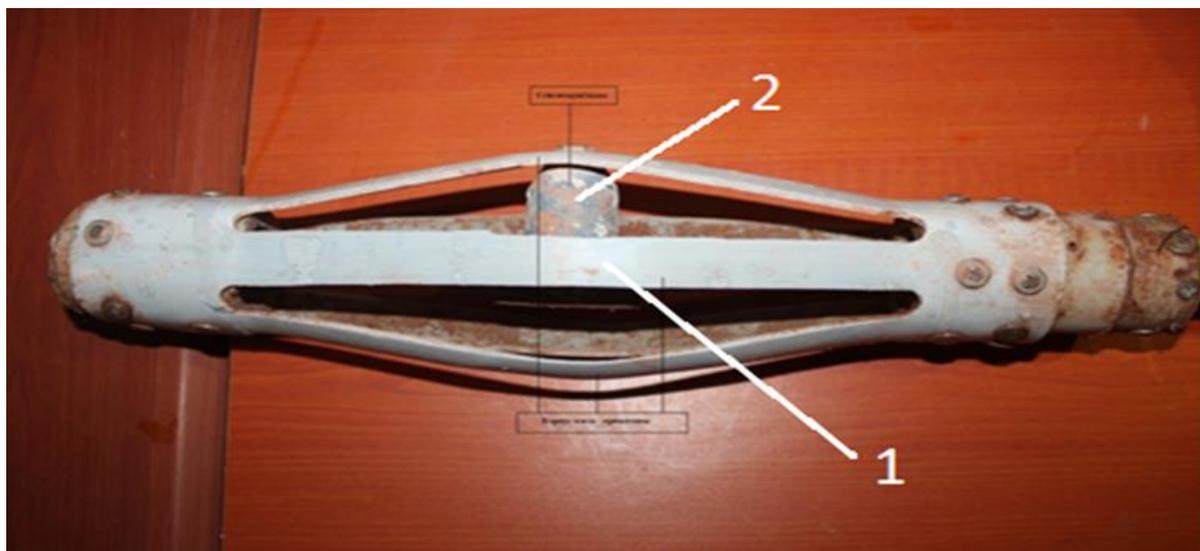


**Рисунок 2.24.** - Скважинный сейсмический зонд: 1-пластмассовый корпус, 2-сейсмический датчик, 3-двухжильный провод, 4-болты, 5-пластмассовая втулка, 6-штанга, 7-винты

Устройство работает следующим образом:

Скважинный сейсмический зонд состоит из следующих основных узлов: две торцовые пластиковые втулки 5, соединенные винтами 7 с упруго – пластичной пластмассовой трубой разрезанной вдоль в нескольких местах, на равные расстояние и выпуклое по середине 1, которое составляет единый корпус сейсмического прибора (зонда). В одно из ребер жестко, прикреплен сейсмический датчик 2 болтовым соединением 4. На остальных ребрах винты 4 служит для защиты корпуса от истирания о стенки скважины. Их можно будет заменять периодически. Выпуклая форма корпуса прибора позволяет прижатие сейсмического зонда к стенке скважины и обеспечить надежный контакт сейсмического датчика к среде и легкое проскальзывание по стволу скважины.

Скважинный сейсмический зонд (рисунок 2.25 - фото, читать совместно с рисунком 2.24) посредством наращивания штанги 6 поступательно перемещается по стволу скважины, сейсмический сигнал из датчика 2 по электрическому кабелю 3 передается на поверхность на бортовой компьютер (не показан) и данные регистрируются в виде сейсмограммы в реальном масштабе времени. Сейсмограммы сохраняются в виде отдельного файла для каждой точки скважины на жестком диске.



**Рисунок 2.25.** - Скважинный сейсмический зонд – прижимное устройство

Применение предлагаемого скважинного сейсмического зонда (прибора) позволяет получать надежные результаты при проведении однокомпонентных наблюдений в обсаженных и не обсаженных глубоких скважинах, диаметр которых существенно превышает диаметры современных скважинных приборов.

В данной главе диссертации рассмотрено комплексное использование методов и технических средств исследования и область применения современных технологий измерения геотемпературного поля и гидрогеохимического режима в основании плотины на растворимых породах Рогунской ГЭС.

В главе 3, диссертации, рассматриваются теоретические и практические основы создания измерителя тепловых потоков (тепломер) для мониторинга пути сосредоточенной фильтрации в основании плотины. Также разработана математическая модель определения направления теплового потока, проведён анализ диапазона изменения геотемпературного поля, расчёт точности измерения температуры и создание тепломера.

### **Глава 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТОКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПУТЕЙ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ В ОСНОВАНИИ ПЛОТИНЫ**

Гидротехнические сооружения (ГТС) существенно отличаются от других инженерных сооружений тем, что подвергаются воздействию движущейся или находящейся в покое воды, оказывающая вертикальное или горизонтальное давление.

Основание любого подпорного сооружения, в том числе и плотины состоящее из различных типов горных пород проницаемы для воды (в том числе скальные и растворимые). Вследствие создания подпора и поднятия плотиной уровня воды в верхнем бьефе, основание сооружения насыщается водой, транспортируемая через поры и трещины из зоны большего давления в зону меньшего давления. Такое движение потока называется фильтрацией воды.

Фильтрующаяся вода оказывает как механическое, так и химическое воздействие на грунт, слагающий основание сооружения, увлекая с собой мелкие частицы и растворяя соли растворяя и унося их в нижний бьеф сооружения. В первом случае присутствует механическая, а во втором – химическая суффозия. Наличие подобного явления способствует тому, что грунт основания становится более проницаемым для воды. При этом скорости фильтрации возрастают, образуя так называемые пути сосредоточенной фильтрации и выносом частицы большего размера. Следует отметить, что при дальнейшем развитии подобного явления ведет к разрушению основания и как следствие становится причиной возникновения аварии собственно сооружения.

Выявление пути сосредоточенной фильтрации на начальном этапе её зарождения осуществляется с использованием теории тепломассопереноса, на основе исследования изменения теплового поля в основании плотины.

Одним из направлений реализации определения зарождения сосредоточенной фильтрации, является создание специальных измерителей тепловых потоков для мониторинга путей сосредоточенной фильтрации в основании плотины.

Ниже, в 3.1. рассмотрены научно-практические основы разработки такого измерителя.

### **3.1. Математическая итерационная модель и алгоритм оптимального поиска путей сосредоточенной фильтрации**

Температурное поле тела или системы тел – это совокупность мгновенных значений температур во всех точках рассматриваемого пространства. В общем случае уравнение температурного поля имеет вид

$$t = f(x, y, z, \tau), \quad (3.1)$$

где  $t$  – температура;  $x, y, z$ , - координаты;  $\tau$  - время.

Такое температурное поле называется нестационарным. Если температура с течением времени не изменяется, то температурное поле называется стационарным. Тогда

$$t = f(x, y, z), \quad \frac{\partial t}{\partial \tau} = 0. \quad (3.2)$$

Температура может быть функцией одной, двух и трех координат; соответственно температурное поле будет одно-, двух- и трехмерным. Наиболее простой вид имеет уравнение одномерного стационарного температурного поля:  $t = f(x)$ .

Поверхности, объединяющие точки тела с одинаковой температурой, называемые изотермическими, не пересекаются, они либо замыкаются на себя, либо заканчиваются на границе тела. Пересечение изотермических

поверхностей с плоскостью дает на ней семейство изотерм:  $t, t - \Delta t, t + \Delta t$  (рисунок 3.1).

Направление, по которому расстояние между изотермическими поверхностями минимальное, называется нормалью ( $n$ ) к изотермической поверхности.

Производная температуры по нормали к изотермической поверхности называется температурным градиентом

$$\frac{\partial t}{\partial n} = \text{grad } t \quad (3.3)$$

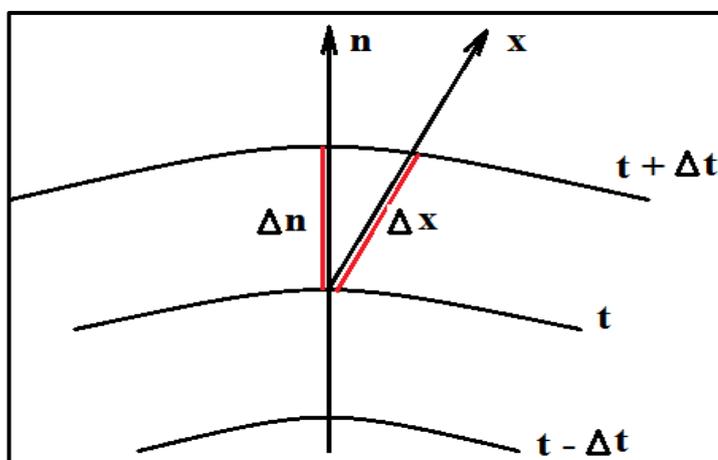


Рисунок 3.1. - Семейство изотермической поверхности, отличающейся на величину  $\Delta t$

Температурный градиент – вектор, направленный по нормали к изотерме в сторону увеличения температуры.

Общее количество теплоты, переданное в процессе теплообмена через изотермическую поверхность площадью  $F$  в течение времени  $\tau$ , обозначается  $Q_\tau$ , Дж., а тепловой поток  $Q$ , Вт это количество теплоты, переданное через изотермическую поверхность площадью  $F$  в единицу времени.

Плотность теплового потока это тепловой поток, переданный через единицу поверхности, и определяется по формуле (3.4.):

$$q = \frac{Q}{F}, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}. \quad (3.4)$$

Вектор плотности теплового потока направлен по нормали к изотермической поверхности в сторону уменьшения температуры (рис. 1.1).

Геотермические исследования геологической среды как обычно используются при решении различных инженерно-геологических, гидрогеологических, гидротехнических и геоэкологических задач [159 - 162].

Следует отметить, что объектом исследования, при этом, являются естественные тепловые поля, а также поля, создаваемые различными искусственными источниками (например, термополя, образующиеся в результате фильтрации воды из водохранилища). Интенсивность и структура температурных полей зависят от тепловых свойств, геотермических форм и размеров исследуемых сред источников.

Следовательно, изучение структуры и характеристики теплового поля, позволяет получить определенные сведения о строении массивов горных пород и выделить в них пути транспортирования (переноса) тепловой энергии, которые, как правило, в приповерхностных частях земной коры, совпадают с путями движения подземных вод. Несмотря на свою относительную простоту, температурные исследования позволяют быстро решать ряд важных задач инженерной геологии и, в частности, такие как [163 - 165]:

- определение величины естественных температур на разных глубинах, диапазон изменения температуры и глубина проникновения температурных воздействий в земной коре в течение годового цикла;
- расчленение и корреляция геологических разрезов скважин;
- установление интервалов водопротока в скважинах и решение других вопросов гидрогеологии;
- проведение фильтрационного контроля в основании и примыканиях плотин, а также некоторые другие задачи;
- уточнение модели водопроницаемости массива пород на участке солевого пласта (изучение фильтрационной неоднородности и

анизотропности, определение типа движения подземных вод, изучение динамики фильтрационного потока),

- изучение влияния техногенных воздействий на изменение водопроницаемости горного массива (режимные наблюдения за динамикой фильтрационного потока, за температурой, изучение суффозионных явлений);

- определения направление теплового потока.

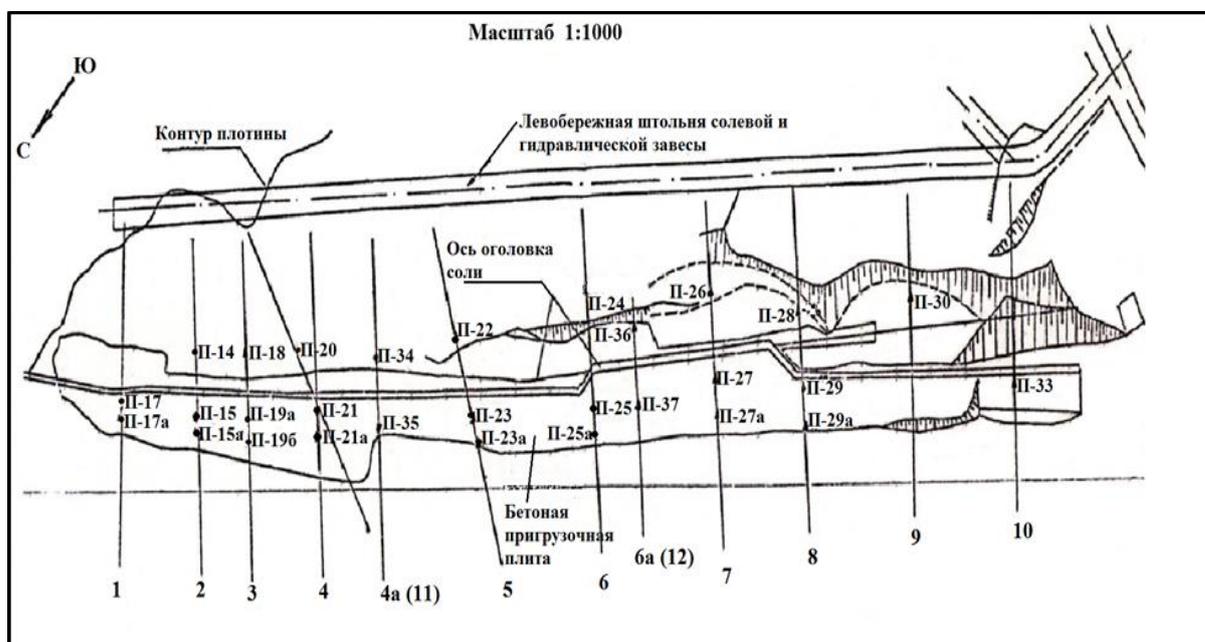
Метод термометрии скважин обладает высокой информативностью и возможностью изучения всего разреза скважин, включая обсаженные, зацементированные и безводные интервалы [166, 167]. Геотермометрический метод в фильтрационных исследованиях основан на выявлении аномалий геотермического поля, обусловленных конвективным теплопереносом. Форма аномалий геотермического поля, амплитуда и знак определяются геотермическими параметрами фильтрационного потока подземных вод, характером их взаимодействия с поверхностными водами, направлением и скоростью фильтрации.

Для изучения изменения температурного поля в зоне оголовка солевого пласта нами была выбран именно метод термометрии. Вместе с тем, следует отметить, что на гидротехнических сооружениях наиболее эффективным и технологичным является гидрогеотермический метод с применением термисторов, обладающий высокой информативностью и возможностью изучения всего разреза скважин, включая обсаженные зацементированные и безводные интервалы пьезометрических скважин.

На участке солевой завесы основания плотины Рогунской ГЭС в 1990-91 гг. были выполнены 10 циклов режимных геотермических наблюдений по 12 створам. Общее количество пьезометров, задействованных в исследованиях 28. Схема расположения створов и местоположение пьезометров приведены на рисунке 3.2 [168, 169].

Гидрогеотермические исследования в скважинах пьезометрической сети, выполнялись с помощью переносного скважинного термометра КТ-1.

Отличительной особенностью данного термометра является его широкий диапазон измеряемых температур.



**Рисунок 3.2.** - Схема расположения исследованных скважин на участке временной солевой завесы Рогунской ГЭС

Следует отметить, что особенностью методики проведения полевых изысканий является строгое соблюдение спуска термозонда сверху вниз, позволяющий достичь минимального искажения температурного поля [170, 171]. С учетом вышеизложенного, при спуске термозонда в скважину, выполнялась термометрия с точечной регистрацией, с шагом 2 м. В интервалах резких изменений температур предусматривалась детализация с шагом 0,5-1 м. Измерения температуры производились по всему стволу пьезометрической скважины, включая сухую и обводненную его части.

Было произведено 10 циклов геотермических исследований по 11 створам (рисунок 4.15: №№ 1, 2, 3, 4, 4<sup>а</sup>, 5, 6, 6<sup>а</sup>, 7, 8, 9). По результатам обработки полевых терморазведочных материалов были нарисованы изотермические разрезы по 11 створам. Отдельные геотермические разрезы представлены на рисунках 3.3 - 3.4. Обработка полученных данных позволила установить, что из-за камнепада на левобережном склоне,

непогоды и технических неполадок, по некоторым пьезометрам не велись регулярные наблюдения.

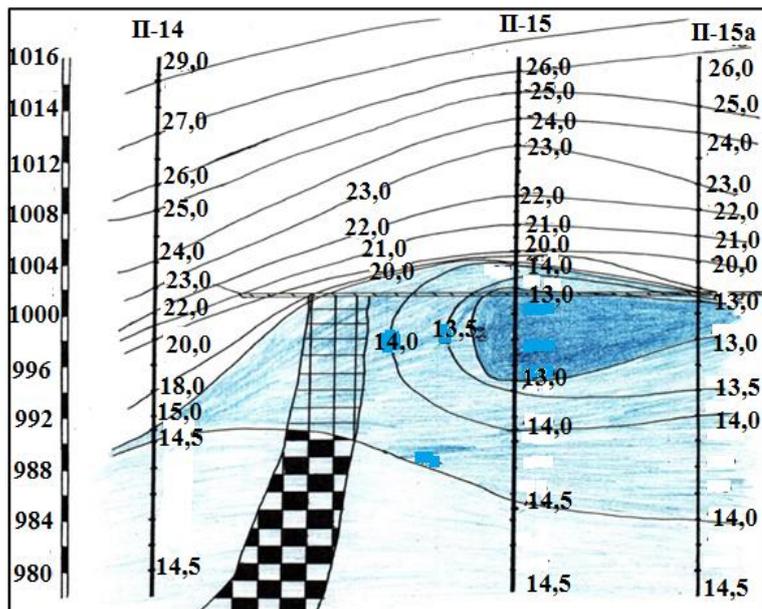


Рисунок 3.3. - Геотермический разрез по створу № 2

На основе анализа изотермической поверхности геотермического разреза по створу №2 (рисунок 3.3) установлено, что тепловой поток направляется в сторону реки Вахш.

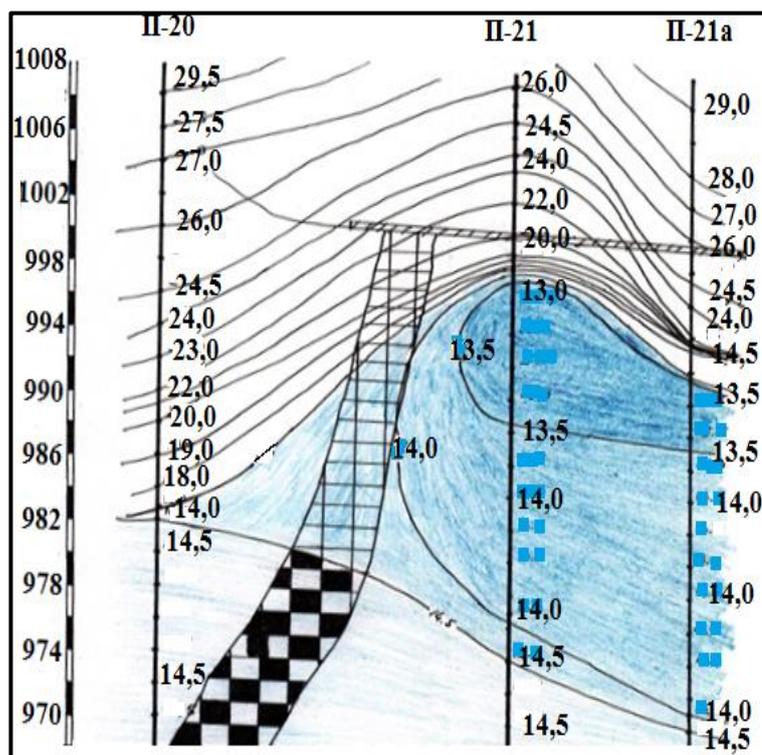


Рисунок 3.4. - Геотермический разрез по створу № 4

Анализ изотермической поверхности геотермического разреза по створу №4 (рисунок 3.4) позволил установить, что аналогичная ситуация характерна также в створе №2. На наш взгляд, выявленная ситуация связана с существованием подземного течения воды вдоль оголовка соли разгружающаяся в сторону реки Вахш, или связана с теплопереносящим свойством водовоздушного течения реки Вахш.

С целью выявления процессов тепломассопереноса, на основе данных термометрических исследований в пьезометрических скважинах П-30, П-31, П-31<sup>а</sup>, П-32, П-33, П-35, П-36, П-7, П-21, П-23, П-23, П-27, П-29 и П-29<sup>а</sup> было исследовано изменение градиента температуры в обводнённом интервале согласно формулы (3.5) на базе длиной L (таблицы 3.1 и 3.2) в течение годового периода 2011 года.

$$\frac{\partial T}{\partial t} \approx \frac{T_2 - T_1}{z_2 - z_1} = \Gamma \quad (3.5)$$

где,  $\Gamma$  – температурный градиент или изменение температур  $T_2$  и  $T_1$  на глубинах  $z_2$  и  $z_1$  (ось  $z$  направлена вниз по нормали к поверхности).

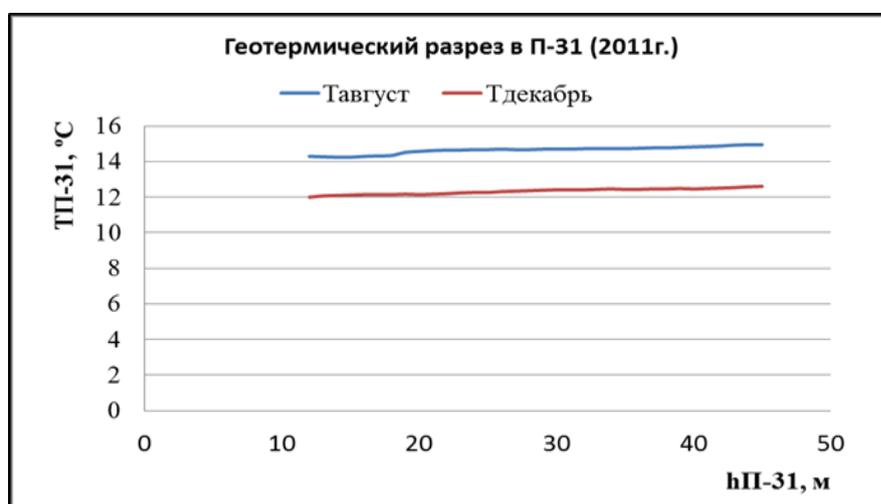
**Таблица 3.1.** - Таблица вычисления градиента температуры в водном интервале пьезометрических скважин

Месяцы	П-30	П-31	П-31 <sup>а</sup>	П-32	П-33	П-35	П-36
	L=32 м	L=31 м	L=34 м	L=35 м	L=26 м	L=14 м	L=10 м
Январь							
Февраль	0,0147	0,0215	0,0346	0,0050	0,0290	-0,0249	-0,0550
Март	0,0178	0,0388	0,0209	0,0007	0,0336		-0,1154
Апрель	0,0147		0,0461	0,0064	0,0439	0,0580	-0,0776
Май	0,0294	0,0224	0,0719	0,0050	0,0673	0,0935	-0,0857
Июнь	-0,0094	0,0192	0,0356	0,0057	0,0638	-0,0107	-0,0201
Июль	0,0442	0,0208	0,0457	0,0172	0,0613	0,0516	-0,5830
Август	0,0478	0,0219	0,0317	0,0159	0,0505	0,0018	-0,1894
Сентябрь	0,0426	0,0532	0,0521	0,0235	0,0570	-0,0301	-0,0199
Октябрь	0,0315	0,0347	0,0245	0,0219	0,0132	-0,0440	-0,0198
Ноябрь	0,0184	0,0127	0,0180	0,0121	0,0297	0,0141	-0,0248
Декабрь	0,0199	0,0165	0,0236	0,0515	0,0315	0,0175	-0,0396

**Таблица 3.2.** - Таблица вычисления градиента температуры в водном интервале пьезометрических скважин

Месяцы	П-37	П-21	П-23	П-25	П-27	П-29	П-29 <sup>а</sup>
	L=24 м	L=20 м	L=18 м	L=24 м	L=18 м	L=21 м	L=28 м
Январь							
Февраль	-0,2920		-0,0356	-0,0386	-0,0431	0,0070	0,0360
Март	-0,2810		-0,0207	-0,0565	-0,0529	-0,0224	0,0009
Апрель	-0,0156	0,0357	0,0179	-0,0439	-0,0501	0,0082	0,0299
Май	-0,0115		0,0166	-0,0325	-0,0392	0,0130	0,0230
Июнь	-0,0094		-0,0223	-0,0031	0,0028	0,0130	-0,0036
Июль	-0,0115		0,0207	-0,0316	-0,0236	0,0262	0,0238
Август	0,0190	0,0264	0,0096	-0,0255	-0,0198	0,0280	0,0216
Сентябрь	-0,0188	0,0062	0,0207	-0,0511	-0,0634	0,0655	0,0246
Октябрь	-0,0248	-0,0481	-0,0082	-0,0218	-0,0237	0,0058	-0,0114
Ноябрь	-0,0227	-0,0149	-0,0150	-0,0217	-0,0277	0,0151	0,0158
Декабрь	-0,0144	-0,0219	-0,0068	-0,0321	-0,0263	0,0069	0,0201

Для детального изучения изменения градиента температуры в обводнённом интервале пьезометрических скважин были выбраны пьезометры П-31 и П-33. График изменения температуры в обводнённом интервале пьезометрической скважины П-31 в период половодья (август, 2011г.) и в меженный период (декабрь, 2011г.) приведены на рисунке 3.5.



**Рисунок 3.5.** - График изменения температуры в обводнённой части пьезометрической скважины П-31

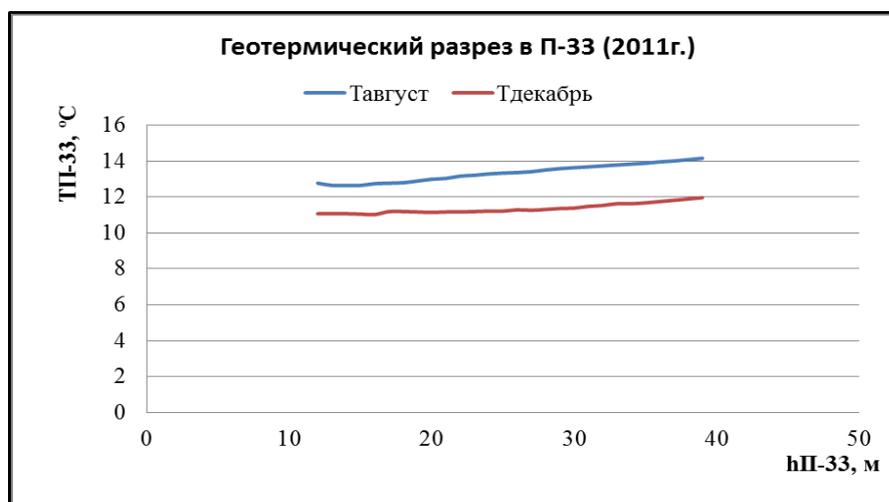
Поскольку шаг измерения распределения температуры по пьезометрическим скважинам составляет 1 метр, то вычисление диапазона изменения градиента температуры по пьезометру П-31 произведено с шагом 1 метр (рисунок 3.6.).



**Рисунок 3.6.** - График изменения градиента температуры в обводнённой части пьезометрической скважины П-27

Установлено (рисунок 3.6), что диапазон изменения градиента температуры находится в пределах от -0,03 до 0,17. Причём сильное изменение градиента температуры происходит на глубине от 13 метров до 22 метров. Это связано с влиянием теплообмена с воздушной частью пьезометра.

Для достоверности результатов исследований осуществлен анализ графика (рисунок 3.7.) изменения температуры в обводнённом интервале пьезометрической скважины П-33 в период половодья (август, 2011г.) и в меженный период (декабрь, 2011г.).



**Рисунок 3.7.** - График изменения температуры в обводнённой части пьезометрической скважины П-33

Результаты вычислений диапазона изменения градиента температуры по пьезометру П-33 произведенного с шагом 1 метр, приведены на рисунке 3.8. Анализ полученных результатов (Рисунок 3.8.) позволил установить, что диапазон изменения градиента температуры находится в пределах от -0,12 до 0,17. Причём сильное изменение градиента температуры происходит на глубине от 13 метров до 22 метров. Мы считаем, что оно связано с влиянием теплообмена с воздушной частью пьезометра.



**Рисунок 3.8.** - График изменения градиента температуры в обводнённой части пьезометрической скважине П-27

Таким образом, установлено, что причинами изменения градиента температуры являются:

- асинхронный съём информации по стволу пьезометрических скважин (от пьезометра к пьезометру по времени);
- особенность горного массива связанного с трещиноватостью и фильтрационной характеристикой массива;
- гидравлический режим;
- водовоздушное течение реки Вахш.

В науке, технике и экономике часто возникают ситуации связанные с выявлением наибольших и наименьших величин. Следовательно, для применения математических методов их решения и анализа, необходимо переходить от содержательной к математической постановке задачи [172], предопределяющая необходимость определения следующих параметров:

- целевая функцию  $f(x) : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ ;
- множество допустимых решений  $X \in \mathbb{R}^n$  (допустимое множество) для функции  $f(x)$ ;
- критерий оптимизации  $\text{extr} \in \{\min, \max\}$ .

Таким образом, тройка вида  $(f, X, \text{extr})$  задает экстремальную или оптимизационную задачу. Формально математическая постановка выглядит следующим образом [172]:

$$f(x) \rightarrow \text{extr}, x \in X \quad (3.6)$$

Задача оптимизации заключается в следующем: требуется найти  $x_0 \in X$  (если он существует), доставляющее экстремальное (минимальное или максимальное) значение целевой функции  $f(x)$  на множестве  $X$ , а именно для  $x_0$  должно выполняться одно из условий [172]:

$$\text{либо } f(x_0) \leq f(x) \text{ для всех } x \in X, \quad (3.7)$$

$$\text{либо } f(x_0) \geq f(x) \text{ для всех } x \in X. \quad (3.8)$$

Оптимизация функции одной переменной – наиболее простой тип оптимизационных задач. Но вместе с тем следует отметить, что данный метод занимает важное место в теории оптимизации, связанное с тем, что задачи однопараметрической оптимизации достаточно часто встречаются в инженерной практике и, кроме того, находят свое применение при реализации более сложных итеративных процедур многопараметрической оптимизации.

В связи с вышеизложенным рассмотрим следующую ситуацию. Пусть требуется найти минимум функции  $f(x)$  на некотором интервале  $[a, b]$ . Если о функции  $f(x)$  на этом интервале никакой дополнительной информации

неизвестно, то для поиска минимума на  $[a, b]$  можно применить простейший метод перебора, или, иначе, общего метода [173].

В этом методе интервал  $[a, b]$  делится на несколько равных частей с последующим вычислением значений функции в узлах полученной сетки. В качестве минимума принимается абсцисса с минимальным вычислением значения функции (рисунок 3.9) [173].

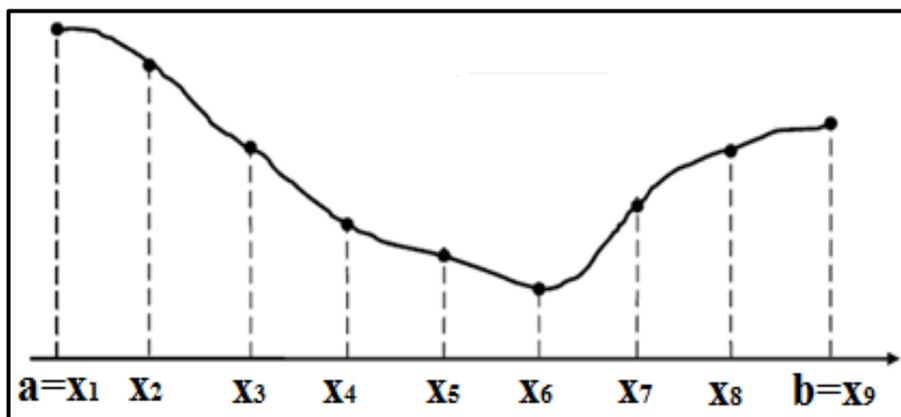


Рисунок 3.9. - Иллюстрация к методу общего поиска

Более эффективных методов можно достичь, при предположении, что исследуемая функция имеет в рассматриваемом интервале только один минимум. Более конкретно это предположение, что в интервале  $[a, b]$  имеется единственное значение  $x^*$  такое, что  $f(x^*)$  – минимум  $f(x)$  на  $[a, b]$  и что  $f(x)$  строго убывает для  $x \leq x^*$  и строго возрастает для  $x \geq x^*$ . Такая функция называется унимодальной [173].

При этом следует отметить, что унимодальная функция не обязательно должна быть гладкой или непрерывной.

Из предположения унимодальности следует, что для любых точек  $x_1, x_2$  интервала  $[a, b]$ , таких что  $x_1 < x_2 \leq x^*$  справедливо  $f(x_2) < f(x_1)$ . Аналогично, если  $x^* \leq x_1 < x_2$ , то  $f(x_2) > f(x_1)$ . Обратно, если  $x_1 < x_2$  и  $f(x_1) > f(x_2)$ , то  $x_1 \leq x^* \leq b$ , а если  $f(x_1) < f(x_2)$ , то  $a \leq x^* \leq x_2$  [173].

Распределение температуры  $T$  по пьезометрическим скважинам (рисунки 3.3 и 3.4) как функция  $f(T)$  имеет один минимум и является унимодальным. Минимальное значение температуры определяется температурой теплоносителя (воды).

Применяя выше изложенное к определению градиента температуры согласно формуле 3.5 определяем вид математически итерационной модели поиска минимальной точки функции на основе общего метода оптимизационного поиска, следующего вида

$$\Gamma_i = \frac{T_{i+1} - T_i}{h_{i+1} - h_i} \quad (3.9)$$

где,  $\Gamma$  – температурный градиент или изменение температур  $T_2$  и  $T_1$  на глубинах  $h_2$  и  $h_1$  (ось  $h$  направлена вниз по нормали к поверхности).

Поскольку функция  $\Gamma$  отличается от функции  $f(T)$  в зависимости от внешних воздействия может принимать функцию степенного характера, то  $\Gamma_i$  возведём в квадрат

$$(\Gamma_i)^2 \xrightarrow{\min} 0 \quad (3.10)$$

тогда функция  $(\Gamma_i)^2$  становится унимодальным, минимум которого стремится к нулю.

Таким образом, результирующим итогом является то, что на основе формул 3.9 и 3.10 составляется алгоритм работы модели (рисунок 3.10).

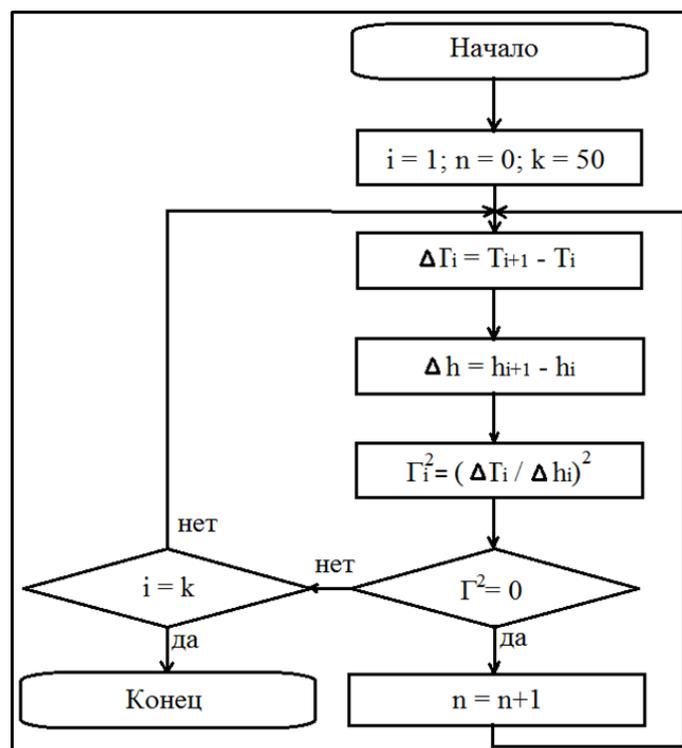


Рисунок 3.10. - Алгоритм оптимального поиска минимума функции

## **3.2. Совершенствование способов применения тепломеров для исследования путей сосредоточенной фильтрации в основании плотины.**

### **Научно-практические основы конструирования и изготовления**

#### **3.2.1. Анализ и оценка изменения диапазона геотемпературного поля в зоне залегания пласта соли. Специальный диапазон тепломера**

Основным критерием требований при разработке тепломера и повышения степени точности измерений безусловно является определение специального диапазона его функционирования. Для реализации вышеизложенной задачи были обработаны данные температурных измерений проведённых на участке солевой завесы основания плотины Рогунской ГЭС в 1990-91 гг. При этом было выполнено 10 циклов режимных геотермических наблюдений по 12 створам и 28 пьезометрам для определения изменения геотемпературного поля.

Анализ и обработка полученных данных была произведена по следующим пьезометрам: цикл 5, 14 - по 14 пьезометрам; цикл 6 - по 13 пьезометрам; цикл 7 - по 15 пьезометрам; цикл 8, 9 - по 17 пьезометрам; цикл 10 - по 16 пьезометрам; цикл 11,12, 13 - по 12 пьезометрам.

Следует отметить, что при обработке материалов геотермических исследований ствол каждого пьезометра условно был разбит на два интервала: воздушно - сухой и обводненный. В этих интервалах был определен диапазон изменения температур ( $T_{\text{мин}} \div T_{\text{макс}}$ ). Результаты исследований приведены в таблицах 3.3 и 3.4.

В воздушно - сухом интервале, в пьезометрических скважинах минимальное значение температуры составляло - 14.3 °С. При этом установлены следующие показатели: в П-15<sup>а</sup> в 9 цикле ( $T_{\text{мин}} = -14.3$  °С) при максимальном значении температуры -30 °С; по П-18(П-19) в 5, 14 цикле и в П-29<sup>а</sup> в 5 цикле ( $T_{\text{макс}} = 30$  °С).

**Таблица 3.3. - Результаты геотермических исследований (1990-91гг.)**

№ створа	№ пьезометра	Интервал измерения	Температура, °С				
			Цикл 5 **.08.90	Цикл 6 18.10.90 23.10.90	Цикл 7 29.10.90 05.11.90	Цикл 8 12.11.90 14.11.90	Цикл 9 11.01.91 13.01.91
2	П-14	Воз.-сухой	18-29	9.9-15.1	9.6-19.3	6.0-12.7	-12.4÷5.5
		Обводнён.	14.5-15	13.5-14	12.8-14	12.9-16	11.9-13.6
	П-15	Воз.-сухой	20.5-27		9.9-15.6	8.0-12.7	-12.5÷10.7
		Обводнён.	13-15		11.8-13.7	13.5-15.7	11.3-13.1
	П-15 <sup>а</sup>	Воз.-сухой	18-28	7.7-13.7	11.5-16.4	12.9-14	-14.3÷0.7
Обводнён.		13-14.5	11.2-12.7	11.2-12.6	11.3-15	9.5-11.7	
1	П-17 <sup>а</sup>	Воз.-сухой		10.2-15.5	14.5-16.9	7.3-14.8	-14.2÷12.7
		Обводнён.		13.7-14.0	13.5-13.8	13.7-14.3	13.3-13.4
3	П-18 (П-19)	Воз.-сухой	22-30		13.8-16.2	10.5-14.5	-11.9÷10.5
		Обводнён.	13.5-15		12.8-14.5	15-16.6	11.6-13.3
	П-19 <sup>а</sup>	Воз.-сухой	22-27	9.7-16.6	13-16.6	11.9-16.6	-13.9÷9.8
		Обводнён.	11.0-14.5	10.3-13.8	10.5-14.6	11-16.6	10.5-13.5
	П-19 <sup>б</sup>	Воз.-сухой	22.5-27.5	8.1-14.5	10.6-14.7	10.9-16.0	-8.3÷4.6
		Обводнён.	13-14.5	10.6-13.8	10.4-14	13.2-16.7	9.3-13.3
4	П-20	Воз.-сухой	18-29.5	14-18.3	8.8-16.1	13.1-17.1	-9.9÷6.0
		Обводнён.	14.5-16	12.6-14	13.5-17.5	13.4-17.1	11.4-13.3
	П-21	Воз.-сухой	20-29.0	11.9-17.5	8.8-17.1	15.3-16.4	-2.5÷7.2
		Обводнён.	12.7-15	13.2-14.7	14.3-17.0	14.7-17.0	11.2-13.8

**Таблица 3.3 (продолжение). - Результаты геотермических исследований (1990-91гг.)**

№ створа	№ пьезометра	Интервал измерения	Температура, °С				
			Цикл 5 **.08.90	Цикл 6 18.10.90 23.10.90	Цикл 7 29.10.90 05.11.90	Цикл 8 12.11.90 14.11.90	Цикл 9 11.01.91 13.01.91
4	П-21 <sup>а</sup>	Воз.-сухой	23-35	14.5-17.8	8.1-13.5	15.3-17.1	-7.2÷4.4
		Обводнён.	13.5-15.5	12.5-14.5	13.3-17.1	15.6-16.9	10.7-13.8
6	П-25	Воз.-сухой	20-27	9.5-14.3	15.8-16.8	9.0-11.4	0.4-2.8
		Обводнён.	15-16	14.1-15.0	14.6-15.0	15.7-16.5	11.7-13.6
	П-25 <sup>а</sup>	Воз.-сухой	20-27	12.1-16.4		8.8-12.3	5.1-6.8
		Обводнён.	14.5-16.5	13.8-14.4		14.5-16.1	13.2-13.4
7	П-27	Воз.-сухой	18-30		13.7-15.0	12.4-13.1	-3.6÷1.6
		Обводнён.	13.5-14.0		13.6-14.8	13.1-16.0	11.1-13.3
8	П-29	Воз.-сухой	19-29.5			7.0-12.0	-4.1÷-3.3
		Обводнён.	13.5-14.0			13.2-16.6	8.9-13.7
	П-29 <sup>а</sup>	Воз.-сухой	21-30	13.4-15.7	14.2-19.4	7.6-13.7	-8.7÷12.8
		Обводнён.	13.5-16	15.9	14.2-14.5	15-15.7	13.0-13.3
9	П-30	Воз.-сухой	18.5-29.5	13.3-15.9	12.5-15.4	8.9-15.5	-6.9÷6.7
		Обводнён.	13.5-15	13.2-14.2	13.7-14.8	15.7-16.7	11.5-13.6
6 <sup>а</sup>	П-37	Воз.-сухой	20-28	10.4-14.8	16.5-17.4	12.8-16.1	-4.6÷1.9
		Обводнён.	13.5-16	13.7-14.5	14.6-15.4	16.1-16.2	12.6-13.9

**Таблица 3.4. - Результаты геотермических исследований (1990-91гг.)**

№ створа	№ пьезометра	Интервал измерения	Температура, °С				
			Цикл 10 17.01.91 18.01.91	Цикл 11 25.03.91 23.04.91	Цикл 12 24.05.91 31.05.91	Цикл 13 03.06.91 09.06.91	Цикл 14 25.07.91 27.07.91
2	П-14	Воз.-сухой	-10.9÷4.7	14.5-12.2	24-14	25.4-15.4	25-17.2
		Обводнён.	12.1-13.6	12-12.6	12.5-11.5	12.7-11.8	15-13.8
	П-15	Воз.-сухой	-11.4÷-1.1	20-13.2	23-16	25-16.4	29-18
		Обводнён.	8.8-12.8	12.8-12	13-11.8	12.7-11.8	15-13.8
	П-15 <sup>a</sup>	Воз.-сухой	-4.9÷4.6	13.5-12.2	23.5-15.7	25.4-15.4	25-17.2
		Обводнён.	9.7-12.0	12.5-13	13-12.2	12.6-12.2	15-13.6
1	П-17 <sup>a</sup>	Воз.-сухой	-9.9-13.3				
		Обводнён.	13.5-13.4				
3	П-18 (П-19)	Воз.-сухой	-10÷10.2	18-14.5	25-15	24-13.8	30-19
		Обводнён.	11.4-13.3	12.5-13	12.8-12	12.5-12	16-14.2
	П-19 <sup>a</sup>	Воз.-сухой	-8.2÷3.5				
		Обводнён.	8.5-13.5				
	П-19 <sup>б</sup>	Воз.-сухой	-7.8÷-0.6	21-15	25-16	23.6-15.6	24-18
		Обводнён.	8.8-13.3	12.5-13	12.8-11.5	12.6-11.6	15-13.8
4	П-20	Воз.-сухой	-3.1÷10.2	12.6-12	24.8-15.2	24.8-14.6	25-17.7
		Обводнён.	11.8-13.3	11.5-11.6	13-11.5	13-11.5	15.5-14
	П-21	Воз.-сухой	-2.7÷5.8				27.5-19
		Обводнён.	11.0-13.6				16-14

**Таблица 3.4 (продолжение). - Результаты геотермических исследований (1990-91гг.)**

№ створа	№ пьезометра	Интервал измерения	Температура, °С				
			Цикл 10 17.01.91 18.01.91	Цикл 11 25.03.91 23.04.91	Цикл 12 24.05.91 31.05.91	Цикл 13 03.06.91 09.06.91	Цикл 14 25.07.91 27.07.91
4	П-21 <sup>a</sup>	Воз.-сухой	-7.4÷5.9		24.5-17.2	26-17	24-18.2
		Обводнён.	10.2-13.3		12.7-11.4	12.5-11.5	15.5-14
6	П-25	Воз.-сухой	7.1-7.4	14.5-12.5	26-18.1	26.4-18.1	25.6-20.1
		Обводнён.	13.1-13.6	12.4-11	13.7-11.3	12.8-11.4	16.7-15.2
	П-25 <sup>a</sup>	Воз.-сухой	0.5-3.5	17-14	25.8-18.6	26.4-17.4	26-20.4
		Обводнён.	13.7-14.2	12.4-14	14-11.8	12.8-11.4	16.8-15
7	П-27	Воз.-сухой	-4.3÷4.7	16-12.5			28-20.3
		Обводнён.	11.4-13.3	11.8-12			15.8-15.3
8	П-29	Воз.-сухой	-1.5÷8.2	13.7-12.7	28-15.5	28-16.8	28.3-20.3
		Обводнён.	11.7-13.6	12.1-11.4	12.8-11.8	13-11.8	16.8-15.3
	П-29 <sup>a</sup>	Воз.-сухой	-4.1÷11.0				
		Обводнён.	11.1-13.3				
9	П-30	Воз.-сухой	-2.8÷7.1	14.3-12.6	25-14.6	26.4-14.8	28.5-19.6
		Обводнён.	11.7-13.6	12.2-10.8	12.4-11.6	12.5-11.8	16.2-15
6 <sup>a</sup>	П-37	Воз.-сухой		18-16.5	26.4-19.5	27.3-19.9	28.4-22
		Обводнён.		11.8-11	13.7-11.4	12.8-11.5	16.4-15.2

В обводненных частях пьезометрических скважин минимальное значение температуры равное 8,5 °С обнаружено в П-29<sup>а</sup> в 10 цикле ( $T_{\text{мин}} = 8,5 \text{ °С}$ ), максимальное значение температуры равное 17,5 °С обнаружено в П-20 в 7 цикле ( $T_{\text{макс}} = 17,5 \text{ °С}$ ).

Таким образом, диапазон изменения температуры в обводнённых частях пьезометрических скважин во всех выше приведенных циклах следующий:

$$T_{\text{мин}} = 8,5 \text{ °С}, T_{\text{макс}} = 30 \text{ °С}.$$

Для более точного определения диапазона измерения температуры подготовки требований к разрабатываемому тепломеру были обработаны данные геотермических исследований проведенные в 2011 году (Прил. 1).

Термометрические исследования в скважинах пьезометрической сети выполнялись с помощью переносной аппаратуры (рис. 2.5), включающий в себе скважинные преобразователи температуры - измерительные струнные типа ПТС-60, предназначенные для измерения температуры в элементах гидротехнических сооружений и измерительного прибора для снятия показаний преобразователя типа ПЦП-1 (специализированный портативный цифровой периодомер) [61-А, 65-А].

На участке солевого пласта левого берега реки Вахш были выполнены режимные температурные наблюдения по 12 створам с помощью переносной аппаратуры ПЦП-1 с зондом ПТС-60. Общее количество пьезометров, задействованных в исследованиях - 29. Из них в 11 пьезометрах, по техническим причинам, исследования провести не удалось. Всего за 2011 год проведено 39 циклов термокаротажных исследований. Схема расположения створов и местоположение пьезометров приведены на рис.3.11.

Таблицы замера температуры воды и графики изменения температуры в пьезометрических скважинах приведены в таблице 3.5.

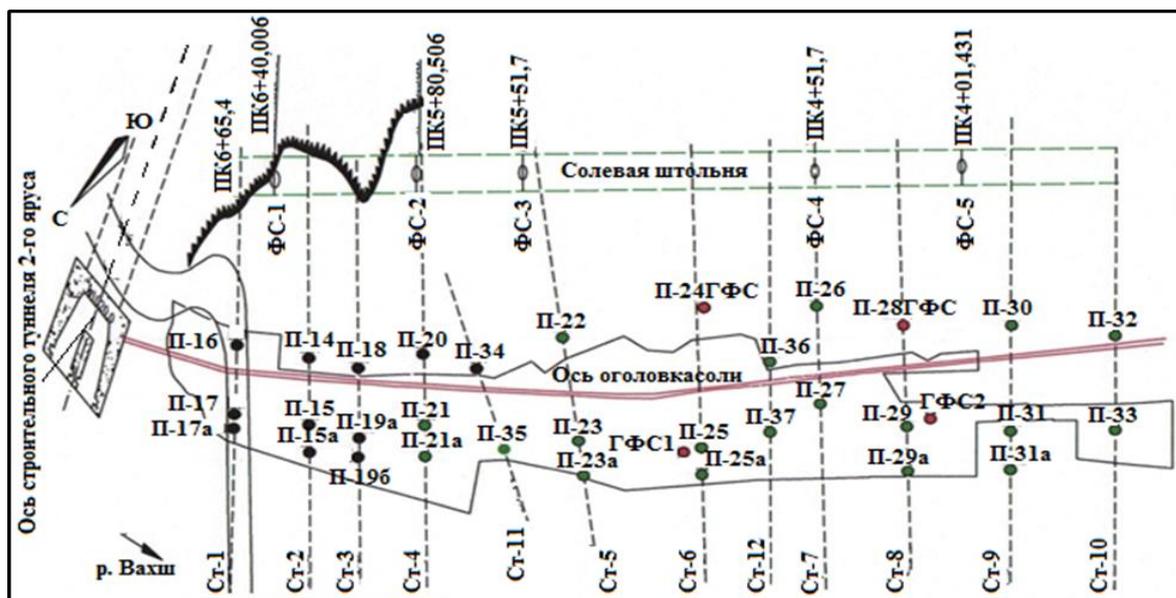


Рисунок 3.11. - План расположения пьезометрических скважин на участке левого берега солевого пласта р. Вахш

Таблица 3.5. - Результаты геотермических исследований (2011г.)

№ пьезо-метра	Температура, °С			
	Февраль	Июль	Август	Декабрь
П-23	6,284-14,264	19,328-13,988	20,357-12,292	6,687-12,954
П-23/a	4,085-14,264	21,207-13,243	29,743-12,627	7,003-12,971
П-25	3,804-14,919	27,463-14,767	25,693-15,294	3,204-14,113
П-25/a	3,012-13,988	30,052-13,664	28,128-13,095	2,588-12,701
П-26	8,905-15,325	25,927-13,466	26,368-15,096	7,093-13,515
П-27	2,398-14,465	30,734-13,764	23,303-15,122	-0,548÷14,013
П-29	2,230-13,889	27,020-13,615	22,739-12,334	8,050-12,163
П-29/a	3,546-13,317	23,332-12,652	28,430-14,214	-1,348÷12,897
П-30	3,934-13,540	18-552-12,480	25,869-13,466	8,464-12,848
П-31	4,606-13,441	23,077-13,292	23,190-14,239	7,661-12,603
П-31/a	1,373-13,342	20,384-12,066	21,097-13,416	2,651-12,652
П-32	1,957-13,739	24,792-13,640	30,890-14,793	4,584-13,095
П-33	3,225-12,529	25,605-10,837	22,795-12,652	1,145-11,969
П-35	5,683-14,088	22,402-13,466	30,360-14,490	7,433-13,144
П-36	3,998-15,249	31,423-14,540	31,612-13,615	3,890-13,540
П-37	4,410-14,793	16,170-14,038	25,343-14,742	3,718-13,441

Таким образом, предел изменения температуры во всех выше приведенных циклах следующий:

$$T_{\text{мин}} = -14.3 \text{ } ^\circ\text{C}, T_{\text{макс}} = 31.612 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

С учетом проведенных исследований в 1990-1991 г.г. и 2011 году предел изменения температуры в обводнённой части пьезометрических скважин составляет:

$$T_{\text{мин}} = 2,9 \text{ }^{\circ}\text{C}, T_{\text{макс}} = 17,5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

С учётом выявленного диапазона измерения температуры в обводнённой части пьезометрических скважин и повышения точности разрабатываемого двухканального тепломера рекомендуется ограничить диапазон измерений от 8°С до 25 °С.

### **3.2.2. Расчёт степени точности, база измерения и конструктивные особенности тепломера**

**Тепловой режим** Земли складывается из двух видов: внешней теплоты, получаемой в виде солнечной радиации, и внутренней, зарождающейся в недрах планеты.

Солнце дает Земле огромное количество тепловой энергии, измеряемой цифрой  $5,4 \cdot 10^{31}$  эрг, или  $1,29 \cdot 10^{24}$  кал. Разные участки земного шара получают неодинаковое количество тепловой энергии: области, расположенные ближе к экватору, - больше, а области, расположенные ближе к полюсам, - меньше [174].

Солнечная энергия определяет все геологические процессы, протекающие на поверхности земного шара, вызывает движение воздушных масс и определяет круговорот воды в природе и она обычно проникает на небольшую глубину в толщу земной коры. При этом, с углублением в недра Земли увеличивается роль внутренней энергии. На некоторой глубине от поверхности Земли располагается пояс постоянной температуры, где не наблюдается ее изменение в течение суточных и сезонных колебаний, происходящих на поверхности планеты. Здесь находится уровень постоянной температуры, соответствующий среднегодовой температуре данной местности [174].

В разных районах земного шара пояс располагается на различных глубинах. В некоторых местах он отмечается всего на глубине 1-2 м от поверхности Земли (на экваторе), в других - ниже 40 м, в Москве - на глубине около 20 м. В Париже термометр, установленный на глубине 27,6 м, уже в течение более 100 лет показывает все время одну и ту же температуру: +11,85 °С [174].

Ниже пояса постоянных температур отмечается закономерное повышение температуры, что зависит от теплоты, поступающей из недр Земли.

Следует отметить, что в разных районах земного шара температура измерялась в буровых скважинах и шахтах нередко на больших глубинах. Так, в шахте, в Трансваале, в Африке, на глубине 2289 м выявлена температура равная 40 °С, в США в шахте, где добывалось золото, в забое на глубине менее 2000 м она достигла 46 °С, что заставило прекратить работы [174]. В Кольской сверхглубинной скважине, например, где температуры горных пород непосредственно измерялись до глубин 11 км и где они достигают +200 °С, ГС равно 19–20 м [175].

Данные по замеру температуры в глубоких буровых скважинах показали, что нарастание ее в различных районах происходит по-разному. Например: в Москве на глубине 1630 м температура составила 41 °С, а в Ташкенте на глубине 900 м - 55 °С. В некоторых скважинах, достигающих 3 км и более, температура составляет более 100 °С, а в США на глубине более 4 км температура достигла 250 °С. Для качественной и количественной характеристик поступающей из глубин Земли теплоты принято пользоваться двумя величинами: геотермическим градиентом и геотермической ступенью [174].

**Геотермический градиент** - это величина повышения температуры в градусах Цельсия на единицу углубления.

Раньше полагали, что за среднюю величину геотермического градиента следует считать 3 °С на каждые 100 м погружения, однако данные

непосредственных измерений в разных странах показали, что величина его может колебаться в широких пределах -- от 5 до 148 °С на 1 км или от 0,5 до 15 °С на 100 м [174].

**Геотермическая ступень** - расстояние, на которое надо углубиться, чтобы температура повысилась на 1 °С. Геотермическая ступень также может колебаться в довольно широких пределах. Так, в США, по данным Б. Гутенберга, минимальное значение геотермической ступени составляет 6,7 м (штат Орегон), максимальное - 137,8 м (отмечено для штата Алабама) [174].

В бывшем СССР величина геотермической ступени изменялась от нескольких метров до 30 - 40 м в районах с горизонтально залегающими горными породами и до 150 м- в районах с развитием метаморфических и магматических пород [174].

Величины геотермического градиента и геотермической ступени зависят от теплопроводности пород, геологического строения местности и ряда других причин. Знание этих величин имеет большое практическое значение. В связи с проходкой глубоких шахт (до 1 - 3 км) необходимо заранее знать, какие температуры следует ожидать на проектируемой глубине [174].

В настоящее время доступными для измерения температуры являются глубины порядка 6 - 8 км, где повышение температуры происходит более или менее закономерно. Если предположить, что она нарастает по тем же законам, что и в поверхностных зонах ниже пояса постоянных температур, то даже при минимальном геотермическом градиенте, в центре нашей планеты она должна достигать 46000 °С. В таких условиях не могла бы существовать твердая оболочка Земли - земная кора. О температуре глубинных зон Земли можно судить по лавам, изливающимся из вулканов [174].

Например: температура лав Везувия колеблется в пределах 1100 - 1200 °С, вулкана Этна – 1060 - 1300 °С, Ошима – 1200 - 1300 °С, вулкана Ключевского - 1200 °С. При движении магмы через земную кору происходит ее охлаждение, поэтому температура магматических очагов выше и, по-

видимому, составляет около 1500 °С. Согласно расчетным данным, температура в ядре нашей планеты составляет несколько тысяч градусов Цельсия и, очевидно, не превышает 3000-4000 °С [174].

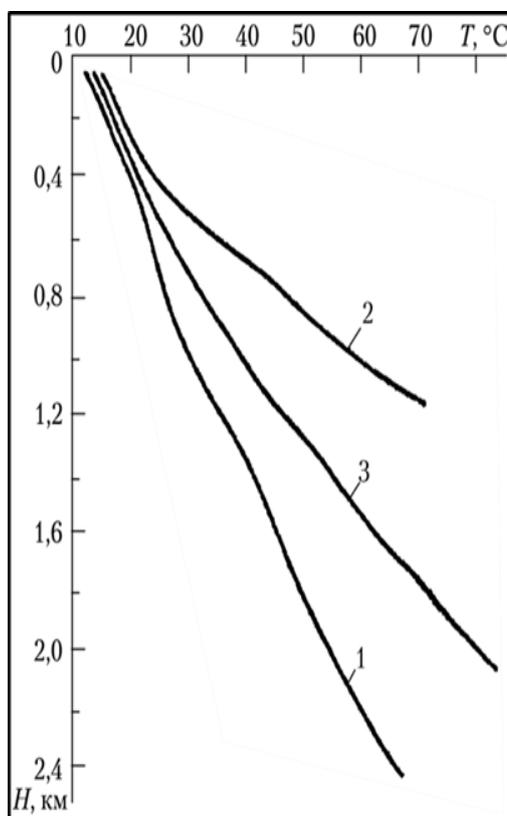
Основным параметром теплового поля является температура ( $T$  в °С), измеряемая в шпурах, скважинах, горных выработках, донных осадках, т. е. в зонах наименьшего влияния вариаций теплового поля за счет солнечной активности. В результате выявляются термические аномалии, т. е. разности наблюдаемых и фоновых значений. Фоновые температуры непостоянны в пространстве вследствие изменений температур на разных глубинах из-за изменений теплогенерации и теплопередачи. К расчетным параметрам относятся вертикальные градиенты температур ( $\Delta T/\Delta H$ ) в интервалах глубин ( $\Delta H$ ) ниже нейтрального слоя [175].

На рисунке 3.12 приведены кривые  $T^\circ(H)$  по трем скважинам в ряде районов Украины и Северного Кавказа. По ним можно рассчитать геотермическую ступень (в м/°С). Она меняется в пределах глубин 1 - 2 км следующим образом: на Украинском щите – 67-100, в Краснодарском крае – 22-50, в Ставропольском крае – 15-31 [175].

По известным градиентам температур ( $\Delta T/\Delta H$ ) и теплопроводностям горных пород ( $\lambda_T$ ) рассчитываются плотности тепловых потоков ( $q \approx -\lambda_T \Delta T/\Delta H$ ), в том числе среднее ( $q_{cp} = \lambda_{Tcp} \Gamma$ ). По аномалиям ( $T$ ,  $\Delta T$ ,  $\Gamma$ ,  $q_{cp}$ ) теплового поля выявляются территории с повышенными температурами на глубине («тепловые котлы»), из-за особенностей геологического строения и размещения полезных ископаемых, включая наличие термальных вод, а иногда и нефтегазонасыщенных слоев [175].

Для определения степени точности разрабатываемого тепломера и его базы измерения принимаем диапазон геотермического градиента на основании вышеприведенных обзоров от 5 до 148°С на 1 км. Далее рассчитываем геотермический градиент  $\Delta T_{min}$  и  $\Delta T_{max}$  уменьшая базу

измерения  $\Delta H$ . Находим оптимальный вариант точности и базу измерения разрабатываемого тепломера. Расчёт степени точности и базы измерения тепломера приведены в таблице 3.6



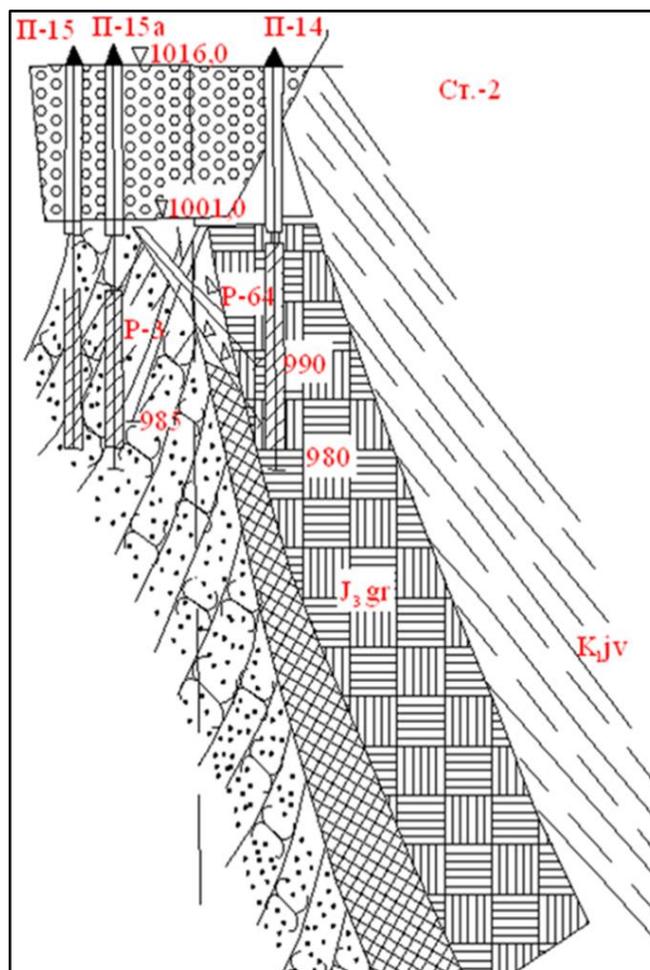
**Рисунок 3.12.** - Графики распределения температур по скважинам в ряде районов Украины и Северного Кавказа: 1 - Украинский щит; 2 - Ставропольский край; 3 - Краснодарский край (по данным Е. А. Любимовой)

**Таблица 3.6.** - Расчёт степени точности и базы измерения тепломера

$\Delta H, \text{ м}$	$\Delta T_{\min}, ^\circ\text{C}$	$\Delta T_{\max}, ^\circ\text{C}$
1 км	5	148
100 м	0,5	15
10 м	0,05	1,5
1 м	0,005	0,15
0,5 м	0,0025	0,075
<b>0,2 м</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,03</b>

Расчёты показывают, что при принятии базы измерения равной 20 см, точность тепломера составляет 1/1000, что позволяет высоту зонда тепломера принять равной 20 см. Рекомендуемая высота позволяет зонду тепломера свободно погружаться в пьезометрические скважины проходя возможные их кривизны, поскольку не всегда удаётся пробурить скважину идеально прямой.

С целью уточнения диаметра зонда нами изучены конструктивные особенности пьезометрической наблюдательной сети созданной в левобережной зоне солевого пласта в основании плотины Рогунской ГЭС. Пример геологического разреза установленных пьезометров по створу №2 приведен на рисунке 3.13.



**Рисунок 3.13.** - Геологический разрез установленных пьезометров на створе №2

Вся пьезометрическая сеть состоит из стальной трубы диаметром 72 мм. В конце забоя стальные трубы перфорированны (зона фильтрации) для обеспечения наблюдения за геотемпературным и гидрогеохимическим режимом.

С целью свободного прохождения зонда по пьезометрическим скважинам и возможностей современной микроэлектроники диаметр погружного зонда принимаем равным 20 мм.

С учётом определения диапазона изменения температуры в обводнённом интервале пьезометрических скважин и проведённых расчётах по определению точности и конструктивных особенностей двухканального тепломера составлено требование к разрабатываемому тепломеру, параметры которого приведены в таблице 3.7.

**Таблица 3.7.** - Требования к техническим характеристикам двухканального тепломера

№ п/п	Наименование параметров	Значение параметров
1	Диапазон измеряемых температур	8-25 °С
2	База, расстояние между термодатчиками	20 мм
3	Точность	0,001 °С
4	Диаметр погружного зонда	20 мм
5	Высота погружного зонда	240 мм

### **3.2.3. Назначение и состав тепломера. Конструкция погружного зонда**

Термометр-тепломер предназначен для высокоточного измерения температуры и тепловых потоков в "сухих" инженерно-геологических скважинах, или заполненных водой [176 – 182, 18-А, 19-А, 68-А, 69-А, 71-А].

Этот прибор позволяет использовать только один двухканальный зонд, резко повысить производительность термометрии "сухих" скважин, увеличить точность регистрации температуры, измерять температуру в любой интересующей точке, создать необходимые условия сканирования всей скважины, или наблюдение процессов фильтрации подземных вод на любой выбранной глубине [180 - 182]. Ранее приходилось использовать связку ртутных или иных термометров, с большим периодом ожидания установившихся режимов. Зонд термометра связан с регистратором беспроводным интерфейсом, что значительно ускоряет производительность полевых работ.

В качестве регистратора используется любой Виндовс (Windows) совместимый компьютер с прикладным программным обеспечением в комплекте прибора. Внутри программного обеспечения также имеются программные средства калибровки, обработки и накопления данных, графическая оболочка с поддержкой формата джипег (jpg) для отчетов.

Благодаря особой конструкции зонда предложенной автором удается избежать влияния зондирования на установившийся температурный режим скважины в процессе сканирования.

Конструкция также обеспечивает малую постоянную времени термодатчиков в сочетании с механической защищенностью. Дифференциальная чувствительность прибора позволяет уверенно обнаруживать перепады (градиент) температур в водной среде на уровне  $0,00010\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{см}$ .

Конструкция термометра-тепломера позволяет измерять вертикальные тепловые потоки исходя из найденного градиента  $dT/dz$ . Кроме числовых данных, в процессе измерений строится «онлайн» термограмма, которая позволяет оператору сразу обнаружить возможные температурные аномалии [183, 184].

В связи с этим изменяется методика проведения термометрии водных скважин. Вместо заливки таких скважин горячей водой и наблюдения затем скорости процессов остывания, появляется возможность пассивного построения высокоточного профиля скважины с высоким разрешением по глубине и температуре. Это дает возможность уверенного определения зон вероятной фильтрации подземных вод.

Основные технические характеристики термометра приведены в таблице 3.8.

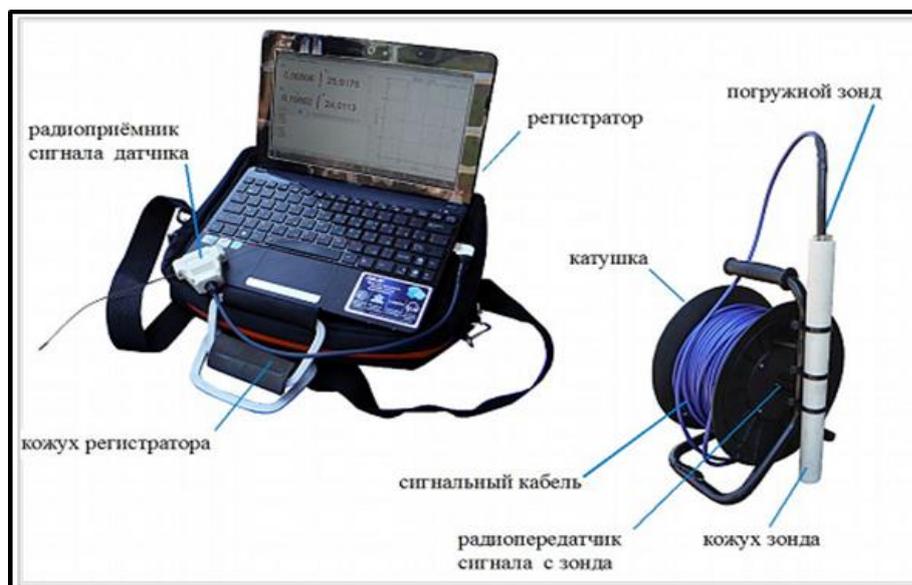
**Комплектация термометра.** Термометр состоит из следующих частей (рисунок 3.14):

1 - погружной зонд, 2 - сигнальный кабель, 3 - катушка для намотки кабеля, 4 - кожух для хранения погружного зонда, совмещённый с катушкой,

5 - радиопередатчик сигнала с погружного зонда, встроенного в катушку, 6 - регистратор, 7 - радиоприёмник сигнала с погружного зонда.

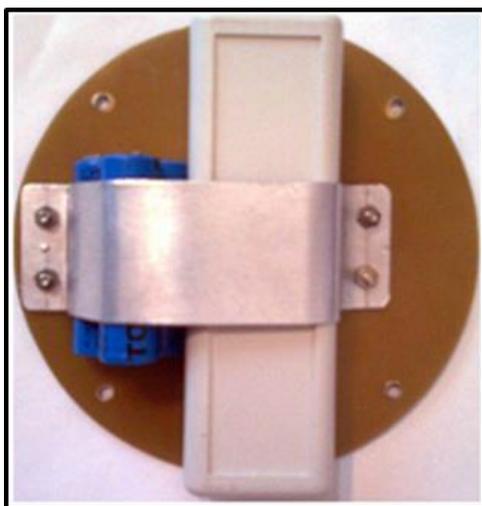
**Таблица 3.8.** - Основные технические характеристики термометра

№ п/п	Наименование параметров	Значение параметров
1	Диапазон измеряемых температур	8-25 °С
2	Количество каналов измерения	2
3	База, расстояние между термодатчиками	180 мм
4	Наихудшая точность	0,010 °С
5	Разрешающая способность	0,0010 °С
6	Долговременная стабильность	0,0050 °С/ год
7	Постоянная времени прибора с фильтром / без фильтра	1 секунда / 0,1 секунда
8	Период обновления данных	0,1 секунда
9	Дальность действия беспроводного интерфейса	50-100 м
10	Длина погружного кабеля	60 м
11	Диаметр погружного зонда	20 мм
12	Масса погружного зонда	920 г
13	Габариты погружного зонда	240x20x20 мм
14	Напряжение питания батареи	3-5 В
15	Срок службы внутренней батареи	1-3 года
16	Влаго и пылезащита измерителя	IP57



**Рисунок 3.14.** - Комплектация геотермометра - тепломер

Питается погружной зонд от трёх щелочных батареек формата АА размещённых также внутри катушки (рисунок 3.15).



**Рисунок 3.15.** - Расположение  
электронной части  
погружного зонда и элементов  
питания под боковой  
крышкой катушки

**Принцип работы.** Погружной зонд на кабеле погружается на требуемую глубину в исследуемую среду. Данные о температуре поступают на регистратор одновременно от двух термодатчиков размещённых на погружном зонде. От погружного зонда по сигнальному кабелю до радиопередатчика и далее по радиоканалу попадают на радиоприёмник подключённый к регистратору.

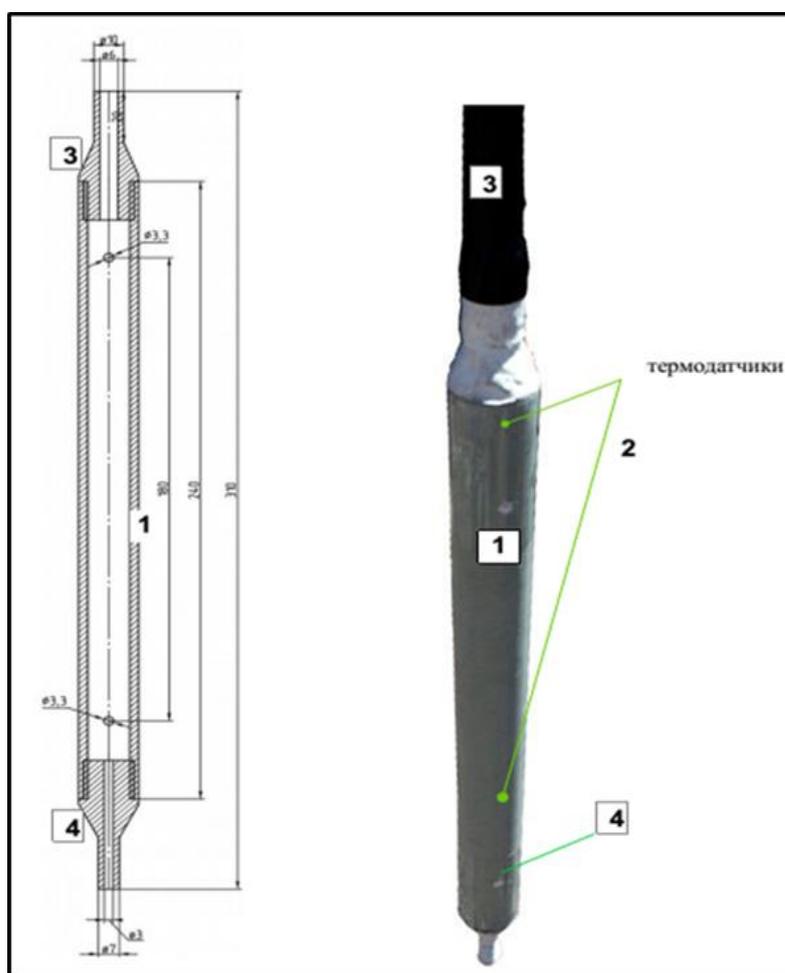
Специализированная программа запущенная на регистраторе отображает в графическом виде и сохраняет в файле полученные данные.

Для начала работы необходимо подключить разъём погружного зонда к регистратору, роль которого выполняет нетбук, включить нетбук, запустить программу кондуктометра и опустить погружной зонд на кабеле целиком в исследуемый раствор (зонд не должен касаться стенок и дна сосуда).

Данные с зонда — температура, исходные данные термодатчиков непрерывно выводятся на экран компьютера и при необходимости могут быть записаны в текстовый файл. Клавиша пробел используется для простановки меток глубины погружения зонда.

Для получения точных данных температура зонда и исследуемой жидкости должны сравняться, на что может потребоваться несколько минут.

**Конструкция погружного зонда.** Погружной зонд (рисунок 3.16) состоит из отрезка прочной пластиковой трубы 1, заглушенной с обоих концов стальными заглушками 3 и 4. Стальная заглушка 3 имеет сквозное отверстие для кабеля, заглушка 4 наглухо закрыта. В отрезок пластиковой трубы 2 помещены два термодатчика 2. Оба датчика залиты эпоксидной смолой с целью их гидроизоляции. Электронная часть погружного зонда расположена внутри катушки для намотки кабеля (рисунок 3.14).



**Рисунок 3.16.** - Погружной зонд: 1-отрезок пластиковой трубы, 2-термодатчики, 3-стальная заглушка, 4-заглушка

**Регистратор и радиомодуль.** Регистратор соединяется с зондом по радиоканалу через приёмный радиомодуль (рисунок 3.17) подключенный к USB порту компьютера. Чтобы радиомодуль заработал и начал принимать

сигналы с зонда, на компьютере должны быть установлены драйвер радиомодуля и специализированная программа термометра.



Рисунок 3.17. - Радиомодуль

Компьютер с подключённым радиомодулем изображен на рисунке 3.18. Зона действия радиомодуля составляет порядка 100 м при условии прямой видимости.



Рисунок 3.18. - Компьютер с подключённым радиомодулем: 1- компьютер–Нетбук, 2-радиомодуль, 3-антенна

**Приспособление для намотки кабеля и транспортировки.** Для связи погружного зонда с электронной частью и радиомодулем, который размещен

в катушке для намотки соединительного кабеля используется экранированный четырёхжильный кабель диаметром 6 мм.

Для хранения и переноски кабеля используется катушка изображенная на рисунке 3.19. В катушку укладывается до 60 м кабеля.



**Рисунок 3.19.** - Приспособление для транспортировки погружного зонда скреплением для зонда и ручкой для переноски

К основанию катушки крепится чехол погружного зонда. Внутри катушки расположена электроника зонда.

**Программное обеспечение Rogun termom.** Программа Rogun termom в реальном времени отображает на экране и по команде фиксирует в файл следующие параметры:

- температуру кондуктометрического датчика,
- глубину погружения зонда,
- исходные данные с зонда,
- комментарии к записываемым данным.

Изменения температуры также выводятся на экран в виде диаграммы которую можно масштабировать и экспортировать в файл.

Чтобы данные записывались в файл, необходимо, **установка специализированной программы Rogun termom**

Для установки требуется скопировать папку с программой на жесткий диск компьютера и установить драйвер радиомодуля.

**Запуск программы.** Запуск программы осуществляется с помощью ярлыка на рабочем столе или непосредственно с диска. С помощью приложения «Мой компьютер» потребуется найти в корневой директории одного из дисков компьютера папку Rogun\_Termom и запустить из неё исполняемый файл Rogun\_Termom.exe. При первом запуске программы из выпадающего списка нужно выбрать последовательный порт к которому подключён радиомодуль.

Назначение элементов основного окна программы приводится на рисунке 3.20.

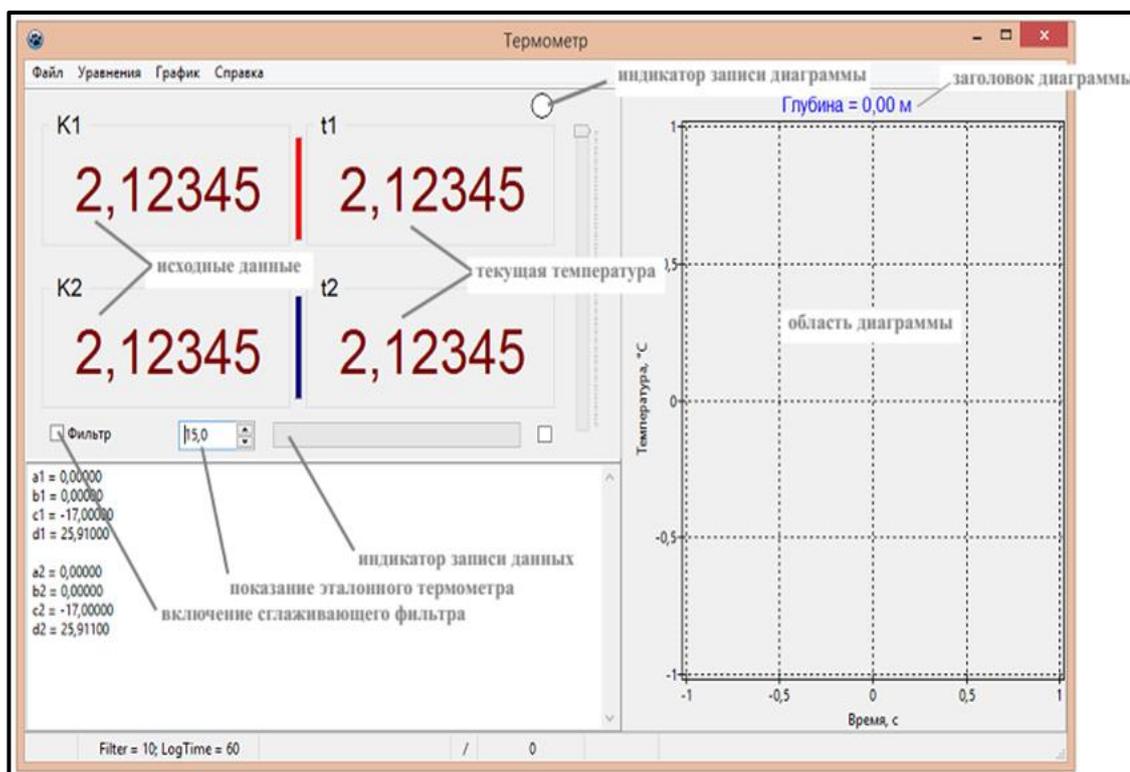


Рисунок 3.20. - Окно программы Rogun Termom

Сразу после запуска на экран программы выводятся текущая температура обоих термодатчиков и исходные данные по которым вычисляется температура. Запись данных в файл не происходит до тех пор пока не будет установлена галочка «Запись в log» в меню «Файл».

### 3.2.4. Уравнения температуры и методика калибровки термометра

Уравнения вычисления температуры используются программой для вычисления температуры раствора исходя из измеренного значения коэффициента К. В процессе калибровки термодатчиков для каждого температурного диапазона экспериментально определяется собственное уравнение. Границы температурного диапазона определяются необходимой степенью точности, чем уже диапазон, тем точность выше.

Примеры уравнений температуры.

$$y1\_00=0x^3+0x^2-17x+25,91//\text{Уравнение 1(8-12C)}$$

$$y1\_01=0x^3+0x^2-17x+25,91//\text{Уравнение 2(12-20C)}$$

$$y1\_02=0x^3+0x^2-17x+25,91//\text{Уравнение 3(20-25C)}$$

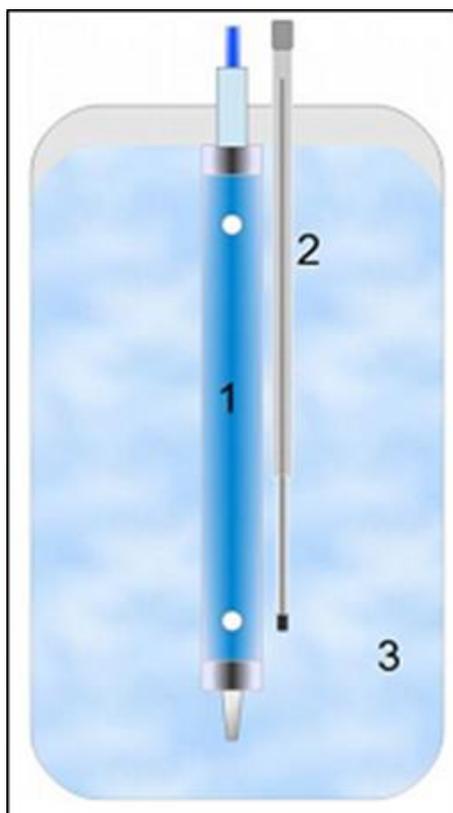
В общем случае уравнение описывается кубическим полиномом и можно вводить коэффициенты при  $x^3$  и  $x^2$ . Для узких диапазонов зависимость линейная, поэтому коэффициенты при  $x^3$  и  $x^2$  нулевые. Линейность уравнений упрощает калибровку и поверку.

Прибор может быть прокалиброван на изменение температуры в диапазоне от -20 до +50 °С. Для проведения калибровки требуется термостат и эталонный термометр типа ТР-1 исп 2, 4, 5, 6 завода Термоприбор для требуемого температурного диапазона с ценой деления 0,01 °С.

**Конструкция калибровочной ячейки.** Требования к измерительной ячейке минимальные. Она должна быть сделана из инертного прозрачного материала — пластика или стекла и иметь диаметр около 300 мм, зазор между термодатчиком, стенками и дном сосуда был не менее 20 мм.

В качестве измерительной ячейки была использована пятилитровая бесцветная пластиковая ёмкость наполненная водой. В воду целиком погружен зонд, рядом с зондом в измерительной ячейке располагается эталонный ртутный термометр.

Схема конструкции приведена на рисунке 3.21. Чтобы температура воды была одинаковой во всём объёме требуется постоянное перемешивание миниатюрной водяной помпой.



**Рисунок 3.21.** - Схема калибровочной ячейки:  
1 – погружной зонд,  
2 – эталонный термометр, 3  
– сосуд с водой

### **Приборы и материалы, используемые при калибровке:**

Измерительная ячейка	сосуд ёмкостью 5 л
Термометр ртутный ТР-1	цена деления 0,01 °С
Вода водопроводная	температура внутри диапазона измерений

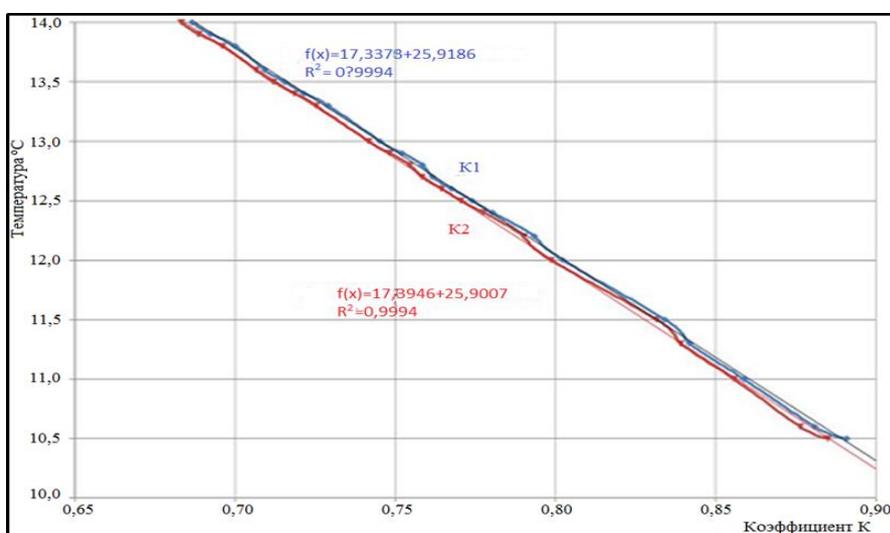
### **Нахождение температурной зависимости коэффициента К:**

1. Заполнить измерительную ячейку, изображённую на рисунке 3.18 водой с температурой на 2-3 градуса отличающейся от температуры верхней или нижней границы диапазона.

2. В ячейку погрузить измерительный зонд и эталонный ртутный термометр. Зонд подключить к регистратору для отображения и сохранения результатов измерений.

3. Температура воды постепенно стремится к комнатной температуре, необходимо периодически, с интервалом 0,01-0,5 градус, снимать показания ртутного термометра.

4. В табличном редакторе построить графики зависимости температуры от коэффициентов K1 и K2, построить для них линейные линии тренда с отображением уравнений как показано на рисунке 3.22.



**Рисунок 3.22.** - Температурные зависимости коэффициента K двух термодатчиков

5. Записать найденные уравнения в программу компьютера по образцу:

$$y1\_00=0x^3+0x^2-17x+25,91//\text{Уравнение 1(8-12C)}$$

Настоящие рекомендации по поверке распространяются на термометр-теплометр с диапазоном измерения температур с пределом основной приведённой погрешности  $\pm 0,01$  °C, диапазоном измерения температуры контролируемых жидкостей от 8 до 25 °C и устанавливают методы и средства поверки.

Прибор подлежит периодической поверке с периодичностью 2 раза в год.

### **Проведение поверки. Определение метрологических параметров.**

Абсолютную погрешность измерений определяют методом непосредственного сличения результатов измерения температуры одной и той же контрольной жидкости поверяемым и эталонным термометром. Основную приведённую погрешность определяют не менее, чем в трёх точках диапазона измерения температуры, расположенных на начальном (10 – 30)%, среднем (40 – 60)%, и конечном (70 – 90)% участках диапазона. В каждой поверяемой точке проводят не менее трёх измерений значения температуры. При каждом измерении добиваются установившегося значения температуры жидкости, которая контролируется термометром, а также по выходному сигналу температурного канала.

Значение абсолютной погрешности «Т» в °С определяют по формуле:

$$T = T_0 - T_i \quad (3.11)$$

где:  $T_i$  – значение температуры, определённое поверяемым термометром, °С;

$T_0$  – значение, измеренное образцовым термометром, °С.

Наибольшее из полученных значений погрешности не должно превышать  $\pm 0,01$  °С во всём диапазоне измерений.

**Оформление результатов поверки.** При проведении операций поверки необходимо вести протокол записи результатов наблюдений по соответствующей форме (см. Приложение).

Результаты поверки считаются положительными, если прибор удовлетворяет всем требованиям методики.

Положительные результаты поверки оформляются путём выдачи свидетельства по установленной форме.

Результаты считаются отрицательными и оформляются путём выдачи извещения о непригодности, если при проведении поверки установлено несоответствие поверяемого прибора хотя бы по одному пункту требований настоящей методики.

В данной главе диссертации, рассмотрены теоретические и практические основы создания измерителя тепловых потоков (тепломер) для мониторинга путей сосредоточенной фильтрации в основании плотины. Приведена математическая итерационная модель и алгоритм оптимального поиска путей сосредоточенной фильтрации, проведён анализ и оценка изменения диапазона геотемпературного поля, проведен расчёт степени точности тепломера. Также определена база измерений, конструктивные особенности и создание двухканального тепломера.

Ниже в главе 4, диссертации рассмотрены теоретические и практические основы создания измерительных приборов для мониторинга гидрогеохимического режима основания плотины. Отдельные разделы посвящены рассмотрению вопросов разработки математической модели трансформаторного кондуктометра и ее метрологических характеристик прямого измерения; представлены результаты анализа и оценки изменения диапазона степени минерализации подземных вод; освещены методы и технологии разработки и создания кондуктометра.

#### **Глава 4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА В ОСНОВАНИИ ПЛОТИНЫ**

Безопасность эксплуатации высоконапорных плотин на растворимых породах во многом зависит от обоснованного выбора мероприятий по защите пород от растворения, высокоплотной противofiltrационной завесы и контроль за их работой, а также организации наблюдений за развитием физико-химических процессов в основании плотины. Режимные фильтрационные, гидродинамические и гидрогеохимические наблюдения позволяют проследить техногенные изменения в основании плотины.

При образовании фильтрационного потока в основании сооружений особое внимание должно уделяться исследованию взаимодействия фильтрационных вод из водохранилища с подземными минерализованными водами и соленосными породами основания, в результате которого изменяется его гидрогеохимический режим.

Наблюдение за развитием физико-химического процесса в основании плотины лабораторно-химическим анализом является трудоёмким и затратным методом, а химический анализ проб, взятых из основания плотины, трудоёмкий и затратный по времени. Быстро меняющиеся гидрогеохимические условия в основании плотины не поддаются оценке в реальном времени с применением лабораторно-химическим анализом, т.е. полученные результаты становятся не актуальными за период времени производства анализа проб. Одним из решений данной проблематики является применение кондуктометрического способа измерения.

Как известно, современные кондуктометрические методы позволяют определять многие физико-химические характеристики растворов электролитов, подземных минерализованных вод, описывая их равновесные свойства, кинетику протекающих реакций, а также способствуют проведению количественного анализа растворов. На сегодняшний день

наиболее совершенным и универсальным является кондуктометрический способ, поскольку величина его электрической проводимости (ЭП) является функцией концентрации всех растворённых в нем ионов и представляет собой обобщённую характеристику его качества, что обеспечивает необходимую селективность метода.

Кондуктометры являются одними из наиболее широко применяемых приборов технологического контроля качества продукции, мониторинга питьевой, природной и сточных вод, в научных исследованиях и применяются в различных отраслях промышленности (энергетике, химической и нефтегазовой, цветной и чёрной металлургии и др.).

Следует подчеркнуть, что в кондуктометрии существует два подхода:

- контактный - исследуемый раствор соприкасается с электродами измерительной ячейки;

- бесконтактный - электроды гальванически не контактируют с анализируемым раствором и влияние на него отсутствует.

Востребованность бесконтактного кондуктометрического метода повышается из-за точности определения ЭП и совершенствования средств измерений (СИ), а также оптимизации методов измерений и обработки их результатов.

Таким образом, разработка кондуктометрического метода и прибора для ведения режимного наблюдения за изменением гидрогеохимического режима в основании плотины в реальном масштабе времени и обеспечения безопасного функционирования плотины, улучшения метрологических характеристик приборов контроля удельной электрической проводимости (УЭП) жидких сред за счёт увеличения чувствительности первичного измерительного преобразователя (ПИП) и на её основе разработки автоматизированной системы гидрогеохимического мониторинга по выявлению признаков угрозы безопасности сооружения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций является актуальной.

В соответствии с вышеизложенным, ниже представлены результаты разработки современного экспресс метода и прибора для оперативного мониторинга гидрогеохимического режима основания плотины.

#### 4.1. Специальные измерительные устройства – кондуктометры.

##### Математическое моделирование трансформаторного кондуктометра

Анализ и оценка результатов ранее проведенных автором, исследований ЭФС раствора поваренной соли [185, 186] позволил сделать вывод о том, что при измерении больших значений УЭП, наиболее эффективно использовать трансформаторный кондуктометр [187, 6-А, 54-А, 73-А] (рисунок 4.1).

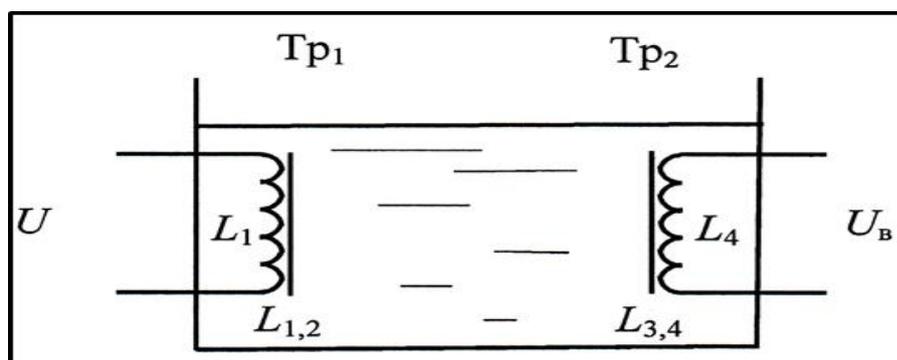


Рисунок 4.1. - Трансформаторный кондуктометр

Рассмотрим принцип работы трансформаторного (двухтрансформаторного) кондуктометра. Первичный трансформатор  $Tr_1$  является питающим, индуцирующий магнитное поле в анализируемую среду и наводящий в ней ЭДС, в тоже время вторичный трансформатор  $Tr_2$  является измерительным, питающей обмоткой которого является раствор с анализируемой жидкостью. При изменении ЭФС раствора, в нашем случае – концентрация поваренной соли, меняется ЭДС вторичной обмотки, что и служит мерой концентрации. На рисунке 3.1  $L_{1,2}$  – взаимоиנדуктивность между первичной обмоткой трансформатора и раствором,  $L_{3,4}$  – взаимоиנדуктивность между раствором и вторичной обмоткой трансформатора. На рисунке 4.2 представлена электрическая схема трансформаторного кондуктометра.

Двухтрансформаторные кондуктометры реализуют следующие методы измерения: непосредственная оценка, компенсационные и сравнительные [188].

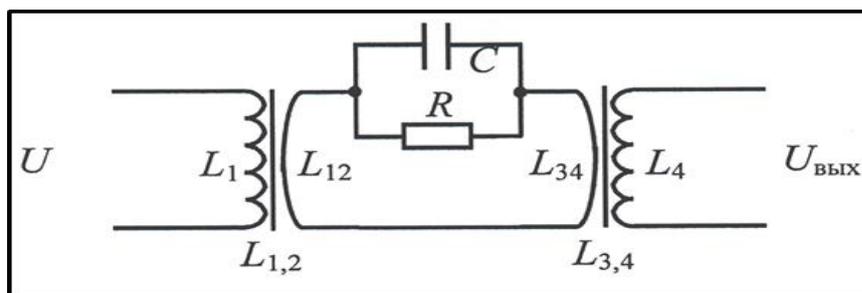


Рисунок 4.2. - Электрическая схема трансформаторного кондуктометра

В электротехнике [189] принято при анализе работы трансформатора использовать эквивалентную Т-образную схему замещения (рисунок 4.3). Параметрами этой схемы являются:  $R_1$ ,  $X_1$  – активное и реактивное сопротивление первичной обмотки трансформатора;  $R_1'$ ,  $X_1'$  – активное и реактивное сопротивление вторичной обмотки трансформатора;  $R_0$  – сопротивление потерь в магнитопроводе;  $X_0$  – реактивное сопротивление материала сердечника;  $Z_n$  – сопротивление нагрузки.

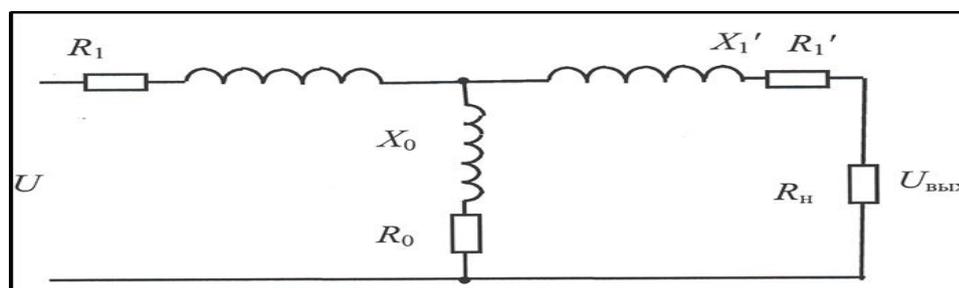


Рисунок 4.3. - Эквивалентная Т-образная схема замещения трансформатора

Различают два режима работы трансформатора: холостого хода и короткого замыкания.

В первом случае вторичная обмотка разомкнута, ток в ней равен нулю, а величина и форма тока холостого хода определяются магнитным потоком трансформатора и свойствами его магнитной системы (магнитными потерями).

В режиме холостого тока вторичная обмотка замкнута, напряжение в ней равно нулю, а величина потерь определяется потерями в обмотках трансформатора.

В нашем случае эквивалентную схему на рисунке 4.3 можно представить в следующем виде (при этом пренебрегаем сопротивлениями  $R_0$ ,  $R_1$  и  $R_2$ ), где параллельное соединение  $C$  и  $R$  моделируют ЭФС раствора поваренной соли (рисунок 4.4) [187, 6-А, 70-А].

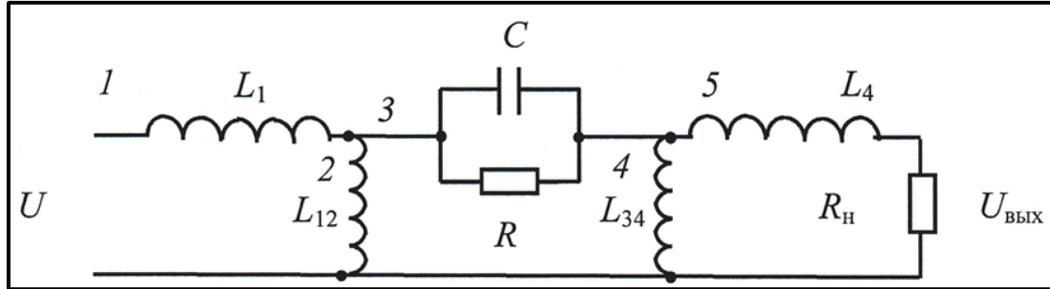


Рисунок 4.4. - Эквивалентная схема трансформаторного кондуктометра

Для построения математической модели кондуктометра необходимо составить уравнение, связывающее выходной параметр кондуктометра (напряжение  $U$  или ток  $I$ ) с УЭП раствором:

$$Z_3 = \frac{R}{1 + j\omega C} \approx R, \text{ поскольку концентрированный раствор поваренной}$$

соли является сильным электролитом. В этом случае, идя последовательно от пятого участка к первому, получим:

$$Z_5 = R_{\text{н}} + j\omega L_4, \quad (4.1)$$

$$Z_{45} = \frac{Z_4 Z_5}{Z_4 + Z_5} = \frac{-\omega^2 L_{34} L_4 + j\omega R_{\text{н}} L_{34}}{R_{\text{н}} + j\omega L_4}, \quad (4.2)$$

$$Z_{35} = Z_3 + Z_{45} = \frac{R R_{\text{н}} - \omega^2 L_{34} L_4 + j\omega (R L_4 + R_{\text{н}} L_{34})}{R_{\text{н}} + j\omega L_4}, \quad (4.3)$$

$$Z_{25} = \frac{Z_2 Z_{35}}{Z_2 + Z_{35}} = \omega L_{12} \frac{-\omega R L_4 - \omega R_{\text{н}} L_{34} + j(R R_{\text{н}} - \omega^2 L_{34} L_4)}{R R_{\text{н}} - \omega^2 L_4 (L_{12} + L_{34}) + j\omega [R L_4 + R_{\text{н}} (L_{12} + L_{34})]}, \quad (4.4)$$

$$Z_{15} = Z_1 + Z_{25} = \omega^2 L_1 \frac{-R L_4 - R_{\text{н}} (L_{12} + L_{34})}{R R_{\text{н}} - \omega^2 L_4 (L_{12} + L_{34}) + j\omega [R L_4 + R_{\text{н}} (L_{12} + L_{34})]} +$$

$$+ j\omega L_1 \frac{R R_{\text{н}} - \omega^2 L_4 (L_{12} + L_{34})}{R R_{\text{н}} - \omega^2 L_4 (L_{12} + L_{34}) + j\omega [R L_4 + R_{\text{н}} (L_{12} + L_{34})]}. \quad (4.5)$$

После избавления от иррациональности в знаменателе, выражение  $Z_{15}$  примет следующий вид:

$$Z_{15} = j\omega L_1(R_H^2 + \omega^2 L_4^2) \frac{R^2 + \omega^2(L_{12} + L_{34})^2}{[RR_H - \omega^2 L_4(L_{12} + L_{34})]^2 + \omega^2[RL_4 + R_H(L_{12} + L_{34})]^2}. \quad (4.6)$$

Выражение (4.6) является довольно сложным для его анализа, но из него при первом рассмотрении следует, что  $Z_{15} = f(R)$ , при  $R = \frac{A}{\chi}$  получим  $Z_{15} = f(\chi)$ , следовательно, трансформаторный кондуктометр можно использовать для контроля УЭП раствора.

Выходное напряжение схемы на рис. 4.4  $U_B$  равно ( $U$  – напряжение питания):

$$\begin{aligned} U_B &= U - IZ_1 = U - \frac{U}{Z_{15}} Z_1 = U \left(1 - \frac{Z_1}{Z_{15}}\right) = \\ &= U \frac{L_{12}}{L_1} \frac{-\omega RL_4 - \omega R_H L_{34} + j(RR_H - \omega^2 L_{34} L_4)}{-\omega RL_4 - \omega R_H(L_{12} + L_{34}) + j[RR_H - \omega^2 L_1 L_4(L_{12} + L_{34})]}. \end{aligned} \quad (4.7)$$

После избавления от иррациональности в знаменателе получим:

$$\begin{aligned} U_B &= U \frac{L_{12}(R_H^2 + \omega^2 L_4^2)}{L_1} \left[ \frac{1}{\omega^2[RL_4 + R_H(L_{12} + L_{34})]^2 + [RR_H - \omega^2 L_4(L_{12} + L_{34})]^2} R^2 - \right. \\ &\left. - j \frac{\omega L_{12}}{\omega^2[RL_4 - R_H(L_{12} + L_{34})]^2 + [RR_H - \omega^2 L_4(L_{12} + L_{34})]^2} R \right]. \end{aligned} \quad (4.8)$$

Рассмотрим случай холостого хода трансформатора, когда  $R_H \rightarrow \infty$ , тогда  $U_{B\text{xx}}$  равно

$$U_{B\text{xx}} = U \frac{L_{12}}{L_1} \left[ \frac{1}{\omega^2(L_{12} + L_{34})^2 + R^2} R^2 - j \frac{\omega L_{12}}{\omega^2(L_{12} + L_{34})^2 + R^2} R \right]. \quad (4.9)$$

Обычно  $R \gg \omega(L_{12} + L_{34})$ , поэтому

$$U_{B\text{xx}} = U \frac{L_{12}}{L_1} \left(1 - j\omega L_{12} \frac{1}{R}\right) = U \frac{L_{12}}{L_1} \left(1 - j \frac{\omega L_{12}}{A} \chi\right), \quad (4.10)$$

т.е. в режиме холостого хода действительная составляющая выходного напряжения не зависит от УЭП, а мнимая зависит, причём, прямо пропорционально.

Рассмотрим случай короткого замыкания трансформатора, когда  $R_H \rightarrow 0$ , тогда  $U_B$  кз равно (4.9) и (4.10), т.е. в режиме короткого замыкания действительная составляющая выходного напряжения не зависит от УЭП, а мнимая зависит, причём, прямо пропорционально.

Рассмотрим промежуточный случай, когда  $R \approx R_H$ , тогда при  $RL_4 \gg \gg R_H(L_{12} + L_{34})$  и  $RR_H \gg \omega^2(L_{12} + L_{34})$  снова получим уравнение (4.10).

Выходной ток схемы на рисунке 4.4  $I_B$  равен:

$$I_B = \frac{U_B}{Z_5} = U_B \frac{L_{12}}{L_1} = U \frac{L_{12}}{L_1} \frac{-\omega RL_4 - \omega R_H L_{34} + j(RR_H - \omega^2 L_{34} L_4)}{(R_H + j\omega L_4)[- \omega RL_4 - \omega R_H (L_{12} + L_{34}) + j[RR_H - \omega^2 L_1 L_4 (L_{12} + L_{34})]}. \quad (4.11)$$

После избавления от иррациональности в знаменателе получим

$$I_B = U \frac{L_{12}(R_H^2 + \omega^2 L_4^2)}{L_1} \cdot \left\{ \frac{R^2 R_H - \omega^2 RL_{12}L_4 + \omega^2 R_H L_{34}(L_{12} + L_{34})}{[2\omega RR_H L_4 - \omega(L_{12} + L_{34})(R_H^2 - \omega^2 L_4^2)]^2 + [R(R_H^2 - \omega^2 L_4^2)^2 - 2\omega^2 R_H L_4 (L_{12} + L_{34})]^2} - \right. \\ \left. - j \frac{\omega R^2 L_4 + \omega RL_{12}L_4 + \omega RR_H L_{12} + \omega^3 L_{34} L_4 (L_{12} + L_{34})}{[2\omega RR_H L_4 - \omega(L_{12} + L_{34})(R_H^2 - \omega^2 L_4^2)]^2 + [R(R_H^2 - \omega^2 L_4^2)^2 - 2\omega^2 R_H L_4 (L_{12} + L_{34})]^2} \right\}. \quad (4.12)$$

Рассмотрим случай холостого хода трансформатора, когда  $R_H \rightarrow \infty$ , тогда  $I_{Bxx}$  равно:

$$I_{Bxx} = U \frac{L_{12}}{L_1} \left( \frac{R^2 + \omega^2 L_{34}(L_{12} + L_{34})}{R^2 + \omega^2 (L_{12} + L_{34})^2} - j \frac{\omega RL_{12}}{R^2 + \omega^2 (L_{12} + L_{34})^2} \right). \quad (4.13)$$

Обычно  $R \gg \omega(L_{12} + L_{34})$  и  $R^2 \gg \omega^2 L_{34}(L_{12} + L_{34})$ , поэтому

$$I_{Bxx} = U \frac{L_{12}}{L_1} \left( 1 - j\omega L_{12} \frac{1}{R} \right) = U \frac{L_{12}}{L_1} \left( 1 - j \frac{\omega L_{12}}{A} \chi \right), \quad (4.14)$$

т.е. в режиме холостого хода действительная составляющая выходного тока не зависит от УЭП, а мнимая зависит, причём, прямо пропорционально.

Рассмотрим случай короткого замыкания трансформатора, когда  $R_H \rightarrow 0$ , тогда  $I_{в\ кз}$  равно:

$$I_{в\ кз} = U \frac{L_{12}}{\omega L_1 L_4} \left( -\frac{\omega L_{12}}{R^2 + \omega^2 (L_{12} + L_{34})^2} R - j \frac{R^2 + \omega^2 R L_{34} (L_{12} + L_{34})}{R^2 + \omega^2 (L_{12} + L_{34})^2} \right). \quad (4.15)$$

Обычно  $R \gg \omega(L_{12} + L_{34})$  и  $R^2 \gg \omega^2 L_{34}(L_{12} + L_{34})$ , в результате чего получим

$$I_{в\ кз} = U \frac{L_{12}}{\omega L_1 L_4} \left( -\omega L_{12} \frac{1}{R} - j \right) = U \frac{L_{12}}{\omega L_1 L_4} \left( -\frac{\omega L_{12}}{A} \chi - j \right). \quad (4.16)$$

т.е. в режиме короткого замыкания действительная составляющая выходного тока зависит от УЭП, причём, прямо пропорционально, а мнимая – не зависит.

Рассмотрим промежуточный случай, когда  $R \approx R_H$ , тогда с учётом малости слагаемых  $\omega^2 R_H L_{34}(L_{12} + L_{34})$  и  $\omega^3 L_{34} L_4 (L_{12} + L_{34})$  уравнение (4.13) примет следующий вид:

$$I_B \approx U \frac{L_{12}(R_H^2 + \omega^2 L_4^2)}{L_1} \cdot \left\{ \frac{R^2 R_H - \omega^2 R L_{12} L_4}{\left[ 2\omega R R_H L_4 - \omega(L_{12} + L_{34})(R_H^2 - \omega^2 L_4^2) \right]^2 + \left[ R(R_H^2 - \omega^2 L_4^2)^2 - 2\omega^2 R_H L_4 (L_{12} + L_{34}) \right]^2} - \right. \\ \left. - j \frac{\omega R^2 L_4 + \omega R L_{12} L_4 + \omega R R_H L_{12}}{\left[ 2\omega R R_H L_4 - \omega(L_{12} + L_{34})(R_H^2 - \omega^2 L_4^2) \right]^2 + \left[ R(R_H^2 - \omega^2 L_4^2)^2 - 2\omega^2 R_H L_4 (L_{12} + L_{34}) \right]^2} \right\}. \quad (4.17)$$

Это уравнение в общем виде упростить не удаётся, поскольку все его слагаемые имеют примерно равный вес и их вклад в конечный результат зависит от конкретных величин всех параметров, входящих в это уравнение.

В результате математического моделирования трансформаторного кондуктометра прямого измерения:

- получена аналитическая зависимость комплексного сопротивления трансформатора с первичным измерительным преобразователем кондуктометра, учитывающая электрофизические свойства измеряемого солевого раствора;

- установлено, что комплексное сопротивление трансформатора зависит от сопротивления (УЭП) раствора и, следовательно, трансформаторный кондуктометрический метод может быть использован для измерений;

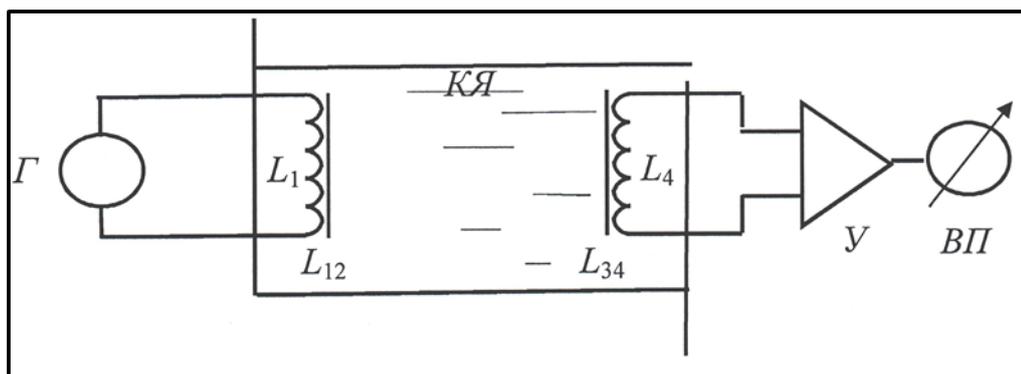
- разработана математическая модель зависимости выходного напряжения трансформатора от сопротивления (УЭП), которая показала зависимость в режиме холостого хода и короткого замыкания от мнимой части комплексного сопротивления от УЭП раствора в первой степени;

- разработана математическая модель зависимости выходного тока трансформатора от сопротивления (УЭП), которая показала зависимость в режиме холостого хода от мнимой части, а в режиме короткого замыкания – от действительной части комплексного сопротивления от УЭП раствора в первой степени.

#### **4.2. Метрологические характеристики трансформаторного кондуктометра прямого измерения**

Выше в разделе 4.1., (рис. 4.1. и 4.2.) настоящей диссертации была приведена реальная схема трансформаторного кондуктометра отличающаяся от теоретической.

Рассмотрим принципиальную схему трансформаторного кондуктометра, при этом надо иметь в виду, что под усилителем понимается детектор, усилитель, АЦП и пр (рис. 4.5).



**Рисунок 4.5.** - Трансформаторный кондуктометр:

$G$  – генератор напряжения;  $KЯ$  – кондуктометрическая ячейка;

$У$  – усилитель;  $ВП$  – вторичный прибор

Получим математическую модель трансформаторного кондуктометра для измерения напряжения в режиме холостого хода в соответствии с (4.10)

$$U_{\text{в.х.х}} = U \frac{U\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1} \chi, \quad (4.18)$$

где  $U$  – напряжение питания;  $\omega$  – частота напряжения питания;  $L_1$  – индуктивность первичной обмотки трансформатора;  $L_{12}$  – взаимоиנדуктивность первичной обмотки трансформатора и раствора;  $\kappa$  – коэффициент усиления;  $A$  – постоянная ячейки.

Очевидно, что статическая характеристика такого кондуктометра линейна, а чувствительность постоянна.

Чувствительность  $S$  кондуктометра равна

$$S = \frac{dU_{\text{в.х.х}}}{d\chi} = \frac{U\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1}. \quad (4.19)$$

Из анализа выражения (4.19) следует, что надо увеличивать значения  $U$ ,  $L_{12}$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$  и уменьшать  $L_1$  и  $A$ .

Вычислим абсолютную погрешность измерения  $\Delta U_{\text{в.х.х}}$

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{в.х.х}} = \sum \frac{\partial U_{\text{в.х.х}}}{\partial X_{\text{н}}} \Big|_{\dot{v}} \Delta X_{\text{н}} = & \frac{\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1} \Delta U + \frac{U L_{12}^2 \kappa}{AL_1} \Delta \omega + 2 \frac{U \omega L_{12} \kappa}{AL_1} \Delta L_{12} + \\ & + \frac{U \omega L_{12}^2}{AL_1} \Delta \kappa + \frac{U \omega L_{12}^2 \kappa}{A^2 L_1} \Delta A + \frac{U \omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1^2} \Delta L_1. \end{aligned} \quad (4.20)$$

Относительная погрешность измерения  $\delta U_{B\text{xx}}$  равна

$$\delta U_{B\text{xx}} = \sum \frac{\Delta U_{B\text{xx}}}{U_{B\text{xx}}} \Delta X_H = \delta U + \delta \omega + 2\delta L_{12} + \delta \kappa + \delta A + \delta L_1. \quad (4.21)$$

Среднеквадратическая ошибка (СКО) измерения  $\sigma_{U_{B\text{xx}}}$  равна

$$\sigma_{U_{B\text{xx}}} = \sqrt{\sigma_U^2 + \sigma_\omega^2 + 4\sigma_{L_{12}}^2 + \sigma_\kappa^2 + \sigma_A^2 + \sigma_{L_1}^2}. \quad (4.22)$$

Сведём метрологические характеристики трансформаторного кондуктометра при измерении выходного напряжения  $U_B$  и тока  $I_B$  в режимах холостого хода и короткого замыкания в таблице 4.1.

**Таблица 4.1.** - Метрологические характеристики трансформаторного кондуктометра

Измеряемый параметр	Режим измерения	Математическая модель
Измерение выходного напряжения $U_B$	холостого хода	$U_{B\text{xx}} = \frac{U\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1} \chi,$ $S = \frac{U\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1},$ $\Delta U_{B\text{xx}} = \frac{\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1} \Delta U + \frac{UL_{12}^2 \kappa}{AL_1} \Delta \omega + 2 \frac{U\omega L_{12} \kappa}{AL_1} \Delta L_{12} +$ $\frac{U\omega L_{12}^2}{AL_1} \Delta \kappa + \frac{U\omega L_{12}^2 \kappa}{A^2 L_1} \Delta A + \frac{U\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1^2} \Delta L_1,$ $\delta U_{B\text{xx}} = \delta U + \delta \omega + 2\delta L_{12} + \delta \kappa + \delta A + \delta L_1,$ $\sigma_{U_{B\text{xx}}} = \sqrt{\sigma_U^2 + \sigma_\omega^2 + 4\sigma_{L_{12}}^2 + \sigma_\kappa^2 + \sigma_A^2 + \sigma_{L_1}^2}$
	короткого замыкания	$U_{B\text{кз}} = \frac{U\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1} \chi,$ $S = \frac{U\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1},$ $\Delta U_{B\text{кз}} = \frac{\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1} \Delta U + \frac{UL_{12}^2 \kappa}{AL_1} \Delta \omega + 2 \frac{U\omega L_{12} \kappa}{AL_1} \Delta L_{12} +$ $\frac{U\omega L_{12}^2}{AL_1} \Delta \kappa + \frac{U\omega L_{12}^2 \kappa}{A^2 L_1} \Delta A + \frac{U\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1^2} \Delta L_1,$ $\delta U_{B\text{кз}} = \delta U + \delta \omega + 2\delta L_{12} + \delta \kappa + \delta A + \delta L_1,$ $\sigma_{U_{B\text{кз}}} = \sqrt{\sigma_U^2 + \sigma_\omega^2 + 4\sigma_{L_{12}}^2 + \sigma_\kappa^2 + \sigma_A^2 + \sigma_{L_1}^2}$

**Продолжение таблица 4.1. - Метрологические характеристики трансформаторного  
кондуктометра**

Измеряемый параметр	Режим измерения	Математическая модель
Измерение выходного тока $I_B$	холостого хода	$I_{B\text{ xx}} = \frac{U\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1} \chi,$ $S = \frac{U\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1},$ $\Delta I_{B\text{ xx}} = \frac{\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1} \Delta U + \frac{UL_{12}^2 \kappa}{AL_1} \Delta \omega + 2 \frac{U\omega L_{12} \kappa}{AL_1} \Delta L_{12} +$ $\frac{U\omega L_{12}^2}{AL_1} \Delta \kappa + \frac{U\omega L_{12}^2 \kappa}{A^2 L_1} \Delta A + \frac{U\omega L_{12}^2 \kappa}{AL_1^2} \Delta L_1,$ $\delta I_{B\text{ xx}} = \delta U + \delta \omega + 2\delta L_{12} + \delta \kappa + \delta A + \delta L_1,$ $\sigma_{I_{B\text{ xx}}} = \sqrt{\sigma_U^2 + \sigma_\omega^2 + 4\sigma_{L_{12}}^2 + \sigma_\kappa^2 + \sigma_A^2 + \sigma_{L_1}^2}$
	короткого замыкания	$I_{B\text{ кз}} = \frac{UL_{12}^2 \kappa}{AL_1 L_4} \chi,$ $S = \frac{UL_{12}^2 \kappa}{AL_1 L_4},$ $\Delta I_{B\text{ кз}} = \frac{L_{12}^2 \kappa}{AL_1 L_4} \Delta U + 2 \frac{UL_{12}^2 \kappa}{AL_1 L_4} \Delta L_{12} + \frac{UL_{12}^2}{AL_1 L_4} \Delta \kappa +$ $\frac{UL_{12}^2 \kappa}{A^2 L_1 L_4} \Delta A + \frac{UL_{12}^2 \kappa}{AL_1^2 L_4} \Delta L_1 \{ + + \frac{UL_{12}^2 \kappa}{AL_1 L_4^2} \Delta L_4,$ $\delta I_{B\text{ кз}} = \delta U + 2\delta L_{12} + \delta \kappa + \delta A + \delta L_1 + \delta L_4,$ $\sigma_{I_{B\text{ кз}}} = \sqrt{\sigma_U^2 + 4\sigma_{L_{12}}^2 + \sigma_\kappa^2 + \sigma_A^2 + \sigma_{L_1}^2 + \sigma_{L_4}^2}$

Полученные результаты позволили обосновать следующие выводы:

- получены математические модели статической характеристики  $U_B = f(\chi)$  и  $I_B = f(\chi)$ , чувствительности  $S$ , абсолютной ( $\Delta U_B$  и  $\Delta I_B$ ) и относительной погрешности  $\delta U_B$  и  $\delta I_B$ , СКО  $\sigma_{U_B}$  и  $\sigma_{I_B}$  для трансформаторного кондуктометра, использующего в качестве информативного параметра выходное напряжение или ток, для двух режимов работы (холостого хода и короткого замыкания);

- **статическая характеристика кондуктометра в разных режимах линейна**, если использовать мнимую часть комплексного напряжения и действительную – при измерении тока в режиме короткого замыкания, что согласуется [160, 7-А]:

- выявлена технология увеличения чувствительности кондуктометра;
- разработан метод уменьшения погрешности измерения;
- в качестве количественного критерия при оптимизации кондуктометра можно использовать СКП.

### **4.3. Научно-практические основы разработки и изготовления кондуктометра КАЛЬМАР**

#### **4.3.1. Анализ и оценка изменения диапазона степени минерализации в зоне залегания пласта соли**

Проектом Рогунской ГЭС предусмотрено, что при возведении перемычки и переключения расхода реки Вахш по строительным туннелям могут формироваться фильтрационные потоки вдоль солевого пласта. Учитывая пространственное положение и мощность солевого пласта в основании будущей плотины, в качестве сугубо временного мероприятия, до готовности основного комплекса защиты солевого пласта, было предложено создание специальной временной солевой завесы (ВСЗ) [1-А, 30-А].

Принцип работы такой завесы заключается в том, что вдоль солевого пласта, с обеих сторон, по длине защищаемого участка основания перемычки [1-А, 30-А] устраиваются солевые скважины, с подачей в них строго дозированного концентрированного рассола. Постоянное возмещение бытового солевого пласта в основании перемычки, создает устойчивую гидрогеохимическую среду и способствует сохранности солевого пласта.

Временная солевая завеса в виде двух рядов нагнетательных скважин выполнена вдоль левобережной части пласта соли. Рабочая часть скважин солевой завесы имеет диаметр 93 мм и длину 15 м. Шаг между скважины 6 м.

Скважины заполнены песчаным материалом, внутри которого проходит подающая рассол перфорированная труба [1-А, 30-А].

Рассол с содержанием 280-310 г/л для подачи в скважины солевой завесы готовится на растворном узле из привозной соли и, перейдя через систему фильтров и отстойников, поступает на распределительный узел, откуда самотеком по системе трубопроводов подводится к нагнетательным скважинам [1-А, 30-А].

Основные требования к временной солевой завесе:

- нагнетаемый рассол должен иметь концентрацию не менее 250 г/л NaCl, 3-5 г/л CaSO<sub>4</sub>, содержание извести не более 3 г/л, крупность нерастворимых частиц не более 25 мм;

- система солевых скважин должна обеспечить образование шлейфа рассола вокруг солевого пласта с поддержанием в породном массиве концентрации не ниже естественных уровней [1-А, 30-А].

Пьезометрическая наблюдательная сеть на участке временной солевой завесы (300 м) была представлена 12-ю створами по 1 или 3 пьезометрам в каждом. Расстояние между створами принято в пределах 17-30 м; расстояние между пьезометрами в створе не превышает 5 м. Общее количество пьезометров, задействованных в исследованиях 28. Схема расположения створов и местоположение пьезометров приведена на рисунке 3.2 главе 3.

Для изучения изменения минерализации в зоне оголовка солевого пласта был выбран метод резистивиметрии, который является наиболее эффективным и технологичным геофизическим методом. Он обладает высокой информативностью и возможностью изучения обводненной части пьезометрической скважины. Резистивиметрия основана на выявлении гидрохимических аномалий, обусловленных сосредоточенными потоками фильтрующихся русловых вод, направленных в обходные строительные туннели.

Резистивиметрические исследования в скважинах пьезометрической сети выполнялись с помощью переносной аппаратуры, специальным

трехэлектродным резистивиметром РСМ-56. Отличительной особенностью данного резистивиметра является его широкий диапазон измеряемых удельных электрических сопротивлений электролитов от ультрапресных до рассолов.

Особенность методики проведения полевых работ заключалась в строгом соблюдении очередности выполнения выбранных методов. В первую очередь, с целью минимального искажения температурного поля, при спуске прибора в скважину, выполнялась термометрия с точечной регистрацией. Затем выполнялась резистивиметрия по той же схеме, но только в обводненном интервале пьезометров [190, 191]. В основном методика резистивиметрических исследований в скважинах носила традиционный характер и не отличалась от широко используемой в Институте Гидропроект.

В 1990 - 91 гг. было произведено 10 циклов резистивиметрических исследований по 11 створам (№№ 1, 2, 3, 4, 4<sup>а</sup>, 5, 6, 6<sup>а</sup>, 7, 8, 9). При обработке материалов было выявлено, что по некоторым пьезометрам не велось регулярных наблюдений. Причинами являются камнепад на левобережном склоне, непогода и технические неполадки.

Обработка материалов произведена по следующим пьезометрам: цикл 5, 7, 10 - по 15 пьезометрам, цикл 6, 11, 12, 13-по 12 пьезометрам, цикл 8, 9- по 16 пьезометрам и цикл 14 - по 14 пьезометрам. Результаты исследований по определению диапазона изменения степени минерализации приведены в таблицах 4.2 и 4.3.

Для анализа временных изменений минерализации подземных вод в районе солевого пласта были исследованы изменения минерализации с глубиной по каждому из 28-ми пьезометров с указанием даты и номера цикла. Несмотря на вариации абсолютных значений, характер изменения минерализации с глубиной в целом сохраняется с начала и до конца исследований.

В таблице 4.4 и 4.5 приведены средние значения минерализации подземных вод по стволу пьезометров и по циклам.

**Таблица 4.2. - Результаты резистивиметрических исследований по циклам 5 – 9**

№ створа	№ пьезометра	Минерализация, С г/л				
		Цикл 5 **.08.90	Цикл 6 18.10.90 23.10.90	Цикл 7 29.10.90 05.11.90	Цикл 8 12.11.90 14.11.90	Цикл 9 11.01.91 13.01.91
2	П-14	19-236	15.5-201.1	13.0-202.9	113.3-283.3	194.4-288.7
	П-15	98.0-235		64.5-161.9	163.6-268.5	198.6-283
	П-15 <sup>a</sup>	7.5-205	244.9-285.2	161.2-288.3	209.2-227	229-262.8
1	П-17 <sup>a</sup>		54.4-150.2	59.7-151.3	88.7-221.1	89.6-247.4
3	П-18 (П-19)	130-242		250.7-283.7	214.3-263.5	179-279
	П-19 <sup>a</sup>	85-172	89.4-226.2	89.4-221.1	89.9-198.8	120-251
	П-19 <sup>o</sup>	98-245	182.3-291.5	193.2-288.3	193.8-256.2	222.1-349
4	П-20	107-235	203.4-221.6	188.9-202.1	73.6-279.4	205.5-274
	П-21	96-205	190.6-247	216.4-266.8	235-261.6	244.2-304
	П-21 <sup>a</sup>	97-202	171.0-205.0	150.5-197.2	213.7-241.6	274.2-298.2
6	П-25	156-235	46.6-275.2	131.4-278	150.5-358.6	122.4-364
	П-25 <sup>a</sup>	84-295	45.0-237.7	44.1-243.7	57.3-335.4	33.4-259.6
7	П-27	135-245		228.2-280.8	118.1-217.3	166.6-283
8	П-29	15.8-245			6.2-280.9	27.9-276
9	П-30	104-240	112.8-273.6	112.0-260.3	108-238.4	118.5-271.1
6 <sup>a</sup>	П-37	51-245	77.3-266.8	74.7-257.8	142-314	75.7-256.9

**Таблица 4.3. - Результаты резистивиметрических исследований по циклам 10 – 14**

№ створа	№ пьезометра	Минерализация, С г/л				
		Цикл 10 17.01.91 18.01.91	Цикл 11 25.03.91 23.04.91	Цикл 12 24.05.91 31.05.91	Цикл 13 03.06.91 09.06.91	Цикл 14 25.07.91 27.07.91
2	П-14	105.5-285.6	8.4-265	13.2-270	13.5-221	18.8-150
	П-15	214.7-287	150-293	118-279	131-270	100.0-150.0
	П-15 <sup>a</sup>	186.7-266.7	120-282	109-270	120-268	62-144
1	П-17 <sup>a</sup>	89-247.4				
3	П-18 (П-19)	179.2-280	123-202	125.0-230.0	130.0-220.0	82.0-187.0
	П-19 <sup>a</sup>	117.9-252.7				
	П-19 <sup>o</sup>	209.9-270.5	52-188	60-140	68-153	57-140
4	П-20	111.7-274.9	180-270	12.6-240	12-245	63-153
	П-21	246.0-303.8				73-160
	П-21 <sup>a</sup>	310.4-323.9		96-300	70-300	78-145
6	П-25	122.4-272	82-292	70-292	68-300	60-154
	П-25 <sup>a</sup>	33.3-241.5	40-262	44.5-220	38-172	36.2-156
7	П-27	166.6-282.7	140-286			80-120
8	П-29	25.1-273.9	10.3-270	15-245	15-275	20-118
9	П-30	117.7-219.4	100-280	80-295	78-298	66-156
6 <sup>a</sup>	П-37		75-250	72-260	90-385	43-160

**Таблица 4.4.** - Средняя минерализация С, г/л по пьезометрам Рогунской ГЭС

№№ пьезо- метров	Цикл 5 Август 1990 г.	Цикл 6 18.10.90- 23.10.90г.	Цикл 7 29.10.90- 6.11.90г.	Цикл 8 12.11.90- 14.11.90г.	Цикл 9 11.01.91- 13.01.91г.
1	2	3	4	5	6
П - 14	103,9	113,1	109,8	219,9	237,3
П -15	172,4	-	132,6	230,4	259,9
П -15а	176,5	271,0	239,1	222,7	247,9
П -18(19)	176,0	-	267,6	245,1	257,1
П -19б	199,8	235,7	250,9	233,2	304,4
П -20	216,5	215,8	195,7	217,8	248,0
П -21	193,5	212,4	243,7	243,2	280,2
П - 21а	184,3	187,6	172,2	230,6	286,2
П -25	207,1	220,5	221,3	249,8	261,6
П -25а	195,5	140,4	145,8	201,4	158,1
П - 27	212,5	-	257,4	186,8	265,2
П -29	134,7	-	326,1	210,3	211,2
П - 30	172,6	173,6	144,5	127,6	167,3
П -37	170,3	179,0	176,3	276,8	189,4
Сред-нее по циклу	167,1	194,9	205,9	221,1	241,9

**Таблица 4.5.** - Средняя минерализация С, г/л по пьезометрам Рогунской ГЭС

№№ пьезо- метров	Цикл 10 17.01.91- 18.01.91г.	Цикл 11 25.03.91- 23.04.91г.	Цикл 12 24.05.91- 31.05.91г.	Цикл 13 3.06.91- 9.06.91г.	Цикл 14 25.07.91- 27.07.91г.
1	7	8	9	10	11
П - 14	218,1	175,0	170,1	130,0	63,9
П -15	261,4	246,3	231,2	230,8	136,6
П -15а	242,5	240,5	231,3	216,8	128,8
П -18(19)	257,9	191,6	200,7	198,9	160,0
П -19б	240,2	130,3	119,9	125,2	114,9
П -20	233,5	260,5	149,5	136,3	139,8
П -21	280,4	-	-	-	145,7
П - 21а	315,3	-	258,4	256,6	124,0
П -25	216,0	225,3	217,4	221,4	131,1
П -25а	136,8	161,5	119,8	112,1	104,2
П - 27	263,6	263,7	-	-	107,3
П -29	207,2	117,9	131,2	134,0	77,3
П - 30	168,6	215,9	213,9	211,6	138,3
П -37	-	189,6	201,1	235,8	138,9
Сред-нее по циклу	238,7	201,5	187,0	184,1	122,2

Исследования по определению предела изменения степени минерализации в пьезометрических скважинах позволили установить, что

минимальные значения минерализации равная 6.2 г/л обнаружено в П-29 в 8 цикле ( $C_{\text{мин}}=6.2$  г/л), а максимальное значение минерализации равная 300 г/л в П-25 в 13 цикле ( $C_{\text{макс}} = 300$  г/л).

*Таким образом, комплекс реализованных исследований позволили установить, предел изменения степени минерализации во всех выше приведенных циклах следующее:*

$$C_{\text{мин}} = 6.2 \text{ г/л}, C_{\text{макс}} = 300 \text{ г/л}.$$

Таким образом, с учётом выявленного диапазона измерения степени минерализации подземных вод в пьезометрических скважинах и повышения точности разрабатываемого кондуктометра рекомендуется ограничиться в диапазоне от 0,2 г/л до 300 г/л.

В таблице 4.6. приведены требования к разрабатываемому кондуктометру, параметры которых сформированы с учётом определения диапазона изменения степени минерализации подземных вод в пьезометрических скважин и конструктивных особенностей кондуктометра.

**Таблица 4.6.** - Требования к техническим характеристикам кондуктометра

№ п/п	Наименование параметров	Значение параметров
1	Диапазон измеряемых концентраций	0,2 ÷ 300 г/л
2	Точность измерения концентрации NaCl	± 0,1 г/л ( в диапазоне 8-25°C)
3	Габариты погружного зонда	230 x 33 мм

#### **4.3.2. Назначение и состав кондуктометра КАЛЬМАР**

Бесконтактные кондуктометрические методы уступают контактными методам по точности, но они лучше по чувствительности. Необходимо подчеркнуть, что из-за отсутствия взаимодействия материала измерительного электрода с анализируемой средой бесконтактные методы дают возможность проведения измерения при низких и высоких температурах, в нестабильных анализируемых средах, в замкнутых объёмах и т.п. [35-А].

Кондуктометр индуктивного типа КАЛЬМАР - прибор для измерения температуры, электропроводности и концентрации растворов электролитов [57-А, 58-А, 74-А, 75-А]. Концентрация определяется по электропроводности раствора измеренной индукционным методом [192]. Области применения: мониторинг солёности грунтовых вод, производства, связанные с приготовлением и использованием солевых растворов.

В кондуктометре КАЛЬМАР использован тороидальный сенсор, не имеющий электроды. На рисунке 4.6. приведена структурная схема кондуктометра. Рассмотрим принцип действия конструкции. В возбуждающем тороиде генерируется переменный синусоидальный магнитный поток с помощью высокостабильного генератора синуса частотой 10-20 кГц и усилителя мощности. Если внутрь тороида попадает замкнутая проводящая среда (раствор NaCl), то в этой среде индуцируется (наводится) переменный ток, охватывающий оба тороида - возбуждающий и чувствительный.

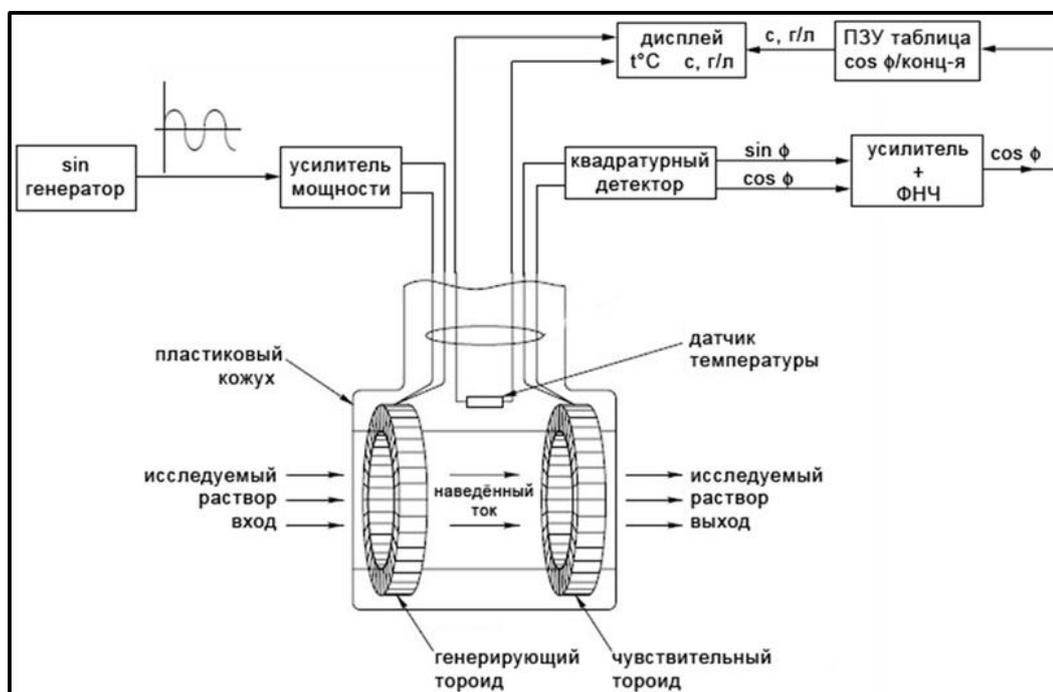


Рисунок 4.6. - Структурная схема кондуктометра

Тороидальный ПИП состоит из ферритовых колец диаметром 22-25мм (внешний) с магнитной проницаемостью 5000 - 6000,  $H = 1200$  А/м.

Возможно применение пермалловых сплавов. Количество витков в первичной катушке 80 витков, а во вторичной катушки соответственно 120 витков.

Чувствительный тороид работает в режиме трансформатора тока. Его выход пропорционален току, текущему в жидкостном витке. В общем случае имеется общий фазовый сдвиг  $\phi$  между возбужденным и принятым измерительным сигналом [3-А, 4-А, 30-А, 31-А, 49-А, 64-А]. Квадратурный детектор выделяет сигнал пропорциональный проводимости  $\sin\phi$  и  $\cos\phi$  и выводит их на регистратор (нетбук). Для получения концентрации в граммах на литр, сигнал  $\cos\phi$ , вместе с текущей температурой подставляется в таблицу концентрации, размещённой в ПЗУ (постоянном запоминающем устройстве) регистратора [193, 194]. Истинное значение концентрации вместе с температурой отображаются на дисплее регистратора.

Кондуктометр поставляется калиброванным на концентрацию водного раствора поваренной соли. Предусмотрена смена веществ путем замены рабочего файла.

Автоматизированный процесс калибровки позволяет заказчику самостоятельно калибровать прибор на измерение концентрации других электролитов.

Прибор состоит из трёх основных частей:

1 - погружного зонда, опускаемого непосредственно в исследуемый раствор,

2 - регистратора, выполняющего математическую обработку, хранение и отображение данных посылаемых зондом (малогабаритный компьютер (нетбук) с операционной системой Windows и специализированной программой для кондуктометра),

3 - соединительного кабеля, осуществляющего связь регистратора с погружным зондом.

Длина кабеля может достигать до 200 метров.

Техническая характеристика кондуктометров КАЛЬМАР приведена в таблице 4.7.

**Таблица 4.7.** - Техническая характеристика кондуктометра

Диапазон измеряемых концентраций	0,2 ÷ 300 г/л
Точность измерения концентрации NaCl	± 0,1 г/л ( в диапазоне 8-25°C)
Диапазон измерения электропроводности	0,2 -600 мСм/см
Точность измерения электропроводности	±0,1 мСм/см
Диапазон измерения температуры	0 ÷ 45 °С
Точность измерения температуры	± 0,05 °С (0 ÷ 45 °С)
Интерфейс погружного зонда	RS-232 усиленный до 200 м
Интерфейс регистратора	USB
Период измерений	0,1 сек
Потребляемая мощность	0,16 Вт
Средний срок службы погружного зонда	5 лет
Средний срок службы регистратора	10 лет
Длина информационного кабеля	до 200 м
Масса погружного зонда	850 г
Габариты погружного зонда	230 x 33 мм
Габариты регистратора	270 x 170 x 30 мм

Благодаря малым габаритам зонда и большой длине соединительного кабеля кондуктометр может использоваться для исследования состава воды в узких и глубоких скважинах.

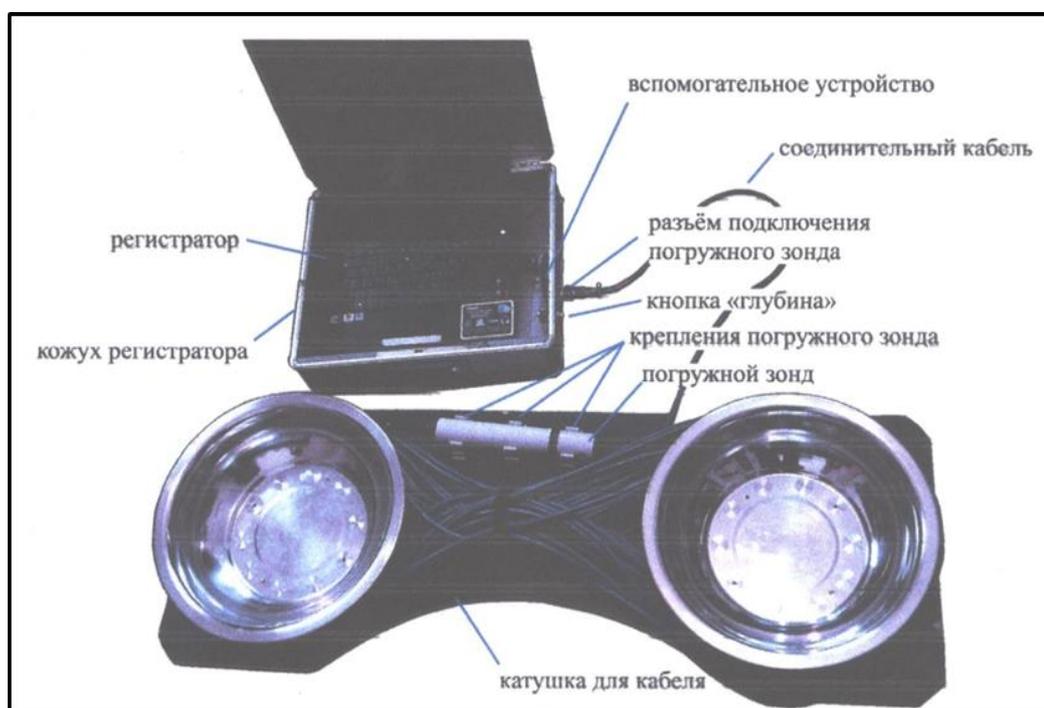
При рассмотрении и сравнении кондуктометра КАЛЬМАР с ведущими зарубежными аналогами производителей ABB, NashLange, EndressHauser, нужно иметь в виду следующее:

- комплекты приборов данных компаний для измерения электропроводности состоят из сенсоров (самих датчиков) и преобразователей (трансммиттеров), отображающие результаты. Длина соединительного кабеля у этих приборов всегда менее 30 м, поскольку аналоговые сигналы, идущие по этому кабелю, чувствительны к наводкам и помехам.
- погружной зонд кондуктометра КАЛЬМАР является цифровым сенсором и допускает удаление от регистратора на расстояние более 100 м по интерфейсу RS-232.

- питание приборов вышеуказанных компаний обычно осуществляется напряжением 220 или 36 В, при потребляемой мощности более 10 Вт.

- кондуктометр КАЛЬМАР питается напряжением 5 В порта USB при потребляемой мощности менее 0,2 Вт.

Кондуктометр КАЛЬМАР состоит из погружного зонда, регистратора и соединительного кабеля (рисунок 4.7). К регистратору соединительный кабель подключается посредством вспомогательного устройства соединённого с USB портом компьютера.



**Рисунок 4.7.** - Элементы кондуктометра

Для начала работы необходимо подключить разъём погружного зонда к регистратору, роль которого выполняет нетбук, включить нетбук, запустить программу кондуктометра и опустить погружной зонд на кабеле целиком в исследуемый раствор (зонд не должен касаться стенок и дна сосуда).

Данные с зонда - температура, электропроводность и концентрация раствора непрерывно выводятся на экран компьютера и при необходимости могут быть записаны в текстовый файл. Клавиша пробел или кнопка «глубина» на кожухе, используются для простановки меток глубины погружения зонда.

Для получения точных данных температура зонда и исследуемой жидкости должны сравняться, на что может потребоваться несколько минут. Более подробно работа с кондуктометром описана в разделе Порядок работы кондуктометрам.

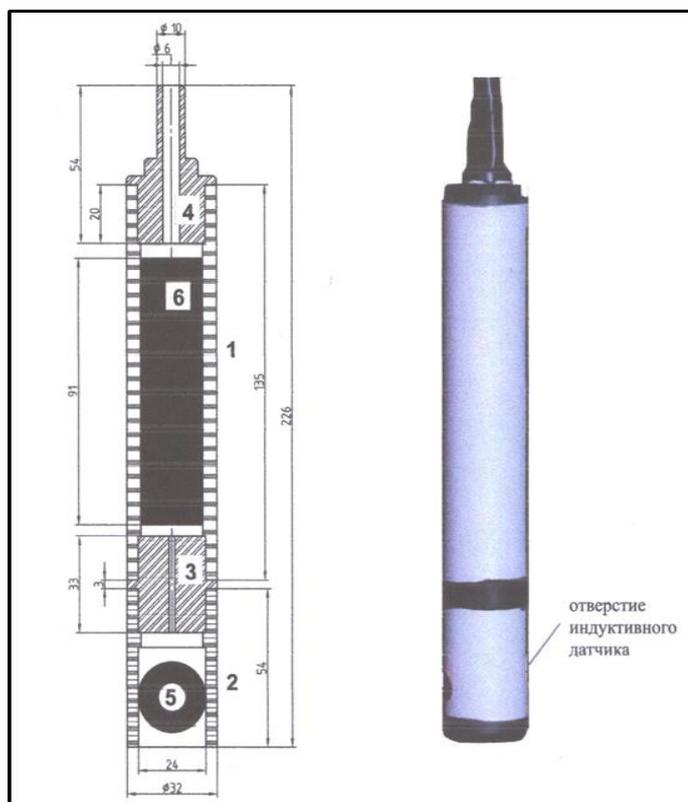
Отличительные особенности кондуктометра:

- погружной зонд (сенсор) кондуктометра является цифровым автономным прибором с универсальным интерфейсом, работающим с любыми удаленными регистраторами или в составе сети. Регистратором и накопителем в частности может служить обычный персональный компьютер,
- высокоточные измерения температуры, электропроводимости, внутренняя термокомпенсация, автоматическое переключение пределов измерения, позволили расширить диапазон работы в области малых концентраций (0,1 мСм/см), ранее достижимый только для 2-EL (4EL) сенсоров,
- для подсчета концентрации электролитов используется трехмерная аналитическая 32-битная модель, которая в отличие от обычного табличного метода EEPROM позволяет увеличить точность в широком диапазоне измерений,
- предусмотрена возможность автоматизированной калибровки без применения сложного оборудования. Это позволяет заказчику самостоятельно сформировать новую математическую модель для расчета концентрации произвольных электролитов,
- минимальное энергопотребление (<0,2 Вт/сенсор) позволяет эффективно разворачивать измерительную кондуктометрическую сеть в полевых условиях с альтернативным питанием.

### **4.3.3. Конструкция погружного зонда**

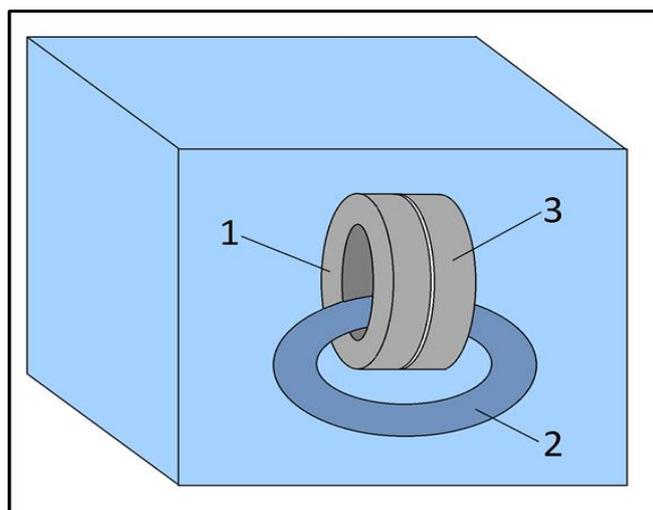
Погружной зонд (рисунок 4.8) состоит из двух отрезков пластиковой водопроводной трубы 1 и 2. Отрезки соединяются между собой резьбовым соединением при помощи стальной муфты 3. Стальная муфта 3 имеет

сквозное отверстие для проводов. Сверху зонд имеет стальную заглушку 4 соединяемую также резьбовым соединением. В отрезок трубы 2 помещён индуктивный датчик 5 и датчик температуры. Оба датчика залиты эпоксидной смолой с целью их гидроизоляции. В трубе 1 расположена электронная часть погружного зонда 6 залитая наполнителем.



**Рисунок 4.8.** - Погружной зонд: 1,2-отрезки пластиковой водопроводной трубы, 3-стальная муфта, 4-стальная заглушка, 5-индуктивный и температурный датчик, 6-электронная часть

**Принцип работы.** Первичная катушка индуктивного датчика (1) создает переменное магнитное поле [30-А, 31-А] и, следовательно, электрическое напряжение в жидкости (рисунок 4.9). Под влиянием этого напряжения положительные и отрицательные ионы, содержащиеся в жидкости, приходят в движение, результатом чего является переменный электрический ток (2). Этот ток наводит переменное магнитное поле во вторичной катушке индуктивного датчика (3) и, соответственно, вызывает ток вторичной обмотки. Величина тока вторичной обмотки пропорциональна проводимости жидкости и измеряется погружным зондом.



**Рисунок 4.9.** - Схема индукционного датчика: 1-первичная катушка индуктивного датчика, 2-переменный электрический ток, 3-вторичная катушка индуктивного датчика

Используется экранированный четырёхжильный кабель диаметром 6 мм. Для хранения и переноски кабеля используется катушка, изображенная на рисунке 4.10. Во избежание перекручивания кабеля в процессе наматывания/смотывания, используется метод укладки восьмёркой. Габариты катушки 90 х 40 см позволяют легко уложить 60 м кабеля.

К основанию катушки крепится погружной зонд.



**Рисунок 4.10.** - Приспособление для транспортировки погружного зонда и креплением зонда с ручкой для переноски

Погружной зонд, посредством промежуточного устройства, подключается к USB [195, 196] порту компьютера (рисунок 4.11). Через него зонд получает питание и передаёт данные.



**Рисунок 4.11.** - Подключение регистратора к зонду

Промежуточное устройство содержит в себе источник питания и переходник USB - Com. Одним концом устройство при помощи влагозащищённого разъёма соединяется с кабелем идущим от погружного зонда, другой конец соединен с USB портом компьютера.

Источник питания преобразует 5 В порта USB в необходимые для питания устройства 8 В. Переходник ST Lab U-224 ретранслирует данные с погружного зонда на USB порт компьютера.

Питающие провода от источника питания и провода данных идущие к кабелю-переходнику, объединяются на разъёме для подключения погружного зонда.

#### **4.3.4. Математическая модель функционирования кондуктометра КАЛЬМАР**

Большинство промышленных кондуктометров работают на основе эмпирических табличных зависимостей, заложенных в EEPROM на основе индивидуальной калибровки [197, 198].

Кондуктометр «Кальмар» работает по единой математической модели, получаемой методом наименьших квадратов (МНК) в аналитическом виде, что обеспечивает монотонность и высокую точность измерений. УЭП растворов веществ, в частности NaCl, описывается функцией трёх переменных [199, 200, 3-А]:

$$F_{\text{NaCl}}(C, \chi, t) = 0, \quad (4.23)$$

где  $C$  – концентрация, г/л;  $\chi$  - УЭП, мСм/см;  $t$  - температура, °С.

Чтобы избежать решения систем уравнений в частных производных, вводится понятие изоконцентрат или сечение поверхности (4.23) при  $C = \text{const}$ . Это позволяет фиксировать значение концентрации и зависимость (4.23) может быть преобразована в виде:

$$C_i = \varphi_i(\chi, t), \quad (4.24)$$

где  $i = 1, 5, 10, \dots 300$ -фиксированные концентрации растворов, г/л;  $\chi$  - УЭП, См/м;  $t$  - температура воды, °С.

Семейство функций  $\varphi_i$  образуют линейно - независимый базис, т.е. эти функции, никак не связаны друг с другом в силу различных физических процессов происходящих на разных концентрациях и температурах. Каждая из функций изоконцентрат  $\varphi_i$  достаточно хорошо описывается полиномом второго порядка, в случае достаточно близкой окрестности измерений и фиксированной температуры [201, 202]:

$$C = a\chi^2 + b\chi + c, \text{ при } t = \text{const} \quad (4.25)$$

Вычисление коэффициентов  $a, b, c$  производится методом МНК или по интерполяционной формуле Лагранжа. Отметим что функции  $\varphi_i(\chi, t)$  нигде не хранятся и их вычисление происходит в режиме реального времени всегда в близлежащих областях, что обеспечивает высокую точность. В файлах изоконцентрат хранятся функции  $\varphi_i(\chi, t) = 0$  или

$$\chi = f(t) \text{ при } C_i = \text{const.} \quad (4.26)$$

Функции  $\chi = at + b$  линейны в диапазоне температур 8 - 20 °С или описываются полиномами 3-5 порядка в расширенном температурном диапазоне.

Таким образом, математическая модель кондуктометра «Кальмар» состоит из фиксированной части уравнений изоконцентрации и вычисляемой части реальной концентрации методом наименьших квадратов [200, 201, 203]. Вычисления производятся на 32 разрядном процессоре до 5-6 значащих цифр.

Программа `conductometr_NELT` в реальном времени отображает и по команде фиксирует на экране в файл следующие параметры:

- температуру кондуктометрического датчика;
- концентрацию и УЭП исследуемого раствора;
- глубину погружения зонда;
- исходные данные с зонда;
- комментарии к записываемым данным.

Назначение элементов основного окна программы приводится на рис. 4.12.

Для установки достаточно скопировать папку с программой на жёсткий диск компьютера.

Запуск программы осуществляется с помощью ярлыка на рабочем столе или непосредственно с диска. С помощью приложения «Мой компьютер» потребуется найти в корневой директории одного из дисков компьютера папку `Conductometr` и запустить из неё исполняемый файл `conductometr.exe`.

Сразу после запуска на экран выводятся текущие параметры: температура, концентрация и УЭП исследуемого раствора. Запись данных в файл не производится до тех пор, пока не будет нажата кнопка «Запись».

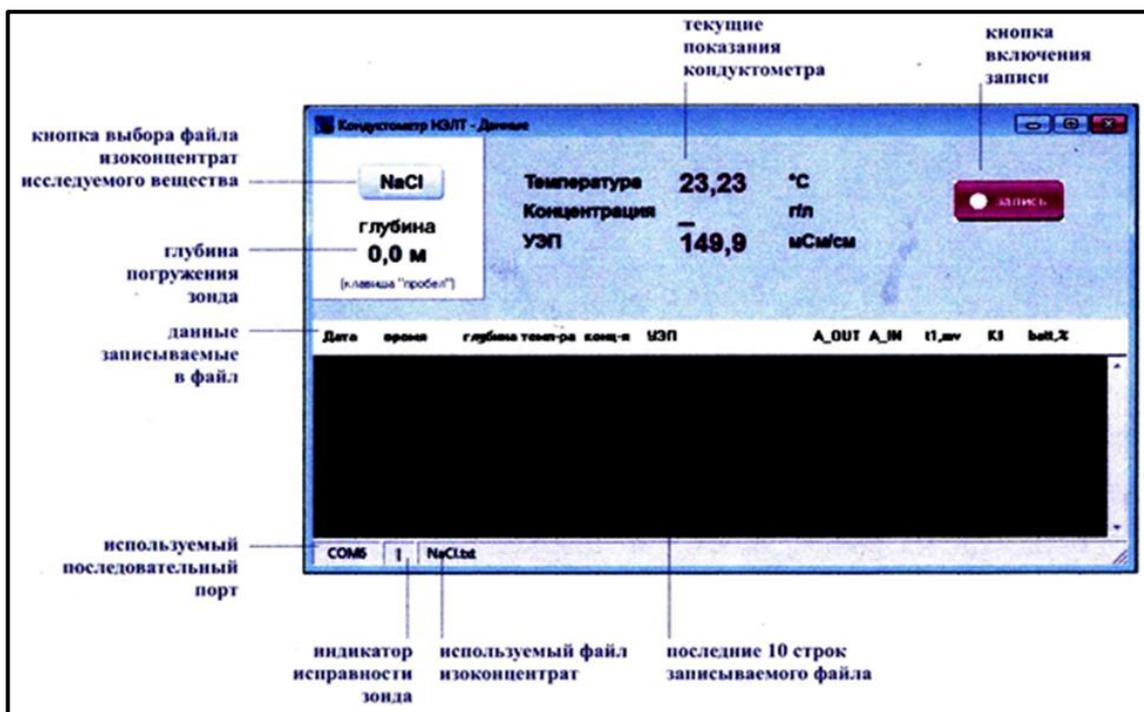


Рисунок 4.12. - Основное окно программы кондуктометра Кальмар

**Запись данных в файл.** При нажатии на кнопку «Запись» появляется дочернее окно с формой для заполнения параметров записываемого эксперимента. Запись не начнётся пока все поля формы, за исключением примечания, не будут заполнены. Поля заполняются для дальнейшего удобства поиска необходимых данных в большом объёме информации текстового файла.

**Вещество.** В этом поле указывается тип исследуемого раствора.

**Концентрация.** Данное поле используется в основном при калибровке кондуктометра по стандартным растворам. При обычных измерениях не заполняется, т.к. концентрация неизвестна. Она задаётся в граммах на литр раствора.

**Интервал записи.** Интервал времени через который требуется производить запись данных в файл задаётся в секундах.

**№ пьезометра.** Порядковый номер исследуемого пьезометра.

**Примечания.** Примечания к эксперименту.

После нажатия кнопки «Запись» в папке с программой будет создан текстовый файл именованный текущей датой. В файле будут находиться данные из заполненной формы за которой последуют данные с

кондуктометра. Первая запись будет сделана по истечении времени указанного в поле **«Интервал записи»**. Запись в однажды созданный файл будет происходить до тех пор пока не будет нажата кнопка **«Стоп запись»**.

Даже если произошла смена даты, новый файл создан не будет. Сделано это для того чтобы результаты одного эксперимента не оказались в разных файлах.

Новая запись, запущенная в тот же день будет записана в тот же файл.

Разделителем данных в файле служат знаки пробела.

Для остановки записи в файл служит кнопка **«Стоп запись»**. При её нажатии запись в файл прекращается, и данные выводятся только на экран.

**«Стоп запись»** используется при изменении условий эксперимента, чтобы начать новую запись, например при переходе к следующему пьезометру или переходе от погружения зонда к его подъёму, чтобы обнулить счётчик глубины.

**Расширенные возможности кондуктометра.** Кондуктометр «Кальмар» калиброван на измерение концентрации водного раствора поварённой соли (NaCl) в г/л раствора. Без дополнительной калибровки другие растворы электролитов могут быть охарактеризованы только температурой и УЭП. Процесс калибровки описан в разделе «Методика калибровки кондуктометра «Кальмар» на примере NaCl».

Если кондуктометр был калиброван на растворы других электролитов, то выбор требуемых в данный момент настроек осуществляется кнопкой, обозначенной на рисунке 4.12 как «NaCl». Надпись на кнопке изменится в соответствии с химической формулой выбранного исследуемого вещества.

**Файлы с уравнениями изоконцентрат.** Эти файлы используют программой для вычисления концентрации раствора по текущей температуре и УЭП. Для каждого вещества экспериментально определяется новое семейство зависимостей. Результаты записываются в файл с именем вещества (таблице 4.8). Например, файл NaCl.txt содержит уравнения для работы с растворами поварённой соли. Могут сохраняться в любом месте.

**Таблица 4.8.** - Пример составления файла с уравнениями  
изоконцентрат

$\chi=\text{NaCl}$	$c=1$	$\chi = 0,3317t + 9,716$
	$c=4,983$	$\chi = 1,5868t + 54,742$
	$c=9,951$	$\chi = 3,317t + 97,16$
	$c=19,841$	$\chi = 5,987t + 189,77$
	$c=29,67$	$\chi = 8,721t + 267,37$
	$c=39,435$	$\chi = 10,935t + 347,94$
	$c=49,138$	$\chi = 13,42t + 421,3$
	$c=73,11$	$\chi = 18,453t + 595,78$
	$c=96,672$	$\chi = 22,997t + 743,41$
	$c=119,82$	$\chi = 26,929t + 881,4$
	$c=142,54$	$\chi = 30,51t + 992,73$
	$c=164,84$	$\chi = 33,47t + 1098,2$
	$c=186,72$	$\chi = 36,196t + 1177,2$
	$c=208,18$	$\chi = 38,369t + 1248$
	$c=229,22$	$\chi = 40,67t + 1298,7$
	$c=260,14$	$\chi = 42,34t + 1349,6$
	$c=299,89$	$\chi = 45,21t + 1391,9$

Файлы с уравнениями содержат:

- заголовок вида  $\chi = \text{NaCl}$ , где NaCl - химическая формула вещества, для исследования которого предназначены уравнения;
- строки со значениями концентрации стандартного раствора (г/л) использовавшегося в процессе калибровки-параметр  $c$ . Далее следует уравнение температурной зависимости УЭП вида:

$$\chi = at + b, \quad (4.27)$$

где  $t$  - температура, °С;  $\chi$  - УЭП в единицах прибора (A\_OUT).

Символы и группы символов в файле разделены пробелами.

Получение исходных данных других веществ для заполнения таблицы описано в разделе методика калибровки кондуктометра «Кальмар» на примере NaCl.

**Нахождение температурной зависимости от электропроводности.**  
Экспериментально определялось семейство температурных зависимостей УЭП для серии концентраций во всём диапазоне измерений. Данные зависимости линейны в пределах от  $\leq 5$  °С до  $\sim 20$  °С (рисунок 4.13).

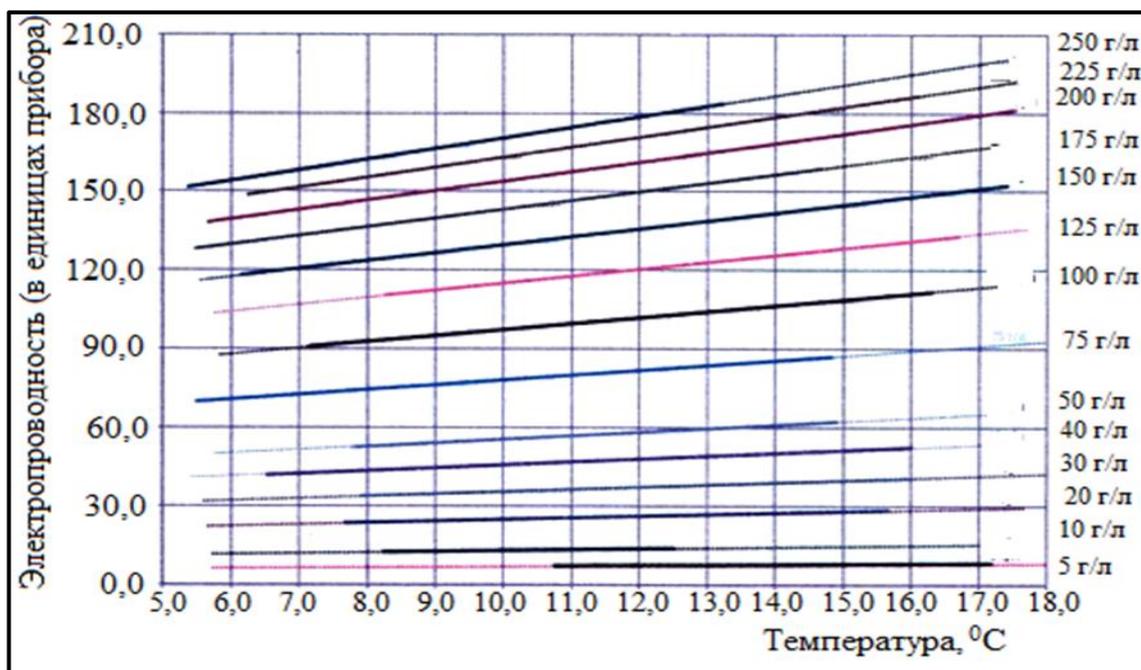


Рисунок 4.13. - Семейство температурных зависимостей УЭП раствора NaCl

С помощью электронной таблицы или аппроксимацией по методу наименьших квадратов, находятся уравнения для каждой прямой  $\chi = f(t)$ . Эти уравнения будут использованы в дальнейшем для нахождения опорных точек при построении концентрационной кривой УЭП.

Ход эксперимента. Из поваренной соли с содержанием NaCl 99,7% приготовили серию стандартных растворов различной концентрации. Чем больше растворов, тем выше точность калибровки. Чтобы получить погрешность вычисления концентрации менее 1%, требуется порядка 10 растворов.

Сосуд заполнялся стандартным раствором, предварительно охлаждённым до температуры 5 - 8 °C, таким образом, чтобы после погружения зонда на максимальную глубину уровень раствора находился чуть ниже горла сосуда. В раствор погружался зонд, расстояние от дна и стенок сосуда до зонда должно быть не менее 1,5 см. Зонд подключали к регистратору, на котором запущена программа `conductometr_Nelt`, включали запись данных в файл (раздел Программа `conductometr_NELT`) и раствор оставляли при комнатной температуре на несколько часов медленно нагреваться.

Когда температура раствора и окружающей среды выровнивались, раствор заменяли следующим по списку и процедура записи параметров раствора при нагревании повторялась с новым раствором. Таким образом, исследовали всю серию стандартных растворов.

Алгоритм нахождения концентрации раствора. После получения калибровочного файла изоконцентрат, кондуктометр определяет концентрацию неизвестного раствора следующим образом:

1. Кондуктометр (погружной зонд) измеряет и усредняет пару значений УЭП, температура –  $\chi_x$ ,  $t$ . Далее программа `conductometr_nelt` производит необходимые вычисления, указанные ниже.

2. Значение температуры подставляется в семейство уравнений файла `NaCl.txt` и находятся три ближайшие к  $\chi_x$  точки УЭП  $\chi_1, \chi_2, \chi_3$ .

3. Методом наименьших квадратов или интерполяцией по Лагранжу находят коэффициенты  $a, b, c$  зависимости (4.25) в которую вписываются все три точки, включая  $\chi_x$  с погрешностью  $\pm 0,1\%$

$$C = a\chi^2 + b\chi + c. \quad (4.28)$$

4. Находят искомую концентрацию, соответствующую  $\chi_x$  по формуле:

$$C_x = a\chi_x^2 + b\chi_x + c. \quad (4.29)$$

Проверка правильности функционирования алгоритма определялась неизменностью показаний концентрации для данного раствора при изменении температуры от 8 до 20 °С.

В данной главе диссертации рассмотрены теоретические и практические основы создания измерительных приборов для мониторинга гидрогеохимического режима основания плотины. Также рассмотрены вопросы разработки математической модели трансформаторного кондуктометра и ее метрологические характеристики прямого измерения, анализ и оценка изменения диапазона степени минерализации подземных вод, разработка и создание кондуктометра.

В главе 5, диссертации рассматриваются

- теоретические и практические основы использования изменения геотермического режима земной коры;
- разработка метода и системы контроля изменения теплового поля земной коры и расположения геотепловой завесы;
- разработка метода определения коэффициента фильтрации в основании плотины и путей сосредоточенной фильтрации;
- теоретические и практические основы изменения гидрогеохимической особенности в основании высоконапорной плотины;
- результаты анализа и оценки геологических и гидрогеохимических условий в зоне залегания пласта соли;
- результаты натурных исследований изменения гидрогеохимического режима вокруг солевого пласта в зависимости от изменения уровня воды в реке Вахш;
- мониторинг опреснения, отжатия подземных минерализованных вод и появление гидронапорно-осмотической завесы.

## **Глава 5. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОТЕРМИЧЕСКИХ И ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ СТВОРА РОГУНСКОЙ ГЭС**

### **5.1. Развитие теоретических и практических основ использования изменения геотермического режима земной коры**

#### **5.1.1. Теоретические основы формирования теплового поля Земли.**

##### **Теория терморазведки**

Источниками теплового поля Земли являются процессы, протекающие в ее недрах, и тепловая энергия Солнца. К внутренним источникам тепла относят радиогенное тепло, которое создается благодаря распаду рассеянных в горных породах изотопов урана, тория, калия и иных радиоактивных элементов, и тепло, обусловленное различными процессами, протекающими в Земле (гравитационной дифференциацией, плавлением, химическими реакциями с выделением или поглощением тепла, деформацией за счет приливов вод под действием Луны Солнца и некоторыми другими). Тепловая энергия перечисленных источников, высвобождающаяся на земной поверхности в единицу времени, значительно выше энергии тектонических, сейсмических, гидротермальных процессов [204, 205].

Внутреннее тепловое поле отличается высоким постоянством. Оно не оказывает влияния на температуру вблизи земной поверхности или климат, так как энергия, поступающая на земную поверхность от Солнца, в 1000 раз больше чем из недр. Вместе с тем среднее тепловое воздействие Солнца не определяет теплового состояния Земли и способно поддерживать постоянную температуру на поверхности Земли около  $0^{\circ}\text{C}$ . Фактически же благодаря изменению солнечной активности температура приповерхностного слоя воздуха, а с некоторым запаздыванием и температура горных пород изменяется [206, 207].

Суточные, сезонные, многолетние и многовековые вариации солнечной активности приводят к соответствующим циклическим изменениям температур воздуха. Чем больше период цикличности, тем больше глубина их теплового воздействия. Например, суточные колебания температуры воздуха проявляются в почвенном слое глубиной 1 - 1,5 м. Это связано с переносом солнечного теплового потока за счет молекулярной теплопроводности пород и конвекции воздуха, паров воды, инфильтрирующихся осадков и подземных вод. Сезонные (годовые) колебания вызывают изменения температур на глубину до 20 – 40 м. На таких глубинах теплопередача осуществляется в, основном, за счет молекулярной теплопроводности, а также движения подземных вод. На глубинах 20 – 40 м располагается нейтральный слой (или зона постоянных годовых температур). В нем температура остается практически постоянной и в каждом районе в среднем на  $3,7^{\circ}\text{C}$  выше среднегодовой температуры воздуха. Многовековые климатические изменения сказываются на вариациях температур сравнительно больших глубин. Например, похолодания и потепления в четвертичном периоде влияли на тепловой режим Земли до глубин 3 -4 км [207, 132].

Таким образом, если не учитывать многовековых климатических изменений, то можно считать, что ниже зоны постоянных температур (на глубинах свыше 40 м), влиянием цикличности солнечной активности можно пренебречь, а температурный режим пород определяется глубинным потоком тепла и особенностями термических свойств пород [184, 204].

Ниже нейтрального слоя температура пород повышается в среднем на  $3^{\circ}\text{C}$  при погружении на каждые 100 м. Это объясняется наличием регионального теплового потока от источников внутреннего тепла Земли, поднимающегося к поверхности. Его величину принято характеризовать плотностью теплового потока (или просто тепловым потоком)  $q$ . Среднее значение теплового потока как на суше, так и в океанах одинаково и составляет  $0,06\text{ Вт/м}^2$ , отклоняясь от него не более чем в 5 – 7 раз.

Постоянство средних тепловых потоков суши и океанов при резком изменении мощностей и строения земной коры свидетельствует о различии в тепловом строении верхней мантии. Поэтому аномалии тепловых потоков, т.е. отклонения от установленных средних потоков, несут информацию о строении земной коры, и верхней мантии [207].

Установлено, что основной источник тепла на континентах – энергия радиоактивного распада. Это объясняется большей концентрацией радиоактивных элементов в земной коре, чем в мантии. В океанах, где мощность земной коры мала, основным источником тепла являются процессы в мантии на глубинах до 700 – 1000 км. Радиогенное тепло является основным среди других видов тепловой энергии недр. За время существования Земли оно более чем в 2 раза превысило потери за счет теплопроводности [132].

Тепловой поток определяется не только природой и мощностью источников тепла, но и его переносом через горные породы. Тепло передается посредством молекулярной теплопроводности горных пород, конвекции и излучения. На больших глубинах (свыше 10 км) передача тепла осуществляется, в основном, за счет излучения нагретого вещества недр и конвекции, обусловленной движением блоков земной коры, расплавленных лав, гидротерм. На меньших глубинах перенос тепла связан с молекулярной теплопроводностью и конвекцией подземными водами [132].

Источники локальных тепловых потоков, вызывающих аномалии температур, разнообразны: наличие многолетнемерзлотных пород, т.е. мощных (до сотен метров) толщ с отрицательными температурами; присутствие пород и руд с повышенной радиоактивностью; влияние экзотермических (с поглощением тепла) и эндотермических (с выделением тепла) процессов, происходящих в нефтегазоносных горизонтах, залежах угля, сульфидных и других рудах; проявления современного вулканизма и тектонических движений; циркуляции подземных, в том числе термальных, вод и др. Роль каждого из этих факторов определяется геолого -

гидрогеологическим строением. Локальные тепловые потоки, как и региональные, зависят не только от наличия источников, но и от условий переноса тепла за счет теплопроводности горных пород и конвекции почвенного воздуха и подземных вод [207].

В настоящее время естественное тепловое поле Земли изучается методами геотермической разведки.

Геотермическая разведка (терморазведка) объединяет физические методы исследований естественного теплового поля Земли с целью изучения ландшафтов, термического режима земной коры и верхней мантии, выявление геотермических ресурсов, решение поисково – разведочных и инженерно – гидрологических задач. Тепловое поле определяется внутренними и внешними источниками тепла и тепловыми свойствами горных пород. При терморазведке регистрируют радиотепловое и инфракрасное излучения земной поверхности, измеряют температуру, ее вертикальный градиент или тепловой поток. Распределение этих параметров в плане и по глубине несет информацию о термических условиях и геологическом строении изучаемого района [132, 133].

Теория терморазведки основывается на решении уравнения теплопроводности [132, 159, 184]:

$$\alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (5.1)$$

характеризующего изменение температуры  $T$  по осям координат  $(x, y, z)$  по  $t$  с температуропроводностью  $\alpha$ .

В теории терморазведки получена следующая формула для расчета вертикального теплового потока:

$$q_z = -\lambda_T \frac{\partial T}{\partial z} + \sigma C V_z T, \quad (5.2)$$

где

$$\frac{\partial T}{\partial t} \approx \frac{T_2 - T_1}{z_2 - z_1} = \Gamma \quad (5.3)$$

Здесь  $\Gamma$  – температурный градиент или изменение температур  $T_2$  и  $T_1$  на глубинах  $z_2$  и  $z_1$  (ось  $z$  направлена вниз по нормали к поверхности);

$\lambda_T$  - коэффициент теплопроводности;

$\sigma$  - плотность;

$C$  - теплоемкость;

$V_z$  - вертикальная скорость конвекции (или скорость фильтрации подземных вод, если считать, что конвекция осуществляется в основном за счет подземных вод);

$T$  - температура на глубине  $z = (z_1 + z_2)/2$ ,

В скальных породах, а также в условиях стационарного теплообмена конвекцией можно пренебречь ( $V_z$ ), и тепловой поток равен:

$$q_z = -\lambda_T \Gamma \quad (5.4)$$

т.е. он определяется только теплопроводностью пород и температурным градиентом.

Таким образом, региональный тепловой поток Земли может быть рассчитан через измеренные на разных глубинах температуры и тепловые свойства среды, в основном, теплопроводность.

### **5.1.2. Разработка метода и системы контроля изменения теплового поля земной коры и расположения геотепловой завесы.**

Специалисты Межправительственной группы экспертов ООН по изменению климата (МГЭИК или IPCC), выявили, что планета нагревается намного быстрее, чем считалось ранее, и с начала индустриальной эпохи температура уже увеличилась на 1,1 градуса по Цельсию, хотя критическим показателем считается 1,5 градуса. С глобальным потеплением связывают

аномальные дожди, ураганы, лесные пожары и засухи. Но при этом эксперты уверены: остановить изменения климата ещё можно [208].

Изменения климата, включают в себя увеличение средней годовой температуры, вызывающая таяние ледников, и повышение уровня Мирового океана. Изменения климата являются следствием нарушения режима теплообмена между всеми природными системами, которые привели к изменению режима выпадения осадков, температурным аномалиям и увеличению частоты экстремальных явлений, таких как ураганы, наводнения, лесные пожары и засухи.

Влияние глобального потепления на изменение климата на территории Таджикистана подтверждено многолетними данными метеорологических станций наземного базирования.

Наряду с изучением повышения значения температуры наземного воздуха гидрометеорологическими станциями было бы актуально исследовать изменение теплового поля земной коры. Разработка современных методов и систем контроля изменения теплового поля земной коры могло бы ответить на многие вопросы суточного, сезонного, годового и многолетнего режима теплообмена между солнечным излучением и земной корой а также земной коры с атмосферным воздухом.

Процесс теплопереноса водным потоком и изменения температуры по глубине был исследован геотермическим методом в основании строящейся плотины Рогунской ГЭС, по пьезометрическим скважинам, расположенным на левобережной части реки Вахш [20–А, 22–А, 25–А - 27-А, 29-А].

На участке солевого пласта левого берега реки Вахш были выполнены режимные температурные наблюдения по 12 створам. Общее количество пьезометров, задействованных в исследованиях- 29. Из них в 11 пьезометрах, по техническим причинам, исследования провести не удалось [65 - А].

На рисунке 5.1 приведены графики распределения температуры по стволу пьезометрической скважины П-31 измеренные 2011 году, когда река Вахш еще не была перекрыта, т.е. река текла по своему старому руслу.

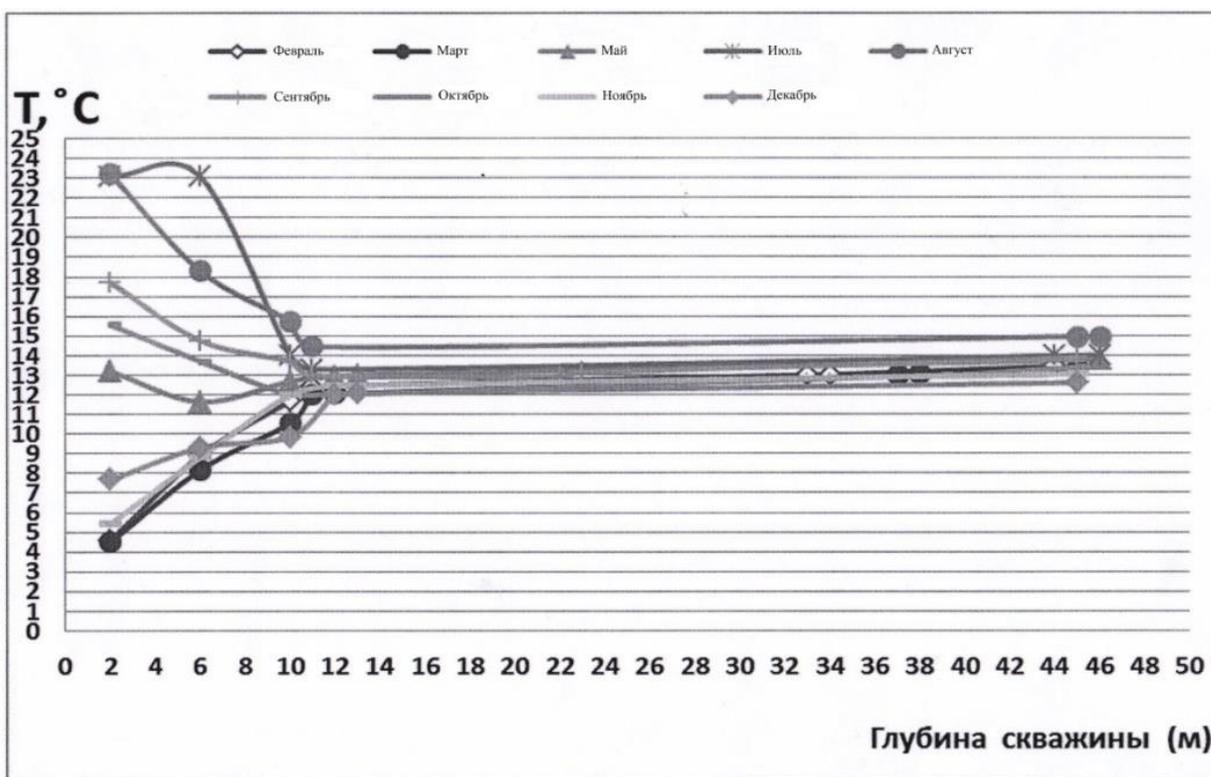


Рисунок 5.1. - Графики распределения температуры в пьезометрической скважине П-31 в 2011 г.

На основе полученных графиков, установлено, что в зависимости от сезонного изменения температуры и расхода воды в реке Вахш, резкое изменение температуры наблюдается в обводнённой части пьезометра, на глубине 10 -12 метров. На таких глубинах теплопередача осуществляется в, основном, за счёт молекулярной теплопроводности, конвективное движение подземных вод и течением реки Вахш. При этом, следует отметить, что ниже глубины 12 метров температура изменяется стабильно линейно-нарастающим темпом.

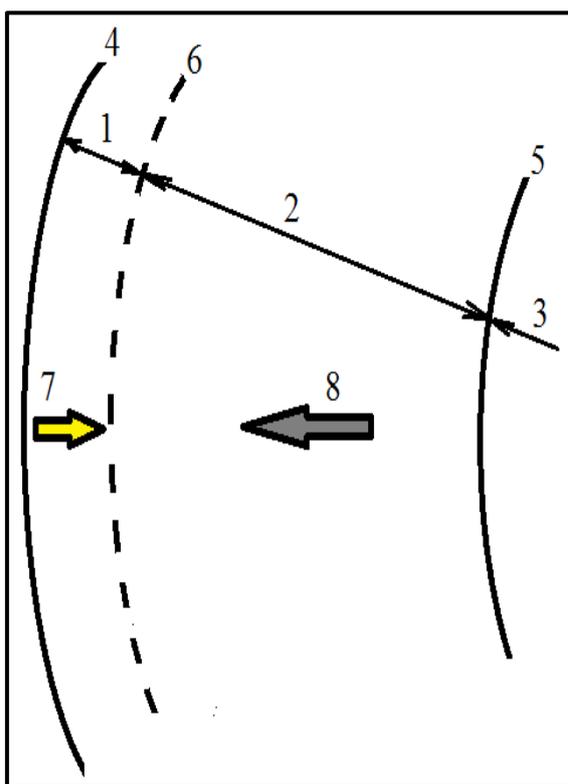
Поток воды в русле реки обладает свойством тепломассопереноса из окружающей породы и воздуха. На глубине 12 метров относительно стабильно держится минимальная температура. Температура в большей степени резко понижается за счёт тепла переносящегося течением водного потока в русле реки.

Как известно, земная кора отличается высоким постоянством значений средней теплопроводности. При этом, независимо от интенсивности

солнечного излучения на приповерхностной части земной коры, средняя теплопроводность последней остаётся постоянной.

Самое большое количество энергии Земля получает от Солнца, но значительная ее часть излучается обратно в пространство. Лишь малая доля солнечной энергии проникает в глубину земной коры. В то же время тепловое влияние солнечной энергии на процессы в недрах Земли весьма малы по сравнению с той энергией, которая выделяется внутренними источниками тепла. В настоящее время принято считать, что основным источником современной тепловой энергии в недрах Земли является радиоактивный распад долгоживущих изотопов.

На рисунке 5.2 приведена модель взаимодействия двух встречных потоков в земной коре.



**Рисунок 5.2.** - Модель взаимодействия двух встречных тепловых потоков в земной коре (1- приповерхностная часть земной коры (зона аккумуляции солнечной энергии), 2 - земная кора (зона аккумуляции тепловой энергии идущей из недр Земли), 3 - внешнее ядро Земли, 4 - поверхность Земли, 5 - граница внешнего ядра Земли, 6 - геотепловая завеса, 7 - поглощение солнечной энергии и превращение её в тепловую энергию ( $q_{z-тпси}$ ), 8 - встречный тепловой поток идущий из недр Земли ( $q_{z-тпиз}$ ))

Поглощённая энергия солнечного излучения земной корой превращается в тепловой поток  $q_{z-тпси}$  и расходуется на нагрев приповерхностной части земной коры. Также тепловая энергия приповерхностной части посредством молекулярной теплопроводности и наземным водовоздушным течением возвращается в атмосферу Земли.

Тепловой поток солнечного излучения в приповерхностной части земной коры при распространении на глубину Земли встречается с встречным тепловым потоком  $q_{z-гпнз}$ , идущим из недр Земли. В результате встречи двух тепловых потоков появляется нейтральная поверхность, граница резкого изменения температуры.

Граница резкого изменения температуры - эта геотепловая завеса, разделяющая земную кору на зону аккумуляции солнечной энергии (приповерхностная часть земной коры) и зону аккумуляции теплового потока, идущего из недр Земли, определяемая интенсивностью солнечного излучения, скоростью и объёмом потока воды, которая течёт по руслу, средней теплопроводностью пород земной коры, теплоёмкостью подземных вод и встречным тепловым потоком, идущим из недр Земли.

На территориях, где отсутствуют реки, геотепловая завеса определяется интенсивностью солнечного излучения, скоростью наземного ветра, средней теплопроводностью пород земной коры, теплоёмкостью подземных вод и встречным тепловым потоком, идущим из недр Земли, тепловая завеса находится глубже.

В земной коре под океанами, морями, озёрами и водохранилищами отсутствует геотепловая завеса. В таких местах возможно существование гидротепловой завесы механизм появления, которой следует изучить.

В результате изменения интенсивности солнечного излучения в зависимости от годового сезона и тепловой энергией идущей из недр Земли, положение геотепловой завесы по вертикали меняется.

При выполнении условия  $q_{z-гпси} > q_{z-гпнз}$  геотепловая завеса перемещается вниз в глубину Земли, а при выполнении условия  $q_{z-гпси} < q_{z-гпнз}$  геотепловая завеса приближается к поверхности Земли, свидетельствующее избыток тепловой энергии в недрах Земли.

При приближении геотепловой завесы к поверхности Земли объём зоны аккумуляции солнечной энергии уменьшается, ведущая к аномальному прогреву приповерхностной части земной коры, что становится одним

значимых причин: нагрева атмосферного воздуха; нарушения температуры снегообразования в начальный период зимнего сезона; экстремальных дождевых осадков; наводнению; ураганам; деградации ледников; усиленному испарению поверхностной воды; засухи, а также увеличению площади лесных пожаров.

Геотепловая завеса по отношению к контуру Земли в территориальном плане имеет неравномерную глубину расположения, представляя собой форму неправильной сферы.

Следовательно, геотепловая завеса является физическим индикатором развития климатических условий к потеплению или же похолоданию климата на Земле.

В результате проведённых исследований, экспериментально установлено (*для условий объекта исследований*) ранее неизвестное физическое явление: возникновение геотепловой завесы, разделяющая земную кору *на зону аккумуляции солнечной энергии* (приповерхностная часть земной коры) и *зону аккумуляции теплового потока*, идущего из недр Земли, определяемого интенсивностью солнечного излучения, скоростью и объёмом потока воды, в русле реки, скоростью наземного ветра, средней теплопроводностью пород земной коры, теплоёмкостью подземных вод и встречным потоком тепла от ядра Земли.

Результаты исследований позволили сделать вывод о том, что на точность величины изменения температуры по стволу пьезометра небольшой глубины (глубина до 50 метров) могут повлиять:

- асинхронный съём информации по стволу пьезометрических скважин;
- последовательное выполнение измерений от пьезометра к пьезометру с временным запаздыванием;
- смещение временного интервала измерения в течение суток, суточное колебание температуры воздуха, количество солнечной радиации;
- изменчивость погодных условий;

- близкое расположение пьезометрических скважин к руслу реки Вахш, служащая, дополнительным источником теплопереноса;

- особенностью горного массива, связанного с трещиноватостью и фильтрационными характеристиками массива.

С целью установления достоверности распределения температуры в земной коре, определения точного расположения геотепловой завесы и величины геотермической ступени разработан метод и автоматизированная многоканальная измерительная система измерения температуры в реальном масштабе времени [26-А, 29 – А, 46-А].

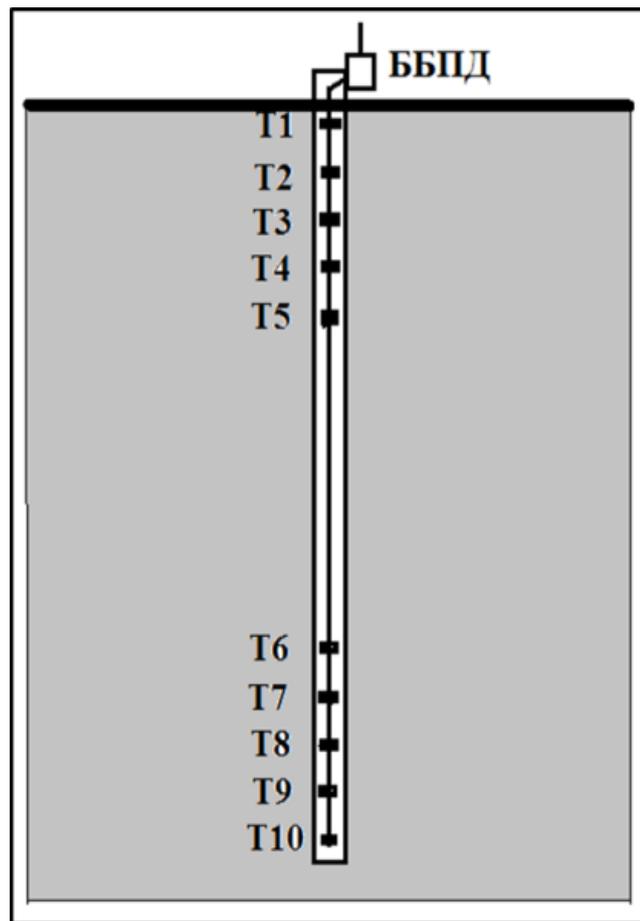
Разработанные автором метод и система предполагают бурение скважины глубиной до 200 метров в заранее выбранном месте земной коры и с установкой здесь термокосы состоящей из 10 датчиков температуры. Первая группа датчиков  $T_1-T_5$  с шагом от одного до пяти метров устанавливается в приповерхностной части скважины для измерения нагрева приповерхностной части земной коры от интенсивности солнечного излучения и глубины расположения геотепловой завесы. Вторая группа датчиков  $T_6-T_{10}$  устанавливается на глубине 150 метров с шагом 10 метров для определения распределения температуры в земной коре и геотермической ступени, где исключено влияние внешнего воздействия на показания датчиков. Схема расположения температурных датчиков группы  $T_1-T_5$  и  $T_6-T_{10}$  приведена на рисунке 5.3.

Все датчики  $T_1-T_{10}$  подключены к системе контроля и накопления информации, находящиеся в беспроводном блоке передаче данных (ББПД). ББПД передаёт данные в центр обработки данных, где по этим данным составляют первое эмпирическое уравнение по показаниям группы датчиков температуры  $T_1-T_5$  и второе по группам датчиков температуры  $T_6-T_{10}$  следующего вида:

$$T_{1-5}(i, j) = a_i h(i, j) + b_i, \quad (5.5)$$

$$T_{6-10}(k, n) = a_k h(k, n) + b_k, \quad (5.6)$$

где,  $a_i, b_i, a_k, b_n$  – коэффициенты эмпирического уравнения,  
 $h$  – глубина наблюдения изменения температуры по скважине,  
 $T_{1-5}, T_{6-10}$  – температура,  
 $i, k = 1 \div n$  – индекс выведения эмпирического уравнения,  
 $j, n = 1 \div 5$  – количество точек измерения величины температуры  
по которым, выведено эмпирическое уравнение.



**Рисунок 5.3.** - Схема расположения температурных датчиков группы  $T_{1-5}$  и  $T_{6-10}$  в скважине

По группам температурных датчиков  $T_1-T_5$  эмпирическое уравнение достаточно точно описывает изменение температуры в приповерхностной части земной коры при нормальной погоде, и прослеживает глубину расположения геотепловой завесы. По группам температурных датчиков  $T_6-T_{10}$  эмпирическое уравнение определяет закономерности распределения температуры. Также можно определить глубину расположения геотепловой завесы.

Решение уравнений (5.5 и 5.6), позволяет выявить глубину расположения тепловой завесы определяющая минимальную температуру  $T_{тз}$ :

$$h(i, j) = \frac{T_{1-5}(i, j) - b_i}{a_i}, \quad (5.7)$$

$$h(k, n) = \frac{T_{6-10}(k, n) - b_k}{a_k}, \quad (5.8)$$

где,  $T_{1-5}(i, j) = T_{6-10}(k, n) = t_{тз}$ ,

$a_i, b_i, a_k, b_k$  – коэффициенты эмпирического уравнения,

$h(i, j) = h(k, n)$  – глубина расположения геотепловой завесы равной минимальной температуре  $t_{тз}$ .

По первому эмпирическому уравнению (5.5 и 5.7) определяется глубина расположения геотепловой завесы и её сезонное колебание по вертикальной плоскости, а также дневной (летняя аккумуляция теплоты солнечного излучения) и ночной (зимний) теплообмен приповерхностной части земной коры с атмосферным воздухом.

По второму эмпирическому уравнению (5.6 и 5.8) определяется распределение температуры в земной коре, за геотепловой завесой и изменение геотермической ступени в течение года и в последующие периоды.

Совместное решение обоих уравнений даёт точное расположение тепловой завесы и её сезонные вариации в период наблюдений.

**Таким образом, метод и система контроля изменения теплового режима земной коры позволяет определить:**

- глубину расположения геотепловой завесы;
- объём зоны аккумуляции солнечной энергии в приповерхностной части земной коры;
- направление теплового потока;
- изменения геотермической ступени в земной коре;

- определить изменения закономерности распределения температуры в земной коре в темпе наблюдений;
  - определить дневные - летние накопления солнечной энергии в земной коре, а также ночную – зимнюю теплоотдачу в атмосферу;
  - определить остаточное тепло в земной коре в течение года и последующие периоды;
  - определить влияние крупных природных и техногенных объектов на изменение теплового режима земной коры,
- а также - составить эмпирические уравнения в любое заданное время.

### **5.1.3. Разработка метода определения коэффициента фильтрации в основании плотины и путей сосредоточенной фильтрации**

Гидротехнические сооружения по последствиям возможных аварий относятся к категории наиболее ответственных сооружений, для контроля состояния которых, на них размещают сотни, а иногда и тысячи средств измерений и ведут постоянные инструментальные и визуальные наблюдения. за деформациями, напряжениями, фильтрацией воды, температурой и др. параметрами. Температурные наблюдения за фильтрационным потоком в теле грунтовых плотин входят в состав рекомендуемых видов натуральных исследований гидротехнических сооружений. Наибольшее распространение температурные наблюдения получили на грунтовых плотинах, возведенных в районах вечной мерзлоты, для которых контроль положения нулевой ( $0^{\circ}$ ) изотермы позволяет судить о надежности противофильтрационных устройств [209 - 211].

Для грунтовых плотин, построенных вне зоны вечной мерзлоты, температурные наблюдения не получили большого распространения, и в первую очередь ввиду слабого научного и методического обоснования их применимости [209, 212]. Эксплуатационный персонал гидроузлов, ведущий натурные наблюдения, не заинтересован в проведении температурных

измерений, так как не видит в них практической пользы для анализа состояния грунтовых плотин, а существующие публикации на этот счет лишь убеждают их в этом. Так, известные специалисты-гидротехники по фильтрационным наблюдениям В.И. Аравин и О.Н. Носова отмечали: «Сведения о закономерностях изменения температуры фильтрационного потока дают возможность *только качественно* оценить фильтрационный режим» [209, 213]. Вместе с тем, накопленный опыт температурных наблюдений на грунтовых плотинах говорит о практической его значимости и ставит задачу обобщения и научного обоснования [209, 214, 215].

В данном разделе рассматривается изменение температуры, связанное с процессами теплопереноса в основании строящейся плотины Рогунской ГЭС, по пьезометрическим скважинам, расположенным на левобережной части реки Вахш. Геотермические исследования были произведены по стандартной методике [182, 20–А, 22–А, 25–А – 27-А, 29-А].

Примеры изменения температуры в обводнённой части пьезометров П-27, П-31, П-33 и П-37 приведены на рисунках 5.4 и 5.5, с шагом 1 метр, в период половодья (август, 2011г.) и в меженный период (декабрь, 2011г.).



Рисунок 5.4. - График изменения температуры в обводнённой части пьезометрической скважины П-31

Изменения температуры воды происходит в результате процессов конвективного теплопереноса. Теплоперенос в этом случае происходит за счёт фильтрующих свойств породы, по которому движется вода, вследствие гидростатического давления.

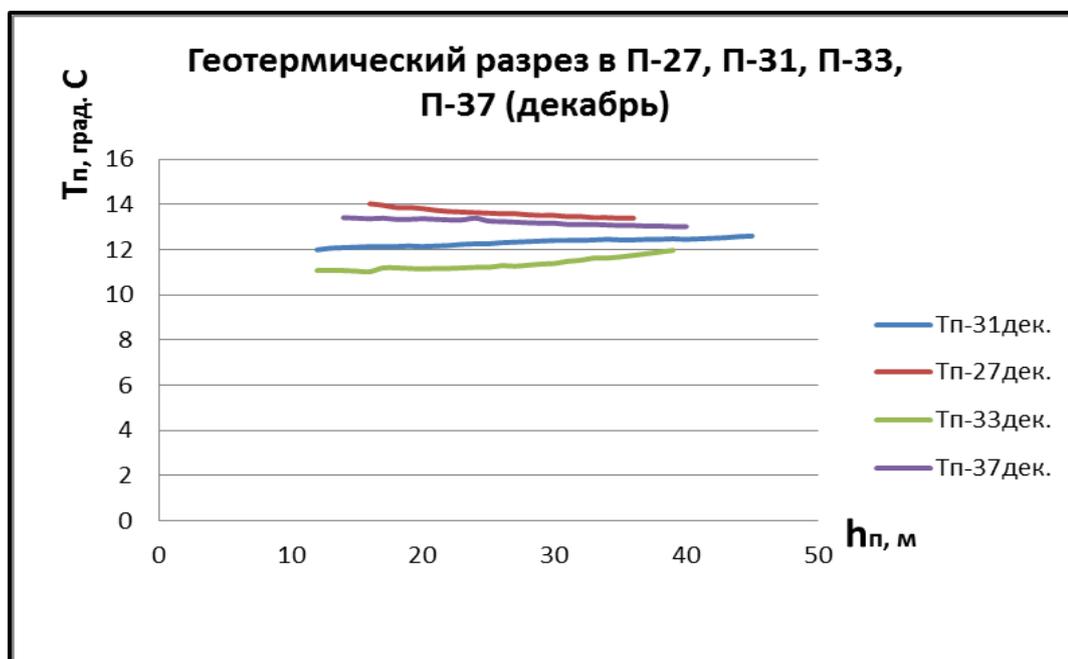


Рисунок 5.5. - График изменения температуры в обводнённой части пьезометрической скважины П-33

Контроль температуры воды по стволу пьезометрических скважин, в основании плотины может быть использован для определения фильтрационных характеристик породы основания.

Также, по группам пьезометрических скважин П-27, П-31, П-33 и П-37 в обводнённой части пьезометров, определено среднее годовое значение распределения температуры по глубине, в основании плотины Рогунской ГЭС (таблица 5.1).

На основании распределения температуры в пьезометрах П-27, П-31, П-33 и П-37 выведено среднегодовое значение распределения температуры и эмпирическое уравнение распределения температуры. График среднего годового значения распределения температуры приведен на рисунке 5.6.

**Таблица 5.1. - Средние годовые значения распределения температуры по пьезометрам П-27, П-31, П-33 и П-37**

Глубина пьезометра	Температура	Глубина пьезометра	Температура	Глубина пьезометра	Температура
14	13,121	25	13,644	36	13,709
15	13,117	26	13,656	37	13,55
16	13,545	27	13,647	38	13,572
17	13,57	28	13,655	39	13,604
18	13,561	29	13,661	40	13,874
19	13,601	30	13,67	41	13,661
20	13,614	31	13,67	42	13,687
21	13,62	32	13,676	43	13,724
22	13,636	33	13,691	44	13,761
23	13,641	33	13,694	45	13,778
24	13,669	35	13,69		



**Рисунок 5.6. - Среднее значение распределения температуры по группам пьезометрических скважин**

На основании вышеприведенного, выведено эмпирическое уравнение распределения температур (5.9).

$$Y = 0,01X + 13,329 \quad (5.9)$$

Результаты исследований показывают изменения температуры по стволу пьезометра причинами, которых являются асинхронный съём

информации по стволу пьезометрических скважин, последовательное выполнение измерений от пьезометра к пьезометру с временным запаздыванием, смещение временного интервала измерения в течение суток, суточное колебание температуры воздуха, количество солнечной радиации, тепловое состояние основания, близкое расположение пьезометрических скважин к реке Вахш, которая может служить, дополнительным источником теплопереноса связанным с особенностью горного массива, трещиноватостью и фильтрационными характеристиками массива.

Температура подземных вод зависит от климатических условий: теплового состояния земной коры, температуры воздуха и количества солнечной радиации.

Источником теплового поля Земли являются процессы, протекающие в ее недрах и тепловая энергия солнца. К внутренним источникам тепла относятся радиогенное тепло, которое создается благодаря распаду рассеянных в горных породах изотопов урана, тория, калия и других радиоактивных элементов, и тепло, обусловленное различными процессами, протекающими в Земле (гравитационной дифференциацией, плавлением, химическими реакциями с выделением или поглощением тепла, деформацией за счёт приливов вод под действием Луны, Солнца и некоторыми другими) [204].

Полученное эмпирическое уравнение (5.9) подтверждает, что внутреннее тепловое поле Земли отличается высоким постоянством и растёт с глубиной. Оно не оказывает влияния на температуру вблизи земной поверхности.

Из уравнения (5.9) следует, что на каждые 100 м глубины температура в земной коре, в среднем, увеличивается на  $1^{\circ}\text{C}$ . При увеличении количества пьезометров в группе для вычисления, среднее годовое распределение температуры и уравнение (5.9) более точно описывает нарастание температуры по глубине.

С целью подтверждения выведенной закономерности распределения температуры по глубине, в основании плотины Рогунской ГЭС были обработаны данные Главного управления геологии при Правительстве Республики Таджикистан по распределению температуры по группам наблюдательных скважин на территории Таджикистана (таблица 5.2).

**Таблица 5.2.** - Распределение температуры по группам наблюдательных скважин на территории Таджикистана по данным Главного управления геологии при Правительстве Республики Таджикистан

№ кадастра/ авторский №	Местонахождение по районам и городам	Время измерения температуры	Температура, °С	Глубина, м
278/440 <sup>a</sup>	Джалолидини Балхи	26.03.1965	18	176
326/5	Турсунзода	01.03.1964	15	193
329/8	Турсунзода	03.12.1964	15	150
13/20	Истаравшан	04.10.1968	12,3	245
17/19	Истаравшан	18.05.1968	14	195
23/14	Истаравшан	26.10.1968	13,5	167
40/26	Истаравшан	28.02.1968	13,2	352
45/29	Истаравшан	20.11.1968	11,2	220
13/25	Деваштич	18.08.1968	15,2	202
49/10	Деваштич	19.05.1969	13,2	200
50/27	Деваштич	13.09.1968	20	260
118/60	Гиссар	23.09.1961	38	1961
119/2	Гиссар	15.10.1956	36	1825
121/89	Рудаки	30.05.1965	24,5	2437
123/81	Рудаки	08.01.1962	37	1437
124/82	Рудаки	01.06.1961	29	508
145/220	Вахдат	12.08.1963	22	320
146/170	Вахдат	22.12.1964	35,5	1320
149/10	Вахдат	27.04.1961	14	293
154/354	Яван	31.07.1958	12	151
169/1	Яван	24.04.1968	18	300
231/335	Дангара	17.03.1958	19	196
232/261	Дангара	19.03.1958	18	300

На основании значений много годового (1958-1969гг.) распределения температуры по группам наблюдательных скважин на территории Таджикистана выведены средне - много годовые значения регионального распределения температуры и эмпирическое уравнение регионального распределения температур. График средне - много годового значения регионального распределения температуры приведен на рисунке 5.7.

При обработке материалов получено эмпирическое уравнение регионального распределения температуры земной коры Таджикистана (5.10).

$$Y = 0,0103X + 14,115 \quad (5.10)$$

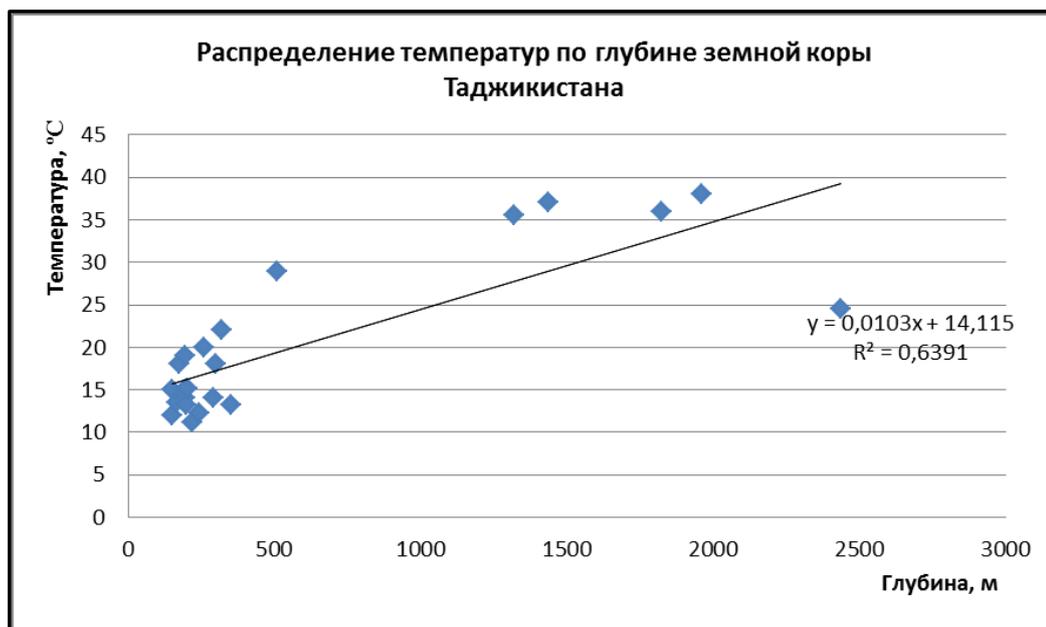


Рисунок 5.7. - Региональное многогодное распределение температуры по глубине земной коры Таджикистана

Результаты исследований показывают на очень близкие и идентичные соотношения (5.9 и 5.10) между закономерностью распределения температур в основании плотины Рогунской ГЭС и закономерным региональным распределением температур в земной коре Таджикистана.

Уравнение отличается (5.9) от уравнения (5.10) с разницей в  $1^{\circ}\text{C}$ , что связано с расположением пьезометрических скважин вблизи реки Вахш, которое может служить дополнительным источником теплопереноса.

Наблюдения за изменением температуры воды в пьезометрических скважинах основания плотины позволяет контролировать изменения температурного поля, в глубине, близкой к температуре теплоносителя (движение подземных вод) при изменении гидростатического напора в водохранилище и определить коэффициент фильтрации с нахождением пути

сосредоточенной фильтрации. Чем больше глубина изменения температуры близкой к температуре теплоносителя за единицу времени, связанной с повышением гидростатического напора, тем сильнее фильтрация.

Температурный режим грунтовых плотин зависит от их конструкции и климатических условий: температуры воздуха и воды, количества солнечной радиации, теплового состояния основания и теплового режима водохранилища [208]. Температурный режим основания плотины зависит от теплового состояния основания и теплового режима водохранилища. Влияние температуры воздуха и солнечной радиации на основание высоконапорной плотины исключено.

Изучение фильтрации воды в грунтах, различных пористых материалов и скальное основание высоконапорных плотин представляет большой практический интерес при решении многих инженерных задач в области гидротехники.

Как известно, скорость фильтрации  $v$  при ламинарном движении жидкости в порах грунта подчиняется закону Дарси [208]

$$v = kI = -k \frac{dh}{dx}, \quad (5.11)$$

где  $k$  — коэффициент фильтрации, см/с;  $I = -\frac{dh}{dx}$  - градиент напора, под действием которого происходит движение воды. Скорость фильтрации  $v$  является осредненной характеристикой движения воды.

Погрешность определения коэффициента фильтрации грунтов методом тепловой волны не превышает 30 %, что значительно меньше погрешностей определения коэффициента фильтрации грунтов другими методами: налива, откачек, индикаторов и др. [209, 213]. Результаты обработки данных по К.А. Бобкову [215] показывают, что величина погрешности определения коэффициента фильтрации методом тепловой волны изменяется в пределах от 20 до 40 %.

Как известно, применение закона Дарси (5.11) при формировании пути сосредоточенной фильтрации (канальная фильтрация) в скальных трещиноватых породах основания высоконапорной плотины, где движение фильтрующейся воды имеет характер турбулентности, не приемлем.

Применение теории теплопереноса позволяет определить скорость фильтрации при ламинарном и турбулентном характере движения жидкости. Теплоперенос в обязательном порядке сопровождается теплопереносом. Теплоперенос при ламинарном и турбулентном движении жидкости зависит от скорости фильтрации. Чем больше скорость фильтрации, тем больше скорость теплопереноса и глубина изменения температуры.

Движение фильтрационных вод через грунты и скальные, горные породы сопровождается теплопереносом из окружающей породы. Если измерять температуру в стволе пьезометра, наблюдается минимум значения температуры равной температуре теплоносителя  $t(i)=t_{тн}$  (рисунок 5.8).

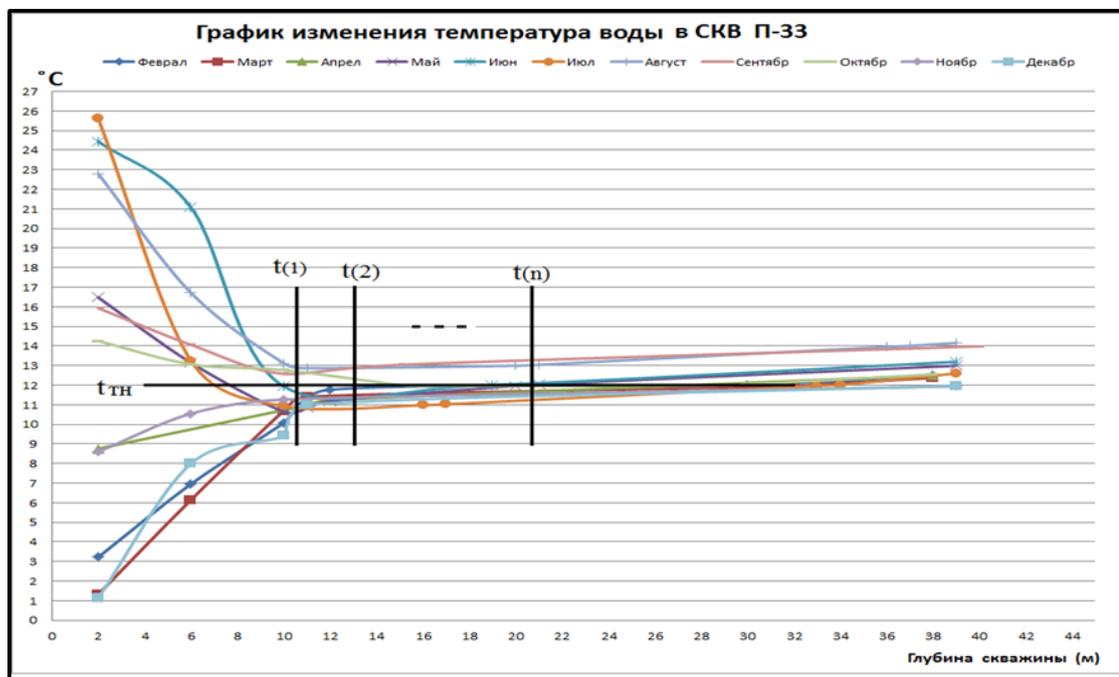


Рисунок 5.8. - График изменения температуры воды в П-33

При постепенном повышении напора в водохранилище возможно появление зоны сосредоточенной фильтрации в основании плотины,

теплоперенос ускоряется и вследствие этого происходит снижение температуры до температуры теплоносителя  $t_{\text{тн}}$ . Теплоносителем в данном случае является фильтрующаяся вода.

Применяя теорию тепломассопереноса и выбор створа наблюдения по глубине в основании плотины, можно определить коэффициент фильтрации следующим образом:

$$K_i = \frac{\Delta h_{\text{тн}}}{\Delta T} \quad (5.12)$$

где,  $\Delta h_{\text{тн}} = h(i + 1) - h(i)$  – интервал выравнивания температуры до температуры теплоносителя при повышении напора в водохранилище на величину  $\Delta H_i$ ;

$\Delta T = T(i + 1) - T(i)$  – время, в течение которого фиксируется значение  $\Delta h_{\text{тн}}$ ;

$i = 1 \div n$  – индекс выведения эмпирического уравнения.

Формула (5.12) по своей сути, является аналогом закона Дарси, позволяющая вычислить коэффициент фильтрации в скальных основаниях высоконапорных плотин во время строительства и эксплуатации сооружения.

Движение фильтрационных потоков и теплоперенос в основании плотины можно описать подобным уравнению (5.10) следующим образом:

$$t(i) = a h(i) + b, \quad (5.13)$$

где,  $t$  – температура,

$h$  – глубина минимальной температуры равной температуре теплоносителя,

$a, b$  – коэффициенты эмпирического уравнения,

При ступенчатом наполнении водохранилища до верхней отметки коэффициент фильтрации можно определить по следующей формуле:

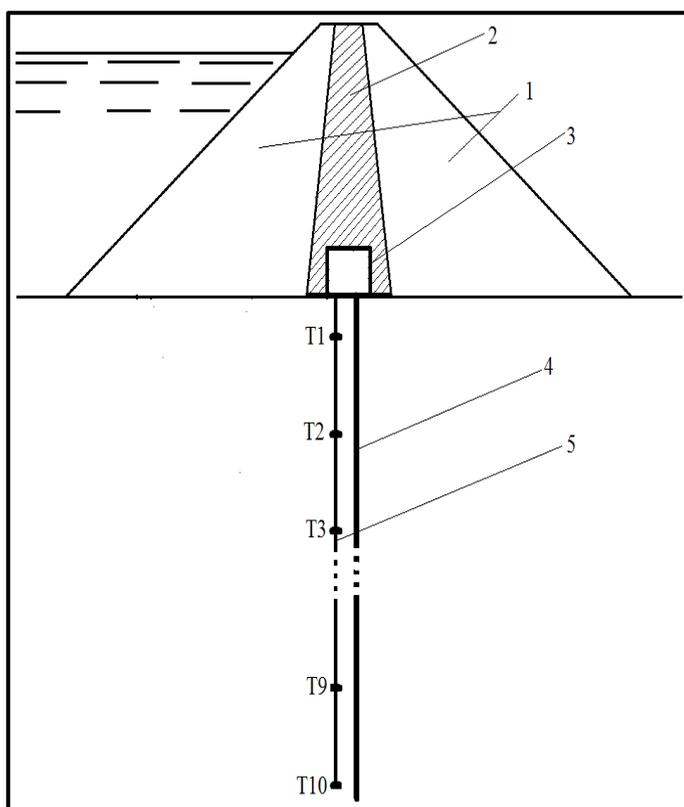
$$K = K_1 + K_2 + \dots + K_i, \quad (5.14)$$

где,  $K_i$  - коэффициент фильтрации на каждой ступени повышения напора в водохранилище.

Метод можно применить, при постепенной сработке водохранилища и проследить уменьшение коэффициента фильтрации. А также, метод можно применять, когда уровень водохранилища не изменяется. В этом случае наблюдение позволяет определить изменение коэффициента фильтрации при постоянном уровне водохранилища [20-А, 22-А, 25-А, 27-А, 43-А, 44-А, 81-А].

В случае появления путей сосредоточенной фильтрации в основании плотины, теплоперенос ускоряется и область, в которой температура понижается до температуры теплоносителя, заметно увеличивается  $t_{\text{гн}} \rightarrow t(i)$ .

В основании плотины можно по створно организовать наблюдения за изменением температуры в вертикальной плоскости по глубине (рисунок 5.9). Поскольку температурное поле в основании плотины является стабильным, где внешние источники тепла не влияют на его изменение, кроме теплоносителя (вода), можно на несколько порядков точнее измерить коэффициент фильтрации.



**Рисунок 5.9.** - Схема размещения температурных датчиков в основании плотины (1-упорные призмы, 2-ядро плотины, 3-смотровая галерея, 4-противофильтрационная завеса, 5-температурные датчики в количестве 10 шт., с шагом 10 м)

На рисунке 5.9, показана схема наблюдений за температурой по 10 точкам, с шагом 10 м. Поскольку шаг между точками 10 м, то значение между точками определим эмпирическим уравнением, приведённым в формулой (5.15)

$$t(i, j) = a_i h(i, j) + b_i, \quad (5.15)$$

где,  $a_i, b_i$  – коэффициенты эмпирического уравнения,

$h$  – глубина наблюдения по скважине,

$t$  – температура,

$i = 1 \div n$  – индекс выведения эмпирического уравнения,

$j = 1 \div 8$  – индекс уровня выведения эмпирического уравнения.

По десяти измеряемым точкам эмпирическое уравнение достаточно точно описывает изменение температуры в основании плотины, и прослеживает зону формирования сосредоточенной фильтрации.

Решая уравнение (5.15), можно определить и проследить глубину выравнивания температуры до температуры теплоносителя  $t_{тн}$ ,

$$h(i, j) = \frac{t(i, j) - b_i}{a_i}, \quad (5.16)$$

где,  $t(i, j) = t_{тн}$ ,

$a_i, b_i$  – коэффициенты эмпирического уравнения,

$h(i, j)$  – глубина выравнивания температуры до температуры теплоносителя  $t_{тн}$ .

В таблице 5.3 приводится схема и алгоритм последовательного вывода эмпирического уравнения и его использования.

Когда температура теплоносителя достигает точки T1, то при выведении эмпирического уравнения следующего уровня точка T1 исключается. Таким образом, постепенное увеличение зоны температуры теплоносителя накрывающее точку T1 до точки T8, последовательно температурные точки при выведении уравнения следующего уровня исключаются.

**Таблица 5.3. - Алгоритм последовательного вывода эмпирического уравнения  
и его использования**

№ п/п	Количество точек	Эмпирические уравнения	Решение	$\Delta h_{\text{ТН}}$ при $T(i+1) - T(i)$
1	$T1 \div T10$	$t(i, 1) = a_i h(i, 1) + b_i$	$h(i,1) = \frac{t(i,1) - b_i}{a_i}$	$h(i+1,1) - h(i,1)$
2	$T2 \div T10$	$t(i, 2) = a_i h(i, 2) + b_i$	$h(i,2) = \frac{t(i,2) - b_i}{a_i}$	$h(i+1,2) - h(i,2)$
3	$T3 \div T10$	$t(i, 3) = a_i h(i, 3) + b_i$	$h(i,3) = \frac{t(i,3) - b_i}{a_i}$	$h(i+1,3) - h(i,3)$
4	$T4 \div T10$	$t(i, 4) = a_i h(i, 4) + b_i$	$h(i,4) = \frac{t(i,4) - b_i}{a_i}$	$h(i+1,4) - h(i,4)$
5	$T5 \div T10$	$t(i, 5) = a_i h(i, 5) + b_i$	$h(i,5) = \frac{t(i,5) - b_i}{a_i}$	$h(i+1,5) - h(i,5)$
6	$T6 \div T10$	$t(i, 6) = a_i h(i, 6) + b_i$	$h(i,6) = \frac{t(i,6) - b_i}{a_i}$	$h(i+1,6) - h(i,6)$
7	$T7 \div T10$	$t(i, 7) = a_i h(i, 7) + b_i$	$h(i,7) = \frac{t(i,7) - b_i}{a_i}$	$h(i+1,7) - h(i,7)$
8	$T8 \div T10$	$t(i, 8) = a_i h(i, 8) + b_i$	$h(i,8) = \frac{t(i,8) - b_i}{a_i}$	$h(i+1,8) - h(i,8)$

## 5.2. Теоретические и практические основы изменения гидрогеохимической особенности в основании высоконапорной плотины

### 5.2.1. Анализ и оценка геологических и гидрогеохимических условий в зоне залегания пласта соли

Процесс проектирования и строительства Рогунской ГЭС, изначально сводился к выбору створа её плотины. Установление створа плотины предопределило начало масштабных изысканий и исследований зоны строительства плотины, включая Ионахшский разлом, характерный наличием выхода солевого пласта. Режимные наблюдения за уровнем подземных вод и их химизмом в изыскательных скважинах (рисунки 5.10, 5.11 и 5.12) производились с 1968 по 1977 годы [216, 30-А].

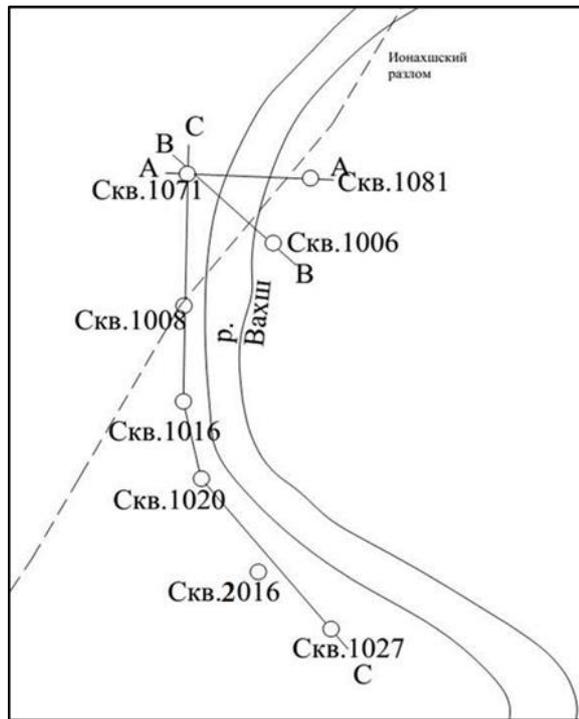


Рисунок 5.10. - Схема расположения скважин (масштаб 1:10000)

Зеркало *грунтовых вод имеет уклон* к руслу [217] реки Вахш и изменяется в зависимости от количества выпадающих осадков с отставанием, от нескольких часов до одних суток максимума УГВ от максимума осадков, в зависимости от удаленности наблюдаемой скважины от реки.

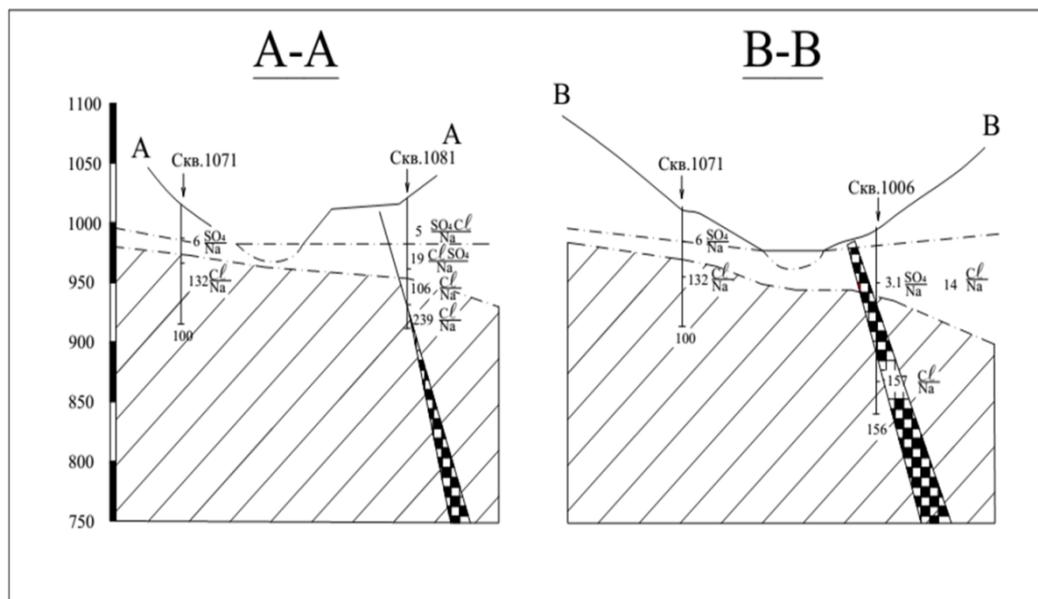
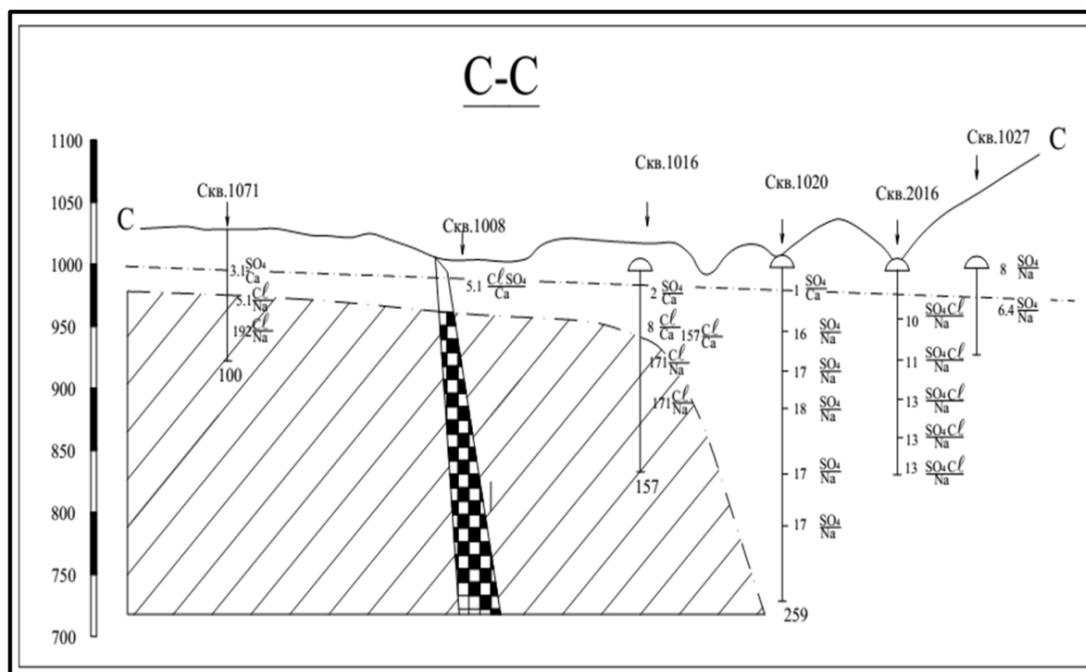


Рисунок 5.11. - Распределение уровня минерализации подземных вод (масштаб 1:5000)



**Рисунок 5.12.** - Распределение уровня минерализации подземных вод  
(масштаб 1:5000)

Уровень подземных вод вскрывается на отметках 1008 - 1010 м, всеми скважинами висячего крыла Ионахшского разлома на правом берегу реки Вахш. При прохождении скважин через зону разуплотненных аргиллитов, характеризующихся большой водопроницаемостью, уровень подземных вод резко падал до отметок, близких к урезу воды р. Вахш (980 - 981 м.).

В скважинах, вскрывающих соль на глубине более 10 м от ее верха (сква. 1004, 1004<sup>а</sup>, 1003<sup>б</sup>, 1006), поверхность уровня подземных вод устанавливается немногим выше уровня воды в р. Вахш.

В процессе бурения всухую по соли постепенное снижение уровня до глубины 132 м. наблюдалось и по скважине 1028. В течение месяца поднятия уровня не было. Путем налива уровень повысили на 31,5 м. За последующий год наблюдения он повысился на 6 м., т. е. в среднем по 0,3 м/месяц, что свидетельствует о весьма низкой водопроницаемости пород.

Приведенные выше результаты режимных наблюдений позволяют составить следующее представление о гидрогеологических условиях зоны Ионахшского разлома.

В правом борту, в зоне Ионахшского разлома, вследствие сложности его тектонического строения и разнородности фильтрационных свойств пород, фиксируются различные уровни подземных вод в висячем и лежащем крыльях разлома. Присутствие брекчированной разуплотненной породы, обладающей повышенными фильтрационными свойствами по сравнению с остальными породами тектонической линзы, обуславливает более низкое положение уровня подземных вод над ней [2-А].

Дренирующее воздействие разуплотненной брекчии в значительной степени сказывается в лежащем крыле разлома и проявляется с низких отметок уровней от 993 м (скв. 1070) и 986,6 м (скв. 1069). В висячем крыле отмечаются наиболее высокие уровни 1008-1012 м (скв. 1003, 1003<sup>а</sup>, 1004, 1004<sup>а</sup>, 1004<sup>б</sup>, 1028,1029). Следовательно, на фоне общего потока подземных вод, направленного к р. Вахш, по зоне Ионахшского разлома фиксируется понижение уровня, связанное с дренирующим действием разуплотненной зоны надсводовой части соли.

Химический состав подземных вод в депрессии вдоль разлома своеобразен. Особенно это касается верхней части водоносного горизонта до отметок примерно 950 - 960 м (верх соли).

Отмечена тенденция к повышению величины общей минерализации по ряду скважин 1003, 1004, 1029, т.е. при удалении от реки.

Вблизи реки, в верхней сорокаметровой толще водоносного горизонта распространены воды, в основном, сульфатного натриевого или кальциевого состава с минерализацией 3 - 5 г/л ( скв. 1005, 1070). По мере удаления от реки на этих же глубинах отмечается сульфатно-хлоридные натриевые воды с минерализацией от 3 до 18 г/л (скв. 1004). Кроме повышенной общей минерализации скважиной вскрываются воды с резко возросшим содержанием сульфат-иона. Его концентрация 2,0 - 2,5 раза выше, чем в скв. 1003 и составляет 80 - 160 мг/экв (3,9 - 8,1 г/л). Скважина пересекает разлом 70 и, видимо, подпитывается подводными по нему сульфатными водами.

Дальше от реки, на участке скважин 1069 - 1029, общая минерализация возрастает незначительно и колеблется в пределах 8,0 - 20,0 г/л, однако вода приобретает хлоридно-сульфатный натриевый (скв. 1029) и хлоридно-натриевый (скв. 1069) тип воды. Здесь не происходит обогащение ионами хлора, а хлоридный тип появляется за счет снижения содержания сульфат иона.

Рассматривая разрезы через скважины 1071-1081 и 1071-1006, отмечаем, что в правобережной скважине 1071 отметка постоянного существования хлоридно - натриевых вод расположена на 30 м выше, чем на левобережье в скв. 1081 и 1006. Имея границу хлоридно-натриевых вод на более высоких отметках, (около 980 м абс. отм.) есть основание полагать, что на правобережье существует источник – поставщик такого типа вод.

Наиболее вероятным источником высокоминерализованных вод хлоридно-натриевых являются мощные тела каменной соли, располагающиеся в районе сая Пасимурахо.

Во всех скважинах без исключения, в породах юры и нижнего мела, зафиксированы хлоридные натриевые воды, правда, они залегают на различных абсолютных отметках, и вблизи реки ( скв. 1081, 1003 ) выше их залегают более пресные, а на участке скв. 1028, 1069 хлоридно-натриевые воды ничем не перекрываются.

В гидрохимических профилях от Ионахшского разлома вниз по течению реки (правобережье и левобережье), в всячем крыле отмечается погружение хлоридно-натриевых вод по мере удаления от соли (рисунки 4.2 и 4.3).

Здесь наблюдаются как переходные от хлоридно - натриевых к сульфатно-хлоридным натриевым и смешанным хлоридно-сульфатным натриевым. Воды обладают довольно равномерной минерализацией в пределах 22 - 30 г/л, в то время как сульфатно - натриевые воды обладают минерализацией 1 - 19 г/л. Схема распространения описанных типов вод

весьма грубо может быть представлена в таком виде: хлоридно-натриевые воды в породах, залегающих на соли согласно (юра, нижний мел); находятся ниже поверхности размыва соли в полосе шириной 150 - 200 м., протягивающиеся параллельно Ионахшском разлому, далее они переходят в сульфатно-кальциевые воды. Со стороны тектонического контакта хлоридно-натриевая вода находится выше поверхности размыва соли (на скважине №1071, примерно на 25м.)

На хлоридных водах залегают почти повсеместно сульфатные воды, для которых областью питания служат склоны долины р. Вахш, а базисом дренирования – сама река.

На основании вышеизложенного, пласт соли, ограниченный Ионахшским разломом, вмещающим его породы и гидрогеологические условия могут быть охарактеризованы следующими основными положениями [30-А]:

1. Пласт соли, ограниченный с одной стороны согласно залегающими на нем верхнеюрскими аргиллитами, с другой - Ионахшским разломом, по которому с солью контактируют в основном породы верхнего мела, протягивается в верхний и нижний бьеф, пересекая реку под острым углом с левого на правый берег в районе верховой перемычки. Элементы залегания пласта –азимут падения  $130 - 140^{\circ}$ , угол  $75 - 88^{\circ}$ . Ионахшский разлом в плане на участке расположения плотины параллелен пласту соли, падение у него круче на  $8 - 9^{\circ}$ , чем у пласта соли, поэтому мощность соли с глубиной увеличивается.

2. Соль в пласте представлена галитом, обычно мелкозернистая, с редкими участками крупнозернистой разности. Из сингенетических включений в соли присутствует ангидрид и кальцит. В соли также присутствуют включения (~16%) имеющих пласт пород, привнесенных в соль в результате движения по тектоническому разлому. Соль - плотная

порода без трещин и каверн. Учитывая способность соли к быстрому самозалечиванию образующихся трещин в присутствии рассолов. Следует считать соль породой монолитной.

3. Вмещающие породы. Верхнеюрские аргиллиты плотные, крепкие; в естественных условиях породы у пласта соли сильно загипсованы по трещинам и по массе. Содержание гипса в аргиллитах составляет 5,5%. Контакт соли с аргиллитами плотный, извилистый. Породы мингбатманской свиты, имеющие с солью тектонический контакт, представлены песчаниками с прослоями алевролитов. Породы сильно трещиноваты; трещины выполнены перетертым глинистым материалом. Непосредственно на контакте с солью, как правило, залегает глина трения мощностью от нескольких до 20 - 30 см.

4. На поверхности земли соль отсутствует - она выщелочена. Торцы пласта соли или поверхность размыва находятся ниже уровня подземных вод на 25 - 30 м. Пространство вымытой соли выполнено брекчией, состоящей из включений пласта соли, обломков вмещающих пород, сцементированных глинистым загипсованным материалом. Брекчия имеет очень плотное сложение, за исключением участка непосредственно над поверхностью размыва соли. Здесь непосредственно над поверхностью размыва соли на высоту до 20 м брекчия разуплотнена. Это было определено по повышенной скорости бурения, провалам бурового снаряда, повышенной величине фильтрации. Мощность пласта соли по поверхности размыва составляет 0,5 - 12 м. Породы, на участке распространения недоуплотненной брекчии сильно трещиноваты.

5. Коэффициент фильтрации соли не превышает  $5 \cdot 10^{-5}$  м/сут. Водопроницаемость вмещающих пород также очень низка. Водопоглощение, за весьма редкими исключениями, не достигает 0,01 л/мин. Водопроницаемость недоуплотненной брекчии непосредственно над

поверхностью размыва соли колеблется в широких пределах. Следует отметить, что максимальное зафиксированное значение удельного водопоглощения составляет 10 л/мин. Следовательно данную величину можно принимать, как расчетную.

6. Гидрогеологические условия района обусловлены малым количеством выпадающих осадков (750 - 820 мм в год); крутыми склонами долин, способствующими поверхностному стоку значительной части (до 85-90%) выпадающих осадков и низкой водопроницаемостью коренных пород. Дреной подземных вод участка является р. Вахш. Колебания уровня воды в реке имеют амплитуду до 6 - 7 м. Недоуплатненная брекчия в надсолевом пространстве, протягивающаяся вдоль пласта соли, судя по проводящимся наблюдениям, также является дреной подземных вод.

7. По химическому составу, подземные воды можно разделить на 3 типа [2-А, 47-А]:

- сульфатные – кальциевые, встречающиеся довольно редко, и то у самой поверхности подземных вод, и обладающие минерализацией от 0,7 (скв. 1020) до 4 г/л (скв. 1003);

- сульфатные натриевые распространенные довольно широко, причем вблизи соли, они фиксируются до глубины 40 – 50 м, а по мере удаления от нее нижняя граница постепенно погружается и на расстояние 200 – 250 м от пласта соли фиксируются только сульфатные натриевые воды с минерализацией от 2,5 до 12 г/л;

- хлоридные натриевые воды распространены на участках, где развита каменная соль. Их минерализация изменяется в очень широких пределах от 2 до 326 г/л. Переходная зона между сульфатными натриевыми и хлоридно-натриевыми водами фиксируется на отметках верха соли, т.е. около 960 м. Кроме того между первым и вторым, вторым и третьим типами вод существуют смешанные воды с очень пестрым химическим составом.

8. В процессе обобщения материалов режимного наблюдения предыдущих лет выявлено существование барражного эффекта

сильноминерализованных подземных вод по обеим сторонам солевого пласта, который защищает пласт соли от растворения [186].

Таким образом, высокоминерализованные хлоридные натриевые воды, приуроченные к меловым отложениям (верхний бьеф), судя по более высоким отметкам их верхней границы по скв. 1071, имеют направление движения из глубины массива к пласту соли. Источником их образования, по-видимому, являются мощные соленосные отложения в районе правобережного притока р. Вахш – сая Пассмурахо.

В породах юры и нижнего мела, т.е. в нижнем бьефе, распространение высокоминерализованных хлоридных вод в виде полосы, вытянутой вдоль пласта соли, может быть объяснено многими причинами, но в настоящее время из-за недостаточности фактологического материала утверждать о приоритетных факторах не представляется возможным.

### **5.2.2. Натурные исследования изменения гидрогеохимического режима вокруг солевого пласта в зависимости от изменения уровня воды в реке Вахш**

При составлении прогноза фильтрационного режима в основании сооружений особое внимание уделяют исследованию взаимодействия фильтрационных вод из водохранилища с подземными минерализованными водами и с соленосными породами основания.

Взаимодействие фильтрационного потока с подземными минерализованными водами и соленосными породами оснований характеризуется конвективно - диффузионным отжатием минерализованных вод, солеперенос фильтрационным потоком, растворением оголовка солевого пласта и гравитационной конвекции (переотложение) солевой составляющей.

Растворение соленосных пород может интенсифицироваться процессом миграции растворённых солей под действием фильтрации-выщелачиванием.

Процесс выщелачивания сопровождается изменением водо - или рассолопроницаемости соленосной породы, зависящие следующих факторов:

- исходный минералогический состав и структурно-текстурное сложение пород основания;
- физико - химическое состояние подземных вод (минералогический состав, плотность, вязкость, температура, валентность катионов, концентрация водородных ионов, коэффициент диффузии солей в растворах пористо-трещиноватой среды);
- скорость фильтрации;
- напряжённое состояние массива.

Для решения задач связанные с определением химического состава подземных вод, в зоне солевого пласта Рогунской ГЭС, в реальном масштабе времени, была применен кондуктометрический метод и зонд-кондуктометры «NELT» и «КАЛЬМАР» [3-А – 5-А, 49-А – 53-А].

Следует отметить, что вышеназванные приборы эксплуатировались в пьезометрической сети основания плотины Рогунской ГЭС.

Схема расположения пьезометрических скважин приведена на рисунке 5.3.

К задачам этих исследований отнесены:

- анализ влияния колебаний уровня воды в реке Вахш, на изменение уровня минерализации подземных вод в пьезометрических скважинах;
- изучение гидрохимической обстановки подземных вод на левобережном участке Ионахшского разлома до перекрытия русла реки Вахш (в естественных условиях).

В ноябре - декабре 2011 года были проведены два цикла измерений. Измерения минерализации проведены в 16 пьезометрических скважинах, через каждый 1 метр глубины (Прил. 2). Исследования были продолжены в 2013 по 2015 году.

По результатам анализа выполненных работ, выявлено, что изменения минерализации подземных вод в скважинах за пластом соли и близкие к пласту не происходят (рисунки 5.13 – 5.14). Эта связано с формированием гидростатического давления дальше от пласта соли.

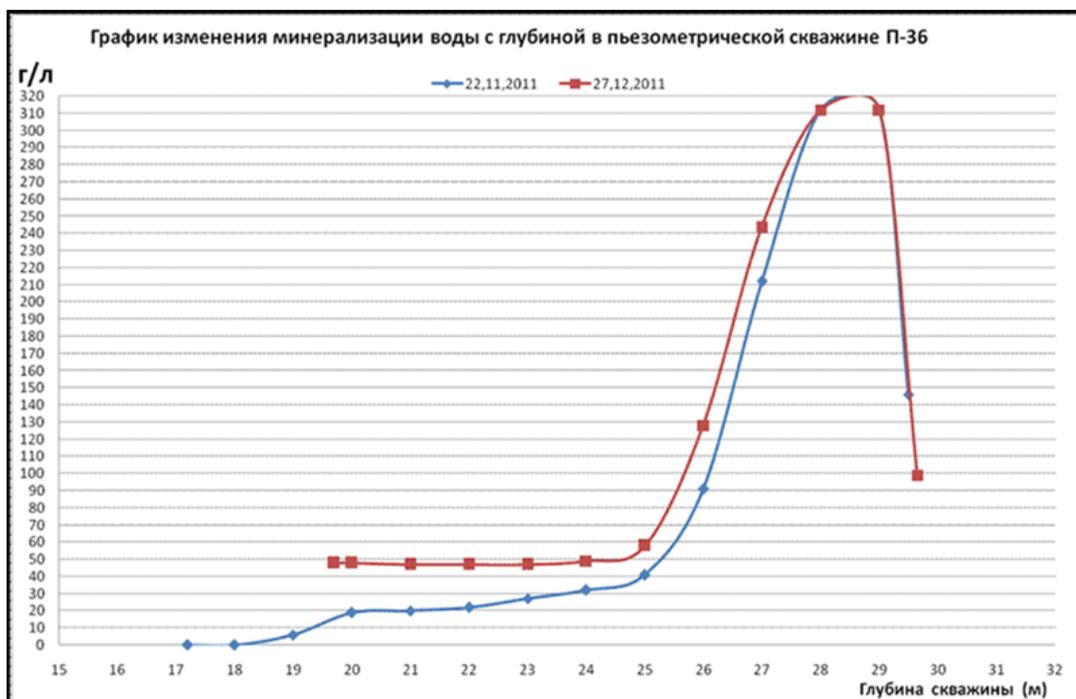


Рисунок 5.13. - График изменения минерализации в пьезометре П-36



Рисунок 5.14. - График изменения минерализации в пьезометре П-36

Полученные результаты, позволили установить, что так как солевой пласт является водоупорным элементом, то выше пласта по течению реки формируется гидростатическое давление, приводящее к изменению минерализованных подземных вод по площади и по вертикали в зависимости от колебания уровня воды в реке Вахш (табл. 5.3 – 5.4). Исследования показали, что при понижении уровня воды в реке Вахш на 0,26 - 0.40 м, минерализация подземных вод в пьезометрах увеличивается в пределах от 16 до 130 г/л [66-А].

**Таблица 5.3.** - Технические характеристики пьезометрических скважин

№ скважины	Глубина скважины, м	Абс. отм. уст.скв., м	Отм. измер-я минер-и, м
П – 26	31	1004.78	963.78
П – 27	35	1005.62	970.62
П – 29	41	999.21	958.21
П – 29 <sup>а</sup>	40	999.78	959.78
П – 30	45	998.08	953.08
П – 31	44	998.12	954.12
П – 31 <sup>а</sup>	46	998.82	952.82
П – 32	48	999.12	951.12
П - 33	38	996.14	958.14

**Таблица 5.4.** - Сопоставления изменения минерализации воды в пьезометрах от колебания уровня воды в реке Вахш

№ скважины	Уровень минерализации С, г/л		Отм. уров. воды в реке Вахш, м		Разница минерализации ΔС, г/л	Разница отметок уровня реки, м
	18-21. 11.2011	27-28. 12.2011	18-21. 11.2011	27-28. 12.2011		
П – 26	225	310	986.92	986.64	+85	-0.28
П – 27	205	310	986.92	986.64	+105	-0.28
П – 29	130	175	986.92	986.66	+45	-0.26
П – 29 <sup>а</sup>	200	315	987.06	986.66	+115	-0.40
П – 30	180	310	987.06	986.66	+130	-0.40
П – 31	180	310	987.06	986.66	+130	-0.40
П – 31 <sup>а</sup>	150	210	987.06	986.66	+60	-0.40
П – 32	210	310	986.94	986.66	+100	-0.28
П - 33	38	54	987.06	986.66	+16	-0.40

В качестве примера проанализируем изменения уровня минерализации подземных вод в пьезометре № 29<sup>а</sup> (рисунок 5.15). В графике указана

глубина расположения оголовка соли на глубине 39 м (Д). В измерениях проведенных в ноябре 2011 г. граница между пресными и подземными минерализованными водами определено на глубине 24 м (С), а в декабре 2011 г. поднимается на глубину 20 м.

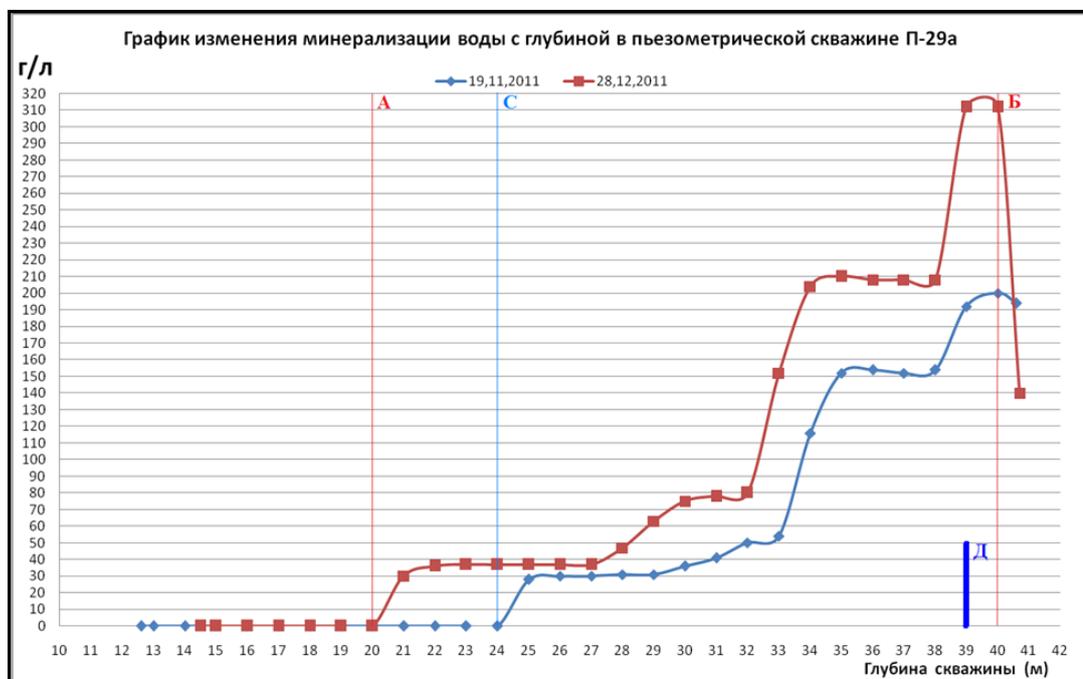


Рисунок 5.15. - График изменения минерализации в пьезометре П-29<sup>а</sup>

Результаты проведенных исследований в пьезометрической сети основания будущей плотины Рогунской ГЭС за гидрогеохимическом режимом доказывают, что в обоих циклах измерений, проведенных в ноябре 2011 года до глубины больше 40 метров и в декабре 2011 года до глубины 40 метров (Б), происходят изменения степени минерализации подземных минерализованных вод.

Исследования показывают: в измерениях ноября месяца интервал изменения степени минерализация подземных вод (А-Б) составляет больше 20 метров и максимальное значение минерализации повышается до 200 г/л; в измерениях декабря интервал изменения степени минерализации подземных вод (А-Б) составляет 19 метров и максимальные значения минерализации повышается до 320 г/л; начальное смещение графиков (А - С) составляет 4 метра. Измерения проведенные в декабре показывают, что уровень

подземных минерализованных вод поднимается, то есть минерализованные воды возвращаются на прежний уровень.

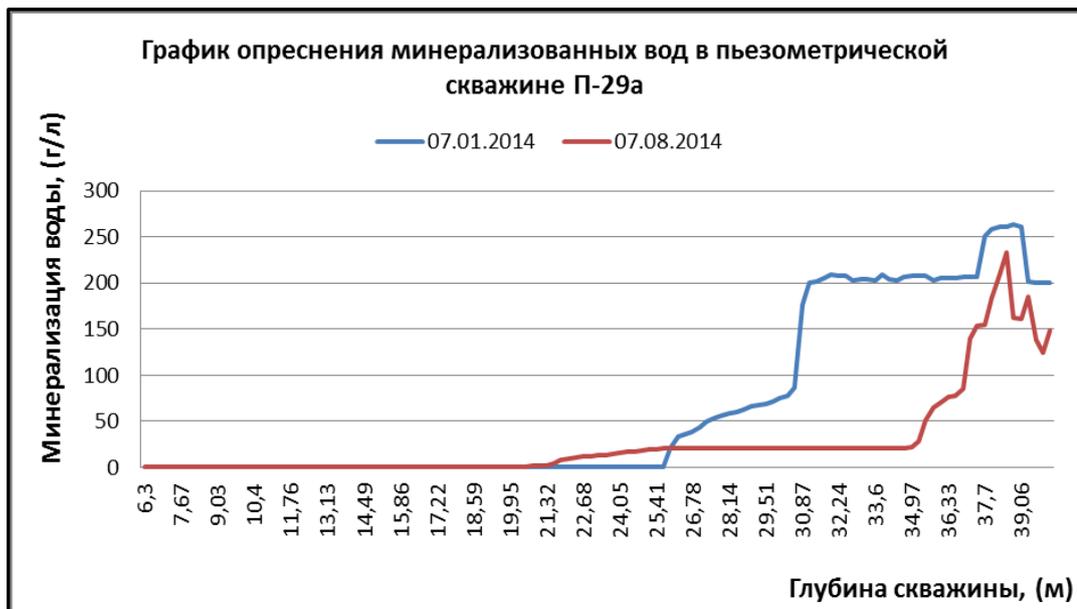
По графику изменения степени минерализации в пьезометре П-29<sup>а</sup> наблюдаются следующие аномалии: графики отличаются относительным начальным смещением; оба графика не являются симметричным смещением друг относительно друга; в обоих графиках степени минерализации изменяются схожими нелинейно-ступенчатыми нарастаниями до максимальных значений.

### 5.2.3. Мониторинг опреснения, отжатия подземных минерализованных вод и появлением гидронапорно-осмотической завесы

Изменение минерализации подземных вод в зависимости от изменения пьезометрического уровня рассмотрим на примере пьезометрической скважины П-29<sup>а</sup> за 2013 и 2014 г.г. (рисунки 5.16 и 5.17). Из приведенных графиков видно, что при положительном изменении гидравлического градиента происходит опреснение подземных минерализованных вод, а при отрицательном изменении гидравлического градиента происходит отжатие минерализованных вод.

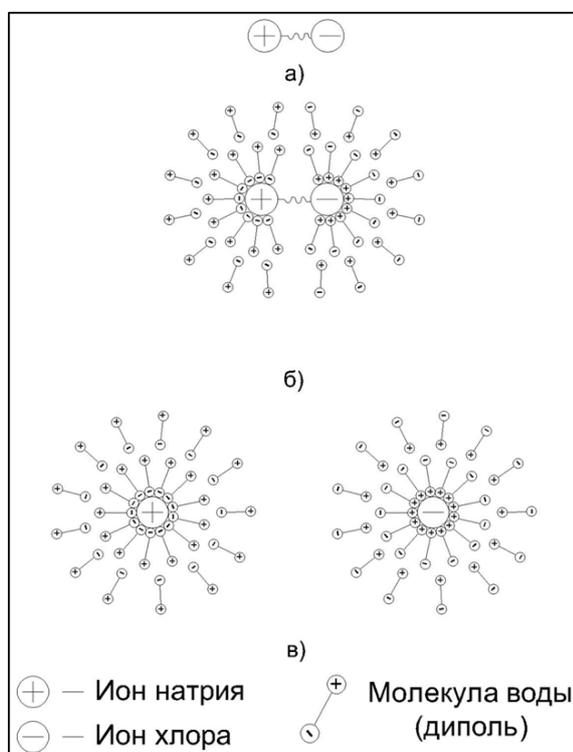


Рисунок 5.16. - График отжатия минерализованных вод в пьезометрической скважине П-29<sup>а</sup>



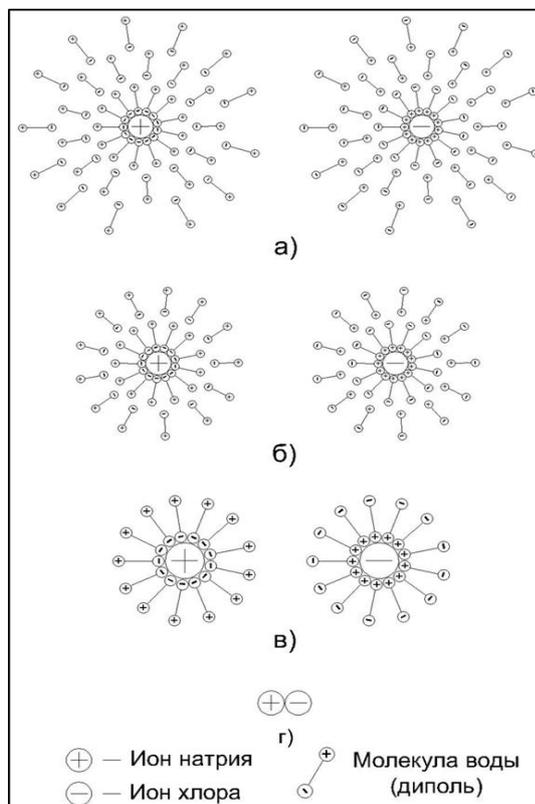
**Рисунок 5.17.** - График опреснения минерализованных вод в пьезометрической скважине П-29<sup>а</sup>

При понижении гидростатического давления происходит гидратация молекул воды в ионном составе раствора минерализованных вод (отжатие минерализованных вод). На рисунке 5.18 приведена модель гидратация молекул воды в ионном составе раствора минерализованных вод.



**Рисунок 5.18.** - Гидратация молекул воды в ионном составе раствора минерализованных вод

При повышении гидростатического давления происходит дегидратация молекул воды из ионного состава раствора минерализованных вод (опреснение минерализованных вод). На рисунке 5.19 приведена модель дегидратации молекул воды в ионном составе раствора минерализованных вод.



**Рисунок 5.19.** - Дегидратация молекул воды из ионного составе раствора минерализованных вод

Гидратация молекул воды в ионном составе раствора минерализованных вод приведет к уменьшению осмотического давления подземных минерализованных вод, а дегидратация молекул воды из ионного состава раствора минерализованных вод приведет к повышению осмотического давления. Осмотическое давление - это избыточное гидростатическое давление на раствор, отделённый от чистого растворителя полупроницаемой мембраной, при котором прекращается диффузия растворителя через мембрану (осмос). Это давление стремится уравнивать концентрации обоих растворов, вследствие встречной диффузии молекул растворённого вещества и растворителя.

В нашем случае, между менее минерализованными и сильноминерализованными подземными водами появляется завеса, которая определяется равновесным соотношением между гидростатическим и осмотическим давлениями. В зависимости от величины гидростатического давления завеса может изменить своё положение. Расположение завесы служит границей между менее минерализованными и сильноминерализованными подземными водами [23-А, 24-А, 45-А, 82-А].

Суть выявленного нами, физического явления заключается в том, что при понижении уровня воды в реке Вахш на величину  $-\Delta h_{\text{воды}}$ , гидростатическое давление  $P_{\text{гст}}$  становится меньше осмотического давления  $P_{\text{осм}}$  подземных минерализованных вод ( $P_{\text{гст}} < P_{\text{осм}}$ ) и поток молекул воды направляется в сторону сильноминерализованных вод (прямой осмос – отжатие минерализованных вод), который приведёт к снижению концентрации, смещению расположения завесы на величину  $+\Delta h_{\text{завесы}}$  и прекращению массопереноса молекул воды [21-А, 23-А, 24-А, 45-А, 82-А].

В случае повышения уровня воды в реке Вахш на величину  $+\Delta h_{\text{воды}}$  гидростатическое давление  $P_{\text{гст}}$  становится больше осмотического давления  $P_{\text{осм}}$  подземных минерализованных вод ( $P_{\text{гст}} > P_{\text{осм}}$ ) и поток молекул воды направляется в сторону менее минерализованных вод (обратный осмос – опреснение минерализованных вод), который приводит к повышению концентрации, смещению расположения завесы на величину  $-\Delta h_{\text{завесы}}$  и прекращению массопереноса молекул воды.

Соотношение гидростатического и осмотического давлений и формирование завесы между ними можно описать в следующем виде:

$P_{\text{гст}} < P_{\text{осм}}$  - отжатие (снижение концентрации) подземных минерализованных вод,

$P_{\text{гст}} = P_{\text{осм}}$  - завеса между менее и сильноминерализованными водами (массоперенос молекул воды отсутствует),

$P_{\text{гст}} > P_{\text{осм}}$  - опреснение (повышение концентрации) подземных минерализованных вод.

Поскольку завеса появляется в результате равновесного соотношения между гидростатическим и осмотическим давлениями, то её можно назвать гидронапорно-осмотической завесой.

На рис. 5.11 и 5.12 показана чёткая граница между менее минерализованными и сильноминерализованными водами, имеющими горизонтальное положение и дальше, оно приобретает вертикальное расположение, подтверждающее, что гидронапорно-осмотическая завеса между менее минерализованными и сильноминерализованными водами может существовать в горизонтальном, вертикальном и в наклонном положениях [21-А, 23-А, 24-А, 45-А, 82-А].

По результатам реализованных автором исследований, проведённых в 2013-2015 годах, с целью выявления физической зависимости между опреснением подземных минерализованных вод и уровнем гидростатического давления (пьезометрического уровня) по характерным пьезометрам составлена таблица 5.5 и график изменения глубины опреснения подземных минерализованных вод от изменения уровня гидростатического давления (рисунок 5.20).

**Таблица 5.5.** - Изменение гидростатического уровня и глубина опреснения минерализованных вод в пьезометрических скважинах

№ пьезометра	Гидростатический уровень, $\Delta h_{ст}$ , м	Глубина опреснения, $\Delta h_{опрес}$ , м	№ пьезометра	Гидростатический уровень, $\Delta h_{ст}$ , м	Глубина опреснения, $\Delta h_{опрес}$ , м
П-29 <sup>а</sup> (05.08.2013-09.12.2013)	5,73	4,2	П-33 (16.03.2015-16.08.2015)	4,84	2,18
П-29 <sup>а</sup> (07.01.2014-07.08.2014)	6,01	5,56	П-27 (21.11.2011-27.12.2011)	0,28	3,12
П-29 <sup>а</sup> (07.08.2014-08.12.2014)	1,91	4,37	П-29 (21.11.2011-28.12.2011)	0,26	1,98
П-29 <sup>а</sup> (14.01.2015-15.04.2015)	2,15	4,04	П-29 <sup>а</sup> (19.11.2011-28.12.2011)	0,4	4,0
П-31 (07.06.2013-05.08.2013)	4,3	1,78	П-31 <sup>а</sup> (19.11.2011-28.12.2011)	0,4	2,1

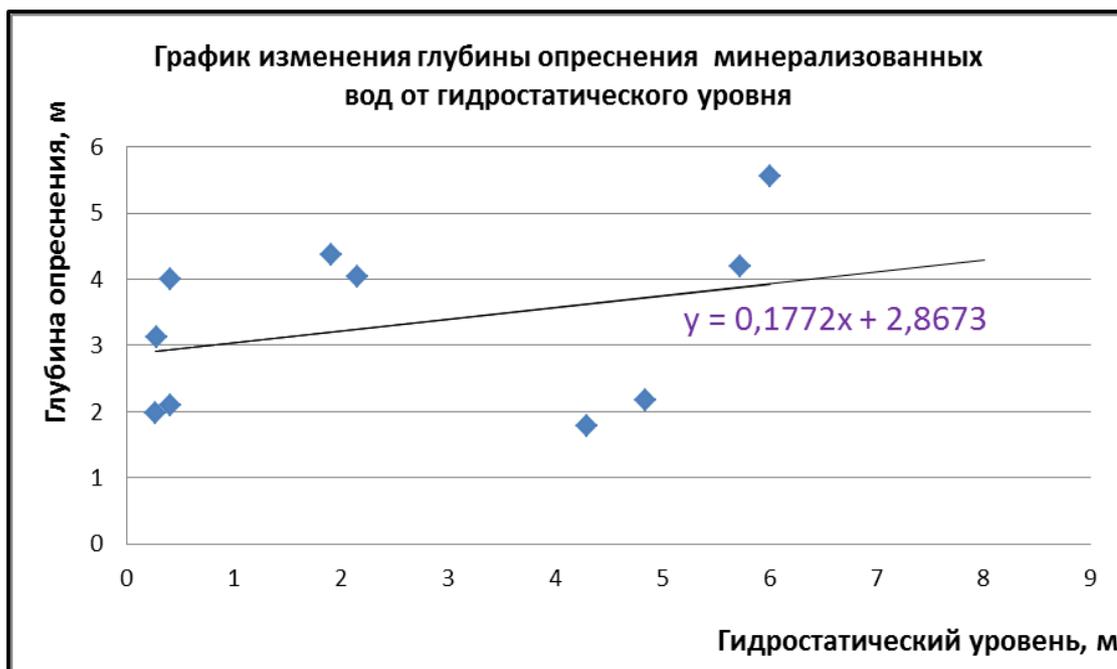


Рисунок 5.20 . - График изменения глубины опреснения минерализованных вод от гидростатического уровня

На основании полученных результатов выведено следующее эмпирическое уравнение

$$Y = 0,1772X + 2,8673. \quad (5.17)$$

Повышение гидростатического давления (уровень верхнего бьефа) ведущее к увеличению глубины опреснения подземных минерализованных вод, свидетельствует об отсутствии путей сосредоточенной фильтрации в основании плотины.

Результаты реализованных автором исследований на участке солевой завесы Рогунской ГЭС позволили, сформулировать следующие выводы о характере пространственного распределения и временных вариациях уровня минерализации подземных вод в зоне солевого пласта и выбранного метода исследований:

1. Временные колебания уровня минерализации имеют сезонный характер. Максимальные значения общей минерализации наблюдаются в зимний период, а минимальные - в летний. Это связано с уменьшением уровня воды в реке Вахш в зимний период и повышением уровня воды в реке в летний период.

2. Выявлено неизвестное ранее физическое явление опреснения и отжата подземных минерализованных вод под действием гидростатического давления заключающееся в том, что при повышении величины гидростатического давления над осмотическим давлением минерализованных вод происходит опреснение минерализованных вод, а при повышении осмотического давления над гидростатическим давлением, происходит отжатие минерализованных вод.

3. Установлено неизвестное ранее физическое явление возникновения гидронапорно-осмотической завесы между менее и сильноминерализованными водами заключающееся в том, что при достижении равновесного состояния между гидростатическим и осмотическим давлением, между ними появляется гидронапорно-осмотическая завеса и массоперенос молекул воды в обе стороны прекращается.

4. Выявлена закономерность изменения глубины опреснения или же отжата подземных минерализованных вод от величины гидростатического давления.

5. Получено эмпирическое уравнение изменения глубины опреснения подземных минерализованных вод от величины гидростатического давления.

В главе 6, диссертации рассматриваются теоретические и практические основы анализа и оценки процесса эксплуатации временной солевой завесы на левобережной части солевого пласта Рогунской ГЭС; результаты разработки управляемого противосуффозионного устройства за оголовком солевого пласта и управляемого перехвата обходных фильтрационных потоков дренажными устройствами; оценка качества укрепительной цементации вмещающего массива песчаников на опытном участке трансформаторного помещения Рогунской ГЭС, а также представлены разработанные рекомендации по созданию высокоплотной противо-фильтрационной завесы в основании плотины Рогунской ГЭС.

## **Глава 6. НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОЗДАНИЮ УПРАВЛЯЕМЫХ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПРОТИВОСУФФОЗИОННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ**

### **6.1. Рекомендации по разработке и область применения управляемого противосуффозионного устройства за оголовком солевого пласта**

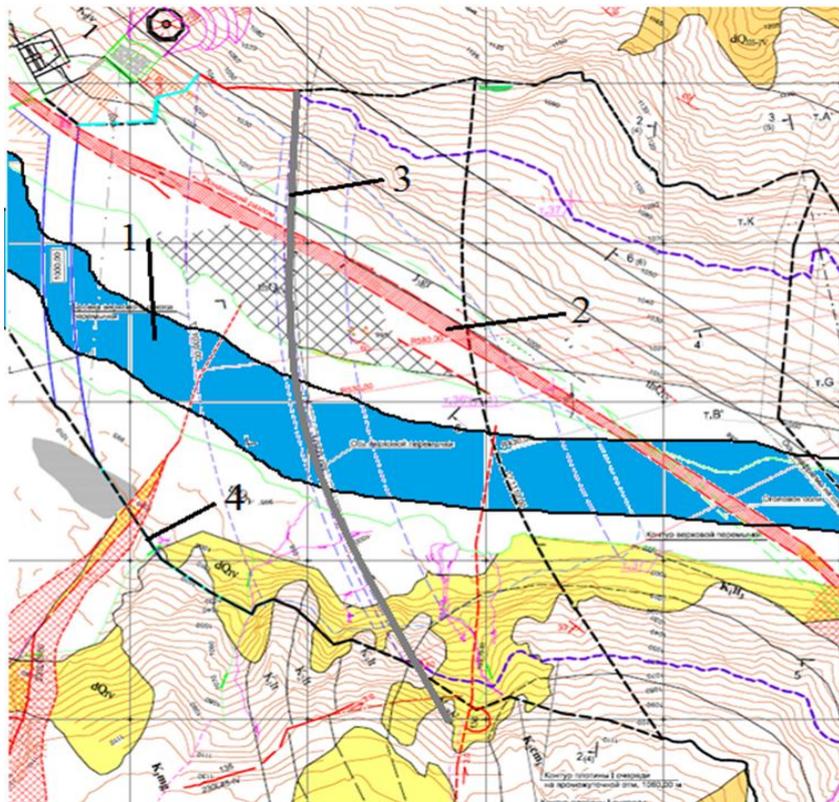
#### **6.1.1. Оценка надежности и эффективности применения специальной временной солевой завесы**

Полученные результаты исследований, изложенные в предыдущих главах диссертационной работы, позволяют утверждать, что повышение риска чрезвычайной ситуации на исследуемом участке гидроузла, связано с тем, что в проекте Рогунской ГЭС (рисунок 6.1), ось верховой строительной перемычки 3 размещена, прямо над Ионахшским разломом 2, вмещающего пласт соли, который проходит через основание верховой строительной перемычки от левого берега реки Вахш 1 к правому берегу и способствует тому, что обе стороны солевого пласта оказываются в зоне интенсивного фильтрационного потока.

Учитывая намечаемый по проекту кратковременный характер работы перемычки, а также специфические условия участка, в т.ч. пространственное залегание и мощность солевого пласта в основании, в качестве сугубо временного мероприятия, рассчитанного на 2-летний срок эксплуатации, т.е., до готовности основного комплекса защиты, было предложено создание специальной временной солевой завесы (ВСЗ).

Принцип работы такой завесы заключается в том, что вдоль пласта соли, с обеих сторон, на длине защищаемого участка основания перемычки устраиваются солевые скважины, с подачей в них строго дозированного концентрированного рассола. Постоянное возмещение бытового солевого пласта в основании перемычки, создает устойчивую гидрохимическую среду

и способствует сохранности солевого пласта на защищаемом участке при расчетных исходных данных.



**Рисунок 6.1.** - План размещения верхней перемычки: 1- река Вахш, 2 – Ионахшский разлом, 3 – ось верхней перемычки, 4 – контур плотины первой очереди

Идея этого решения в принципе созвучна с заложенным в основной проект защитой, но, учитывая необходимость двухсторонней защиты солевого пласта от размыва, она представлена в более сложном варианте с точки зрения технологичности, способов контроля и степени надежности.

Скважины в этом случае бурятся с поверхности земли, их оголовки с подводящей сетью бетонируются и при возведении перемычки засыпаются, т.е. в процессе эксплуатации скважины осмотру и восстановлению не подлежат.

Наблюдения за гидрохимическим состоянием массива предусматривалось специальной сетью пьезометрических скважин. Скважины ВСЗ по обе стороны солевого пласта бурятся наклонно таким образом, что они пересекаясь над оголовком соли образуют над ним шатер;

шаг скважины 6 м; низ скважин заводится на глубину до 5-10 м ниже оголовка солевого пласта.

Подача солевого рассола к скважинам намечалась как и для основного комплекса защиты от специального узла приготовления на берегу сая Пассимурахо, с устройством временного узла распределения на створном участке.

Суточный объем подаваемого рассола в ВСЗ по расчету был определен в 40 м<sup>3</sup>/сут. В реальных условиях расход рассола на эксплуатационном участке ВСЗ протяженностью в 190 м (полная протяженность по проекту 300 м) на основе расчетов и результатов наблюдений за работой ВСЗ был скорректирован до 10-12 м<sup>3</sup>/сут.

Принципиальные положения временной солевой завесы в основании верховой строительной перемычки после экспертизы Минэнерго СССР были внесены в проект с последующим рассмотрением и утверждением проекта в Главгосэкспертизе Госстроя и Совета Министров СССР в 1980 г.

Для наблюдения за работой временной солевой завесы предусмотрено 12 наблюдательных створов с размещением в них по обоим сторонам пласта соли пьезометрических скважин и в двух створах еще и геофизических скважин. Скважины пробурены с открытой площадки временной солевой завесы и оборудованы рабочими колоннами из труб диаметром 76 мм, которые по мере отсыпки плотины наращиваются [168, 169, 186].

В пьезометрических скважинах осуществляются замеры уровней грунтовых вод, температуры, отбор проб для лабораторного определения степени их минерализации и химсостава.

Кроме того, на узле распределения осуществляется наблюдение за расходом рассола в каждую пару скважин и отбор проб рассола, подаваемого непосредственно в скважины для определения его концентрации, мутности и химсостава.

Временная солевая завеса в основании верховой строительной перемычки построена и действует в составе (рисунки 6.2 и 6.3): 105-ти

рассолоподающих скважин, попарно располагаемых по обе стороны Ионахшского разлома, на расстоянии 200 м, временного узла распределения рассола, размещаемого на портале строительного туннеля 2-го яруса и системы рассолоподающих труб от узла распределения к оголовкам каждой пары скважин (около 50 труб диаметром 50 мм). Рассолоподающие скважины бурятся с шагом 6 м, в шахматном порядке относительно положения к разлому, с наклоном в сторону оголовка солевого пласта таким образом, они создают два ряда скважин, пересекающихся своими рабочими частями над оголовком солевого пласта, с последующим заглублением ниже оголовка на 5-10 м.

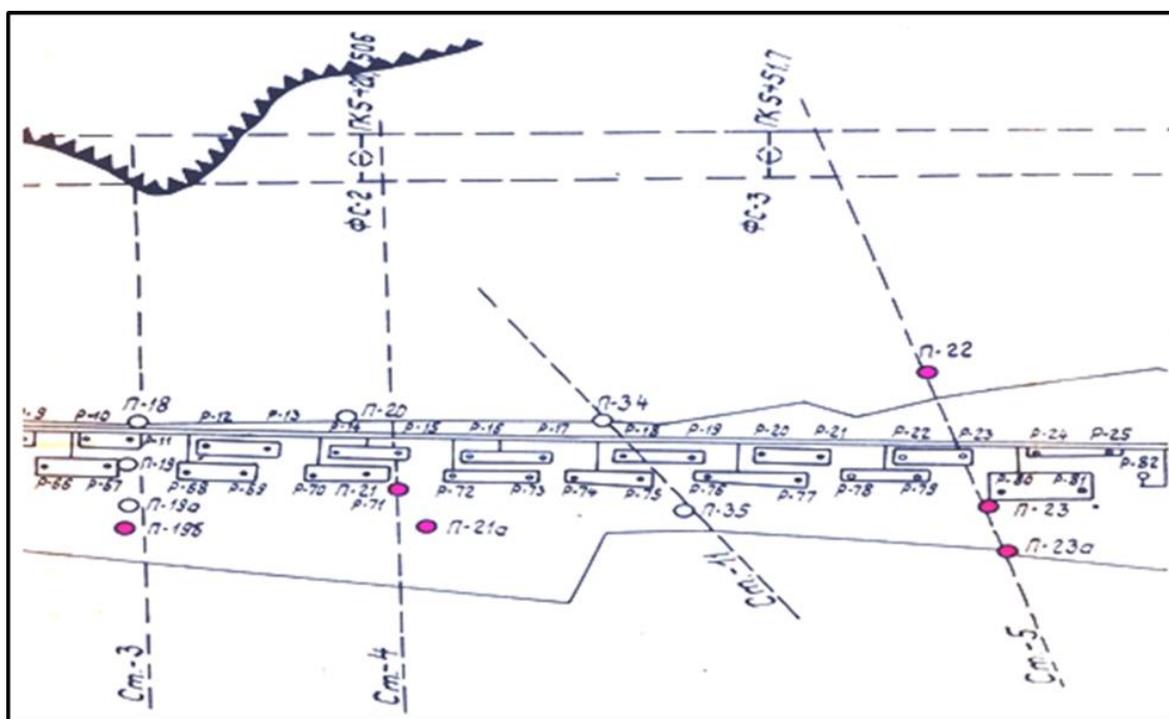
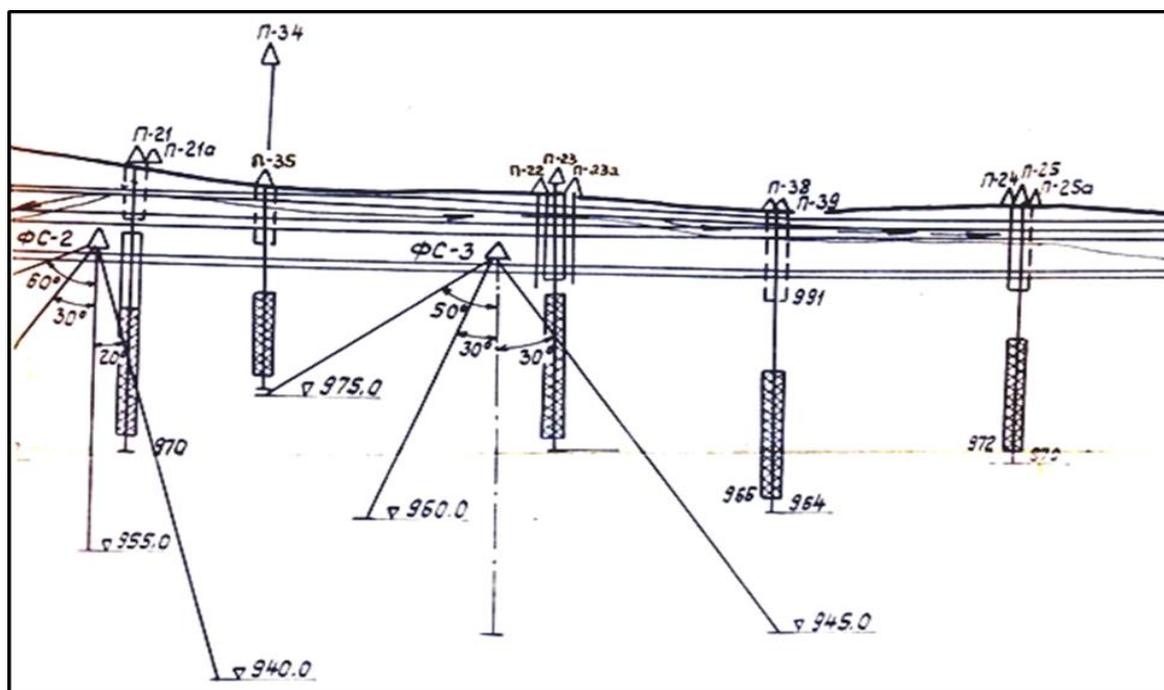


Рисунок 6.2. - План расположения рассолоподающих и изыскательных скважин

К верхней части скважин присоединяются разводные трубы диаметром 15-20 мм, подключаемые к рассолоподающим трубам, индивидуальным для каждой пары скважин, находящихся по одну сторону солевого пласта.

Система рассолоподающих труб проложена в обоймах (трубах большого диаметра), устанавливаемых на металлической эстакаде вдоль оголовка солевого пласта. В последующем эта эстакада вместе с узлами разводных труб и оголовками скважин была омоноличена бетоном и

засыпана насыпью верховой строительной перемычки и верхового клина ПЛОТИНЫ.



**Рисунок 6.3.** - Разрез расположения рассолоподающих и изыскательных скважин

Конструкция солевых скважин принята диаметром 76 мм с обсадкой верхней части и с оборудованием рабочей зоны перфорированными трубами малого диаметра (15 мм) с обсыпкой их песчаным фильтрационным материалом. Подача дозированного количества рассола для каждой пары скважин предусмотрена индивидуальной, от временного узла распределения рассола, размещаемого во временном вагончике на входном портале строительного туннеля 2-го яруса (отм. 1018 м.).

У входного портала транспортного туннеля Т-3 построено и действует временное хозяйство по приготовлению кондиционного рассола, работающего на привозной соли; смонтированы и введены в строй магистральные солепроводы, подающие рассол от хозяйства приготовления до узла распределения.

На действующем участке ВСЗ создана пьезометрическая наблюдательная сеть из 20-ти пьезометров, размещаемых в 7-ми створах. Часть из этих пьезометров ежегодно (иногда 50%) выходит из строя по

причине камнепада и технологических нарушений при отсыпке насыпи верхового клина плотины.

Под порталами строительных туннелей выполнено выщелачивание солевого пласта на глубину до 20 м с последующим заполнением пазух песчано-цементным раствором. Общая длина участка выщелачивания 158 м. Работа выполнялась с поверхности, кроме 44-х метрового участка выше по течению от портала туннеля 1-го яруса, где выщелачивание производилось под прикрытием специальной железобетонной камнезащитной галереи (саркофага).

Штольни проектируются сухими, к ним обеспечивается подъезд и возможность выполнения аварийных и восстановительных работ, в т.ч. инъекционных; для контроля состояния всей защищаемой зоны штольни оснащаются необходимой КИА для наблюдения за состоянием солевого пласта, пьезометрическими уровнями и режимом фильтрационного потока у его оголовка и низовой грани; степень минерализации, направление движения, а также параметров шлейфа солевого рассола в зоне защиты; особое внимание уделяется напряженно-деформированным состояниям вмещающих пород массива и самих штолен.

В процессе строительства и эксплуатации наблюдения за поведением и состоянием сооружений солезащиты предусматриваются по специальной программе мониторинга.

Вдоль пласта соли выполнена солевая завеса в виде двух рядов нагнетательных скважин. Рабочая часть скважин солевой завесы имеет диаметр 93мм и длину 15м. Скважины заполнены песчаным материалом, внутри которых проходят подающие рассол перфорированные трубы. По проекту шаг скважин 6м.

Рассол для подачи в скважины солевой завесы готовится на растворном узле из привозной соли и, пройдя через систему фильтров и

отстойников, поступает на распределительный узел, откуда самотеком по системе трубопроводов подводится к нагнетательным скважинам.

Приготовленный рассол должен содержать 280-310г/л NaCl, содержание нерастворимых взвешенных частиц не должно превышать 2-3 мг/л, а крупность их-не более 0,025мм.

Изучение эффективности комплекса солезакщитных мероприятий проводилось на основе анализа данных натуральных наблюдений за уровнем и минерализацией грунтовых вод в зоне работы солевого экрана, а также анализа результатов натуральных наблюдений за изменением поглощающей способности рассолоподающих скважин солевого экрана [1-А].

Натурные наблюдения, проводимые с декабря 1987 года и до настоящего времени, показывают, что в условиях, имеющих место на временной солевой завесе, поглощающая способность рассолоподающих скважин зависит от месторасположения скважин, и изменяется по времени. Скважины, пробуренные «в сторону реки», проходят через плотные ненарушенные породы. Поглощение этими скважинами рассола невелико (0,01 л/мин и менее).

Основной объем рассола подается скважинами, пробуренными в сторону «берегового склона», пересекающими надсолевое пространство, где изысканиями отмечено наличие зоны разуплотненных пород. Эти скважины имеют высокую поглощающую способность (до 10 л/мин) [1-А, 2-А, 30-А]. Поглощающая способность породы висячего крыла к поглощающей способности породы лежащего крыла на 1,5 – 1,7 порядок выше (табл. 6.1, 6.2, 6.3, 6.4).

Анализ данных натуральных наблюдений за изменением поглощающей способности рассолоподающих скважин за 3-х летний период работы временной защиты пласта соли от растворения, свидетельствует о нормальной работе системы защиты пласта соли от растворения (табл. 6.5).

**Таблица 6.1. - Изменения расхода рассола в рассолоподающих трубках в лежачий бок Ионахшского разлома во втором полугодии 1990 г.**

№вор.	2	4	6	8	10	12	14	16
№Скв.	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19
Дата								
4.07	0,36	0,14	0,064	0,159	0,067	0,004	0,035	0,18
11.07	0,38	0,20	0,078	0,98	0,07	н/з	0,06	0,15
18.07	1,60	1,092	0,06	н/з	0,055	н/з	н/з	1,48
25.07	0,14	1,18	0,06	0,04	0,07	н/з	0,90	0,18
8.08	1,34	1,41	0,09	0,03	0,08	н/з	0,75	0,42
7.09	н/з	0,27	0,102	0,046	0,095	н/з	1,37	0,047
20.09	4,00	0,24	0,061	0,046	0,033	н/з	0,95	0,15
22.09	1,9	0,28	0,039	0,053	0,106	н/з	0,97	1,02
27.09	1,25	0,30	0,106	0,043	0,100	н/з	4,78	0,043
3.10	1,60	1,09	0,057	0,03	0,07	н/з	0,06	0,01
10.10	2,67	0,27	0,07	0,029	0,096	0,005	2,17	0,01
17.10	2,36	1,15	0,081	0,036	0,077	0,005	2,82	0,0054
26.10	2,67	0,42	0,026	0,035	0,076	0,05	2,82	0,064
31.10	2,004	0,97	1,20	1,37	1,35	0,005	2,66	н/з
Итого:								

Примечание: н/п – не принимает; н/з – нет замера.

**Таблица 6.1(продолжение). - Изменения расхода рассола в рассолоподающих трубках в лежачий бок Ионахшского разлома во втором полугодии 1990 г.**

№вор.	18	20	23	25	27	29	31	Сум. Q
№Скв.	20-21	22-23	24-25	26-27	28-29	30-31	32-33	
Дата								
4.07	0,22	7,96	6,61	1,34	0,95	0,56	6,62	25,27
11.07	0,38	3,68	4,08	1,23	0,73	0,72	0,64	13,38
18.07	0,36	н/з	2,99	1,07	0,55	0,118	0,92	10,30
25.07	0,30	6,83	6,41	1,05	0,53	0,06	3,31	21,06
8.08	0,33	4,35	4,49	1,08	0,54	0,12	5,15	20,18
7.09	0,07	7,96	5,61	0,86	н/п	6,34	4,21	26,98
20.09	0,11	3,67	7,47	1,07	н/п	5,55	2,31	25,66
22.09	0,12	6,83	5,61	0,84	н/п	5,55	2,89	26,21
27.09	0,02	6,83	5,61	0,65	н/п	7,40	3,09	30,22
3.10	0,16	5,31	5,61	0,61	н/п	5,55	3,45	21,61
10.10	0,2	2,9	4,5	0,53	н/п	8,90	1,1	23,45
17.10	0,36	2,52	6,41	0,77	н/з	8,88	2,11	27,58
26.10	0,17	2,40	7,47	0,72	н/з	8,9	2,32	28,14
31.10	1,91	0,37	4,99	1,26	н/з	11,1	1,72	30,91
Итого:								332,95

Примечание: н/п – не принимает; н/з – нет замера.

**Таблица 6.2. - Изменения расхода рассола в рассолоподающих трубках в висячий бок Ионахшского разлома во втором полугодии 1990 г.**

№вор.	1	3	5	7	9	11	13	15
№Скв.	50-61	62-63	64-65	66-67	68-69	70-71	72-73	73-74
Дата								
4.07	0,26	4,58	1,02	9,16	3,52	0,016	1,37	1,83
11.07	0,32	9,16	0,14	11,46	2,29	0,80	1,56	1,35
18.07	0,83	3,05	0,06	н/з	1,46	н\з	1,87	1,30
25.07	0,51	5,73	0,10	9,16	1,99	0,013	2,23	1,70
8.08	0,83	5,73	0,30	9,16	1,53	0,065	1,2	0,60
7.09	0,62	9,17	0,03	н/з	1,91	0,019	1,42	1,99
20.09	0,48	9,17	0,0005	7,63	3,81	0,04	0,93	1,99
22.09	0,95	5,09	0,32	9,16	5,72	0,02	1,73	1,63
27.09	1,02	11,46	0,13	9,46	6,94	0,2	1,56	2,55
3.10	0,65	6,55	н/п	7,64	2,54	3,13	1,51	1,99
10.10	1,02	6,55	н/п	7,64	2,30	2,20	3,34	2,90
17.10	1,12	6,55	н/п	7,64	2,08	0,31	1,62	1,91
26.10	1,07	9,17	н/п	6,54	1,83	0,17	1,56	1,83
31.10	1,09	5,73	н/п	4,58	4,16	1,99	0,52	6,55
Итого:								

Примечание: н/п – не принимает; н/з – нет замера.

**Таблица 6.2(продолжение). - Изменения расхода рассола в рассолоподающих трубках в висячий бок Ионахшского разлома во втором полугодии 1990 г.**

№вор.	17	19	21	22	24	26	28	Сум. Q
№Скв.	75-76	77-78	59-33	79-80	81-82	83-84	85-66	
Дата								
4.07	6,54	4,16	1,76	9,16	0,52	0,31	9,52	53,73
11.07	1,24	1,90	1,64	5,09	0,12	0,13	9,52	46,72
18.07	1,02	0,7	1,30	3,27	н/з	н/з	2,07	16,93
25.07	1,53	3,27	1,46	5,09	0,17	0,23	2,07	35,25
8.08	1,76	1,99	2,08	4,17	0,05	0,28	6,80	36,55
7.09	0,76	0,85	1,31	4,58	0,07	0,47	0,79	23,99
20.09	0,68	3,05	0,83	3,82	0,06	0,50	0,40	33,39
22.09	0,79	3,82	1,31	9,16	0,10	0,57	7,93	48,30
27.09	0,70	1,20	0,286	7,63	0,012	0,43	6,80	50,98
3.10	7,63	0,79	0,13	3,27	0,02	0,14	4,76	40,75
10.10	0,50	1,14	0,12	4,60	0,01	0,23	5,30	37,85
17.10	1,31	5,09	0,21	7,64	0,019	0,097	0,59	36,19
26.10	1,24	4,58	0,12	9,17	0,015	0,093	0,53	37,92
31.10	5,09	2,18	1,53	3,06	0,008	0,58	2,8	39,87
Итого:								537,82

Примечание: н/п – не принимает; н/з – нет замера.

**Таблица 6.3. - Изменения расхода рассола в рассолоподающих трубках в лежачий бок Ионахшского разлома во втором полугодии 1991 г.**

№вор.	2	4	6	8	10	12	14	16
№Скв.	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-19
Дата								
6.06	1,34	0,23	0,04	н/п	0,09	0,003	0,35	н/п
13.06	0,53	0,34	0,09	н/п	0,24	0,002	0,54	н/п
18.06	н/з	0,48	0,096	н/п	0,60	0,0012	0,54	н/п
27.06	н/з	0,24	0,60	н/п	0,36	0,001	0,48	н/п
3.07	н/з	0,32	0,02	н/п	0,08	0,01	0,50	н/п
12.07	0,57	0,32	0,08	н/п	0,17	н/п	0,60	н/п
17.07	0,50	0,25	0,74	н/п	0,16	н/п	0,64	н/п
23.07	0,40	0,36	0,03	н/п	0,13	н/п	0,40	н/п
29.07	0,30	0,31	0,04	н/п	0,16	н/п	0,63	н/п
7.08	0,97	0,24	0,07	0,06	0,08	0,02	0,15	0,30
14.08	н/з	1,25	0,11	0,07	0,10	0,018	0,13	0,22
21.08	1,05	0,97	0,47	0,03	0,06	0,02	0,31	1,40
28.08	0,61	0,26	0,065	0,003	0,08	0,002	0,13	1,04
4.09	0,37	0,23	0,05	0,02	0,06	0,02	0,36	0,16
11.09	0,58	0,23	0,08	н/п	0,09	0,01	0,25	0,25
18.09	0,50	0,65	0,07	н/п	0,09	н/п	0,10	0,20
25.09	1,00	н/п	0,06	0,05	0,07	н/п	0,19	0,23
2.10	1,13	0,97	0,31	0,04	0,10	0,04	0,02	0,15
23.10	0,42	0,97	4,79	0,02	1,43	0,02	0,09	0,10
11.11	0,348	0,15	1,77	0,04	0,096	0,012	0,078	0,138
Итого:								

Примечание: н/п – не принимает; н/з – нет замера.

**Таблица 6.3(продолжение). - Изменения расхода рассола в рассолоподающих трубках в лежачий бок Ионахшского разлома во втором полугодии 1991 г.**

№вор.	18	20	23	25	27	29	31	Сум. Q
№Скв.	20-21	22-23	24-25	26-27	28-29	30-31	32-33	
Дата								
6.06	0,15	4,35	н/п	1,23	н/п	8,88	1,10	17,76
13.06	0,06	2,34	н/п	0,84	н/п	8,88	0,77	14,63
18.06	0,12	2,04	н/п	0,90	н/п	8,88	1,16	14,82
27.06	0,18	9,54	н/п	0,90	н/п	8,88	0,84	22,02
3.07	0,17	6,83	н/п	0,90	н/п	8,88	0,72	18,43
12.07	0,14	4,35	н/п	0,86	н/п	8,88	0,92	16,89
17.07	0,14	4,78	н/п	0,78	н/п	8,88	1,03	17,90
23.07	0,37	1,91	н/п	1,23	н/п	8,88	0,13	13,84
29.07	1,06	1,91	н/п	8,60	н/п	8,88	0,36	22,25
7.08	0,22	2,50	0,003	0,78	11,7	14,8	0,48	32,37
14.08	0,43	5,97	0,002	1,22	9,36	6,34	0,45	28,67
21.08	0,22	2,81	н/п	1,22	9,36	8,88	0,02	26,82
28.08	0,34	3,19	н/п	0,84	2,12	8,88	0,05	17,61
4.09	0,32	3,42	н/п	0,86	3,12	6,34	1,19	16,52
11.09	0,34	1,91	н/п	8,60	1,34	8,88	0,03	21,57
18.09	0,14	5,31	н/п	1,08	4,25	3,42	0,05	18,86
25.09	0,12	6,00	н/п	1,16	11,7	14,8	0,42	55,8
2.10	0,19	3,98	н/п	0,66	4,68	8,88	0,08	21,23
23.10	0,08	0,30	н/п	1,23	3,12	8,88	н/п	21,45
11.11	0,072	0,042	0,012	0,996	7,80	8,88	0,012	20,45
Итого:								439,89

Примечание: н/п – не принимает; н/з – нет замера.

**Таблица 6.4. - Изменения расхода рассола в рассолоподающих трубках в висячий бок Ионахшского разлома во втором полугодии 1991 г.**

№вор.	1	3	5	7	9	11	13	15
№Скв.	60-61	62-63	64-65	66-67	68-69	70-71	72-73	73-74
Дата								
6.06	0,35	6,55	н/п	0,91	2,54	0,096	1,87	1,31
13.06	1,01	6,55	н/п	5,73	2,54	0,11	1,34	4,16
18.06	0,36	6,55	н/п	1,01	4,58	0,17	0,58	1,83
27.06	0,36	4,56	н/п	3,78	6,54	0,12	0,58	0,54
3.07	0,34	4,56	н/п	3,78	5,72	0,16	1,86	2,29
12.07	0,92	6,55	н/п	7,64	2,69	0,15	1,34	1,83
17.07	0,76	9,17	н/п	9,17	2,29	0,14	1,58	1,14
23.07	0,61	9,17	н/п	4,58	3,05	0,12	1,17	2,29
29.07	0,91	9,17	н/п	2,30	4,58	0,14	1,87	9,17
7.08	0,37	11,46	0,71	5,09	6,54	4,87	1,56	1,06
14.08	0,37	7,63	0,56	1,43	5,72	0,10	1,26	3,05
21.08	1,06	11,46	1,99	5,09	2,08	0,073	2,46	2,08
28.08	0,38	6,54	0,51	6,54	3,52	0,14	0,30	0,30
4.09	1,48	9,17	0,78	1,02	3,52	0,11	1,43	1,43
11.09	0,33	6,54	6,33	1,53	1,83	1,12	1,15	1,15
18.09	0,32	5,09	0,19	7,64	2,86	0,09	1,15	1,15
25.09	1,24	9,17	0,80	4,58	3,05	0,09	1,12	1,12
2.10	1,02	4,58	0,17	5,73	н/п	0,07	н/п	н/з
23.10	0,30	6,54	0,06	1,26	3,78	1,20	2,58	1,50
11.11	1,08	5,04	0,24	3,00	3,18	0,06	1,56	2,28
Итого:								

Примечание: н/п – не принимает; н/з – нет замера.

**Таблица 6.4(продолжение). - Изменения расхода рассола в рассолоподающих трубках в висячий бок Ионахшского разлома во втором полугодии 1991 г.**

№вор.	17	19	21	22	24	26	28	Сум. Q
№Скв.	75-76	77-78	59-33	79-80	81-82	83-84	85-86	
Дата								
6.06	1,83	н/п	0,02	11,46	н/п	0,5	4,32	31,31
13.06	4,58	н/п	1,24	11,46	н/п	0,61	1,06	40,39
18.06	0,76	н/п	1,01	11,46	н/п	0,63	4,76	33,70
27.06	0,66	н/п	0,78	11,46	н/п	0,48	0,48	30,30
3.07	7,6	н/п	2,29	11,46	н/п	0,65	9,52	50,23
12.07	9,16	н/п	0,92	9,17	н/п	0,57	7,93	48,92
17.07	2,29	н/п	0,90	11,46	н/п	0,48	9,52	48,88
23.07	0,83	н/п	0,76	11,46	н/п	0,65	4,76	39,46
29.07	4,58	н/п	0,86	11,46	н/п	0,57	5,95	51,56
7.08	4,58	1,06	0,09	15,28	н/п	0,59	0,29	53,56
14.08	0,70	0,43	0,02	6,54	н/п	0,45	5,95	34,81
21.08	11,44	0,42	0,071	5,03	н/п	0,55	2,80	46,66
28.08	1,30	0,39	0,032	6,54	н/п	н/з	3,17	30,86
4.09	6,54	0,35	н/п	7,64	н/п	0,51	2,80	34,46
11.09	0,64	0,38	н/п	11,46	н/п	0,30	0,89	36,96
18.09	3,81	0,38	н/п	2,29	н/п	0,46	0,07	25,69
25.09	0,11	н/п	0,33	11,46	н/п	0,17	н/п	33,87
2.10	н/з	н/п	0,01	11,46	н/п	0,14	н/п	23,18
23.10	1,50	н/п	н/п	11,46	н/п	0,18	3,96	32,82
11.11	2,28	0,78	1,56	9,12	н/п	0,24	0,90	29,64
Итого:								757,71

Примечание: н/п – не принимает; н/з – нет замера.

**Таблица 6.5. - Определение общего расхода рассола по кварталам 1988 - 1992 гг.**

Время	Скважины подающие рассол		Итого		В % к проекту
	К реке (м <sup>3</sup> )	К склону (м <sup>3</sup> )	Подано (м <sup>3</sup> )	К проекту (м <sup>3</sup> )	
1-ый квартал 1988 г. (с 24.12.87 по 31.03.88)	342	856	1198	1064	113%
2-ой квартал 1988 г. (с 1.04.88 по 30.06.88)	283	445	728	1019	71%
3-ый квартал 1988 г. (с 1.07.88 по 30.09.88)	244	706	950	1019	93%
4-ый квартал 1988 г. (с 1.10.88 по 31.12.88)	212	656	868	1019	85%
<b>Итого по 1988 г.</b>	<b>1081</b>	<b>2663</b>	<b>3744</b>	<b>4121</b>	<b>90,5%</b>
1-ый квартал 1989 г. (с 1.01.89 по 31.03.89)	172	594	766	930	82%
2-ой квартал 1989 г. (с 1.04.89 по 30.06.89)	268	811	1079	1347	80%
3-ый квартал 1989 г. (с 1.07.89 по 30.09.89)	526	881	1407	1362	103%
4-ый квартал 1989 г. (с 1.10.89 по 31.12.89)	492	888	1380	1362	101%
<b>Итого по 1989 г.</b>	<b>1458</b>	<b>3174</b>	<b>4632</b>	<b>5001</b>	<b>91,5%</b>
1-ый квартал 1990 г. (с 1.01.90 по 31.03.90)	359	796	1155	1347	86%
2-ой квартал 1990 г. (с 1.04.90 по 30.06.90)	424	774	1198	1362	88%
3-ый квартал 1990 г. (с 1.07.90 по 30.09.90)	446	683	1129	1362	82,9%
4-ый квартал 1990 г. (с 1.10.90 по 31.12.90)	423	579	1002	1362	73,6%
<b>Итого по 1990 г.</b>	<b>1652</b>	<b>2832</b>	<b>4484</b>	<b>5433</b>	<b>82,6</b>
1-ый квартал 1991 г. (с 1.01.91 по 31.03.91)	315	572	887	1243	71,4%
2-ой квартал 1991 г. (с 1.04.91 по 30.06.91)	320	875	1195	1347	89%
3-ый квартал 1991 г. (с 1.07.91 по 30.09.91)	449	680	1129	1362	82,9%
4-ый квартал 1991 г. (с 1.10.91 по 31.12.91)	356	510	866	1362	63,6%
<b>Итого по 1991 г.</b>	<b>1440</b>	<b>2637</b>	<b>4964</b>	<b>5314</b>	<b>76,7%</b>
1-ый квартал 1992 г. (с 1.01.92 по 31.03.92)	331	444	775	1347	57,5%
2-ой квартал 1992 г. (с 1.04.92 по 13.05.92)	137	207	344	636	78,9%
<b>Итого по 1992 г.</b>	<b>468</b>	<b>651</b>	<b>1119</b>	<b>1983</b>	<b>68,2%</b>
<b>Всего</b>	<b>6099</b>	<b>11957</b>	<b>18056</b>	<b>21852</b>	<b>82,6%</b>
В процентах	35,4%	64,6%	100%		

Результаты наблюдений за средними значениями поглощающей способности скважин временной солевой завесы представлены в таблице 6.6.

**Таблица 6.6.** - Изменения среднего значения расхода рассола в рассолоподающих трубках

Второе полугодие 1990 г.			Второе полугодие 1991 г.		
Дата измерения	Лежачий бок	Висячий бок	Дата измерения	Лежачий бок	Висячий бок
04.07.90	25.27	53.73	06.06.91	17.76	31.31
11.07.90	13.38	46.72	13.06.91	14.63	40.39
18.07.90	10.30	16.93	18.06.91	14.82	33.70
25.07.90	21.06	35.25	27.06.91	22.02	30.30
08.08.90	20.18	36.55	03.07.91	18.43	50.23
07.09.90	26.98	23.99	12.07.91	16.89	48.92
20.09.90	25.66	33.39	17.07.91	17.90	48.88
22.09.90	26.21	48.30	23.07.91	13.84	39.46
27.09.90	30.22	50.98	29.07.91	22.25	51.56
03.10.90	21.61	40.75	07.08.91	32.37	53.56
10.10.90	23.45	37.85	14.08.91	28.67	34.81
17.10.90	27.58	36.19	21.08.91	26.82	46.66
26.10.90	28.14	37.92	28.08.91	17.61	30.86
31.10.90	30.91	39.87	04.09.91	16.52	34.46
			11.09.91	21.57	36.96
			18.09.91	18.86	25.69
			25.09.91	55.80	33.87
			02.10.91	21.23	23.18
			23.10.91	21.45	32.82
			11.11.91	20.45	29.64
Сум. Q	332.95	537.82	Сум. Q	439.89	757.71

Суммарный расход рассола по обеим сторонам Ионахшского разлома подтверждает ранее установленную повышенную проницаемость пород висячего бока по сравнению с лежачим [1-А].

Поглощающая способность породы висячего крыла по отношению к породе лежачего крыла в 1,5 – 1,7 раз выше.

Пьезометрическая наблюдательная сеть на участке временной солевой завесы (300 м) была представлена 12 – ю створами по 1 или 3 пьезометрами в каждом. Расстояние между створами принято в пределах 17 – 30 м; расстояние между пьезометрами в створе не превышает 5 м. Общее количество пьезометров, задействованных в исследованиях 28.

Целью и задачами специальных гидрогеохимических исследований в зоне пласта соли является оперативный контроль гидрогеохимического режима, т.е.:

- уточнение модели распределения минерализации подземных вод на участке солевого пласта (изучение движения подземных фильтрационных потоков);

- изучение влияния техногенных воздействий на изменение подземных минерализованных вод;

- наблюдения за изменением поглощающей способности рассолоподающих скважин солевого экрана позволяющих изучать эффективность солезакщитных мероприятий.

Для анализа временных изменений минерализации подземных вод в районе солевого пласта были использованы результаты наблюдений 1989-1991 гг. Хотя работы первых 2 - х циклов 1989 г. носили методический характер и исследованиям подлежали 6 - 7 пьезометров, тем не менее оценить уровень минерализации представляется возможным. Были исследованы изменения минерализации с глубиной по каждому из 28 - ми пьезометров с указанием даты и номера цикла. Несмотря на вариации абсолютных значений, характер изменения минерализации с глубиной в целом сохраняется с начала и до конца исследований.

В таблице 6.7 приведены средние значения минерализации подземных вод по циклам характеризующие изменение минерализации подземных вод в целом по временной солевой завесе. Начиная со 2 цикла (апрель 1989) начинается плавное увеличение минерализации до января 1991 г., когда она достигает 225г/л, затем происходит первый резкий спад до 175 г/л (март 1991 г.), выравнивание до 160 г/л на протяжении 11, 12, 13 циклов (март, май, июнь 1991 г.) и в 14 цикле (июль) происходит второе резкое понижение до 110 г/л. Столь низкая минерализация была отмечена в циклах 1 и 2 и то лишь потому, что для геофизических исследований были отобраны пьезометры с заведомо известными по лабораторным данным невысокими значениями

минерализации. Режимный характер работы стали носить с 5 - го цикла, средняя минерализация по этому циклу была 156 г/л.

**Таблица 6.7.** - Средние значения минерализации на участке временной солевой завесы Рогунской ГЭС

№ Цикла	Год	Месяц	Степень минерализации, С, г/л	
			Минерализация подземных вод	Минерализация закачиваемого рассола
1	1989	02	135	
2		04	61	
3		11	149	
4		12	147	
5	1990	06	179	321
6		10	200	318
7		11	200	317
8		12	225	317
9	1991	01	224	314
10		02	222	308
11		03	175	305
12		05	160	314
13		06	160	318
14		07	110	305

В цикле 14 зоны пониженных значений минерализация несколько сужает свои очертания, опускается ниже на 1,6 м, по сравнению с 9 циклом и приближается к высокоминерализованному околопластовому ореолу.

Помимо движения фильтрующихся вод сверху вниз по трещинам напластования пород солевой завесы, отмечаются фильтрационные явления в зоне оголовка пласта соли в интервале глубин между пригрузочной бетонной плитой и цементационной завесой.

Температурные измерения были выполнены во всех пьезометрах солевой завесы. Диапазон изменения температуры в воздушно - сухом интервале пьезометров висячего бока от  $-13,9^{\circ}\text{C}$  до  $10,5^{\circ}\text{C}$ , в пьезометрах лежащего бока от  $-14,3^{\circ}\text{C}$  до  $12,8^{\circ}\text{C}$ . Температура обводненной части массива пород солевой завесы имеет диапазон изменения температур от  $8,7^{\circ}\text{C}$  до  $13,9^{\circ}\text{C}$ . Среднее значение температуры  $12,5^{\circ}\text{C}$ . Область кровли солевого пласта характеризуется температурой  $13^{\circ}\text{C}$ .

Проанализировав эксплуатацию временной солевой завесы можно сделать следующие выводы:

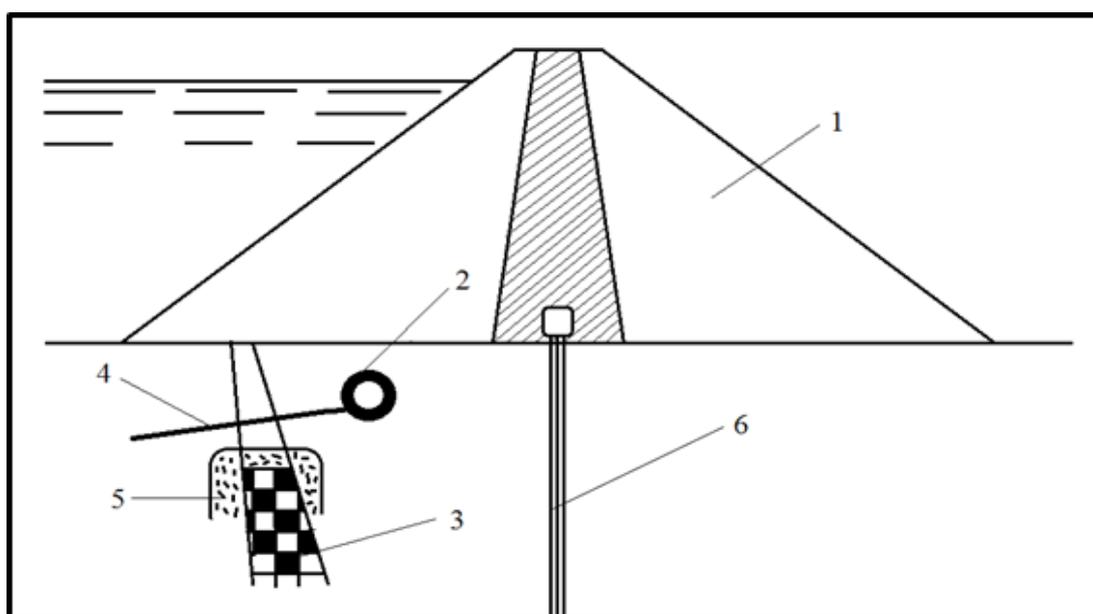
- магистральный трубопровод подачи солевого раствора находится под давлением с выше 30 атмосфер, эксплуатация которого очень опасна для жизни технического персонала;
- осаждение соли в трубопроводах и рассолоподающих трубках;
- ежесуточный расход соли в объёме 4,5 тонны;
- перебой в системе подачи рассола, который может привести к понижению уровня минерализованных вод в зоне оголовка солевого пласта.

### **6.1.2. Разработка управляемого противосуффозионного устройства за оголовкой солевого пласта**

Анализ и оценка процесса эксплуатации временной солевой завесы позволил сделать вывод о том, что предложенный вариант технического решения по защите солевого пласта в основании плотины Рогунской ГЭС является трудозатратным, ненадёжным и представляет собой источник риска жизни техническому персоналу во время эксплуатации. С учетом вышеизложенного нами в рамках реализации цели и задач диссертационной работы предлагается вариант управления гидрогеохимическим режимом за счет создания системы защиты солевого пласта на основе установленного физического явления т.е. возникновение гидронапорно - осмотической завесы между менее и сильноминерализованными подземными водами приведенное в главе 5.2.3.

В процессе исследований, автором разработан вариант (способ и устройство) защиты солевого пласта от растворения в составе солезакщитного комплекса признанный на уровне изобретения [28-А, 39-А - 41-А, 78-А,], позволяющие уменьшить давление фильтрационных вод на оголовке солевого пласта, путём перехвата пресных фильтрационных потоков в зоне оголовка солевого пласта и прижатием минерализованных вод к телу солевого пласта (рисунок 6.4).

Перехват пресных фильтрационных вод осуществляется за счет того, что из штольни (2) располагающаяся между солевым пластом (3) и противофильтрационной завесой 6 в основании плотины 1, пробуривается ряд скважин 4 в сторону оголовка пласта соли, выше защитного цементационного слоя 5 на всю длину защищаемого участка, способствующие сифонному перехвату пресных вод через штольню и сбросом в нижний бьеф сооружения посредством системой трубопроводов.



**Рисунок 6.4.** - Система защиты солевого пласта (1- плотина, 2- солевая штольня, 3- солевой пласт, 4- ряд скважины для перехвата пресных фильтрационных вод, 5- цементационный защитный слой, 6- противофильтрационная завеса)

Для снижения отрицательного воздействия пресного фильтрационного потока на солевой пласт в основании плотины, из штольни 2 пробуриваются ряд скважины 4, в сторону выше расположенного защитного цементационного слоя оголовка солевого пласта 3. Скважины обустраиваются стальными перфорированными трубами. Этими скважинами перехватываются пресные фильтрационные потоки и через штольню 5 по системам трубопроводов сбрасываются в нижний бьеф сооружения.

Регулирующие вентили 8 (рисунок 6.5) вмонтированные в оголовки ряда скважин 4 позволяют обеспечить равномерный объем перехвата

фильтрационных потоков, вследствие которого давление напора воды в зоне противофильтрационной завесы превышает давление напора воды в ряде скважин 4.

По всей длине защищаемого участка солевого пласта создаётся градиент напора между рядом скважин 6 и противофильтрационной завесой, что обеспечивает прижатие минерализованных вод к телу солевого пласта, как следствие, это сводит к минимуму его растворение и суффозию.

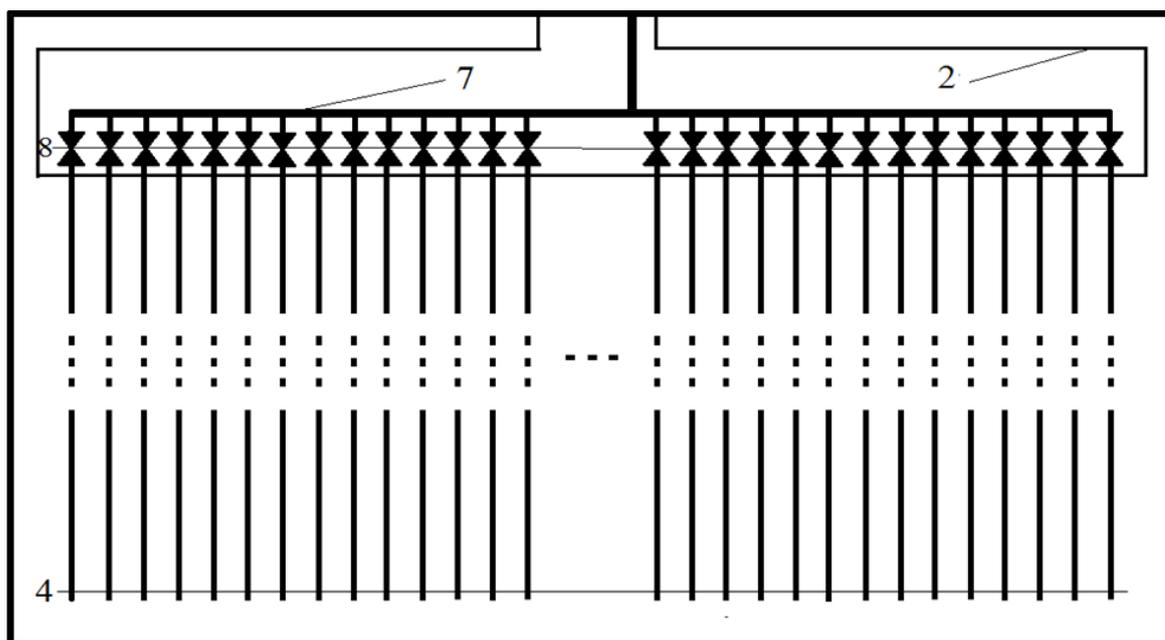


Рисунок 6.5. - Схема расположения скважин в солевой штольне ( 2- солевая штольня, 4- ряд скважин для перехвата пресных фильтрационных вод, 8- регулирующие вентили, 7- системы отводящих трубопроводов)

После наполнения водохранилища и образования устойчивого гидрогеохимического режима за солевым пластом регулирующие вентили в системе перехвата фильтрационных вод закрываются.

Исследованиями выявлены значимые преимущества предложенного способа и устройства, заключающиеся в следующем: достигается повышение надежности защиты солевого пласта от растворения и суффозии; уменьшается стоимость производства работ по защите пласта от растворения в строительный и эксплуатационный периоды; исключаются постоянные затраты в период эксплуатации сооружения; сохраняется

гидрогеохимический режим в основании ядра плотины и этим обеспечивает безопасность эксплуатации сооружения.

## **6.2. Научно-практические рекомендации управляемого перехвата обходных фильтрационных потоков дренажными устройствами**

Результаты исследований позволили установить, что к наиболее крупным разрывным нарушениям, наблюдающимся непосредственно на участке Рогунской ГЭС, отнесены Гулизинданский и Ионахшский разломы, оперяющие Вахшский разлом I порядка и простирающиеся параллельно слоям пород в юго-западном направлении [30-А].

Из двух разломов 2-го порядка, непосредственно образующих на створном участке единый тектонический блок, Гулизинданский проходит в стороне, за пределами основных сооружений (рис. 1.8 и 1.9).

Собственно участок створа представляет собой узкое, S - образно изогнутое ущелье протяжённостью около одного километра с крутыми, местами отвесными бортами, поднимающимися на высоту 350 - 600 м над рекой. Сложен участок породами мелового и верхнеюрского возраста, которые контактируют по Ионахшскому разлому – взбросу II порядка, с амплитудой смещения более одного километра. Плоскость разлома наклонена в сторону нижнего бьефа под углом  $80^{\circ}$ - $85^{\circ}$ . Разлом пересекает реку в пределах верхней, по течению границы участка створа: вверх по реке он трассируется вдоль основания её левого борта, вниз – уходит вглубь правого берега. Кроме Ионахшского, на участке створа развиты тектонические нарушения более высоких порядков. Подавляющее их большинство падают в сторону верхнего бьефа под углом  $20^{\circ}$ - $40^{\circ}$ . Протяжённость разломов достигает сотен метров, преобладающее расстояние между ними 40-60 м. Наиболее крупным из них является разлом № 35 – взброс с амплитудой 200 м, который наклонён под углом  $45^{\circ}$ - $50^{\circ}$ , в сторону верхнего бьефа и пересекает весь участок створа.

Характерной особенностью разломов Ионахшского и № 35 является наличие зон дробления в виде вытянутых вдоль их плоскостей тектонических линз, в пределах которых породы сильно дислоцированы и ослаблены в куске. Мощность тектонических линз Ионахшского разлома достигает 80 м, протяжённость до 1 км, аналогичные характеристики для разлома № 35 – 40 м и 0,5 км, соответственно [18, 19].

Гулизинданский разлом [26] протягивается вдоль левого берега р. Вахш из верхнего бьефа в нижний, ответвляясь от Вахшского надвига в 4-5 км севернее гидроузла. Минимальное расстояние от плотины 0,5 км. Азимут падения плоскости сместителя  $110-130^{\circ}$  под углом  $70-88^{\circ}$ . Висячее крыло сложено верхнеюрскими гипсами, алевролитами, аргиллитами; лежащее – отложениями верхнего и нижнего мела.

Трещиноватость пород совершенная, интенсивность трещиноватости преимущественно средняя, трещины полые, ширина их вне зоны ослабления не превышает первых долей мм. Более крупные разрывные нарушения заполнены глиной и брекчией трения мощностью 2-3 см. Мощность брекчии трения в разломе № 35 достигает 20 см, в Ионахшском – 1-2 м.

Водопроницаемость пород тектонических линз разломов Ионахшского и №35 -0,002 л/мин.

В связи с тем, что разлом №35 из основания плотины проходит по обеим бортам вблизи задней грани ядра плотины и является относительным водопором, то фильтрационные потоки могут привести к повышению фильтрационных давлений в зоне примыкания плотины к бортам и повышению депрессионной поверхности в теле плотины.

Автором предложена схема, позволяющая решение проблемы перехвата обходных фильтрационных потоков на примере плотины Рогунской ГЭС [37-А, 38-А, 42-А, 79-А]. Продольный разрез плотины б Рогунской ГЭС представлен на рис. 6.6, состоящий из упорных призм 7 и ядра плотины 8. За ядром плотины по левому и правому бортам проходит разлом 9 (№35), который перегораживает пути обходных фильтрационных потоков.

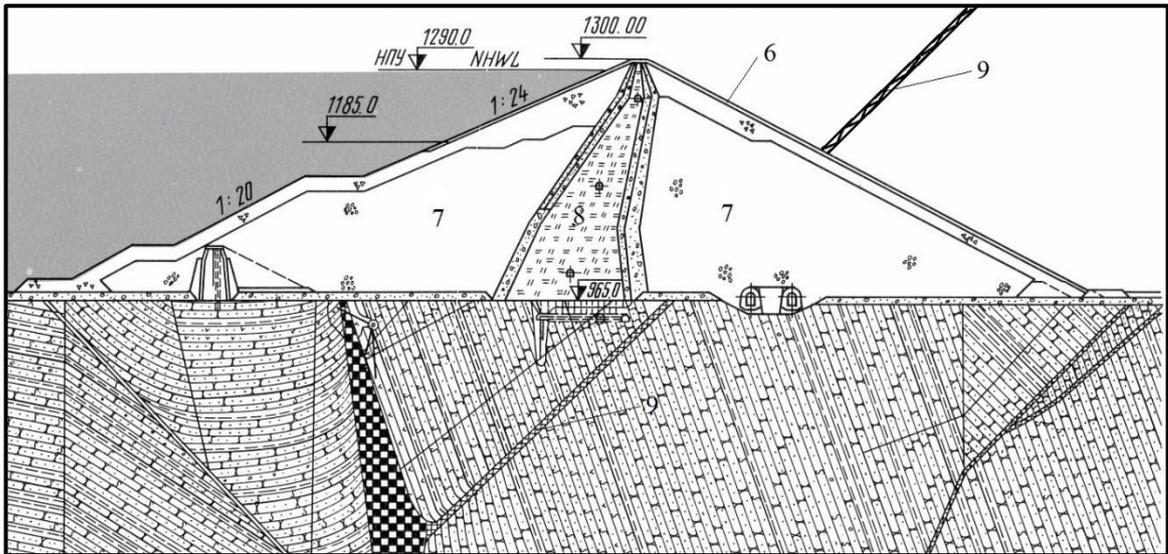


Рисунок 6.6. - Продольный разрез основной платины Рогунской ГЭС

С целью недопущения сосредоточения обходных фильтрационных вод в сторону плотины предложена система перехвата обходных фильтрационных потоков высоконапорных земляных плотин, схема которых приведена на рис. 6.7. Данный вариант, позволит уменьшить фильтрационное давление в зоне примыкания плотины к бортам и понижению депрессионной поверхности в теле плотины.

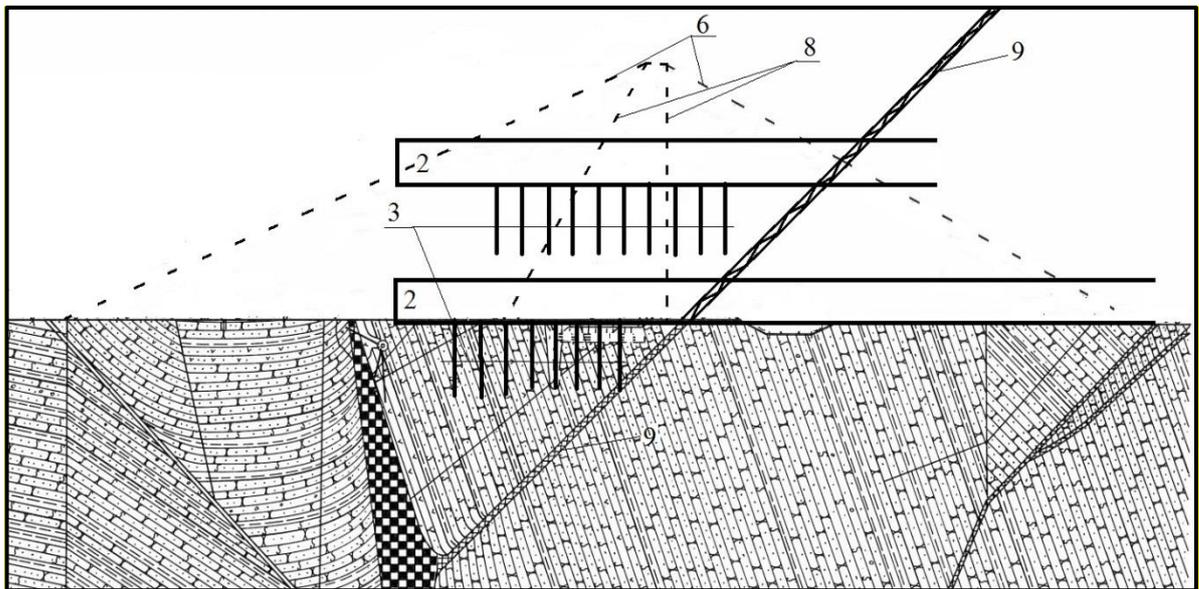


Рисунок 6.7. - Размещения системы перехвата фильтрационных вод на основной плотине Рогунской ГЭС

Основной задачей, в сложившейся ситуации, является обеспечение организованного перехвата обходных фильтрационных потоков

высоконапорных земляных плотин, проходящих через левые и правые борта плотины в горные породы, отвода в нижний бьеф фильтрационных вод и понижение депрессионной поверхности в теле высоконапорных земляных плотин.

Сущность предлагаемого варианта технического решения состоит в том, что организованный перехват обходных фильтрационных потоков осуществляется системой дренажа по обоим бортам высоконапорной земляной плотины до непроницаемого разлома и отвод вод в нижний бьеф сооружения по лотку, позволяющему, уменьшит фильтрационное давление в зоне примыкания плотины и бортов плотины, понизит депрессионную поверхность в теле высоконапорной земляной плотины, а также повысить сейсмическую устойчивость плотины.

Поперечный разрез системы перехвата обходных фильтрационных потоков высоконапорных земляных плотин 1, представлен на рис. 6.8, который состоит из четырёх дренажных туннелей с железобетонными обделками 2, проходящими по левым и правым бортам на двух уровнях высоконапорной земляной плотины, включающие в себя систему скважин пробуренных вниз 3, для сифонного перехвата фильтрационных вод в лоток 4 для сбрасывания вод в нижний бьеф сооружения.

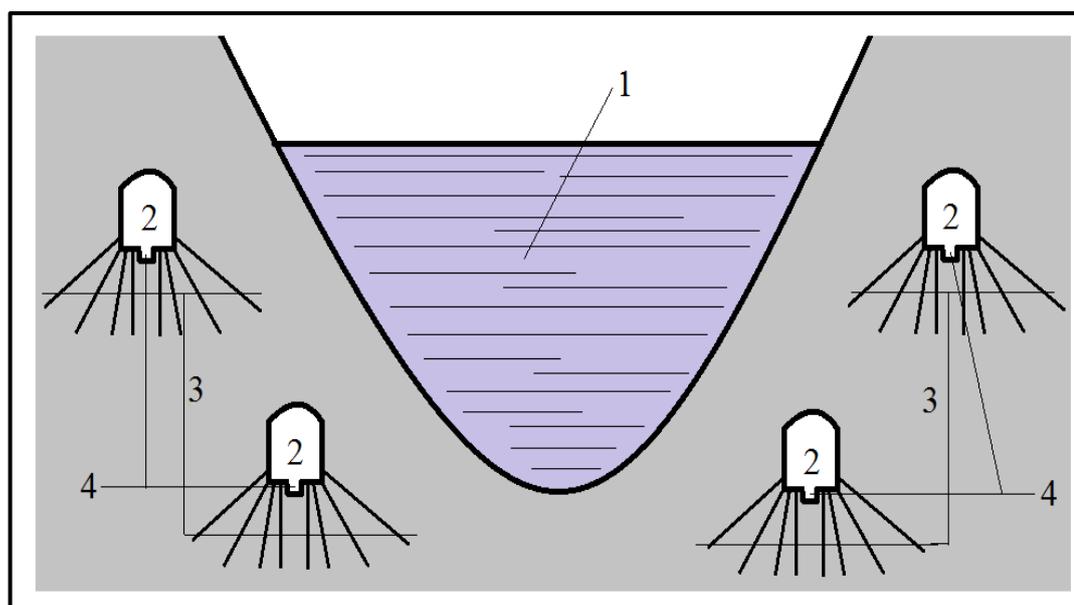


Рисунок 6.8. - Поперечный разрез размещения дренажных туннелей

Проходка четырёх дренажных туннелей 2 с лотком 4 осуществляется со стороны нижнего бьефа в сторону верхнего бьефа на двух уровнях, проходя намного дальше от тела ядра плотины 5, обеспечивая пространство для размещения системы скважин 3. При этом, скважины пробуриваются дальше от тела ядра плотины 5, в сторону верхнего бьефа.

Следует особо подчеркнуть работу системы, заключающийся в том, что обеспечивается надёжный и организованный сифонный перехват обходных фильтрационных вод в дренажных туннелях 2 осуществляют скважинами 3 и сбрасывают через лоток 4, в нижний бьеф сооружения.

Объём перехваченных вод регулируется количеством скважин и их глубиной в дренажном туннеле, и доводится до уровня предусмотренным нормами и проектом сооружения.

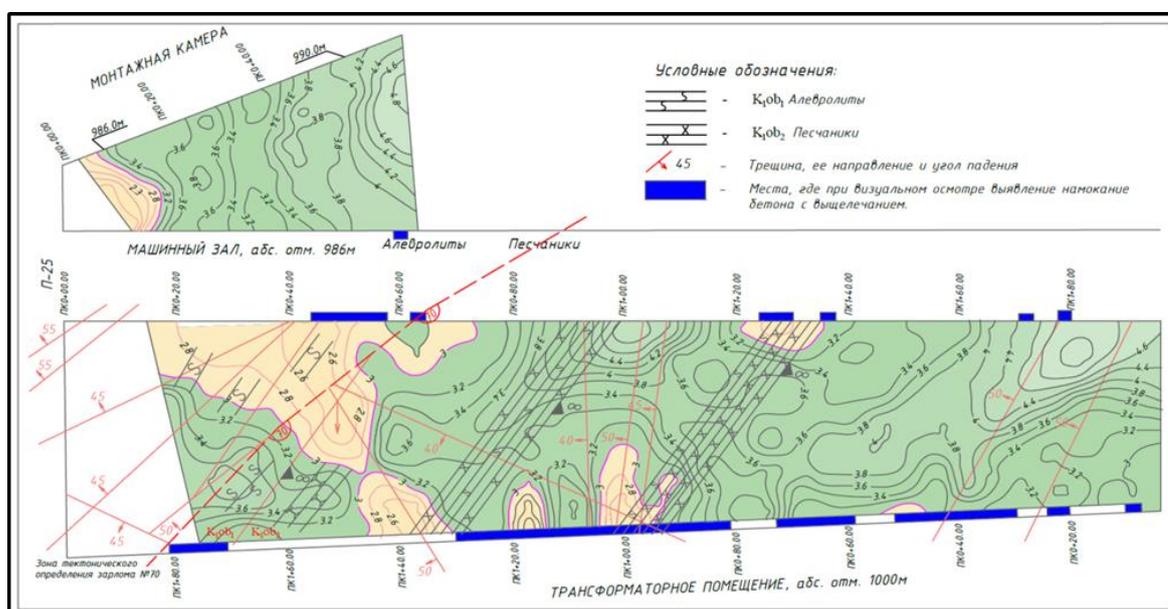
### **6.3. Основные принципы оценки качества укрепительной цементации вмещающего массива песчаников в опытном участке трансформаторного помещения Рогунской ГЭС**

Машинный зал Рогунской ГЭС имеет пролет 21 м, высоту 70 м, длину 220 м (рисунок 6.9). Параллельно ему на расстоянии 63 м в осях расположено помещение трансформаторов с пролетом 19 м, высотой 37 м и длиной 182 м [8-А, 9-А].

Одно из характерной особенности машинного зала и трансформаторного помещения является наличие литологических разностей пород: более прочных толстоплитчатых песчаников верхнеобигармской свиты  $K_1ob_2$  и менее прочных алевролитов нижнеобигармской свиты  $K_1ob_1$  (около 30 % его длины) [10-А, 12-А]. Коренные породы на участке машинного зала и трансформаторного помещения представлены толщей переслаивающихся песчаников и алевролитов нижнемелового возраста, слои которых наклонены в сторону нижнего бьефа под углом 65 – 75 градусов. Песчаники и алевролиты являются крепкими скальными грунтами: величина

их сопротивления одноосному сжатию в образце равна, соответственно, 100 - 120 Мпа и 60 – 80 Мпа [11-А, 13-А].

Специфической особенностью расположения машинного зала и трансформаторного помещения является наличие, в этой зоне литологических разностей пород: более прочных толстоплитчатых песчаников верхнеобигармской свиты  $K_{1ob_2}$  и менее прочных алевролитов нижнеобигармской свиты  $K_{1ob_1}$  (около 30 % его длины) [10-А, 12-А]. Коренные породы на участке машинного зала и трансформаторного помещения представлены толщей переслаивающихся песчаников и алевролитов нижнемелового возраста, слои которых наклонены в сторону нижнего бьефа под углом 65 – 75 градусов. Как известно, песчаники и алевролиты являются крепкими скальными грунтами: величина их сопротивления одноосному сжатию в образце равна, соответственно, 100 - 120 Мпа и 60 – 80 Мпа [11-А, 13-А].



**Рисунок 6.9.** - Разрез в изолиниях скоростей продольных волн целиков между машинным залом и трансформаторным помещением, машинным залом и монтажной камерой

Другой особенностью расположения машинного зала (МЗ) и трансформаторного помещения (ТП) является наличие, в этой зоне высоких сжимающих напряжений, имеющие тектоническую природу,

подтвержденные выполненными измерениями, позволившие оценить вертикальную и горизонтальную компоненты напряжений, составшие соответственно, 12 Мпа 17 Мпа и более [11-А, 13-А].

При проектировании подземных конструкции, эти значения напряжений приняты как постоянные величины.

Прогнозировалось, что при создании в этом массиве крупной выемки, явятся одной из основных причин возникновения интенсивных процессов разгрузки, ослабления пород в при контурной зоне вследствие разуплотнения, деформации стен, нарастания давления на крепь и формирование зон неустойчивых пород.

В подземных камерах большого размера на примере машинного зала и трансформаторного помещения Рогунской ГЭС стены подвергаются огромным гравитационным и тектоническим давлением, который приводит к конвергенции (сближение) стен.

Необходимо отметить, что реакция массива на разработку машинного зала и трансформаторного помещения не ограничивается процессами разуплотнения и последующего уплотнения массива. Одновременно с этим происходит конвергенция стен выработки. Интенсивность и длительность конвергенции существенно различны в песчаниках и алевролитах.

Для массива, находящегося в условиях напряженного состояния сжатия разгрузка приводит к изменению напряженного состояния массива в приконтурной зоне пород, где напряжения в радиальном направлении уменьшаются, а в тангентиальном возрастают, что может привести к разрушению пород на контуре выработки.

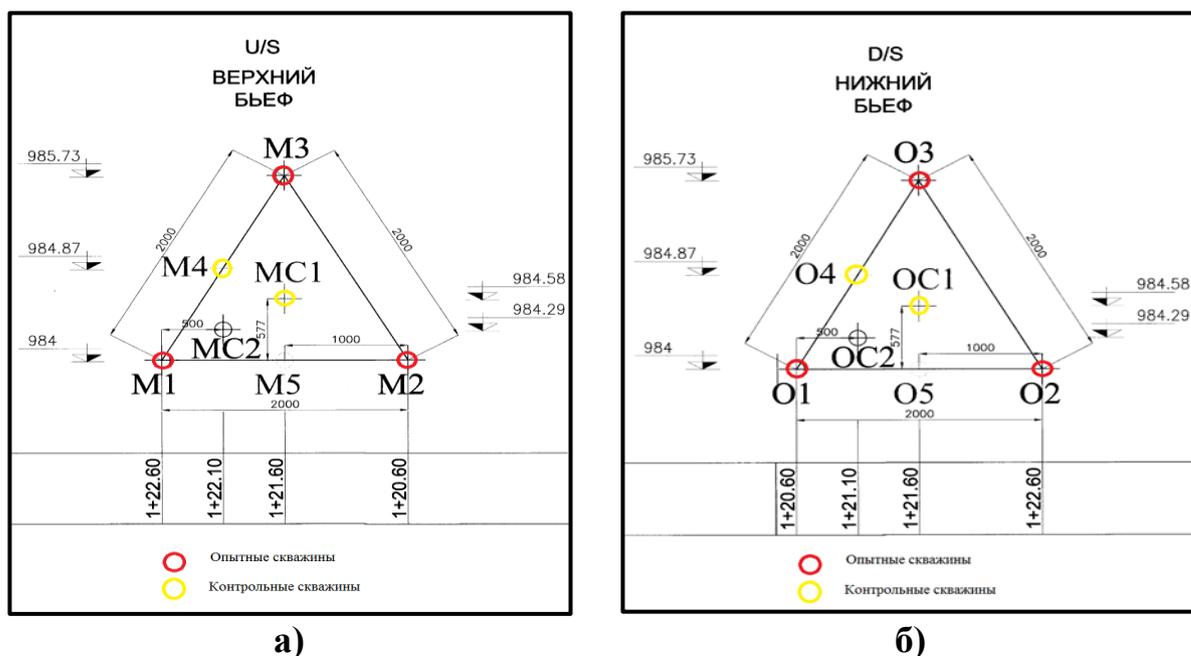
Исследование упругих и прочностных характеристик пород в подземных выработках решался по стандартной методике сейсмоакустического метода сейсмического каротажа скважин и ультразвуковым методом исследования на образцах [182, 218, 219, 8-А, 9-А].

В соответствии с мероприятиями по проведению укрепительной цементации вмещающего массива трансформаторного помещения (ТП)

Рогунской ГЭС на опытном участке, для оценки качества укрепительной цементации песчаников были проведены геофизические исследования в скважинах методом сейсмического каротажа (СК). На указанном участке в соответствии с принятой технологией цементационных работ были разбурены опытные и контрольные скважины длиной 25- 35 м, диаметром 105 мм. Бурение всех скважин выполнялось с отбором образцов-кернов диаметром 61 мм [8-А - 11-А].

В стене верхнего бьефа (ВБ) и нижнего бьефа (НБ) трансформаторного помещения в песчаной зоне (песчаники  $K_{10b_2}$ ) были выбраны два участка для выполнения укрепительной цементации. В стене верхнего бьефа было разбурено 5 скважин в районе ПК 1+21,60, а в стене нижнего бьефа было разбурено 4 скважин в районе ПК 1+21,60. Цементационные работы выполнялись в несколько этапов на каждом участке, с апреля по июль 2015 г., геофизические исследования были проведены для контроля качества цементации в три этапа.

Схема расположения обследованных скважин представлены на рисунок 6.10.



**Рисунок 6.10.** - Схема расположения скважин на опытных участках (зона песчаников)

в трансформаторном помещении Рогунской ГЭС, а) ПК 1+21,60 м, ВБ;

б) ПК 1+21,60 м, НБ

На этой схеме видно, что расстояния между устьями опытных и контрольных скважин на обоих участках не превышают 1-2 м, поэтому можно считать, что все скважины находятся в пределах двух условно однородных блоков исследуемого массива.

На первом этапе, до I цикла цементации, в стене верхнего бьефа ТП был произведен сейсмический каротаж 3-х скважин М1 (ПК 1+22,60, абс.отм. 984,00 м), М2 (ПК 1+20,60, абс. отм 984,00 м), М3 (ПК 1+21,60, абс. отм. 985,73 м) и в стене нижнего бьефа был произведен сейсмический каротаж 3-х скважин О1 (ПК 1+20,60, абс.отм. 984,00 м), О2 (ПК 1+21,10, абс. отм 984,00 м), О3 (ПК 1+22,60, абс. отм. 985,73 м).

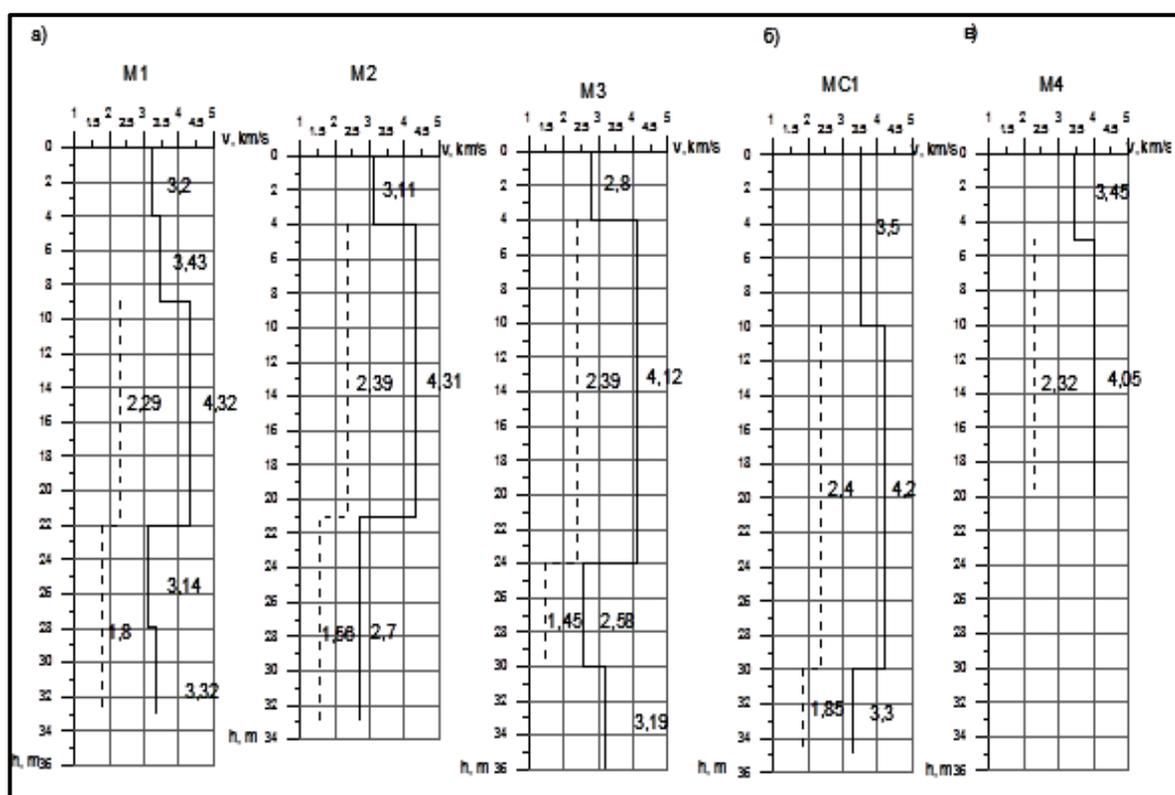
На втором этапе, сразу после завершения I цикла цементационных работ, сейсмический каротаж был выполнен в стене ВБ в контрольной скважине МС1 (ПК 1+21,60 абс. отм. 984,58) и в стене НБ в контрольной скважине ОС1 (ПК 1+21,60, абс. отм. 984,58 м).

Третий этап геофизических исследований был выполнен перед II циклом цементационных работ всего в одной скважине в стене верхнего бьефа: М4 (ПК 1+22,10, абс. отм. 984,87 м).

**На опытном участке (песчаники верхнеобигармской свиты ( $K_{10b_2}$ ))** – в стене верхнего бьефа трансформаторного помещения (ТП) в районе ПК 1+21 на первом этапе измерений (до I цикла цементации) исследованы скважины М1 (ПК 1+22,60, абс.отм. 984,00 м), М2 (ПК 1+20,60, абс. отм 984,00 м) и М3 (ПК 1+21,60, абс. отм. 985,73 м). После I цикла цементации, на втором этапе измерений была прокаротирована скважина МС1 (ПК 0+22,70, абс.отм. 965,08). На третьем этапе измерений, до II цикла цементации, была исследована скважина М4 (ПК 1+22,10, абс. отм. 984,87 м). Результаты обработки материалов сейсмического каротажа в стене верхнего бьефа ТП представлены на рис. 6.11. (пунктирной линией показаны величины скоростей поперечных волн).

Массив можно разделить на три зоны. Условно их можно назвать: приустьевая, промежуточная и призабойная.

На первом этапе работ, по результатам обработки материалов СК в скважинах М1, М2, М3 в приустьевой зоне (0-4 м), получены значения скоростей  $V_p=2,80-3,20$  км/с. Выделить поперечную волну вблизи от источника не удалось, из-за высокой интенсивности продольной волны. Далее, до глубины 21-22 м значения скоростей составляют:  $V_p=4,10-4,30$  км/с,  $V_s=2,30-2,40$  км/с. Ближе к забою скважин на глубинах 21-36 м значения скоростей падают до  $V_p=2,60-3,30$  км/с,  $V_s=1,45-1,80$  км/с. Понижение скоростей в этом интервале глубин можно объяснить тем, что он попадает в зону растягивающих напряжений стены нижнего бьефа машинного зала.



**Рисунок 6.11.** - Результаты сейсмического каротажа скважин в стене верхнего бьефа (ПК 1+21,60 м, песчаная зона) ТП: а) до цементации, б) после 1-го цикла цементации, в) до II цикла цементации

На втором этапе измерений, в скважине МС1 в интервале 0-10 м получены значения скоростей:  $V_p=3,50$  км/с,  $V_s$  определить не удалось. Затем, дальше от стены, в интервале глубин 10-30 м, наблюдается увеличение значений скоростей  $V_p=4,20$  км/с,  $V_s=2,40$  км/с. И в забойной

части скважины на глубине 30-35 м получены  $V_p=3,30$  км/с,  $V_s=1,85$  км/с. Понижение скоростей на этом участке связано с тем, что забой скважины приближается к стене машинного зала, где сильно развита поля растягивающих напряжений.

На третьем этапе работ в скважине М4, которая изучена всего до глубины 20 м, в интервале глубин 0-5 м, получено значение  $V_p=3,40$  км/с, соответствующее, очевидно, зоне разгрузки, и, затем, до забоя в интервале глубин 5-20 м получены скорости:  $V_p=4,05$  км/с,  $V_s=2,30$  км/с.

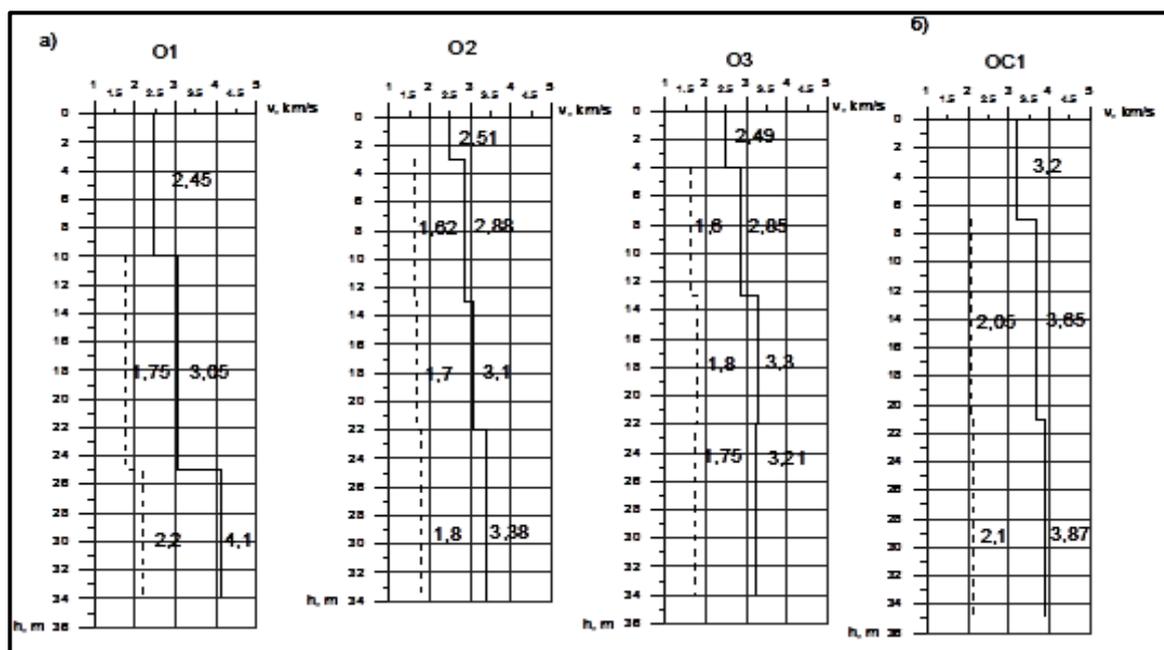
По результатам СК на этом участке прослеживаются некоторые закономерности. В приустьевой части скважин, в зоне разгрузки, скорости на первом этапе имели широкий разброс значений  $V_p=2,80-3,20$  км/с, что, обусловлено высокими значениями растягивающих напряжений в этой зоне. После 1-го цикла цементации скорости возросли до значения  $V_p=3,50$  км/с, что указывает на положительный эффект цементационных работ. В интервале глубин 4-22 м до и после цементации значение скорости почти не изменились, что, возможно, объясняется отсутствием трещин. В интервале глубин 22-30 м, характеризующемся низкими начальными значениями скоростей, последние выросли до  $V_p=4,20$  км/с,  $V_s=2,40$  км/с, что может указывать на успешную цементацию, а в интервале глубин 30-35 м значения скоростей почти не изменились, связанное с отсутствием открытых трещин. На третьем этапе работ в интервале 0-5 м значения скоростей практически не изменились по сравнению со скоростями 2-го этапа, а в интервале 5-20 м значения скоростей упали до  $V_p=4,05$  км/с,  $V_s=2,30$  км/с.

Понижения скоростей на этом участке связано с действием растягивающих напряжений приводящий к релаксацию напряжения до фонового уровня.

**На опытном участке (песчаники верхнеобигармской свиты ( $K_{1ob2}$ ))** - в стене ТП со стороны нижнего бьефа, в районе ПК 1+21,60 м на первом этапе измерений (до I цикла цементации) исследованы скважины О1 (ПК 1+20,60, абс.отм. 984,00 м), О2 (ПК 1+22,60, абс. отм 984,00 м) и О3 (ПК

1+21,60, абс. отм. 985,73 м), после цементации (второй этап измерений) – скважина ОС1 (ПК 1+21,60, абс. отм. 984,58 м). Результаты обработки материалов сейсмического каротажа представлены на рис. 6.12.

По результатам обработки материалов СК на первом этапе работ, в стене нижнего бьефа, в скважинах О1, О2, О3 в зоне разгрузки 0-4 м, получены значения скоростей  $V_p=2,45-2,51$  км/с (рис. 6.19). Поперечная волна в этом интервале не зарегистрирована. В интервале глубин 13-22 м в скважинах О2 и О3  $V_p=3,05$  км/с,  $V_s=1,75$  км/с и  $V_p=3,1$  км/с,  $V_s=1,70$  км/с соответственно, а в скважине О1 на глубине 10- 25 м, значения скоростей составляют:  $V_p=3,05-3,30$  км/с,  $V_s = 1,70-1,80$  км/с. Ближе к забою скважин на глубинах 22-34 м значения скоростей падают до  $V_p=3,20-4,10$  км/с,  $V_s=1,75-2,20$  км/с.



**Рисунок 6.12.** - Результаты сейсмического каротажа скважин в стене нижнего бьефа (ПК 1+21,60 м, зона песчаников) ТП: а) до цементации, б) после 1-го цикла цементации.

На втором этапе измерений, в скважине ОС1 в интервале 0-6 м (зона разгрузки) получены значения скоростей:  $V_p=3,20$  км/с,  $V_s$  определить не удалось. Далее, в интервале глубин 6-21 м, наблюдается увеличение значений скоростей до  $V_p=3,65$  км/с,  $V_s=2,05$  км/с. И в забойной части скважины на глубине 30-36 м получены  $V_p=3,87$  км/с,  $V_s=2,10$  км/с.

По результатам работ выявлены следующие закономерности. В приустьевой части скважин, в зоне растягивающих напряжений (разгрузки) скорости на первом этапе достаточно низкие, что, вероятно, обусловлено трещиноватостью. После 1-го цикла цементации скорости возрастают и принимают значения  $V_p=3,20$  км/с, что указывает на положительный результат цементационных работ. В центральной части скважин, в интервале глубин 4-22 м до цементации наблюдаются пониженные значения скоростей, что, вероятно, обусловлено проходящей здесь зоной трещиноватостью массива. После первого цикла цементации значения скоростей возрастают до  $V_p=3,65$  км/с,  $V_s=2,05$  км/с, что свидетельствует об успешной цементации. В забойной части скважин, значения скоростей, характеризующиеся относительно высокими первоначальными значениями, до и после цементации почти не изменилось, что указывает на первоначальное отсутствие трещин в этом интервале глубин.

Реализованные исследования позволили выявить следующие закономерности, для рассматриваемого объекта исследований:

- В приустьевой части скважин, в зоне разгрузки скорости на первом этапе достаточно низкие, что, вероятно, обусловлено трещиноватостью.

- После 1-го цикла цементации скорости возрастают и принимают значения  $V_p=3,20$  км/с, что указывает на положительный результат цементационных работ.

- В центральной части скважин, в интервале глубин 4-22 м до цементации наблюдаются пониженные значения скоростей, что, вероятно, обусловлено проходящей здесь зоной трещиноватостью массива.

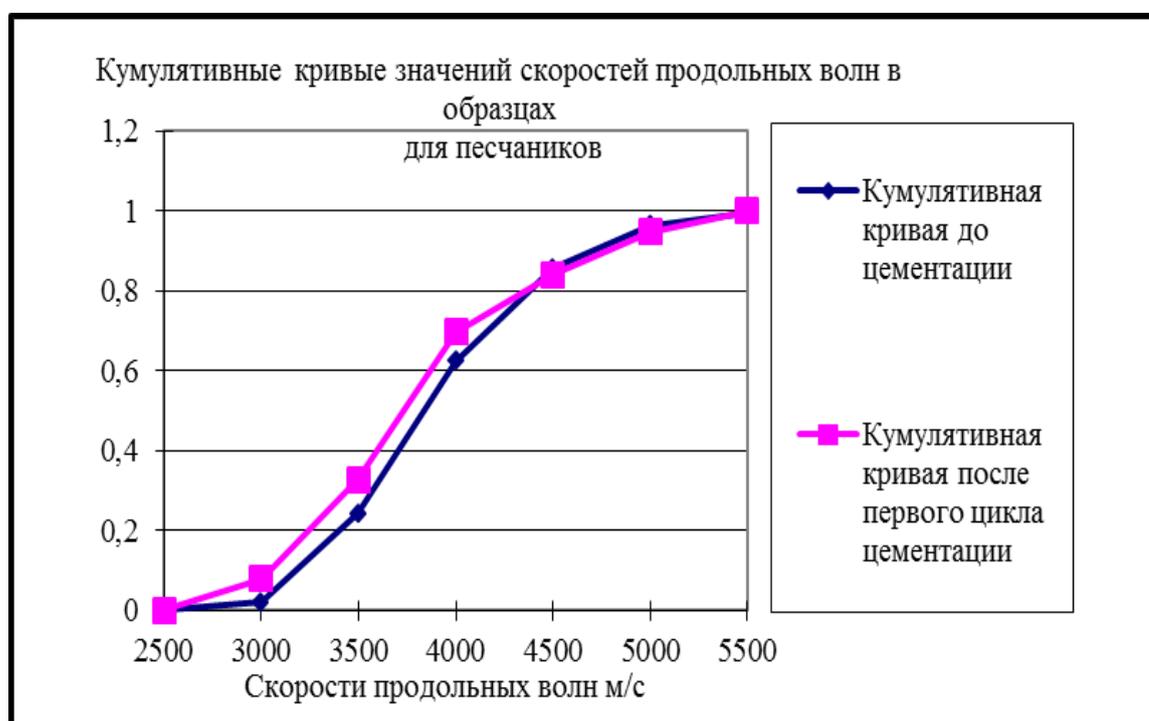
- После первого цикла цементации значения скоростей возрастают до  $V_p=3,65$  км/с,  $V_s=2,05$  км/с, что свидетельствует об успешной цементации.

- В забойной части скважин, значения скоростей, характеризующиеся относительно высокими первоначальными значениями, до и после цементации почти не изменилось, что указывает на первоначальное отсутствие трещин в этом интервале глубин.

Ультразвуковые исследования были проведены на образцах из скважин М1, М2, М3, М4, МС1 (опытный участок ПК 1+21,60 ВБ, песчаники) и О1, О2, О3, ОС1 (опытный участок ПК 1+21,60 НБ, песчаники).

По результатам обработки была построена суммарная кумулятивная кривая изменения скоростей продольных волн в образцах песчаников до и после первого этапа цементации рис.6.13.

Анализ полученного графика, позволил к следующему заключению: скорости продольных волн в образцах песчаников практически не изменились после выполнения работ по цементации соответствующих опытных участков.



**Рисунок 6.13.** - Кумулятивная кривая значений скоростей продольных волн в образцах до и после укрепительной цементации массива песчаников

Результаты сейсмического каротажа показывают, что для пород с первоначальными продольными скоростями ( $V_0$ ) меньше 3,50 км/с – эффект цементации существенно лучше. Причем, чем ниже первоначальные скорости, т.е. выше трещиноватость, тем больше эффект цементации. Если первоначальные скорости выше этой величины, то эффект нулевой или отрицательный.

При обобщении результатов геофизических исследований выявлено, что отрицательные значения эффекта цементации получены для пород с высокими первоначальными продольными скоростями, подтверждающий тезис о том, что при примененной технологии цементации происходит раскрытие мелких трещин и проявление эффекта локальных гидроразрывов. Для пород с первоначальными продольными скоростями ( $V_0$ ) меньше 3,50 км/с – эффект цементации существенно лучше. Низкие скорости для данных типов пород, как правило, обуславливаются трещиноватостью. Причем, чем ниже первоначальные скорости, т.е. выше трещиноватость, тем больше эффект цементации. Это говорит о том, что в первом случае происходит заполнительная цементация трещиноватых зон, а во втором случае происходит раскрытие мелких трещин и проявления эффекта гидроразрывов [12-А, 13-А, 16-А, 17-А, 76-А, 77-А].

Таким образом, существующая в настоящее время необходимость обеспечения надежности гидротехнических сооружений сооружаемых в условиях развития растворимых пород требует оптимального выбора наиболее важных направлений исследований и наблюдения за основными параметрами основания сооружения в особенности за надежностью противofильтрационных завес, и следовательно, за эффективностью работы всего комплекса сооружений.

С целью обеспечения устойчивости высоконапорного гидротехнического сооружения в осадочных сцементированных грунтах основания (аргиллитах и песчаниках) предполагается создание противofильтрационного экрана высокой плотности. При создании экрана наряду с цементными суспензионными растворами будет использован химический гелеобразующий раствор, разработанный Проблемной лабораторией геологического факультета МГУ [220].

#### 6.4. Техничко-экономическая эффективность применения разработанных приборов

Наблюдение за развитием физико-химического процесса в основании плотины Рогунской ГЭС велось, трудоёмким и затратным методом, каковым является отбором проб подземных минерализованных вод и проведением лабораторно-химического анализа. В виду того, что гидродинамические и гидрогеохимические условия в основании плотины быстроизменяющиеся факторы, то оперативная оценка состояния процессов, в реальном масштабе времени не представляется возможным.

Следует отметить, что на сегодняшний день решение проблемы оперативной оценки исследуемых параметров, можно реализовать использованием наиболее совершенного и универсального способа каковым по нашему твердому убеждению, является кондуктометрический способ измерения, основанный на учете того, что величина электрической проводимости (ЭП) является функцией концентрации всех растворённых в нем ионов и представляет собой обобщённую характеристику его качества, что обеспечивает необходимую селективность метода.

Разработанный (на уровне изобретений – малый патент ТЈ 80 «Устройства для кондуктометрических измерений») и изготовленный в промышленных условиях вариант кондуктометров, внедрены в производство для исследования гидрогеохимического режима в основание плотины Рогунской ГЭС.

Реализованные производственные исследования подтвердили возможность оперативной оценки исследуемого процесса, с помощью разработанного прибора, а также позволили выявить явный экономический эффект от их применения

Техничко-эксплуатационный и экономическими расчетами подтвержден ожидаемый экономический эффектом от внедрения кондуктометрического метода и прибора в размере 456192 (четыреста пятьдесят шесть тысяч сто девяносто два) сомони в год (См. приложение 4 диссертации).

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Внесен вклад в дальнейшее развитие теории и методов управления фильтрационным режимом в растворимых основаниях высоконапорных плотин. Сформулированы концептуальные основы совершенствования методов ведения мониторинга, с разработкой **критериального показателя для оперативной оценки эффективности противофильтрационных и противосуффозионных** мероприятий и формирования мероприятий по обеспечению безопасности основания плотины [63-А].

2. Впервые создана математическая модель для оптимального поиска участков зарождения путей сосредоточенной фильтрации и определения коэффициента фильтрации с применением теории тепломассопереноса, разработан высокочувствительный **двухканальный геотермометр-тепломер** с высокой точностью для исследуемого объекта [18-А, 19-А, 68-А, 69-А, 71-А].

3. Разработана **математическая модель трансформаторного кондуктометра**, кондуктометрический метод и аппаратура измерения электрической проводимости подземных, минерализованных вод в пьезометрической сети в диапазоне от 0,2 до 300 г/л. с функциями автоматизированной калибровки без применения сложного оборудования [3-А, 4-А, 6-А, 7-А, 14-А, 15-А, 30-А, 32-А, 35-А, 50-А, 54-А, 58-А, 64-А, 70-А, 73-А].

4. Экспериментально установлено ранее неизвестное физическое явление возникновения геотепловой завесы разделяющая земную кору на зону аккумуляции солнечной энергии (приповерхностная часть земной коры) и зону аккумуляции теплового потока, идущего из недр Земли, определяемая интенсивностью солнечного излучения, скоростью и объёмом потока воды в русле, скоростью наземного ветра, средней теплопроводностью пород земной коры, теплоёмкостью подземных вод и встречным тепловым потоком от ядра Земли. Установлено явление аномального прогрева приповерхностной части

земной коры, связанное с уменьшением объёма зоны аккумуляции солнечной энергии при приближении геотепловой завесы к поверхности Земли, которое является одним из основных факторов приводящий к деградации ледников, испарения воды, возникновения засухи и увеличения площади лесных пожаров [26-А, 29-А, 46-А].

5. Разработан метод и система двухуровневого контроля изменения теплового режима земной коры, с использованием измерения температуры в приповерхностной части земной коры до геотепловой завесы и глубже за геотепловой завесой. Предложено эмпирическое уравнение состояния теплового поля, позволяющее косвенно определить изменение распределения температуры по глубине земной коры, а также способствующее исследовать дневной и летний нагрев приповерхностной части земной коры солнечным излучением и ночную зимнюю теплоотдачу в атмосферу, для составления годового баланса теплонакопления в земной коре и теплоотдачу в атмосферу [26-А, 29-А, 46-А].

6. На основе теории тепломассопереноса, разработан метод определения коэффициента фильтрации в основании плотины, с учетом изменения теплового состояния земли. Разработанный метод и полученная формула коэффициента фильтрации (аналог закона Дарси) позволяет определять скорость фильтрации, в основании плотины на скальных трещиноватых породах, с движением фильтрующейся воды принимающее турбулентный характер [20-А, 22-А, 25-А, 26-А, 27-А, 29-А, 43-А, 44-А, 81-А].

7. Установлено неизвестное ранее физическое явление **опреснения** возникающее при повышении величины гидростатического давления над осмотическим давлением минерализованных вод и **отжатия** при повышении осмотического давления над гидростатическим давлением. Выявлено ранее неизвестное физическое явление возникновения гидронапорно-осмотической завесы между менее и сильноминерализованными водами возникающее при достижении равновесного состояния между гидростатическим и

осмотическим давлением, при котором массоперенос молекулы воды в обоих направлениях прекращается [21-А, 23-А, 24-А, 45-А, 82-А].

8. Предложенный способ и устройство сифонного перехвата пресных фильтрационных потоков, и сброс их в нижний бьеф сооружения, позволяет управлять и обеспечивать неравномерное давление фильтрационных вод между скважинами пробуренные в сторону оголовка соли и противофильтрационной завесой на всю длину защищаемого участка и прижатия минерализованных вод к телу солевого пласта, уменьшая при этом растворение и суффозию оголовка солевого пласта. [28-А, 37-А, 38-А, 42-А, 78-А, 79-А].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов и перспективы дальнейшей разработки предложенного научного направления**

1. Разработанный автором высокочувствительный двухканальный геотермометр-тепломер с точностью  $0,001^{\circ}\text{C}$  позволяет измерять температурный дрейф и определять участки зарождения путей сосредоточенной фильтрации и определения её коэффициента с применением теории тепломассопереноса [18-А, 19-А, 68-А, 69-А, 71-А].

2. Разработаны математическая модель трансформаторного кондуктометра, кондуктометрический метод и аппаратура измерения электрической проводимости подземных минерализованных вод в пьезометрической сети, который рекомендуется принимать за основу для наблюдения изменения гидрогеохимического режима в основании плотины на растворимых породах [3-А, 4-А, 6-А, 7-А, 14-А, 15-А, 30-А, 32-А, 35-А, 50-А, 54-А, 58-А, 64-А, 70-А, 73-А].

3. Предложенную математическую модель трансформаторного кондуктометра рекомендуется при проектировании кондуктометров

различного назначения породах [3-А, 4-А, 6-А, 7-А, 14-А, 15-А, 30-А, 32-А, 35-А, 50-А, 54-А, 58-А, 64-А, 70-А, 73-А].

4. Полученные эмпирические уравнения закономерности среднегодового распределения температуры, в основании плотины Рогунской ГЭС и закономерное региональное распределение температуры в земной коре Таджикистана, рекомендуются использовать для определения геотермической ступени земной коры, как индикатор избыточного тепла [20-А, 22-А, 27-А, 43-А, 44-А, 81-А].

5. Разработанный метод и система контроля изменения теплового режима земной коры, рекомендуется использовать для расположения геотепловой завесы и зоны аккумуляции солнечной энергии позволяющий исследовать дневной и летний нагрев приповерхностной части земной коры солнечным излучением и ночную зимнюю теплоотдачу в атмосферу, по которой можно составить годовой баланс теплонакопления в земной коре и теплоотдачу в атмосферу [26-А, 29-А, 46-А].

6. Разработанный метод и выведенную формулу коэффициента фильтрации (аналог закона Дарси) рекомендуется принять за основу для определения скорости фильтрации, в основании плотины на скальных трещиноватых породах [20-А, 22-А, 27-А, 43-А, 44-А, 81-А].

7. Установленное неизвестное ранее физическое явление опреснения и отжатия подземных минерализованных вод под действием гидростатического давления и возникновения гидронапорно-осмотической завесы между менее и сильноминерализованными водами позволяет на этапе проектирования и эксплуатации позволяет принимать правильное техническое решение по защите пород основания плотины от растворения [21-А, 23-А, 24-А, 45-А, 82-А].

8. Для защиты солевого пласта от размыва рекомендуется использовать предложенный автором управляемое противосуффозионное устройство [28-А, 37-А, 38-А, 42-А, 78-А, 79-А].

9. Для уменьшения фильтрационного давления в зоне примыкания плотины к её бортам, а также для понижения депрессионной поверхности в теле высоконапорной земляной плотины, рекомендуется использовать устройство управляемого перехвата обходных фильтрационных потоков [28-А, 37-А, 38-А, 42-А, 78-А, 79-А].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### Литературные источники

1. Амирзода О.Х., Давлатшоев С.К., Кариева Ф.А., Кобули З.В., Курбонов Н.Б., Пулатов Я.Э., Фазылов А.Р. Водохозяйственная инфраструктура в общей системе управления водными ресурсами. Монография. –Душанбе: ИВП,ГЭ НАН Таджикистана, 2021. -172 с.
2. [https://www.mewr.tj/?page\\_id=390](https://www.mewr.tj/?page_id=390). Министерство энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан (Дата обращения 31.12.23).
3. [https://tpp.tj/business-guide2017/rus/pdf/vodnie\\_resursi.pdf](https://tpp.tj/business-guide2017/rus/pdf/vodnie_resursi.pdf) (Дата обращения 31.12.23).
4. Петров Г. Н. Энергетические проекты Таджикистана: прошлое, настоящее, будущее // Центральная Азия и Кавказ. №3, 2004. – URL: [https://ca-c.org.ru/journal/2004/journal\\_rus/cac-05/11.petrus.shtml](https://ca-c.org.ru/journal/2004/journal_rus/cac-05/11.petrus.shtml)
5. ЕАБР: Страны Центральной Азии обладают значительным гидроэнергетическим потенциалом, но используют его только на 10%. – URL: <https://eabr.org/press/releases/eabr-strany-tsentralnoy-azii-obladayut-znachitelnygidroenergeticheskim-potentsialom-no-ispolzuyut/>
6. Tajikistan 2022. Energy Sector Review. – URL: <https://www.iea.org/reports/tajikistan-2022>, Water-Agriculture-Energy Nexus in Central Aisa through the Lens of Climate Change. URL: – <https://www.carecinstitute.org/wp-content/uploads/2022/08/Report-on-Water%E2%80%93agriculture%E2%80%93energy-nexus-in-Central-Asia-through-the-lens-of-climate-change.pdf>
7. Renewable Capacity Statistics 2022. – URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2022.pdf?rev=460f190dea15442eba8373d9625341ae](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2022.pdf?rev=460f190dea15442eba8373d9625341ae)
8. Петров Г. Гидроэнергетические ресурсы Таджикистана // Центральная Азия и Кавказ. №3 (27), 2003.
9. Официальный сайт Министерства энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан. – URL: <https://www.mewr.tj>

10. Четвертое национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата, 2022. – URL: [https://unfccc.int/sites/default/files/resource/4NC\\_TJK\\_ru\\_0.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/resource/4NC_TJK_ru_0.pdf)
11. Президент Республики Таджикистан. – URL: <http://president.tj/ru/node/29851>.
12. Национальная стратегия развития Республики Таджикистан до 2030 г. – URL: [http://ef-ca.tj/publications/02.2\\_rus\(FILEminimizer\).pdf](http://ef-ca.tj/publications/02.2_rus(FILEminimizer).pdf)
13. Всемирный банк. – URL: <https://www.vsemirnyjbank.org/ru/news/press-release/2022/10/24/tajikistan-inauguratesthe-first-unit-of-the-nurek-hydropower-plant>.
14. Tajikistan 2022. Energy Sector Review. – URL: <https://www.iea.org/reports/tajikistan-2022>.
15. ИА «Авеста». – URL: <https://avesta.tj/2019/05/30/tretraneepostroennyh-malyh-ges-v-tadzhikistane-ne-funksioniruyut-2>.
16. Ассоциация «Гидроэнергетика России». – URL: [http://www.hydropower.ru/news/detail.php?ELEMENT\\_ID=11103](http://www.hydropower.ru/news/detail.php?ELEMENT_ID=11103).
17. Дополнительные проработки, уточняющие материалы проекта по оценке технико - экономических показателей ГЭС при уменьшении емкости водохранилища. 1079 - Т150 ДП. Рогунская ГЭС на реке Вахш. Общая пояснительная записка. Ташкент, 1993, 907 с.
18. Рогунская ГЭС на р. Вахш. Технический проект. Част 1. Природные условия. Книга 1. Инженерно – геологические условия. САО Гидропроект, 1174 - Т15, Ташкент, 1978 , 234 с.
19. Рогунская ГЭС на р. Вахш. Технический проект, часть 1, Природные условия. Книга 2. Инженерно – геологические условия. САО Гидропроект, 1174 - Т15, Ташкент, 1978, 258 с.
20. Рогунская ГЭС на Реке Вахш. Рабочая документация. Сравнительная оценка инженерно-геологических и сейсмологических условий. САО Гидропроект, Ташкент, 1990, 146 с.

21. Количко А.В., Филь В.Н. Инженерно – геологические условия строительства плотины Рогунской ГЭС. Гидротехническое строительство, 1981, №10, С. 11 – 15.
22. Осадчий Л.Г., Бахтияров Р.И. Рогунский гидроузел на р. Вахш. Гидротехническое строительство, 1975, №4, С. 3 – 6.
23. Рассказов Л.Н., Карпов Е.П., Омаров Г.А. Конструктивные особенности плотины Рогунской ГЭС. В кн.: Труды Гидропроекта, вып. 82, 1982, С. 14 – 22.
24. Кухтиков М. М. "Тектоническая характеристика границы между Южным Тянь-Шанем и Таджикской депрессией." Бюлл. МОИП, отдел.геол., 1985, т. 60, вып. 3, с. 12-21.
25. Количко А.В. Рабочая документация. Разведка Гулизинданского разлома. САО Гидропроект, 1079 - 03 - Т130, Ташкент, 1986, 5 с.
26. Количко А.В. Рабочая документация. Разведка Ионахшского разлома и оплзня. САО Гидропроект, Ташкент, 1986, 25 с.
27. Долговременные наклономерные и деформометрические исследования на участке створа плотины Рогунского гидроузла, ТИССС АН Тадж. ССР, Душанбе, 1989, 58 с.
28. "Сейсмические исследования в районах строительства крупных водохранилищ Таджикистана ТИССС" АН Тадж ССР, Душанбе: Дониш, 1987. 88с.
29. Немировский Ю.В., Тырымов А.А. Напряженное состояние в нетронутых массивах горных пород // Аналитические и численные исследования в механике горных пород.- Новосибирск : Изд-во ИГД СО АН СССР, 1986.- С. 223-231.
30. Stepanov V. Y., Kolichko A. V., Parabuchev I. A. Effect of geological structure and stress conditions of rock mass in designing of underground power house. Int. Symposium of ISRM on Rock Mechanics, v.I, Aachen, FRG, 1982.p.57-63.

31. Парфенов В.Д. Тектонофизический анализ разномасштабных полей напряжений скального основания Рогунской ГЭС на реке Вахш, М., Гидропроект (1079-34-Т566), 1991, 51 с.

32. Количко А.В. Современное состояние выломки машинного зала. Инженерно – геологическая оценка. Рогунская ГЭС на р. Вахш. САО Гидропроект, Таш-кент, 1990, 95 с.

33. Зерцалов М.Г., Устинов Д.В., Юфин С.А., Бронштейн В.И., Жуков В.Н. Состояние подземных камерных выработок Рогунской ГЭС//Гидротехническое строительство. 2008, №9, С. 31-35.

34. Речицкий В.И., Ильин М.М., Речицкий В.В., Бугаевский А.Г., Смирнов А.В. Результаты комплексных исследований на участке подземных сооружений Рогунской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2015. №12, С. 29-40.

35. Давлатшоев С.К., Сафаров М.М., Леонидова Н.В. Гидрогеохимические особенности зоны солевого пласта в основании плотины Рогунской ГЭС. Вестник Таджикского технического университета №3, 2008 г., Душанбе, 2008, С. 9 - 11.

36. Мероприятия по защите пласта соли от размыва. Характеристика пласта соли, залегающего в основании Рогунской плотины. 1174 - 3 - Т41. Рогунской ГЭС на реке Вахш. Технический проект. Основание плотины. Ташкент, 1977, 102 с.

37. Воронкевич С.Д., Евдокимова Л.А., Ларионова Н.А., Сергеев В.И., Емельянов С.Н. Опыт применения инъекционного раствора на основе эпоксидной смолы для уплотнения скальных осадочных пород в районе створа Рогунской ГЭС. Гидротехническое строительство, 1981, №10, С. 15 – 17.

38. Воронкевич С.Д., Евдокимова Л.А., Сергеев В.И. Теоретические основы и результаты внедрения способа химического тампонирувания полускальных и скальных пород. В кн.: Вопр. инж. геол. и грунтоведения, вып. 4, М., МГУ, 1976, С. 199 – 209.

39. Воронкевич С.Д. Некоторые проблемы искусственного закрепления пород в строительных целях. Вестник МГУ, сер. геология, 1974, №1, С. 57 - 69.
40. Адамович А.Н. Закрепление грунтов и противofильтрационные завесы в гидротехническом строительстве. М., Энергия, 1980, 320 с.
41. Адамович А.Н. Указания по проектированию противofильтрационных завес в скальных основаниях бетонных плотин. Л., Энергия, 1968, 115 с.
42. Адамович А.Н. Выщелачивание цементного камня, получаемого при цементации грунта. ДАН СССР, т.81, №3, 1951, с. 439-442.
43. Малышев Л.И. Эффективность цементационных завес и дренажей в основаниях гидротехнических сооружений. В кн.: Труды Гидропроекта, вып. 94, 1984, С. 84 – 101.
44. Малышев Л.И., Максимов К.И., Соколовский П.С. Натурные исследования фильтрации в основании плотины Ингурской ГЭС в период строительства. Гидротехническое строительство, 1979, №12, С. 10 – 15.
45. Зернов Г.В., Бучацкий Г.В. О критерии эффективности укрепления трещиноватых скальных пород цементацией. В кн.: Проектирование и создание противofильтрационных устройств в основании высоких плотин. М., Изд. лит – ры по строительству, 1972, С. 223 – 228.
46. Недрига В.П. Гидротехнические сооружения. М., 1983, 315 с.
47. Недрига В.П., Демьянова Э.А., Осадчий Л.Г. Применение солевого раствора для защиты соленосных пород в основании гидротехнических сооружений. В кн.: Научные исследования в области гидротехнических сооружений, систем водного хозяйства, промышленности. М., 1979, С. 12 – 14.
48. Недрига В.П., Осадчий Л.Г., Демьянова Э.А. Защита от размыва соленосных пород в основании Рогунской плотины. В кн.: Труды ВОДГЕО, вып. 61, 1977, С. 1 – 4.

49. Парабучев И.А., Молоков Л.А. Изучение взаимодействия гидротехнических сооружений с геологической средой и направления дальнейших исследований. Инженерная геология, 1984, №3, С. 79 – 86.

50. Парабучев И.А. Главные направления развития методики инженерных изысканий для гидротехнического строительства с учетом проблем охраны окружающей среды. В кн.: Труды Гидропроекта, вып. 82, 1982, С. 3 – 11.

51. Молоков Л.А., Парабучев И.А. Некоторые итоги изучения области взаимодействия гидротехнических сооружений и геологической среды. Гидротехническое строительство, 1984, №2, С. 7 – 10.

52. Молоков Л.А. Опыт изучения взаимодействия сооружений и массива горных пород. Инженерная геология, 1982, №3, С. 14 – 25.

53. Трупаков Н.Г. Цементация трещиноватых пород в горном деле. М., Недра, 1966, 268 с.

54. Ржаницын Б.А. Тампонажные растворы для создания противодиффузионных завес. В кн.: Матер. к пятому совещ. по закреплению и уплотнению грунтов. Новосибирск, 1966, с. 470 – 474.

55. Ржаницын Б.А., Сергеев В.И., Степанова Е.В. Физико – химическая устойчивость алюмосиликата в теле противодиффузионной завесы высотной Асуанской плотины. В кн.: Матер. VII Всес. совещ. по закреплению и уплотнению грунтов. Л., Энергия, 1971, С. 167 – 171.

56. Сергеев В.И., Емельянов С.Н. Некоторые особенности закрепления скальных грунтов основания Камской ГЭС. Инженерная геология, 1980, №1, С. 113 – 117.

57. Соколович В.Е. Химическое закрепление грунтов. М., Стройиздат, 1980, 119 с.

58. Houlsby A.C. Cement Grouting For Dams. Grouting in Geotechnical Engineering, New York., 1982, pp. 1-33.

59. Houlsby A.C. Engineering of Grout Curtains to Standards. Journal of Geotechnical Engineering. Div., ASCE, JT.9, 1977, pp. 953-970.

60. Caron C., Herbst Th., Cattin P. Injections. "Foundation Engineering Handbook", London, 1976, pp. 337-352.
61. Caron C. The State of Grouting in 1980, 1. Grouting in Geotechnical Engineering. New York., 1982, pp. 346-359.
62. Cambefor H. The Principles and application of Grouting. Quart. Journal of Engineering Geology. The Geological Society, London, vol.10, 1977, pp.57-95.
63. Камбефор А. Инъекция грунтов. М., Мир, 1971, 333 с.
64. Сергеев Е.М. Теоретические основы и проблемы инженерной геологии. Пленарные доклады XXVII Международного геологического конгресса. Секция С.17, т. 17, М., 1984, с. 15-21.
65. Сергеев Е.М. Воздействие человека на литосферу и задачи инженерной геологии. В кн.: Вопросы инженерной геологии и грунтоведения, вып. 5, М., МГУ, 1983, с. 4-15.
66. Сергеев Е.М., Голодковская Г.А., Зиангиров Р.С., Осипов В.И., Трофимов В.Т. Грунтоведение. М., МГУ, 1983, 392 с.
67. Воронкевич С.Д. Геолого – минералогические основы инъекционного закрепления пород. Автореферат диссер. на соиск. уч. степени доктора геол. – минер. наук. М., МГУ, 1976, 44 с.
68. Воронкевич С.Д., Морозов С.С., Сергеев Е.М. Современные проблемы технической мелиорации грунтов. В кн.: Материалы к пятому совещанию по закреплению и уплотнению грунтов. Новосибирск, 1966, С. 96-107.
69. Воронкевич С.Д. Инженерно – геохимические аспекты техногенеза. Инженерная геология, 1984, №3, С. 67 – 78.
70. Брызгалов В.И., Щушарин А.Д. Эффективность эксплуатации гидротехнических сооружений, организация контроля т некоторые результаты наблюдений за гидротехническими сооружениями Красноярский ГЭС. Гидротехническое строительство, 1976, №4, С. 11-14.

71. Максимов К.И., Сташевский Н.А. Контроль фильтрации и эффективность противofильтрационных устройств в основании плотины Саяно – Шушенской ГЭС. В кн.: Труды Гидропроекта, вып. 75, С. 60 – 68.
72. Баранова Е.С., Рюмина Т.Н., Тужихин Г.Г. Противofильтрационные и укрепительные мероприятия на сооружениях гидроузла Ингури ГЭС. В кн.: Труды Гидропроекта, вып. 94, 1984, С. 3-17.
73. Миронычев В.А., Скоков В.Г. Противofильтрационные и укрепительные мероприятия в основании плотины Саяно – Шушенской ГЭС. В кн.: Труды Гидропроекта, вып. 94, 1984, С. 28 – 34.
74. Rabago A. Chicoasen project Grouting and Drainage System. Grouting in geotechnical Engineering, New York., 1982, pp. 246-264.
75. Соколов В.Г. Укрепительная цементация, цементационная завеса и дренаж в основании плотины Чиркейской ГЭС. В кн.: Труды Гидропроекта, вып. 94, 1984, С. 34 – 39.
76. Нейштадт Л.И., Пирогов И.А. Методика инженерно-геологического изучения трещиноватости горных пород. М., Энергия, 1969, 248 с.
77. Сергеев Е.М., Голодковская Г.А., Зиангиров Р.С., Осипов В.И., Трофимов В.Т. Грунтоведение. М., МГУ, 1983, 392 с.
78. Littlejohn D. Design of Cement Based Grouts. Grouting in Geotechnical Engineering, New York. 1982, pp. 95.48.
79. Karol R.H. Chemical Grouts Properties. Grouting in Geotechnical Engineering, New York., 1982, pp.359-377.
80. Karol R.H. Chemical Grouting Technology. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div., ASCE, vol. 94, 1968, 99. 175-204.
81. Бучацкий Г.В., Зернов Г.В., Воронкевич С.Д., Евдокимов Л.А., Сергеев В.И. Создание противofильтрационных завес с опытным применением нового химического тампонажного раствора. Гидротехническое строительство, 1976, №4, С. 4-6.
82. Гельфер А.А. Причины и формы разрушения гидротехнических сооружений. М.-Л., ОНТИ, 1936, 320 с.

83. Варга А.А. Теоретические основы и методика инженерно – геологического изучения структур скальных массивов (на примере оснований гидротехнических сооружений). Автореферат дисс. На соискание уч. Степени доктора геол.-минер. наук., М., 1983, 35 с.

84. Варга А.А. Анализ ошибок в оценке геологической среды при гидротехническом строительстве. В кн.: Труды Гидропроекта, вып. 82, 1982, С. 30-36.

85. Боровой И.А., Варга А.А., Молоков Л.А., Парабучев И.А., Савич А.И., Толмачев Л.В. Новые задачи и методы инженерно-геологической оценки оснований больших плотин. Гидротехническое строительство, 1982, №7, С. 37-40.

86. Liu Jia Cai et al. Polyurethane Grouting in Hydraulic Engineering. Grouting in Geotechnical Engineering, New York. 1982, pp. 246-264.

87. Запорожец И.Д. Выщелачивание извести из цементных растворов. Известия ВНИИГ, т, 24, 1936, С. 191 – 236.

88. Лаптев Ф.Ф. Агрессивное действие воды на карбонатные породы гипсы и бетон. М. – Л., 1939, 104 с.

89. Петровский М.Б., Сергеева Н.С. Контроль фильтрационных расходов через тело и основание бетонной плотины Красноярской ГЭС. Гидротехническое строительство, 1976, №12, С. 27-33.

90. Чаликов Е.С., Степанова ЕВ. Долговечность силикатных тампонажных растворов. В кн.: Закрепление грунтов в строительстве. Киев, Будивельник, 1974, С. 163 – 165.

91. Зиангиров Р.С., Гончарова Л.В. Уменьшение водопроницаемости песков карбамидной смолой. В кн.: Вопросы инж. геол. и грунтоведения, вып. 1, МГУ, М., 1963, С. 344 – 351.

92. Вернадский В. И. История природных вод / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 2003. - 751 с.

93. Вернадский В.И. Очерки геохимии. М.; Л.: Госиздат, 1927. - 368 с.

94. Вернадский В.И. О классификации и химическом составе природных вод // Природа. 1929. № 9. -С. 735-758.
95. Алекин О. А., Воронков П.П. К вопросу о химической классификации природных вод // Вопросы гидрохимии, Тр. НИУ ГУГМС. Сер. 4 Вып. 32, 1948. С. 25-39.
96. Альтовский М. Е. К вопросу о формировании химического состава подземных вод // в кн.: Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии, № 13. М., Госгеолтехиздат, 1950. –С. 23-29.
97. Брусиловский С. А. О миграционных формах элементов в природных водах. — В сб.: Гидрохимические материалы, т. 35. Л., Гидрометеиздат, 1963. С. 3 - 16.
98. Бунеев А. Н. Основы гидрогеохимии минеральных вод осадочных отложений. М.: Медгиз, 1956. - 227 с.
99. Валяшко М. Г. Основные химические типы природных вод и условия их образования. - ДАН, 1955, т. 102, № 2. С. 315-318.
100. Валяшко М. Г. Закономерности формирования месторождений калийных солей. М.: Изд-во МГУ, 1962. -398 с.
101. Валяшко М. Г. и др. Геохимия и генезис рассолов Иркутского амфитеатра, М., «Наука», 1965. -160 с.
102. Виноградов А. П. Введение в геохимию океана. М.: Наука, 1967. - 215 с.
103. Барс Е.А., Зайдельсон М.И. Гидрогеологические условия формирования и размещения нефтяных и газовых месторождений Вол го- Уральской области. М.: Недра, 1973. - 280 с.
104. Зайцев И. К. Методика составления гидрогеологических карт. М.: Госгеолтехиздат, 1945. - 87 с.
105. Зайцев И. К. Принципы гидрогеологического районирования. // Советская геология, 1947, №19. - С. 34 - 39.
106. Зайцев И. К. Некоторые вопросы терминологии и классификации подземных вод. Мат-лы ВСЕГЕИ по региональной и поисковой гидрогеологии. - Л., 1961, вып.46, - С.11-160.

107. Закономерности распространения и формирования минеральных (промышленных и лечебных) подземных вод на территории СССР / И. К. Зайцев, Н. И. Толстихин, М.: Недра, 1972. - 279 с.,
108. Зверев В. П. и др. Миграция химических элементов в подземных водах СССР: закономерности и количественная оценка. М., «Наука», 1974. - 236 с.
109. Игнатович П. В. Гидрогеологические структуры — основа гидрогеологического районирования территории СССР. Советская геология №19, Л, 1947. - С.24-33.
110. Красинцева В. В. Гидрогеохимия хлора и брома / В.В. Красинцева. М.: «Недра», 1968. - С. 196 с.
111. Крайнов С. Р., Швец В. М. Основы геохимии подземных вод. — М.: Недра, 1980.—285 с.
112. Овчинников А. М. Гидрогеохимия. М.: Недра, 1970. - 200 с.
113. Овчинников А. М. О систематизации состава подземных вод. // Разведка недр, 1954, № 5. - С. 37-40.
114. Овчинников А. М. Основные принципы гидрогеологического районирования // Проблемы гидрогеологии, М.: Госгеолтехиздат, 1960. С. 106-109.
115. Овчинников А.М. Подземные воды. М.: Знание, 1960. 32 с.
116. Питьева К. Е. Основы региональной геохимии подземных вод. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969. -213 с.
117. Посохов Е. В. Формирование химического состава подземных вод (основные факторы). Л.: Гидрометеиздат, 1966.-258 с.
118. Посохов Е. В. Общая гидрогеохимия. Л.: Недра, 1975. - 208 с.
119. Самарина В. С. Формирование химического состава подземных вод (на примере Прикаспийской низменности). Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1963. -117 с.
120. Самарина В. С. Гидрогеохимическое опробование подземных вод. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1958. -257 с.

121. Смирнов С. И. Введение в изучение геохимической истории подземных вод седиментационных бассейнов. М.: Недра, 1974. -262 с.
122. Швец В. М. Органические вещества подземных вод. М.: Недра, 1973. -192 с.
123. Максимович, Г. А. Основы карстоведения / Г. А. Максимович. - Пермь : Изд-во ПГУ. - Т. 1, 1963. - 444 с.
124. Максимович, Г. А. Основы карстоведения / Г. А. Максимович. - Пермь : Изд-во ПГУ. - Т. 2, 1969. - 529 с.
125. Алекин О.А. Общая гидрохимия, Л.: гидрометеоздат, 1948. -208 с.
126. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л., Гидрометеоздат, 1970. -446 с.
127. Максимович Г.А. Химическая география вод суши. М.: Географгиз, 1955, -328 с.
128. Каменский Г.Н. Вопросы формирования подземных вод. Труды Лабор. гидрогеол. проблем. АН СССР, т.16, 1958, -С.7-26.
129. Каменский Г.Н., Толстихин Н.И., Толстихина М.М. Гидрогеология СССР. М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по геологии и охране недр, 1959, -366 с.
130. Овчинников А. М. Общая гидрогеология / А. М. Овчинников. – М.: Госгеолиздат, 1949. - 356 с.
131. Питьева К. Е. Подземные воды палеозоя Северного Прикаспия. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. - 356 с.
132. Дьяконов Д.И., Леонтьев Е.И, Кузнецов Г.С. Общий курс геофизических исследований скважин. М., Недра, 1984, 432 с.
133. Бондаренко В.М., Демура Г.В., Ларионов А.М. Общий курс геофизических методов разведки. Учебное пособие для техникумов. М., Недра, 1986, 453 с.
134. РСН 46-79 Инструкция по применению каротажных методов при инженерных изысканиях в строительстве. Москва 1979

135. Давлатшоев С.К. Методика и аппаратура термометрии скважин / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Материалы десятая Международ. теплофиз. «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». – Душанбе: ООО «Хочи-Хасан», 2016. -С. 361-366.

136. Давлатшоев С.К. Исследование и интерпретация данных минерализованных подземных вод в пьезометрических скважинах температурным и кондуктометрическим измерением / И.М. Рахимов, Ш.К. Обиджони, О.Х. Амирзода, С.К. Давлатшоев // Учебно-методическое пособие. – Душанбе: Ирфон, 2022. -64 с.

137. Бронников И.Д. Бурение скважин на воду. Учебное пособие. – М.: МГРИ-РГГРУ. 2013 г., 124 с.

138. Антропов Л.И. Теоретическая электрохимия. М., Высшая школа, 1984, 519 с.

139. Юинг Г. Инструментальные методы химического анализа. Пер. с англ. 5 изд.. М., Мир, 1989, 608 с.

140. Давлатшоев С.К. Устройства для геохимического мониторинга оснований плотины Рогунской ГЭС / С.К. Давлатшоев, Г.К. Хайриддинов, М.М. Сафаров // Материалы десятая Международ. теплофиз. «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». – Душанбе: ООО «Хочи-Хасан», 2016. -С. 309-314.

141. Давлатшоев С.К. Методика и аппаратура измерения уровня минерализации в пьезометрах / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Материалы десятая Международ. теплофиз. «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». – Душанбе: ООО «Хочи-Хасан», 2016. -С. 366-372.

142. Давлатшоев С.К. Кондуктометрическое измерения минерализованных вод в пьезометрических скважинах / С.К. Давлатшоев // Учебно-методическое пособие. – Душанбе: Ирфон, 2020. -80 с.

143. Болл Стюарт Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. М., ИД "ДОДЭКА - 21", 2007, 360 с.

144. Топильский В.Б. Микроэлектронные измерительные преобразователи. 2 - е изд.(эл.). М., БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013, 493 с.
145. Давлатшоев С.К. Зонд-кондуктометр Nelt. Часть 1. Разработка, изготовление и испытания / С.К. Давлатшоев // Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экологии», - Душанбе, №1 (4), 2021. С.58-65.
146. Агуров П.В. Последовательные интерфейсы ПК. Практика программирования. СПб., БХВ - Петербург, 2004, 496 с.
147. Калабеков Б.А. Микропроцессоры и их применение в системах передачи и обработки сигналов. М., Радио и связь, 1988, 368 с.
148. Хоровиц П. и Хилл У. Искусство схемотехники. Пер. с англ. 6 - е изд.. М., Мир, 2001, 704 с.
149. Благов А.Е., Маханько А.А. Микропроцессорные устройства систем управления. Уч. пособие. Казань, Изд - во КНИТУ - КАИ, 2013, 150 с.
150. Микропроцессоры и микропроцессорные комплекты интегральных микросхем. Справочник. Том 1./ Под ред. Шахнова В.А., М., Радио и связь, 1988, 368 с.
151. Золотов Ю.А., Дорохов Е.Н., Фадеев В.И. и др. Основы аналитической химии. В 2 кн./ Под ред. Золотова Ю.А. - М., ФГУП "Высшая школа", 2002, 494 с.
152. Галюс З. Теоретическое основы электрохимического анализа. М., Мир, 1974, 552 с.
153. ГОСТ 13685 - 85. Соль поваренная. Методы испытаний (с изменениями № 1, 2).
154. Давлатшоев С.К. Зонд-кондуктометр Nelt. Часть 2. Нахождение концентрационной и температурной зависимости электропроводности / С.К. Давлатшоев // Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экологии», - Душанбе, №1 (4), 2021. С.66-73.
155. Винберг Э.Б. Алгебра многочленов. М., Просвещение, 1980, 176 с.
156. Курош А.Г. Курс высшей алгебры, 9 - е изд.. М., Главная редакция физико - математической литературы, 1968, 431 с.

157. Мишина А.П., Проскуряков И.в. Высшая алгебра, 2 - е изд. М., Физматгиз, 1962, 300 с.
158. Давлатшоев С.К. Зонд-кондуктометр NELT. часть 3. Порядок работы, поверки и проверка работоспособности кондуктометра в полевых условиях / С.К. Давлатшоев // Материалы Респуб. науч.-практ. конф. «Водохозяйственный комплекс: проблемы и пути их решения». Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экологии», - Душанбе, №12(1), 2022. С.81-86.
159. Кунщикова М.К., Кунщиков Б.К. Общий курс геофизических методов разведки. М.: Недра, 1976. -429 с.
160. Знаменский В.В. Общий курс полевой геофизики: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1989. - 520 с.
161. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения горных пород / В.Н. Дахнов. -М.: Недра, 1985. -310 с.
162. Дахнов В.Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин / В.Н. Дахнов. - М.: Недра, 1982. - 448 с.
163. Итенберг С.С. Промысловая геофизика / С.С. Итенберг. -М.: Гостоптехиздат, 1961. -388 с.
164. Итенберг С.С. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин: Учебное пособие, 2 изд / С.С. Итенберг. -М.: Недра, 1987. -375 с.
165. Интерпретация результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин. Справочник / Под ред. В.М. Добрынина. -М.: Недра, 1988. -476 с.
166. Сквородников И.Г. Геофизические исследования скважин: учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и дополн. / И.Г. Сквородников. – Екатеринбург: УГГУ, 2014. -456с.
167. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Резванов Р.А., Африкян А.Н. Промысловая геофизика: Учебник для вузов / В.М. Добрынин, Б.Ю. Вендельштейн, Р.А. Резванов, А.Н. Африкян / Под ред. В. М. Добрынина. -М.: Недра, 1986. -342 с.

168. Результаты геофизических исследований на участке временной солевой завесы Рогунской ГЭС. –М.: ОГИИИ ПИИНИО «Гидропроект», 1990. -58 с.
169. Результаты геофизических исследований на участке временной солевой завесы Рогунской ГЭС. –М.: ОГИИИ ПИИНИО «Гидропроект», 1991. -99 с.
170. Померанц Л.И. Аппаратура и оборудование геофизических методов исследования скважин / Л.И. Померанц. -М.: Недра, 1985. -321 с.
171. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований в скважинах. -М.: Недра, 1985. -265 с.
172. Гребенникова, И. В. Методы оптимизации : учебное пособие / И. В. Гребенникова. - Екатеринбург : УрФУ, 2017. - 148 с.
173. Рейзлин В.И. Численные методы оптимизации: учебное пособие. – Томск: Изд-во Нац. исслед. Томского политех. университета, 2013. – 105 с.
174. [https://studbooks.net/1772830/geografiya/teplovoy\\_rezhim\\_zemli\\_geotermicheskiy\\_gradient\\_geotermicheskaya\\_stupen](https://studbooks.net/1772830/geografiya/teplovoy_rezhim_zemli_geotermicheskiy_gradient_geotermicheskaya_stupen) (Дата обращения 26.01.24).
175. <https://bookonline.ru/node/755> (Дата обращения 26.01.24).
176. Литвинов С.Я., Архаров Л.В. Промысловая геофизика. Учебное пособие для нефт. вызов. -М.: Гостоптехиздат, 1954. -184 с.
177. Итенберг С.С, Дахкильгов Т.Д. Геофизические исследования в скважинах. -М.: Недра, 1982. -351 с.
178. Череменинский Г. А. Геотермия / Г. А. Череменинский. Геотермия. – Л.: Недра, 1972. – 2269 с.
179. Итенберг С.С. Интерпретация результатов каротажа сложных коллекторов / С. С. Итенберг, Г. А. Шнурман. – М.: Недра, 1984. - 256 с.
180. Гринбаум, И. И. Геофизические методы определения фильтрационных свойств горных пород / И.И. Гринбаум. –М. : Недра, 1965. – 188 с.
181. Мелькановицкий, И. М. Методика геофизических исследований при поисках и разведке месторождений пресных вод / И. М.

Мелькановицкий, В. А. Ряполова, М. А. Хордикайнен. – М. : Недра, 1982. – 293 с.

182. Комплексные инженерно-геофизические исследования при строительстве гидротехнических сооружений. Под редакцией А.И. Савич и Б.П. Куянджича. Москва, Недра, 1990, -462 с.

183. Латышова М.Г. Практическое руководство по интерпретации диаграмм геофизических исследований скважин. М.: Недра, 1991. -220 с.

184. Дахнов В.Н. Интерпретация результатов геофизических исследований скважин. –М: Недра, 1977. -366 с.

185. Давлатшоев С.К. Техногенное влияние фильтрационных потоков водохранилища на гидрогеохимический режим основания плотины и безопасное функционирование Рогунской гидроэлектростанции / Автореф. ... канд. техн. наук. –Душанбе: ИВПГиЭ, 2019. 51 с.

186. Давлатшоев С.К. Техногенное влияние фильтрационных потоков водохранилища на гидрогеохимический режим основания плотины и безопасное функционирование Рогунской гидроэлектростанции / Дисс. ... канд. техн. наук. –Душанбе: ИВПГиЭ, 2019. 179 с.

187. Латышенко, К.П. Метрология и измерительная техника. Микропроцессорные анализаторы жидкости / К.П. Латышенко, Б.С. Первухин. – М.: Юрайт, 2016. – 203 с.

188. Латышенко К.П., Первухин Б.С., Фатеев Д.Е. Моделирование многообмоточных трансформаторных кондуктометров // Приборы, № 1 (115), 2010. – С. 49 – 55.

189. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи / Л.А. Бессонов. – М.: «Высшая школа», 1996. – 638 с.

190. Руководство по гидрохимическим исследованиям при изысканиях для гидротехнического строительства. П-657-77. Гидропроект. -М.: Энергия, 1978. -63 с.

191. Инструкция по применению каротажных методов при инженерных изысканиях для строительства. РСН 46-79. -М.: Производственное объединение «Стройизыскания», 1979. -147 с.

192. Юинг Г. Инструментальные методы химического анализа. Пер. с англ. 5 изд.. М., Мир, 1989, 608 с.
193. Болл Стюарт Р. Аналоговые интерфейсы микроконтроллеров. -М.: ИД «ДОДЭКА-21», 2007. -360 с.
194. Топильский В.Б. Микроэлектронные измерительные преобразователи. 2-е изд.(эл.) / В.Б. Топильский. -М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. -493 с.
195. Аргунов П.В. Последовательные интерфейсы ПК. Практика программирования. СПб., БХВ - Петербург, 2004,
196. Анкудинов И.Г. Микропроцессорные системы. Архитектура и проектирование. Учебное пособие. Санкт - Петербург, СЗТУ, 2013, 109 с.
197. Гребешков А.Ю. Микропроцессорные системы и программное обеспечение в средствах связи / А.Ю. Гребешков. -Самара: ПГТУИ, 2009. - 298 с.
198. Анкудинов И.Г. Микропроцессорные системы. Архитектура и проектирование / И.Г. Анкудинов. -СПб.: СЗТУ, 2013. -109 с.
199. Фадеев Д.К. Сборник задач по высшей алгебре / Д.К. Фадеев, И.С. Соминский. -М.: Наука, 1977. -288 с.
200. Демидович Б.П. Основы вычислительной математики / Б.П. Демидович, И.А. Марон. -М.: Наука, 1966. -664 с.
201. Информатика. Практикум по технологии работы на компьютере / Под ред. Макаровой Н.В. -М.: Финансы и статистика, 2005. -256 с.
202. Очков В.Ф. Mathcad 14 для студентов и инженеров; русская версия / В.Ф. Очков. -СПб.: ВHV-СПб, 2009. -512 с.
203. Информатика / Под ред. проф. Макаровой Н.В. -М.: Финансы и статистика, 2001. -768 с.
204. Геофизические методы исследования / Под ред. В.К. Хмелевского. - М.: Недра, 1988. -395 с.
205. Геофизические методы исследования скважин. Справочник геофизика. - М.: Недра, 1883. -591 с.

206. Хмелевской В.К. Краткий курс разведочной геофизики. М.: Изд-во МГУ, 1979. -288 с.
207. Шарма П. В. Геофизические методы в региональной геологии. - М.: Мир, 1989. -487 с.
208. <https://medialeaks.ru/0908gvn-earth-is-warming/> (Дата обращения 19.09.2023).
209. Малаханов В.В. Использование температурных пьезометрических наблюдений для мониторинга состояния грунтовых плотин // Вестник МГСУ. 2012. №3. С. 79-89.
210. Биянов Г.Ф. Плотины на вечной мерзлоте. М.: Энергия, 1983.
211. Цитович Н.А., Ухова Н.В., Ухов С.Б. Прогноз температурной устойчивости плотин из местных материалов на вечномерзлых основаниях. Л.: Госстройиздат, 1972. 143 с.
212. Аравин В.И., Носова О.Н. Натурные исследования фильтрации. Теоретические основы. Л.: Энергия, 1969. 258 с.
213. Аравин В.И., Носова О.Н. Вопросы методики натурных исследований фильтрации // Эксплуатация гидротехнических сооружений гидроэлектростанций. Обмен опытом. М.: Энергия, 1977. С. 107—112.
214. Ронжин И.С. Сопоставление результатов натурных наблюдений за фильтрацией в гидросооружениях с проектными предположениями // Эксплуатация гидротехнических сооружений гидроэлектростанций. Обмен опытом. М.: Энергия, 1977. С. 112—119.
215. Бобков К.А. Об использовании температурных наблюдений при контроле за фильтрацией в земляных плотинах // Эксплуатация гидротехнических сооружений гидроэлектростанций. Обмен опытом. М.: Энергия, 1977. С. 120—124.
216. Мероприятия по защите пласта соли от размыва. Характеристика пласта соли, залегающего в основании Рогунской ГЭС. №1174-3-Т41. – Ташкент: САО Гидропроект, 1977. -101 с.
217. [http://elib.rshu.ru/files\\_books/pdf/img-217144009.pdf](http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-217144009.pdf)

218. Савич А.И., Анатолий Игоревич, Коптев В.И., Ященко З.Г., Никитин В.Н. Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных пород / Под ред. д-ра техн. наук А.М. Епинатьевой. - Москва : Недра, 1969. - 239 с.

219. Савич А.И., Ященко З.Г. Исследование упругих и деформационных свойств горных пород сейсмоакустическими методами. – М.: Недра, 1979, -214 с.

220. Морозов С.В. Прогноз изменения проницаемости химически уплотнённых скальных осадочных грунтов в противофильтрационных завесах (на примере Рогунской ГЭС) / Дисс. ... канд. геол. минер. наук. – Москва: МГУ, 1985. -176 с.

#### **Авторские публикации.**

#### ***Статьи в изданиях, рекомендуемые ВАК при Президенте Республики Таджикистан.***

[1-А]. Давлатшоев С.К. Исследование водопроницаемости породы в участке солевого пласта в основание плотины Рогунской ГЭС [Текст] / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров, Н.В. Леонидова // Известия Академии наук РТ, Отделение физико – математических, химических, геологических и технических наук. – Душанбе, 2008. №1(130). -С.58-64. – ISSN 0002-3485.

[2-А]. Давлатшоев С.К. Гидрогеохимические особенности зоны солевого пласта в основании плотины Рогунской ГЭС [Текст] / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров, Н.В. Леонидова // Вестник Технического университета . – Душанбе, 2008. №3. –С. 9-11. – ISSN 2075-177X.

[3-А]. Давлатшоев С.К. Математическая модель функционирования кондуктометра «Кальмар» [Текст] / С.К. Давлатшоев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Душанбе: "Сино", №1/2, 2017. -С. 83 – 86. – ISSN 2413-452X.

[4-А]. Давлатшоев С.К. Кондуктометрический способ и аппаратура измерения уровня минерализации в пьезометрических сетях [Текст] / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Вестник технологического университета. - Казань, Т. 20, №18, 2017. - С.45-51. - ISSN 1998-7072.

- [5-А]. **Давлатшоев С.К.** Оценка взаимодействия фильтрационного потока на гидрогеохимический режим основания плотины кондуктометрическим методом [Текст] / С.К. Давлатшоев // Вестник Таджикского национального Университета. Серия естественных наук. – Душанбе: "Сино", №1/3, 2017. -С. 129 – 134. – ISSN 2413-452X.
- [6-А]. **Давлатшоев С.К.** Математическое моделирование трансформаторного кондуктометра для мониторинга основания Рогунской ГЭС [Текст] / С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2019. № 2 (41). С. 3-9. – ISSN 2413-452X.
- [7-А]. **Давлатшоев С.К.** Метрологические характеристики трансформаторного кондуктометра и реализация технических средств мониторинга основания Рогунской ГЭС [Текст] / С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2019. № 2 (41). С. 10-14. – ISSN 2079-7001.
- [8-А]. **Давлатшоев С.К.** Контроль качества цементационных работ вмещающего массива в опытном участке методом сейсмического каротажа [Текст] / С.К. Давлатшоев // Гидротехническое строительства, №2, 2020., -С. 52 - 56. – ISSN 0016-9714.
- [9-А]. **Давлатшоев С.К.** Исследование качества цементационных работ вмещающего массива подземных сооружений ультразвуковым методом [Текст] / С.К. Давлатшоев // Гидротехническое строительства, №4, 2020. -С. 2 - 7. – ISSN 0016-9714.
- [10-А]. **Davlatshoev S. K.** Quality control of cementation operation performed in country massif in a test section by seismic well logging [Electronic resource] / S. K. Davlatshoev // Power Technology and Engineering, vol. 54, No. 2, July, 2020. Pp. 199-203. <https://doi.org/10.1007/s10749-020-01191-1>.
- [11-А]. **Davlatshoev S. K.** Ultrasound study of the quality of consolidation grouting works retaining rocks in underground structures logging [Electronic resource] / S. K. Davlatshoev // Power Technology and Engineering, vol. 54, No. 3, September, 2020. Pp. 332-336. <https://doi.org/10.1007/s10749-020-01211-0>.
- [12-А]. **Давлатшоев С.К.** Оценка качества укрепительной цементации вмещающего массива песчаников в условиях растягивающих напряжений

[Текст] / С.К. Давлатшоев // Гидротехническое строительство, №12, 2021. –С. 15-20. – ISSN 0016-9714.

[13-А]. **Давлатшоев С.К.** Влияние объёмного нагружения скальных пород подземного помещения на процесс релаксации самонапряжённого состояния алевролитового массива [Текст] / С.К. Давлатшоев // Гидротехническое строительство, №1, 2022. –С. 6-12. – ISSN 0016-9714.

[14-А]. **Davlatshoev S. K.** Monitoring of the water-soluble base of the dam. Part 1. Investigation of hydro-and geochemical regime of the hydroelectric dam base [Text] / S.A. Garelina, S.K. Davlatshoev, K.P. Latyshenko // Мониторинг. Науки и технологии. 2022. № 1 (51). – С. 21 – 26. – ISSN 2076-7358.

[15-А]. **Davlatshoev S. K.** Monitoring of the water-soluble base of the dam. Part 2. Water-soluble monitoring system the base of the rogun hydroelectric power station dam [Text] / S.A. Garelina, S.K. Davlatshoev, K.P. Latyshenko // Мониторинг. Науки и технологии. 2022. № 1 (51). – С. 27 – 33. – ISSN 2076-7358.

[16-А]. **Davlatshoev S. K.** Evaluation of the quality of strengthening cementation of an enclosing sandstone massif under tensile stresses [Electronic resource] / S. K. Davlatshoev // Power Technology and Engineering, vol. 56, No. 1, May, 2022. Pp. 46-51. <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01469-10>.

[17-А]. **Davlatshoev S. K.** Influence of volumetric loading of rocks surrounding underground chambers on the relaxation of self-stressed aleurolite massif [Electronic resource] / S. K. Davlatshoev // Power Technology and Engineering, vol. 56, No. 2, July, 2022. Pp. 157-163. <https://doi.org/10.1007/s10749-023-01488-x>.

[18-А]. **Давлатшоев С.К.** Измерения теплового потока в пьезометрических скважинах [Текст] / С.К. Давлатшоев // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава (научный журнал), серия естественных наук, 2/4 (105), 2022. – С. 38-43. – ISSN 2663-5534.

[19-А]. **Давлатшоев С.К.** Определение метрологических характеристик термометром-тепломером [Текст] / С.К. Давлатшоев // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава (научный журнал), серия естественных наук, № 2/1 (108), 2023. – С. 77-81. – ISSN 2663-5534.

**[20-А]. Давлатшоев С.К.** Усули назорати лъараёни полоиш дар асоси сарбанд [Матн] / С.К. Давлатшоев, Ш.А. Шамсуллоев, С.Т. Тоирзода, Б.М. Мирзоева // Паёми донишгоњи технологии Тољикистон, № 2(53), -Душанбе: ДТТ, 2023. –С. 15-25. – ISSN 2707-8000.

**[21-А]. Давлатшоев С.К. Давлатшоев С.К.** Исследование формирования и изменения состава подземных вод [Текст] / С.К. Давлатшоев // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава (научный журнал), серия естественных наук, № 2/2 (111), 2023. – С. 57-64. – ISSN 2663-5534.

**[22-А]. Давлатшоев С.К.** Метод контроля фильтрационных потоков в основании плотин [Текст] / С.К. Давлатшоев, Ш.А. Шамсуллоев, С.Т. Тоирзода, Б.М. Мирзоева, С.Х. Чакалов // Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» - Душанбе: ИМОГЭЭ, 2023, №3(2). –С. 73-82. – ISSN 2789-0953.

**[23-А]. Давлатшоев С.К.** Исследование условий образования геохимических барьеров и других видов завес [Текст] / С.К. Давлатшоев // Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» - Душанбе: ИМОГЭЭ, 2023, №3(2). –С. 138-146. – ISSN 2789-0953.

**[24-А]. Давлатшоев С.К.** Влияние гидростатического давления на изменение степени минерализации подземных вод [Текст] / С.К. Давлатшоев // Известия ТулГУ. Наука о Земле. –Тула: ТулГУ, №3, 2023. -С. 403-414. - ISSN 2218-5194.

**[25-А]. Давлатшоев С.К.** Методы и технологии мониторинга изменения скорости потока в гидротехнических туннелях [Текст] / С.К. Давлатшоев, С.Т. Тоирзода, Ш.А. Шамсуллоев, Б.М. Мирзоева, С.Х. Чакалов // Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» - Душанбе: ИМОГЭЭ, 2023, №3(3). –С. 67-73. – ISSN 2789-0953.

**[26-А]. Давлатшоев С.К.** Метод и система контроля изменения теплового режима земной коры [Текст] / С.К. Давлатшоев, А.Р. Фазылов // Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» - Душанбе: ИМОГЭЭ, 2023, №3(3). –С. 185-193. – ISSN 2789-0953.

**[27-А]. Давлатшоев С.К.** Метод определения коэффициента фильтрации по изменению теплового состояния основания плотины [Текст] / С.К.

Давлатшоев // Гидротехническое строительство, №11, 2023. –С. 7-15. – ISSN 0016-9714.

**[28-А]. Давлатшоев С.К.** Управляемые противосуффозионные устройства по защите солевого пласта в основании плотины на растворимых породах [Текст] / С.К. Давлатшоев, А.Р. Фазылов // Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология» - Душанбе: ИМОГЭЭ, 2023, №3(4). –С. 114-122. – ISSN 2789-0953.

**[29-А]. Давлатшоев С.К.** Мониторинг и контроль изменения теплового поля земной коры и расположения геотепловой завесы [Текст] / С.К. Давлатшоев, А.Р. Фазылов // Известия ТулГУ. Наука о Земле. –Тула: ТулГУ, №2, 2024. -С. 70-80. - ISSN 2218-5194.

### **Монографии**

**[30-А]. Давлатшоев С.К.** Гидрогеохимический мониторинг в основании плотины Рогунской ГЭС / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров –Душанбе: Ирфон, 2017. 236 с.

**[31-А]. Давлатшоев С.К.** Кондуктометр для измерения степени минерализации подземных вод в наблюдательных пьезометрических сетях / С.К. Давлатшоев. -Рига, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. 130 с.

**[32-А]. Давлатшоев С.К.** Повышение безопасности гидротехнических сооружений. Часть 1. На примере Рогунской ГЭС на реке Вахш / С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев, К.П. Латышенко. – Химки: АГЗ МЧС России, 2021. – 160 с.

**[33-А]. Давлатшоев С.К.** Повышение безопасности гидротехнических сооружений. Часть 2. На примере водохранилища Нурекской ГЭС на реке Вахш / С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев, К.П. Латышенко, Ш.К. Обиджони, Н.К. Курбонов. – Химки: АГЗ МЧС России, 2021. – 192 с.

**[34-А]. Давлатшоев С.К.** Повышение безопасности гидротехнических сооружений. Часть 3. На примере сооружений Нурекского гидроузла на реке Вахш / С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев, К.П. Латышенко, Ф.Ш. Бобохонов. – Химки: АГЗ МЧС России, 2021. – 168 с.

## Патенты

**[35-А]. Давлатшоев С.К.** Устройства для кондуктометрических измерений / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров, М.А. Зарипова, Д.И. Бобошеров, М.С. Мухамадиев // Малый патент РТ № ТЈ 80, № 0700102, заявл. 10.04.2007; опубл. 31.08.2007; Бюл. №47, 2007. -6 с.

**[36-А]. Давлатшоев С.К.** Скважинный сейсмический прибор / С.К. Давлатшоев, Г.К. Хайриддинов, Ш.С. Кодиров, К.С. Давлатшоев, С.С. Каноатшоев // Малый патент РТ №ТЈ 708, № 1500927, заявл. 16.03.2015; опубл. 07.08.2015; Бюл. №108, 2015. -3 с.

**[37-А]. Давлатшоев С.К.** Система перехвата обходных фильтрационных потоков высоконапорных каменно-земляных плотин / С.К. Давлатшоев, О.Х. Амирзода // Малый патент РТ № ТЈ 1149, МПК Е 02 В 3/16; Е 02 В 7/06. № 2001473, завл. 20.10.2020; опубл. 14.04.2021; Бюл. №170, 2021. -3 с.

**[38-А]. Давлатшоев С.К.** Способ перехвата обходных фильтрационных потоков высоконапорных земляных плотин / С.К. Давлатшоев, О.Х. Амирзода // Малый патент РТ № ТЈ 1161, МПК Е 02 В 3/16; Е 02 В 7/06. № 2001472, завл. 20.10.2020; опубл. 26.05.2021; Бюл. №171, 2021. -4 с.

**[39-А]. Давлатшоев С.К.** Способ защиты основания гидротехнического сооружения от разрушения / С.К. Давлатшоев, О.Х. Амирзода, З.В. Кобулиев, М.М. Сафаров // Малый патент РТ № ТЈ 1214, МПК Е 02 D 27/40; Е 02 В 3/16. № 2001450, завл. 14.07.2020; опубл. 29.11.2021; Бюл. №178, 2021. -3 с.

**[40-А]. Давлатшоев С.К.** Устройство для защиты основания гидротехнического сооружения от разрушения / С.К. Давлатшоев, О.Х. Амирзода, З.В. Кобулиев, М.М. Сафаров // Малый патент РТ № ТЈ 1213, МПК Е 02 D 27/40; Е 02 В 3/16. № 2001449, завл. 14.07.2020; опубл. 29.11.2021; Бюл. №178, 2021. -3 с.

**[41-А]. Давлатшоев С.К.** Способ защиты основания гидротехнического сооружения от разрушения / С.К. Давлатшоев, З.В. Кобулиев, М.М. Сафаров // Евразийский патент №041213 МПК Е 02 В 3/16. №202100215, заявл. 09.07.2021; опубл. 27.09.2022; -4 с.

**[42-А]. Давлатшоев С.К.** Способ перехвата обходных фильтрационных потоков высоконапорных земляных плотин / С.К. Давлатшоев, О.Х. Амизода // Евразийский патент №042546 МПК E 02 В 11/00, E 02 В 7/06. №202100214, заявл. 09.07.2021; опубл. 27.02.2023; -4 с.

**[43-А]. Давлатшоев С.К.** Способ и устройство для определения коэффициента фильтрации в основании плотины / С.К. Давлатшоев, Ш.А. Шамсуллоев, Б.М. Мирзоева, С.Т. Тоирзода, С.Х. Чакалов // Евразийский патент №048700 МПК G 01 N 15/08, G 01 N 33/24, E02 D 7/00. №202392857, заявл. 12.10.2023; опубл. 26.12.2024; -4 с.

**[44-А]. Давлатшоев С.К.** Способ и устройство для определения скорости водного потока в туннелях / С.К. Давлатшоев, С.Т. Тоирзода, Б.М. Мирзоева, Ш.А. Шамсуллоев, С.Х. Чакалов // Малый патент РТ № TJ 1407, МПК G 01 P 5/18, E 21 В 47/10. № 2301803, завл. 22.02.2023; опубл. 05.07.2023; Бюл. №197, 2023. -4 с.

**[45-А]. Давлатшоев С.К.** Способ определения глубины опреснения подземных минерализованных вод и завес между водными растворами разной плотности / С.К. Давлатшоев // Малый патент РТ № TJ 1414, МПК В 01 D 61/00, G 01 N 9/00 G 01 N 13/00. № 2301832, завл. 05.05.2023; опубл. 31.07.2023; Бюл. №197, 2023. -7 с.

**[46-А]. Давлатшоев С.К.** Способ определения расположения геотепловой завесы в земной коре / Давлатшоев С.К., Фазылов А.Р., Мирзоева Б.М., Хушмахмади С., Фазылов В.А. // Евразийский патент № 050392 МПК G 01 V 9/00, E21 В 47/07. №202491705, заявл. 18.07.2024; опубл. 30.05.2025; -7 с.

### ***Статьи в материалах конференции***

**[47-А]. Давлатшоев С.К.** Исследование гидрогеохимической обстановки в основании плотины Рогунской ГЭС / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Материалы десятая Междунар. теплофиз. «Теплофизические исследования и измерения при контроле качества веществ, материалов и изделий». – Душанбе: ООО «Хочи-Хасан», 2016. -С. 317-320.

- [48-А]. Давлатшоев С.К. Исследование взаимодействия фильтрационного потока с подземными водами и соленосными породами / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Материалы Респуб. Науч. – практ. конфер. "Современные проблемы естественных наук". – Душанбе: Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова, 2017. - С. 103 – 106.
- [49-А]. Давлатшоев С.К. Измерения концентрации минерализованных жидкостей кондуктометрическим способом / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Сборник трудов междунар. конф. "Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах", Махачкала, 2017. -С. 281 - 283.
- [50-А]. Давлатшоев С.К. Кондуктометр для контроля гидрогеохимического режима основания плотины / С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // XXVIII Межд. н.-практ. конф. «Предотвращение. Спасение. Помощь». – Химки: АГЗ МЧС России. – 2018. – С. 24 – 27.
- [51-А]. Давлатшоев С.К. Система мониторинга защиты пласта соли основания плотины Рогунской ГЭС / С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // XXVIII Межд. н.-практ. конф. «Предотвращение. Спасение. Помощь». – Химки: АГЗ МЧС России. – 2018. – С. 28 – 30.
- [52-А]. Давлатшоев С.К. Исследование отжатия подземных минерализованных вод кондуктометрическим методом / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Сборник статей Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы развития современной науки, техники и технологий». – Самара: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2018. - С. 14 - 17.
- [53-А]. Давлатшоев С.К. Анализ рисков сооружения Рогунской ГЭС / С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Сборник тезисов и докладов IX Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций». – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2018, -С. 234 – 237.
- [54-А]. Давлатшоев С.К. Математическая модель трансформаторного кондуктометра при измерении напряжения / С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев,

М.М. Сафаров // IX Всеросс. н.-практ. конф. «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы». – Воронеж: ВФ ИПСА ГПС МЧС России, 2018. – С. 132 – 135.

[55-А]. Давлатшоев С.К. Система защиты солевого пласта плотины Рогунской ГЭС / С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // IX Всеросс. н.-практ. конф. «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы». – Воронеж: ВФ ИПСА ГПС МЧС России, 2018. – С. 135 – 138.

[56-А]. Давлатшоев С.К. Система мониторинга защиты солевого пласта основания плотины Рогунской ГЭС / С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Пожарная и аварийная безопасность. Сборник материалов XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной Году культуры безопасности. Иваново, 2018. С. 25-27.

[57-А]. Давлатшоев С.К. Способ и устройства для геохимического мониторинга оснований плотины на водорастворимых породах / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Материалы VIII Всерос. Науч.-практ. конф. с междунар. участием «Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы» с международным участием. Рубцовск. -2018, Ч. 2. – С.370-376.

[58-А]. Давлатшоев С.К. Разработка канала измерения температуры двухканального скважинного кондуктометра / / С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // VII межд. н.-практ. конф. «Исторические аспекты, актуальные проблемы и перспективы развития гражданской обороны», 15 марта 2019 г. – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК. – 2019. – С. 59 – 61.

[59-А]. Давлатшоев С.К. Система мониторинга и защиты солевого пласта основания плотины Рогунской ГЭС / С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Сборник трудов секции № 16 ХХIX Международной научно-практической конференции «Предотвращение. Спасение. Помощь». – Химки: ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России. – 2019. – С. 19 – 23.

[60-А]. Давлатшоев С.К. Контроль гидрогеохимического режима в основании плотины на водорастворимых породах / С.К. Давлатшоев, З.В

Кобулиев, М.М. Сафаров // Сборник трудов междунар. конф. «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах». Махачкала, 2019. - С.410-413.

[61-А]. **Давлатшоев С.К.** Оценка изменения температурного поля во времени в основание плотины / С.К. Давлатшоев, З.В. Кобулиев, М.М. Сафаров // Сборник трудов междунар. конф. «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах». Махачкала, 2019. - С.414-416.

[62-А]. **Давлатшоев С.К.** Оценка изменения минерализации во времени в основание плотины на водорастворимых породах / С.К. Давлатшоев, З.В. Кобулиев, М.М. Сафаров // Сборник трудов междунар. конф. «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах». Махачкала, 2019. - С.417-419.

[63-А]. **Давлатшоев С.К.** Автоматизированная система мониторинга основания плотины на легкорастворимых породах / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров, З.В. Кобулиев // Сборник трудов V Междунар. науч.-техн. конф. «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ». – СПб.: Университет ИТМО, 2019. –С. 256-268.

[64-А]. **Давлатшоев С.К.** Кондуктометрический способ и устройства для мониторинга гидрогеохимического режима в основании плотины на легкорастворимых породах // С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров, З.В. Кобулиев // Сборник трудов V Междунар. науч.-техн. конф. «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ». – СПб.: Университет ИТМО, 2019. –С. 269-281.

[65-А]. **Давлатшоев С.К.** Измерения диапазон изменения температурного поля во времени в основание плотины Рогунской ГЭС / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров, З.В. Кобулиев // Сборник трудов V Междунар. науч.-техн. конф. «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ». – СПб.: Университет ИТМО, 2019. –С. 292-300.

[66-А]. **Давлатшоев С.К.** Измерения диапазон изменения степени минерализации подземных вод в основании плотины Рогунской ГЭС / С.К.

Давлатшоев, М.М. Сафаров, З.В. Кобулиев // Сборник трудов V Междунар. науч.-техн. конф. «Современные методы и средства исследований теплофизических свойств веществ». – СПб.: Университет ИТМО, 2019. – С. 301-308.

**[67-А]. Давлатшоев С.К.** Гидрогеохимический мониторинг в основании плотины на растворимых породах / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Материалы XIV междунар. молодёжная науч. конф. «Гинчуринские чтения». Том 2. Часть 2. –Казань, 2019. -С. 203-207.

**[68-А]. Давлатшоев С.К.** Термометр – тепломер для определения пути сосредоточенной фильтрации в основании плотины / С.К. Давлатшоев, З.В. Кобулиев, М.М. Сафаров / Сборник статей V междунар. науч. конф. на тему: «Вопросы физической координационной химий», посвященной памяти докторов химических наук, профессоров Якубова Х.М. и Юсуфова З.Н. – Душанбе: ТНУ, 2021. С. 35-38.

**[69-А]. Давлатшоев С.К.** Определение метрологических характеристик термометр – тепломера / С.К. Давлатшоев, З.В. Кобулиев, М.М. Сафаров // Сборник статей V междунар. науч. конф. на тему: «Вопросы физической координационной химий», посвященной памяти докторов химических наук, профессоров Якубова Х.М. и Юсуфова З.Н. –Душанбе: ТНУ, 2021. С. 38-42.

**[70-А]. Давлатшоев С.К.** Кондуктометрический метод контроля гидрогеохимического режима водорастворимого основания плотины / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Сборник научных статей. Материалы двенадцатой международной теплофизической школы «Теплофизика и информационные технологии» . -Тамбов: ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2022. -С. 72-77.

**[71-А]. Давлатшоев С.К.** Термометр - тепломер для определения пути сосредоточенной фильтрации в основании плотины / / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Сборник научных статей. Материалы двенадцатой международной теплофизической школы «Теплофизика и информационные технологии» . -Тамбов: ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2022. -С. 161-164.

[72-А]. Давлатшоев С.К. Метод контроля гидрогеохимического режима водорастворимого основания высоконапорной плотины / Ш.А. Шамсуллоев, С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Материалы 13 междунар. теплоф. школы «Теплофизика и информационные технологии». - Душанбе-Тамбов, 2022. - С.165-169.

*Статьи в других изданиях.*

[73-А]. Давлатшоев С.К. Математическая модель трансформаторного кондуктометра при измерения тока / С.А. Гарелина, С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Журнал «Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций». 2018. Т. 1. С. 120-123.

[74-А]. Давлатшоев С.К. Измерения степени минерализации жидкостей кондуктометрическим способом / С.К. Давлатшоев, М.М. Сафаров // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук. 2019. № 2-3 (66). С. 53-57.

[75-А]. Давлатшоев С.К. Исследование диапазона изменения степени минерализации подземных вод в основании плотины Рогунской ГЭС / С.К. Давлатшоев, З.В. Кобулиев, М.М. Сафаров // Вестник филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе. Серия естественных наук. – Душанбе, №1(13), 2020. С.58-66.

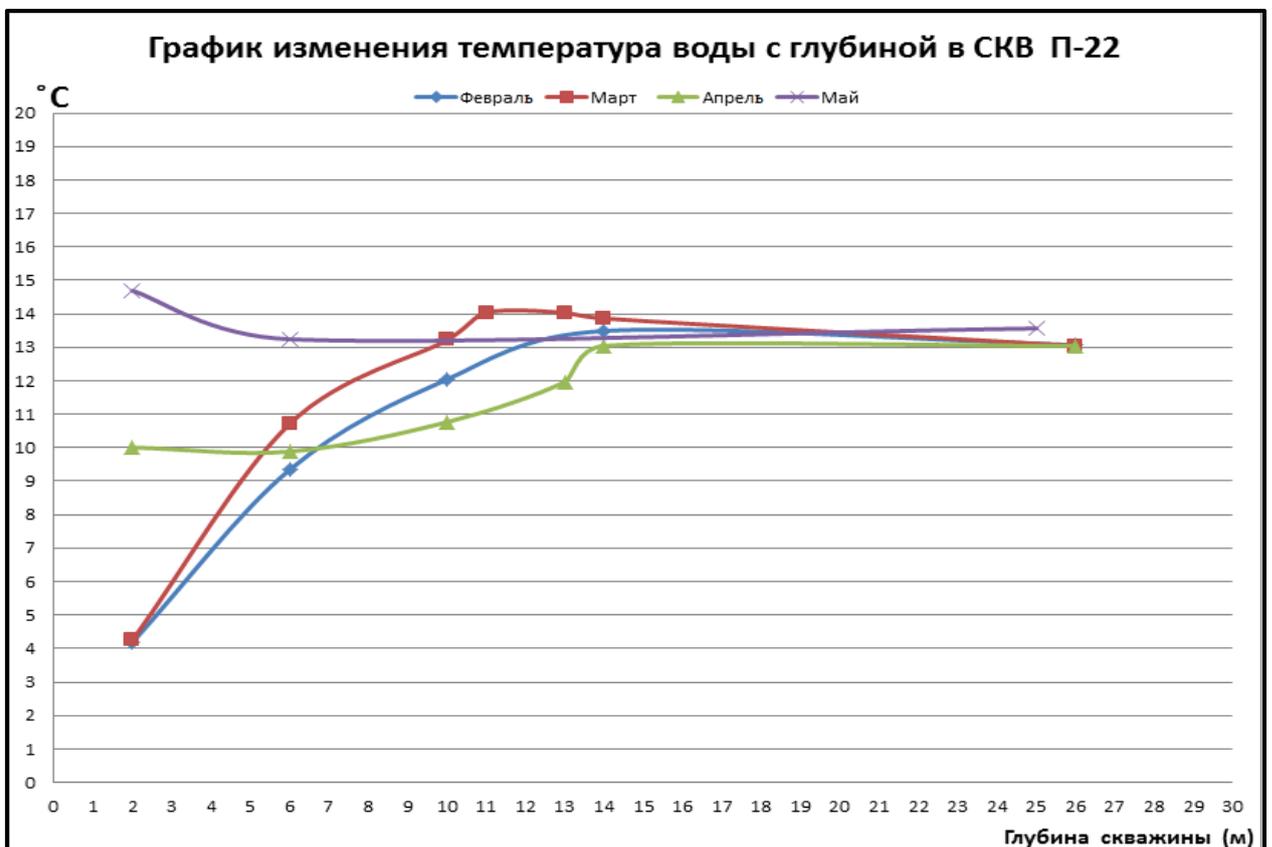
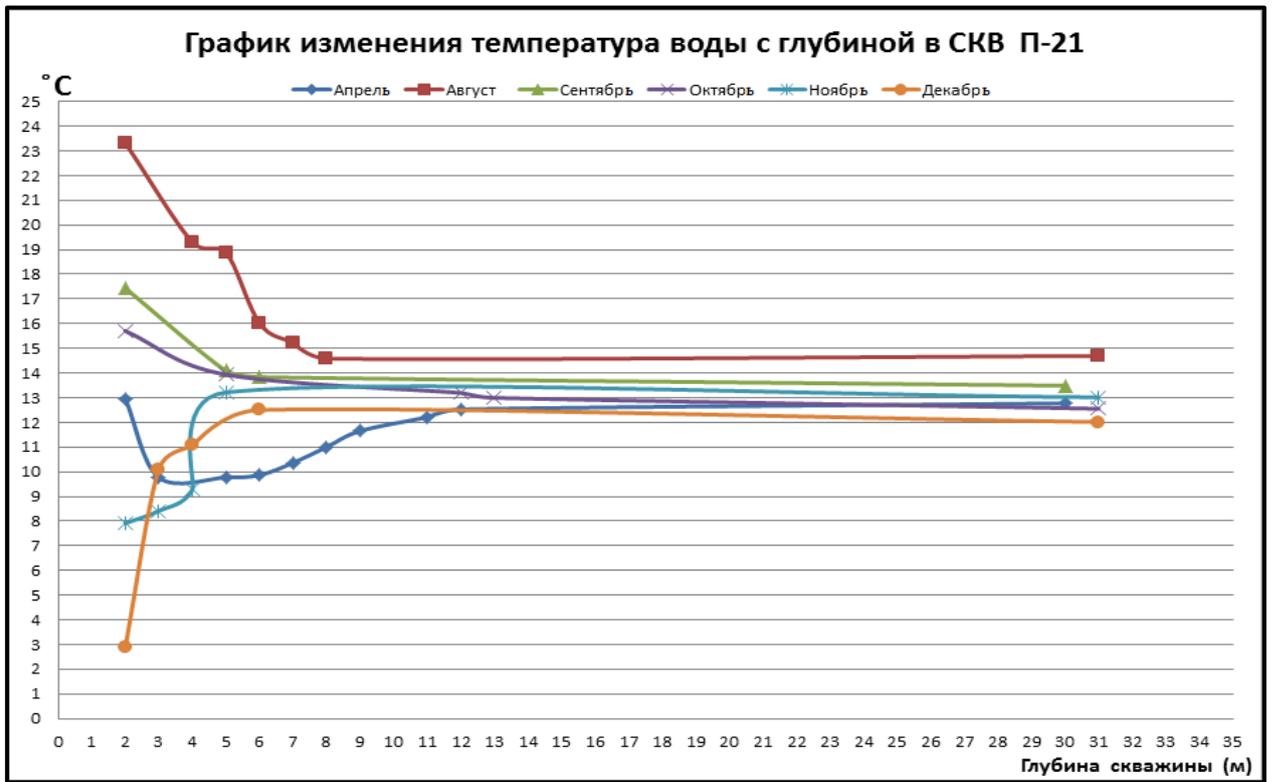
[76-А]. Давлатшоев С.К. Влияние гравитационного давления на процесс релаксации самонапряжённого состояния горных пород вокруг подземного помещения / С.К. Давлатшоев // В книге: Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства. Сборник тезисов докладов IV Всерос. науч.-практ. семинара. –Москва: МГСУ, 2021. С. 30.

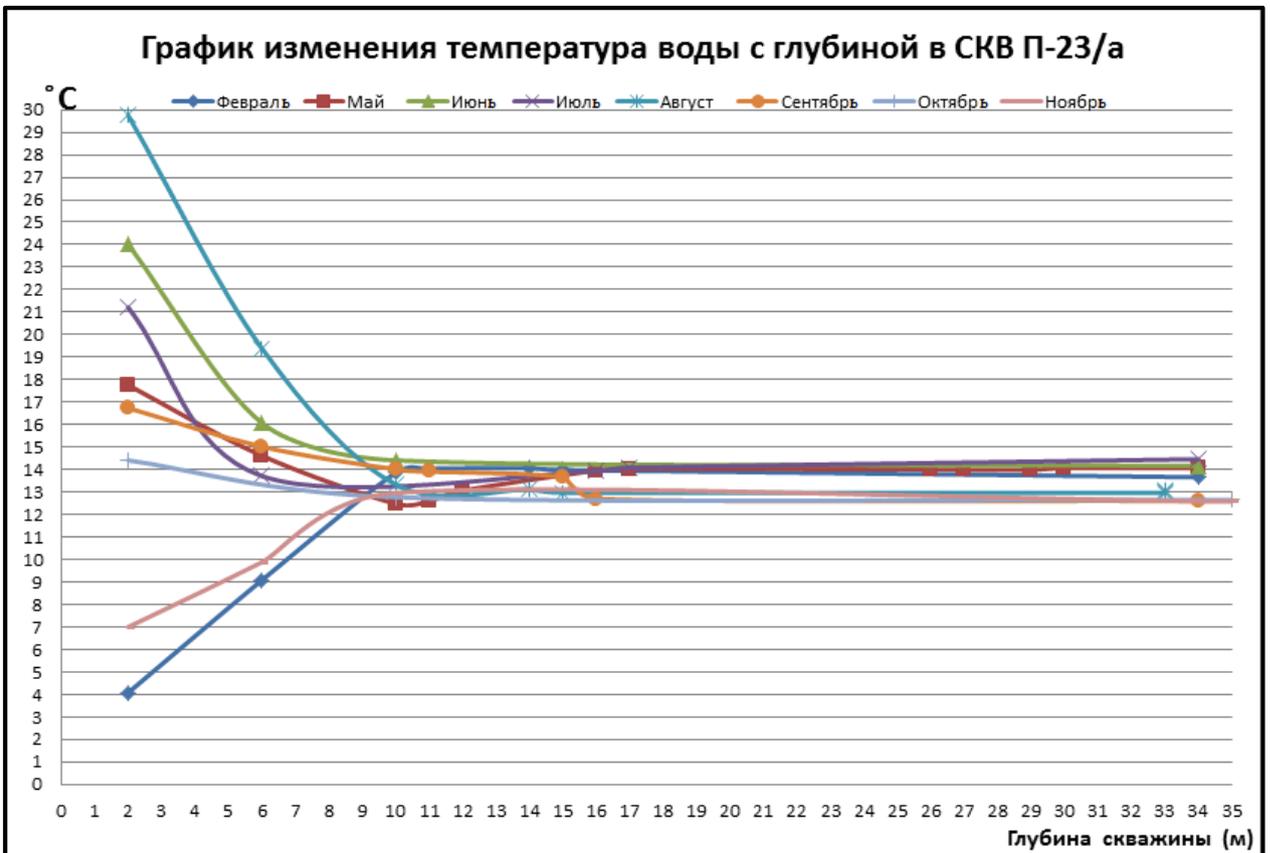
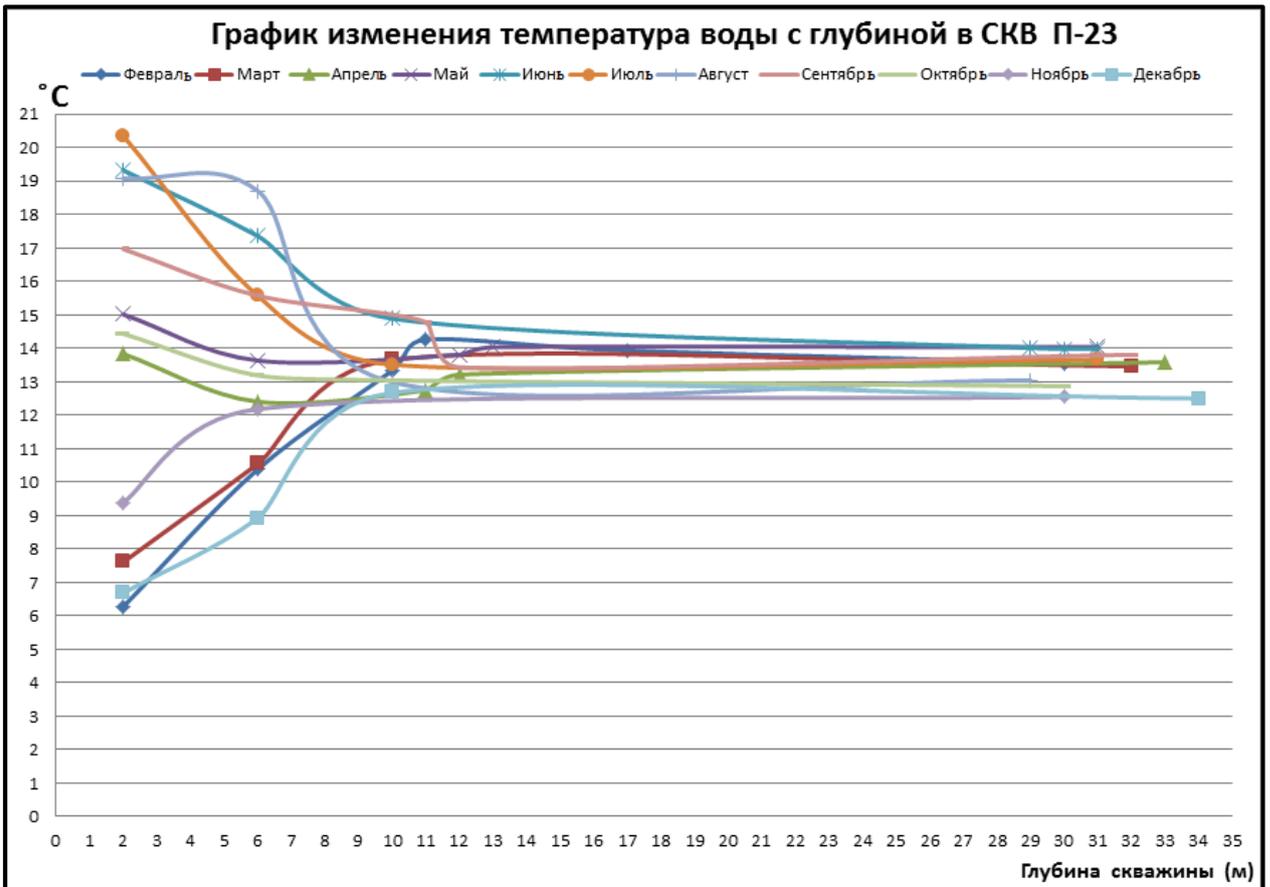
[77-А]. Давлатшоев С.К. Оценка качества укрепительной цементации вмещающего массива песчаников в условиях растягивающих напряжений / С.К. Давлатшоев // В книге: Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства. Сборник тезисов докладов IV Всерос. науч.-практ. семинара. –Москва: МГСУ, 2021. С. 31.

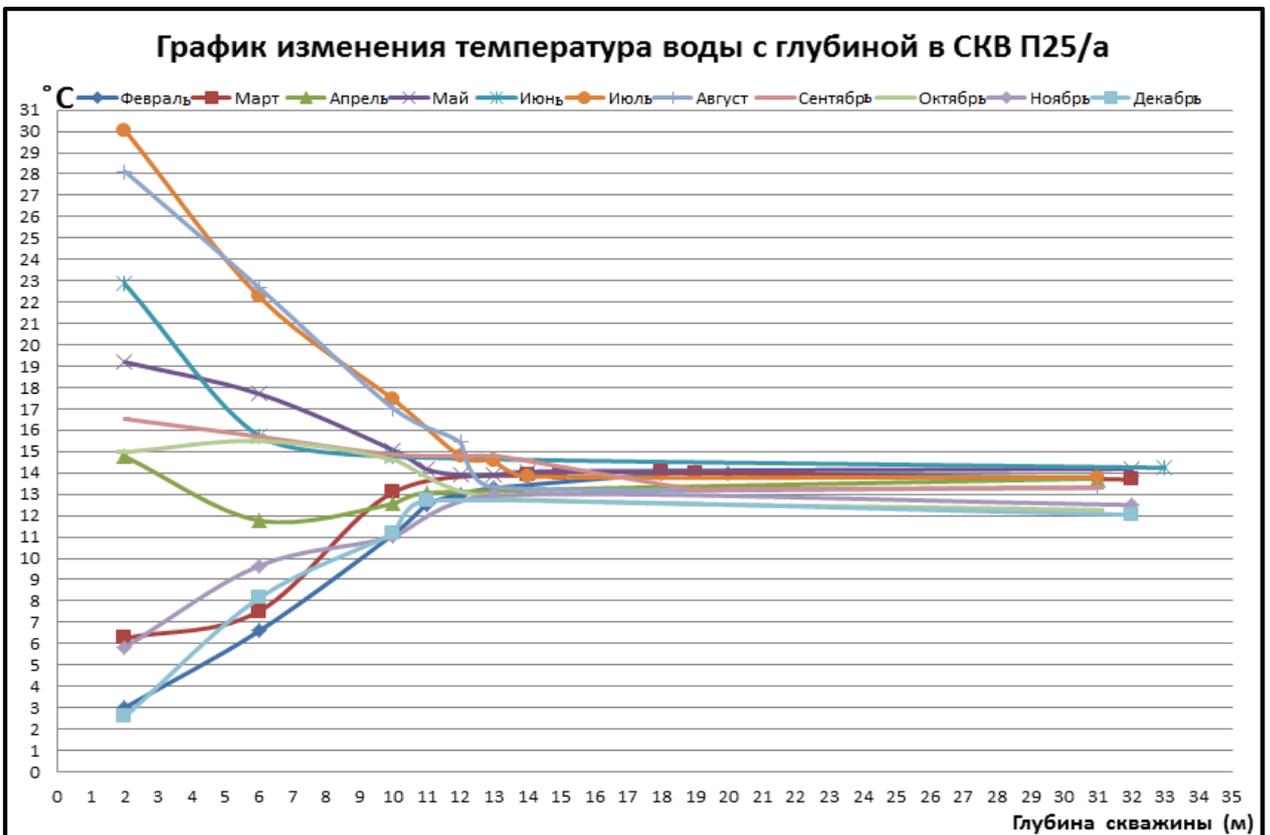
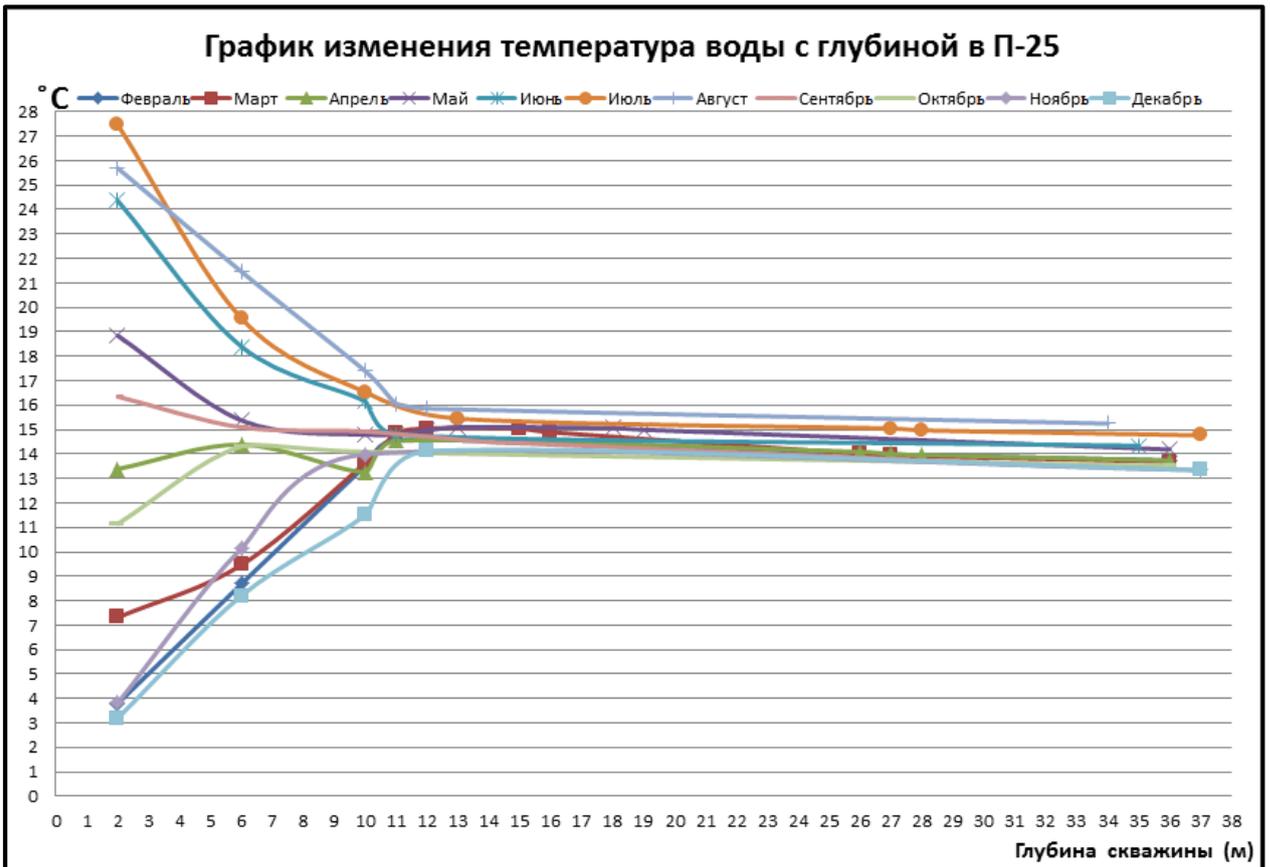
- [78-А]. Давлатшоев С.К. Управляемые противосуфозионные мероприятия по защите солевого пласта в основании плотины / С.К. Давлатшоев // Сборник тезисов докладов V Всерос. науч. практ. семинара «Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства». –М.: МИСИ-МГСУ, 2022. –С. 22-24.
- [79-А]. Давлатшоев С.К. Устройства для перехвата обходных фильтрационных потоков высоконапорных земляных плотин / С.К. Давлатшоев // Сборник тезисов докладов V Всерос. науч. практ. семинара «Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства». – М.: МИСИ-МГСУ, 2022. –С. 25-27.
- [80-А]. Давлатшоев С.К. Разработка современных измерительных систем для мониторинга состояния гидроэнергетических объектов / Журнал «Водные ресурсы, энергетика и экология». –Душанбе: ИМОГЭЭ, Т. 2. № 3, 2022. –С. 98-104.
- [81-А]. Давлатшоев С.К. Метод определения коэффициента фильтрации по изменению теплового состояния основания плотины / С.К. Давлатшоев // Сборник тезисов докладов VI Всерос. науч. практ. семинара «Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства». –М.: МИСИ-МГСУ, 2023. –С. 71-72.
- [82-А]. Давлатшоев С.К. Влияние гидростатического давления на изменение степени минерализации подземных вод / С.К. Давлатшоев // Сборник тезисов докладов VI Всерос. науч. практ. семинара «Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства». –М.: МИСИ-МГСУ, 2023. – С. 73-74.

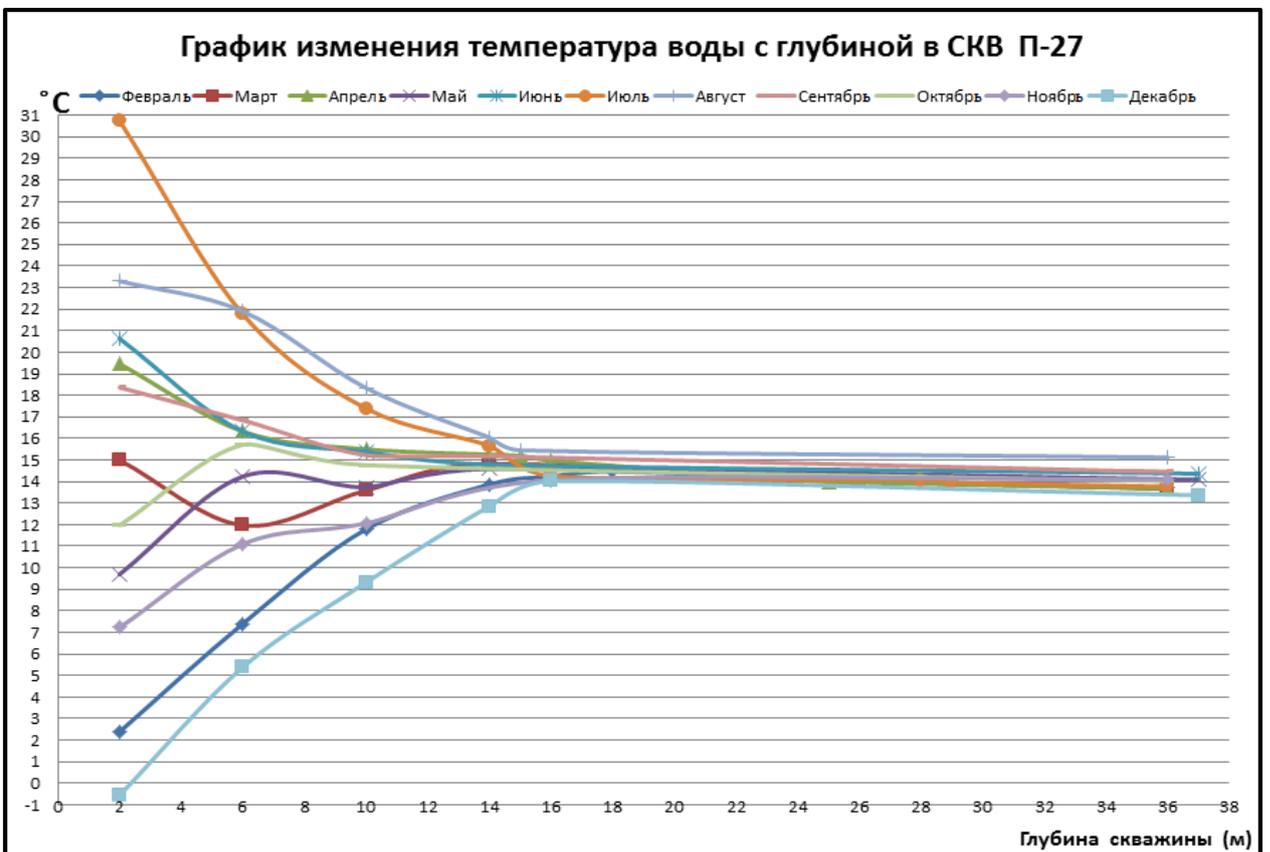
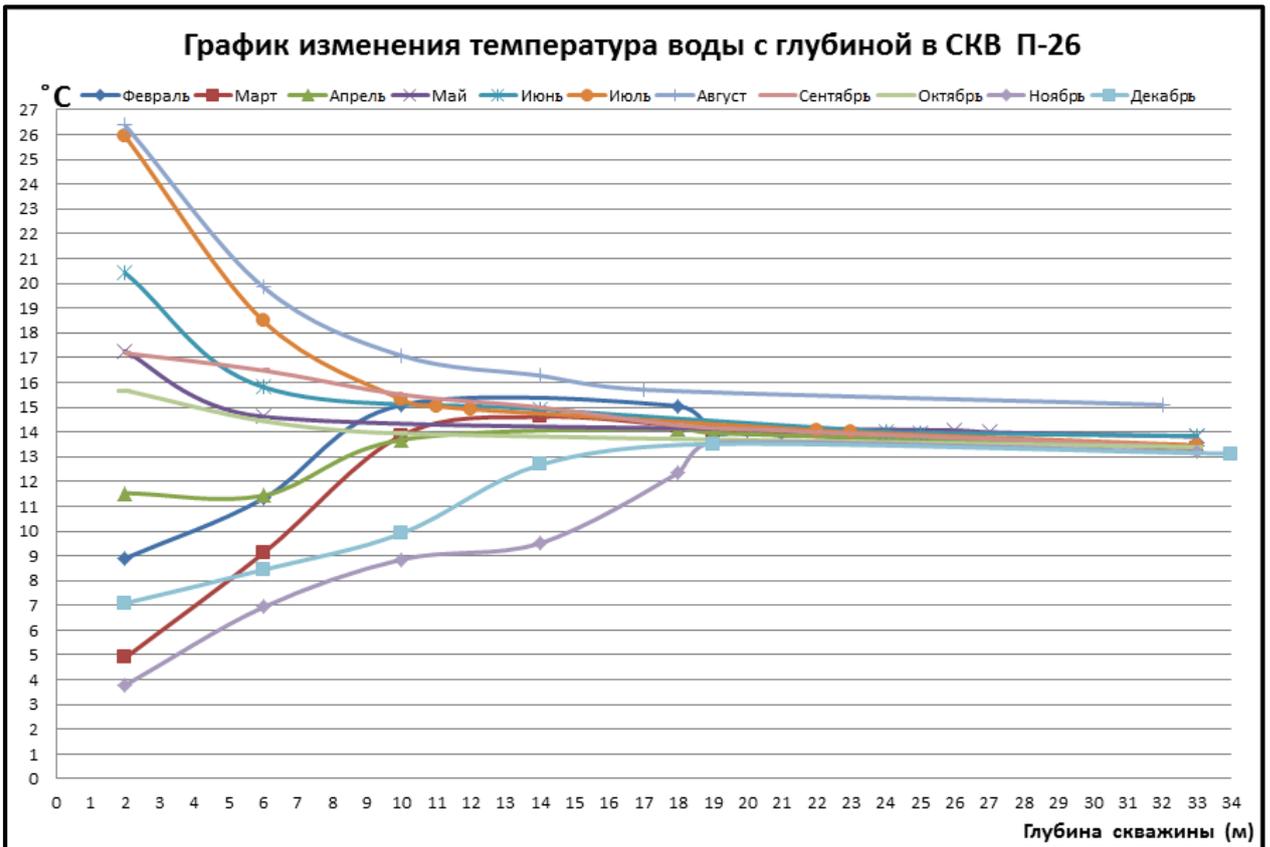
## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

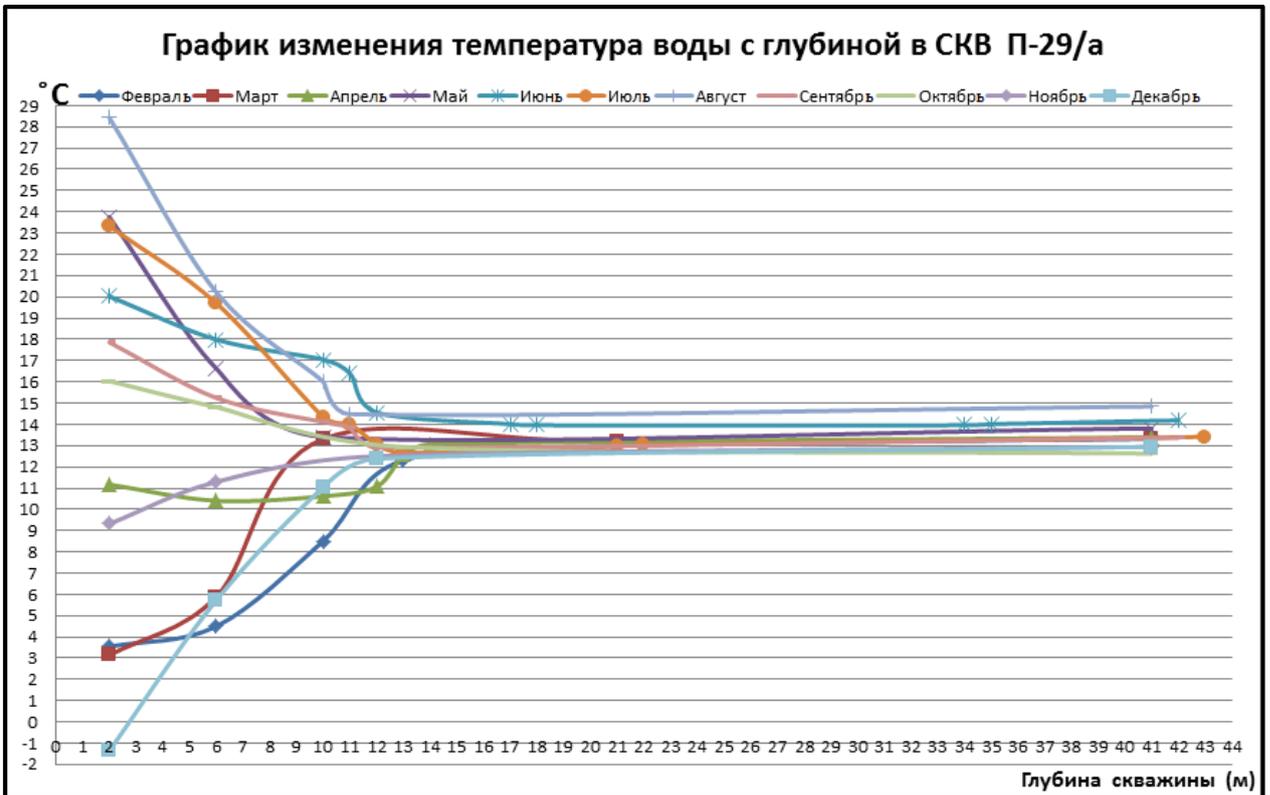
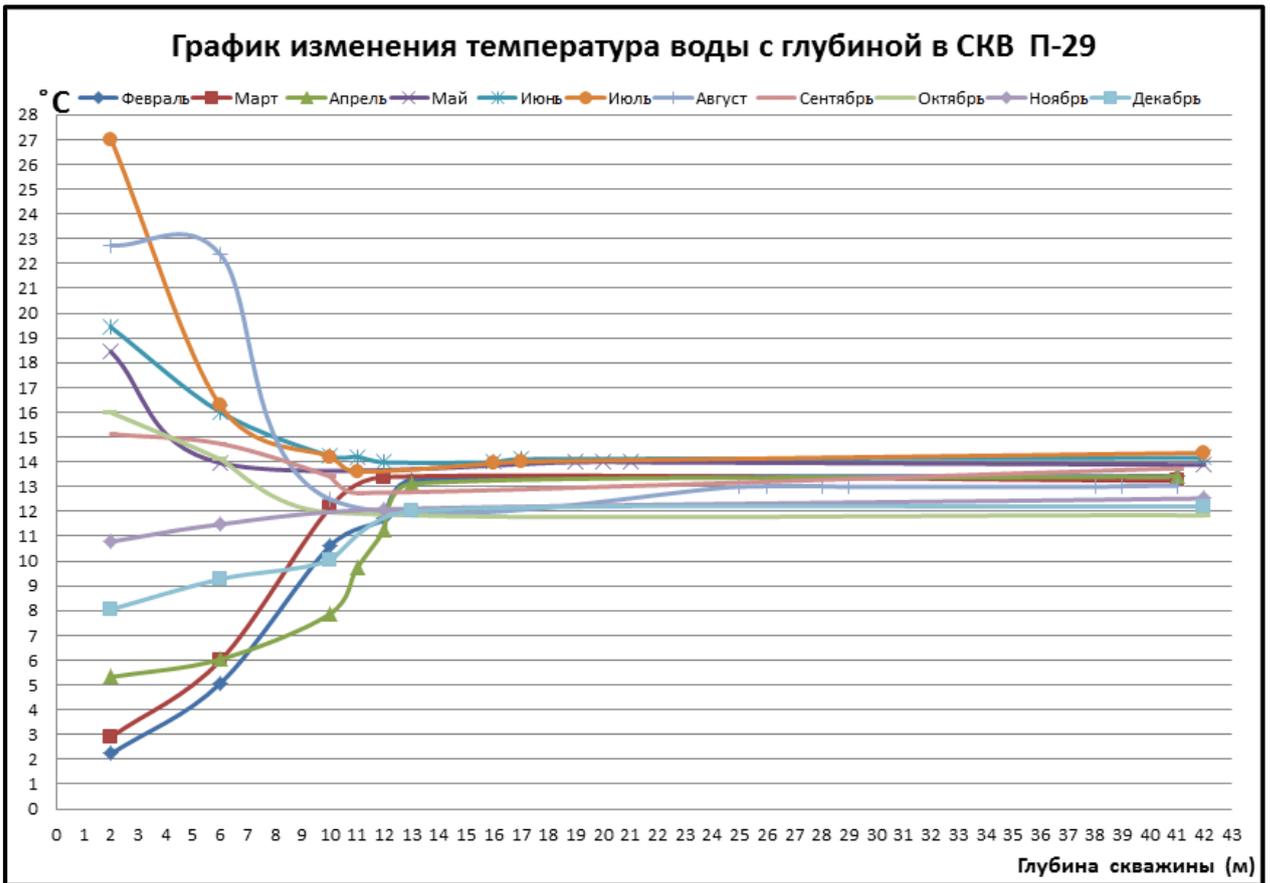
Графики распределения температуры в пьезометрических сетях  
основания плотины Рогунской ГЭС

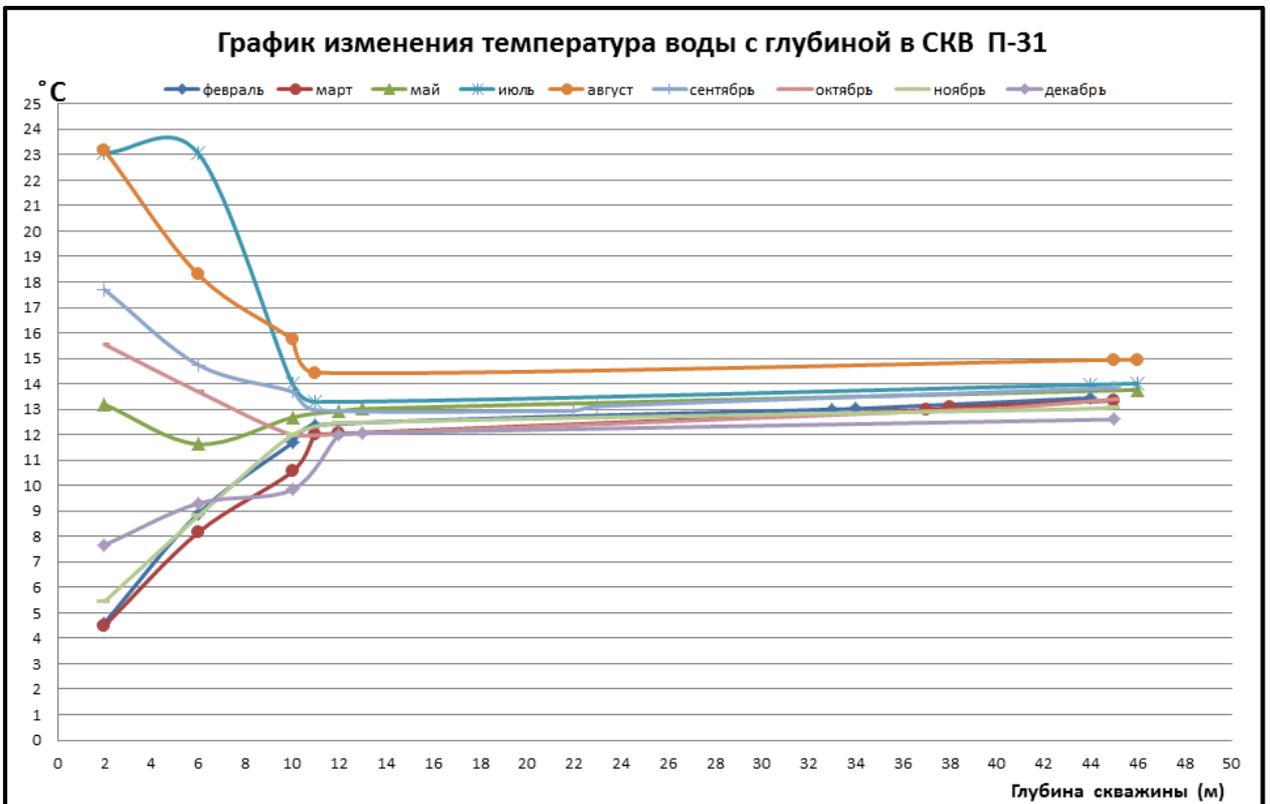
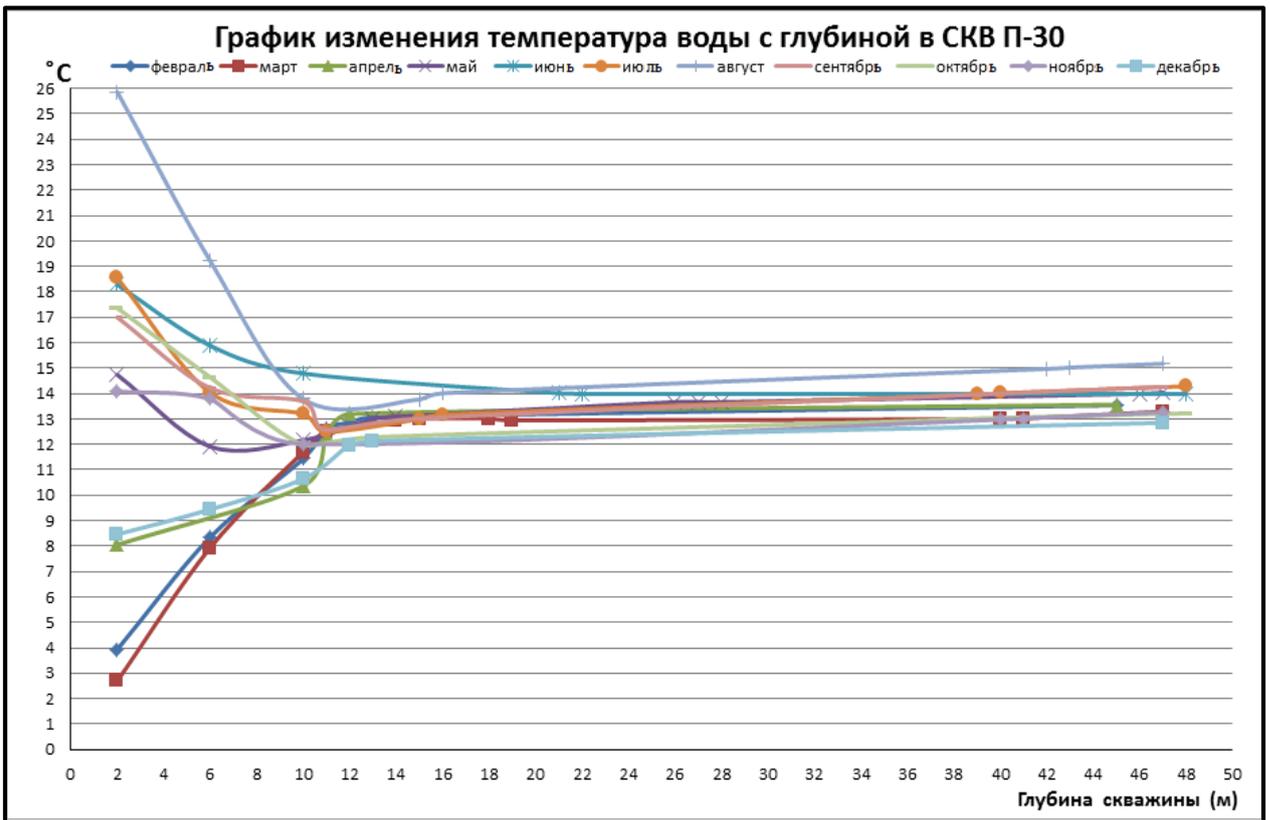


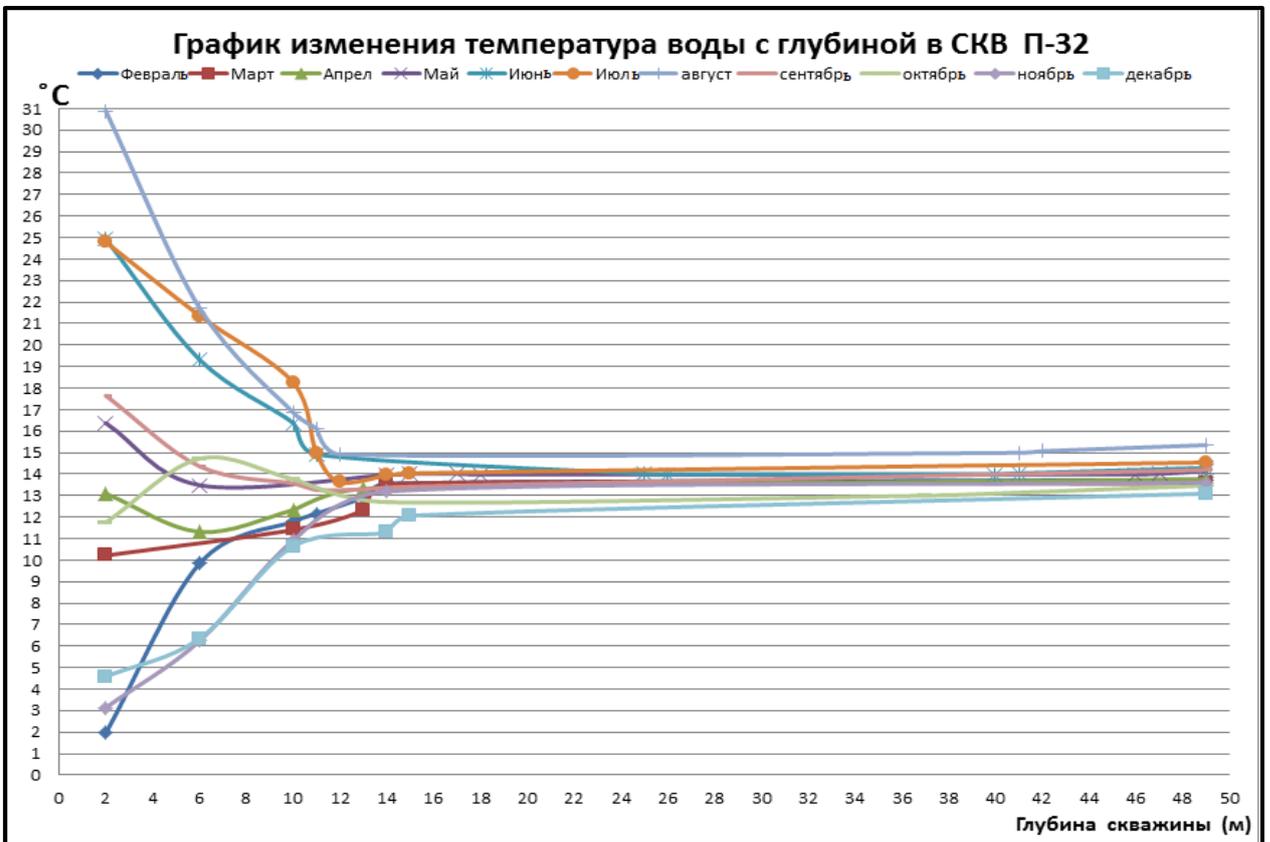
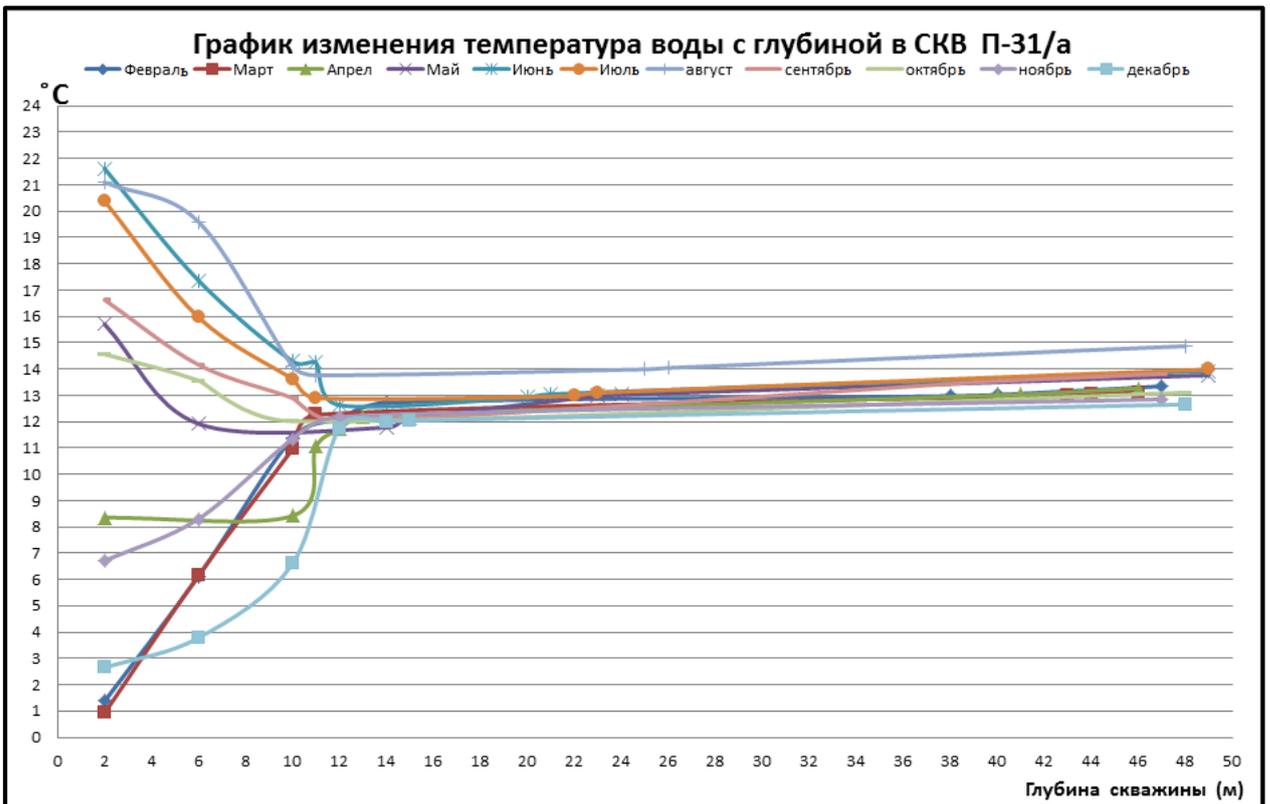


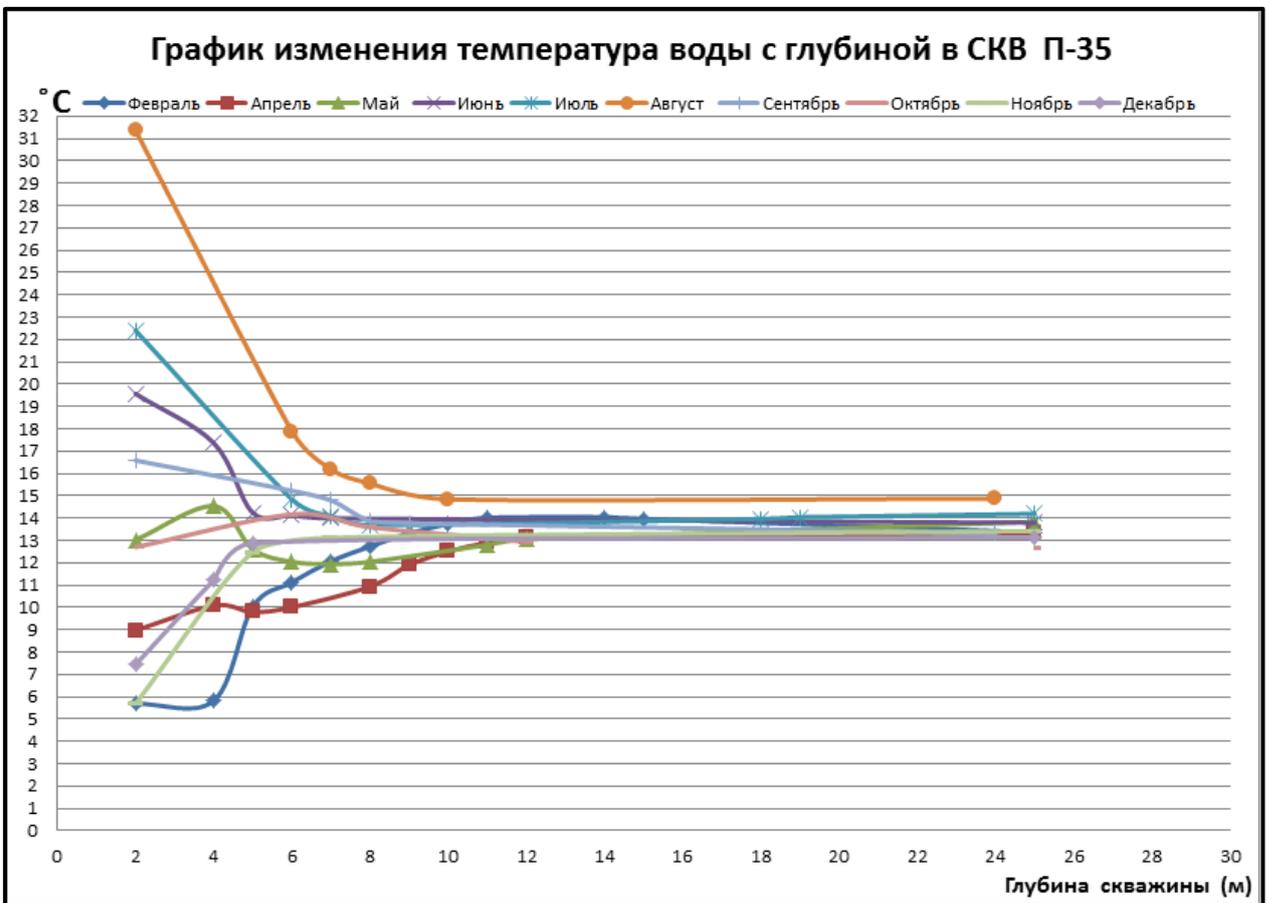
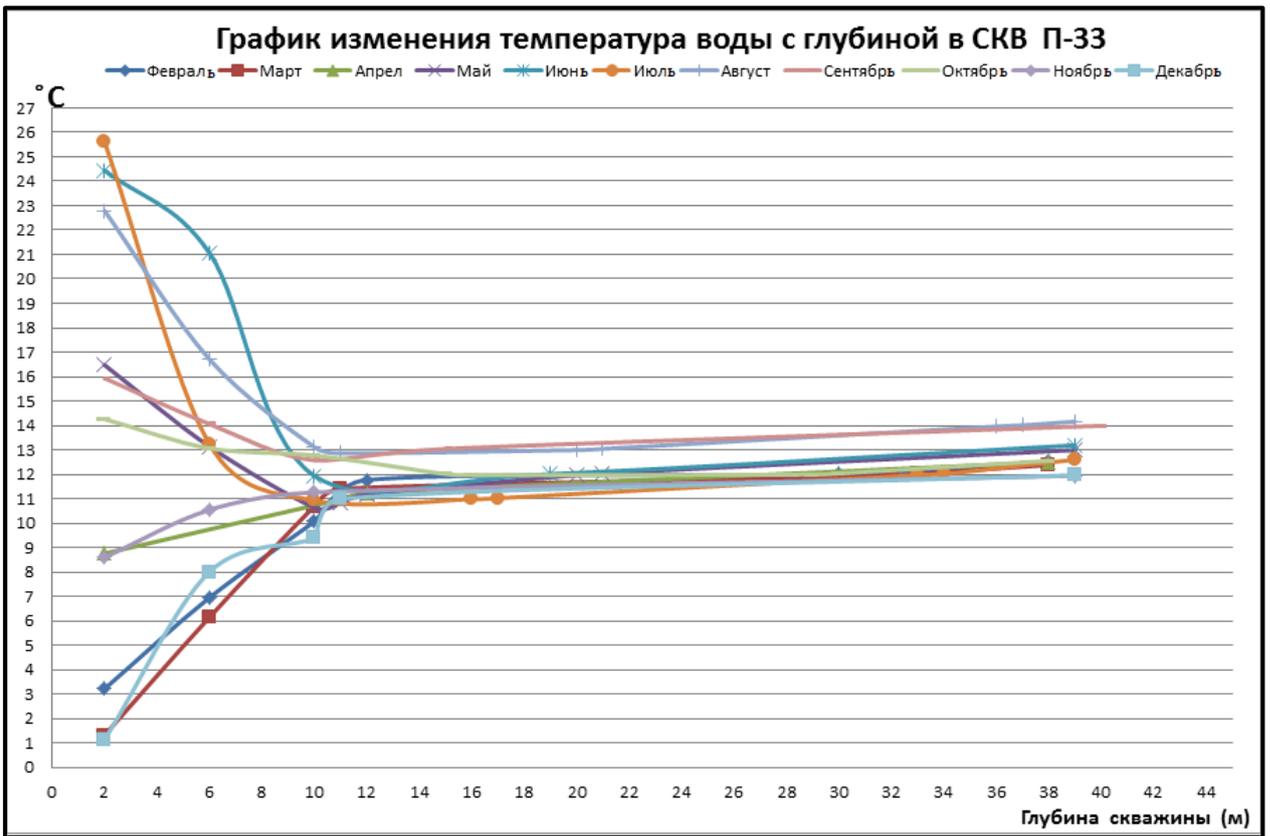


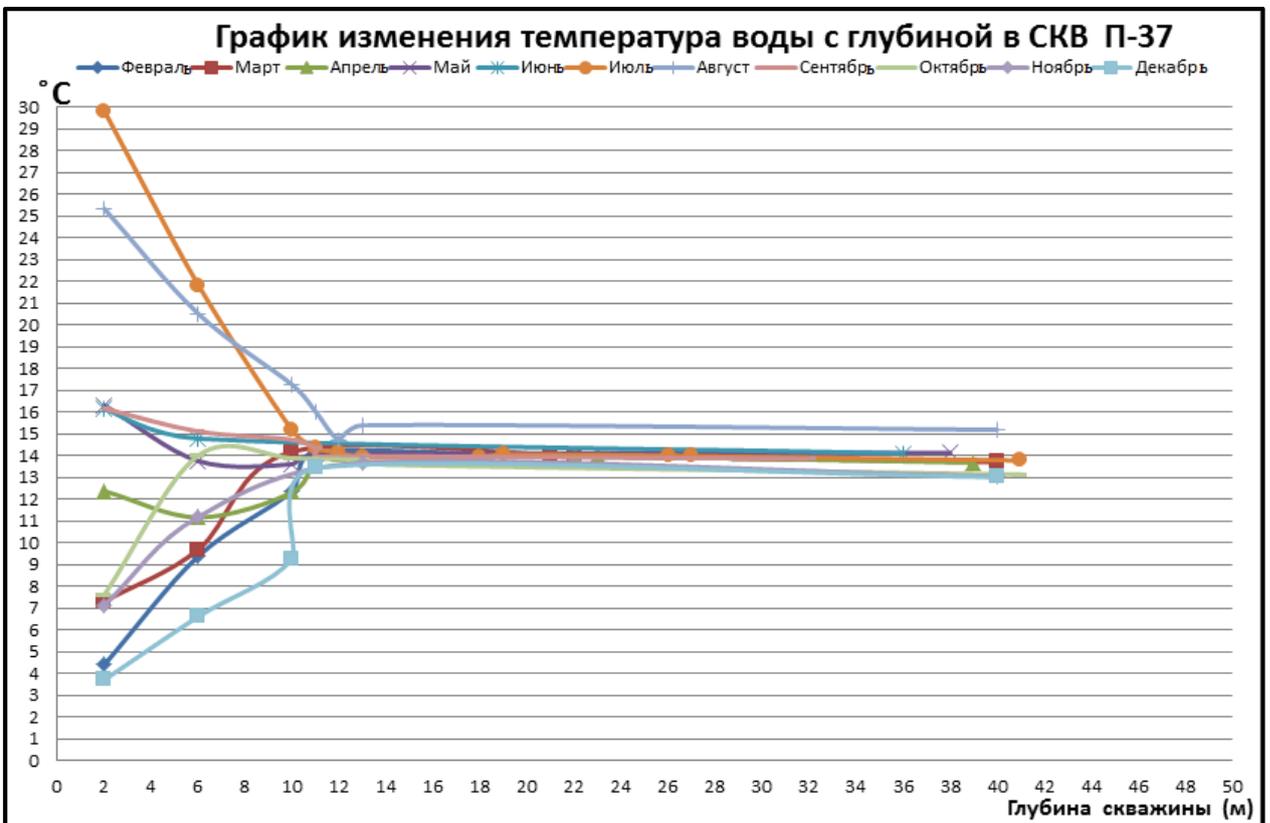
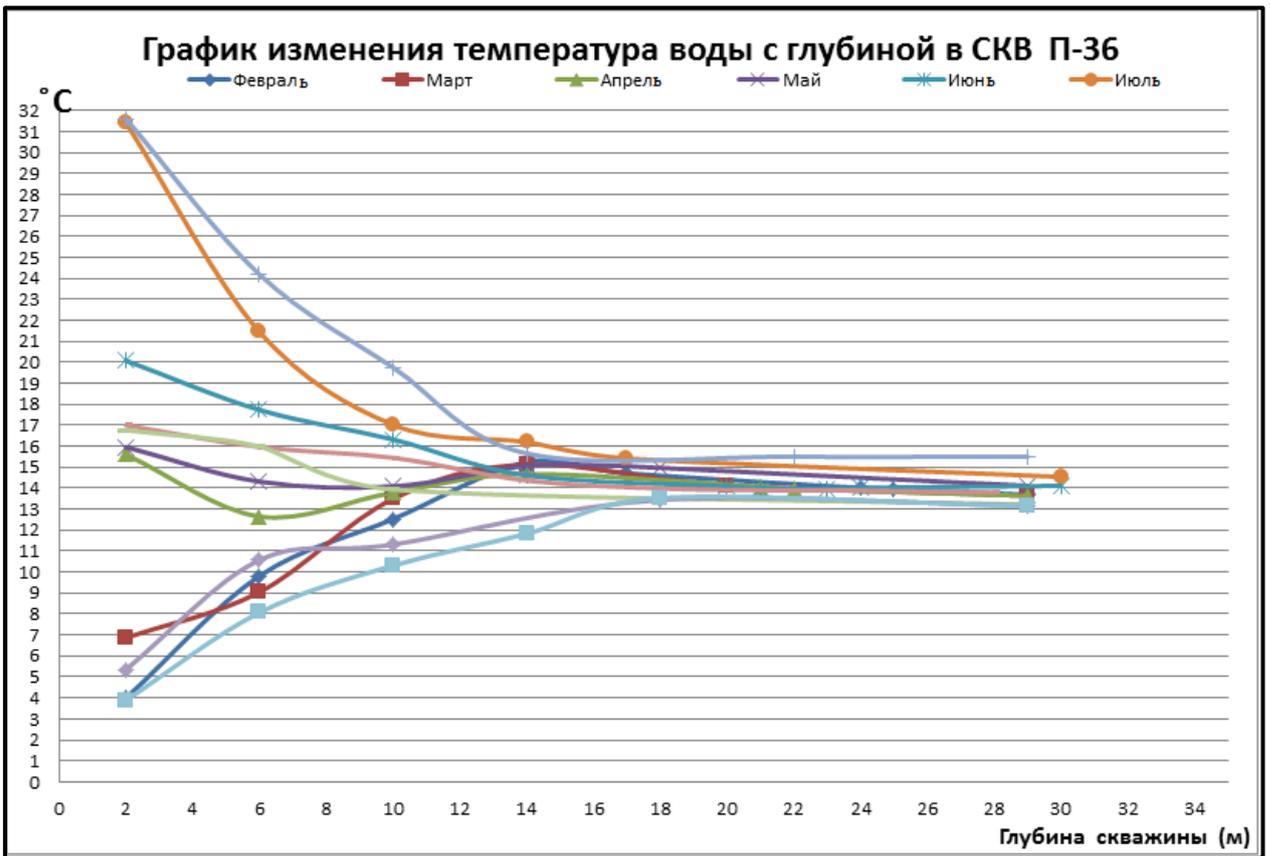




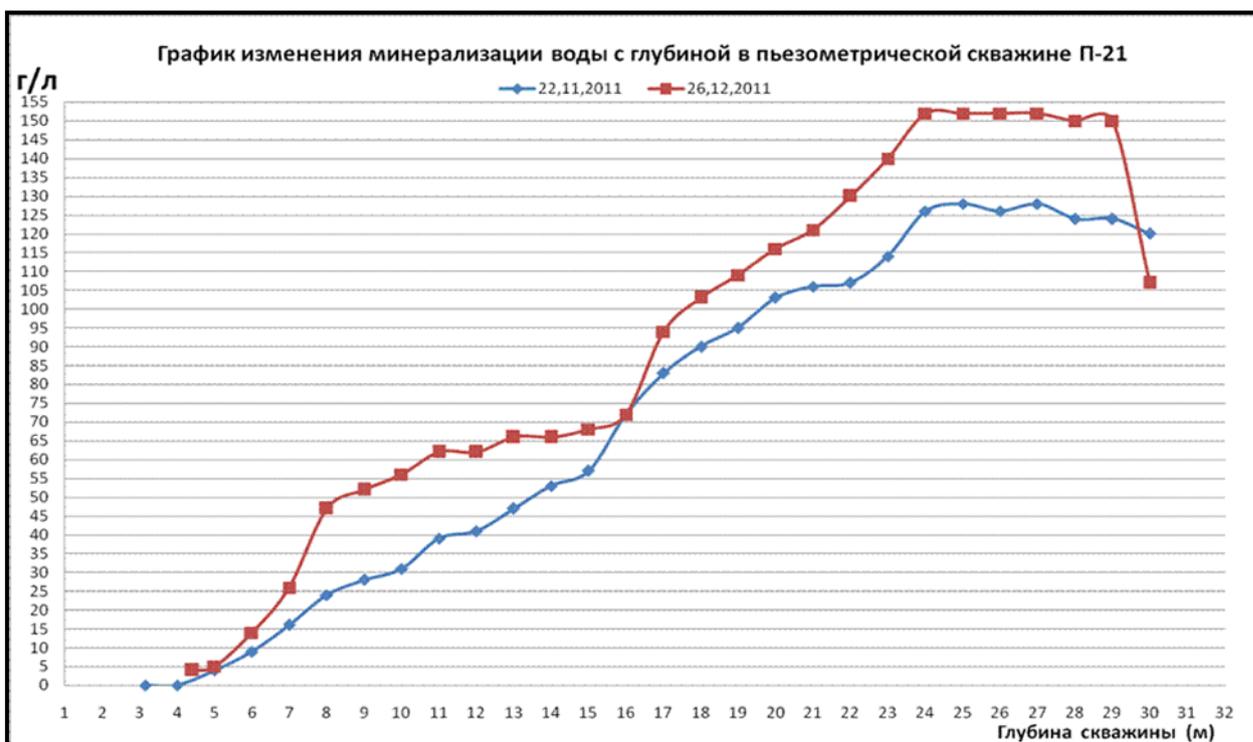


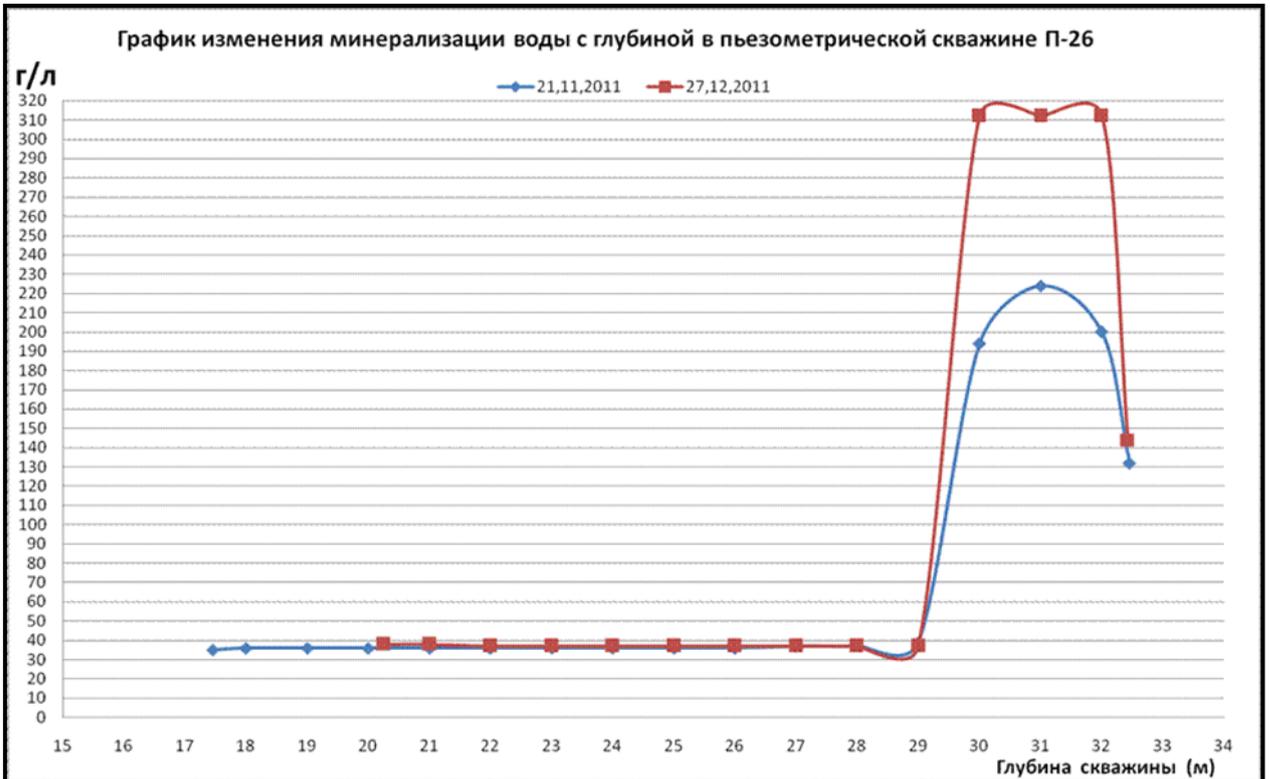
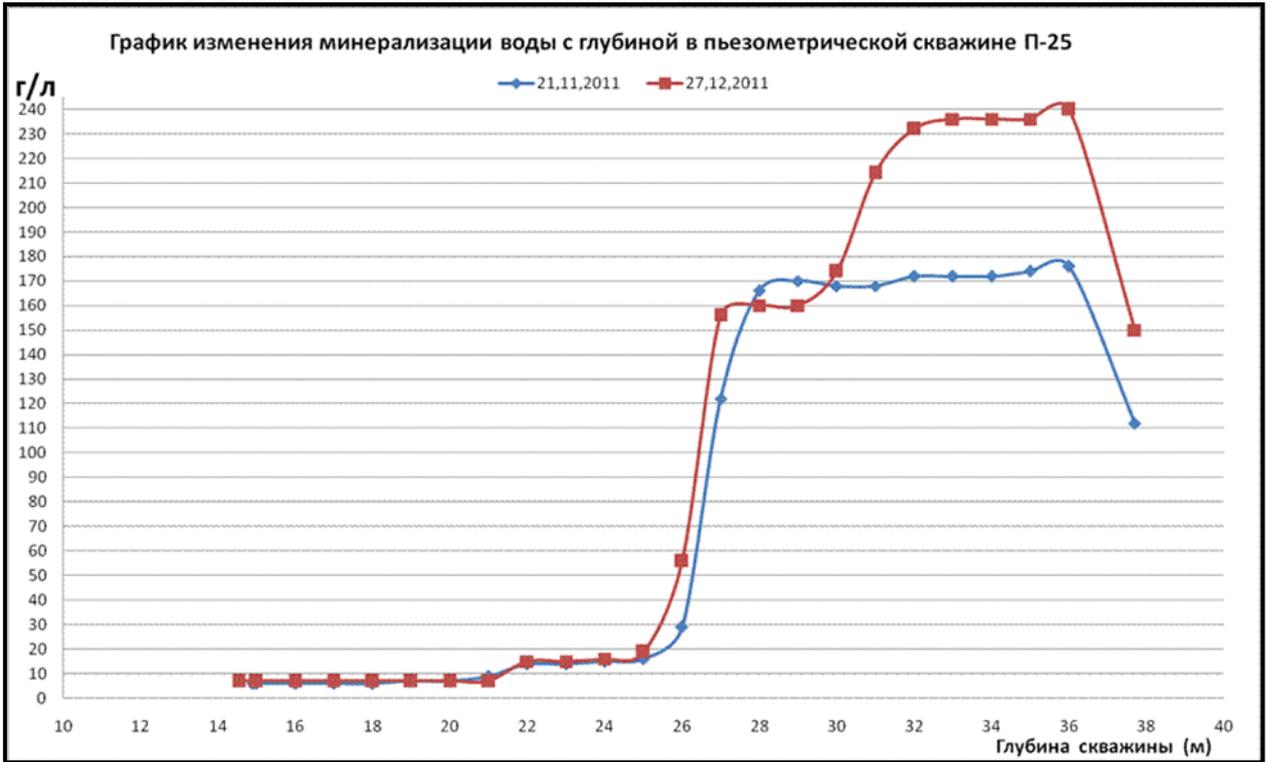


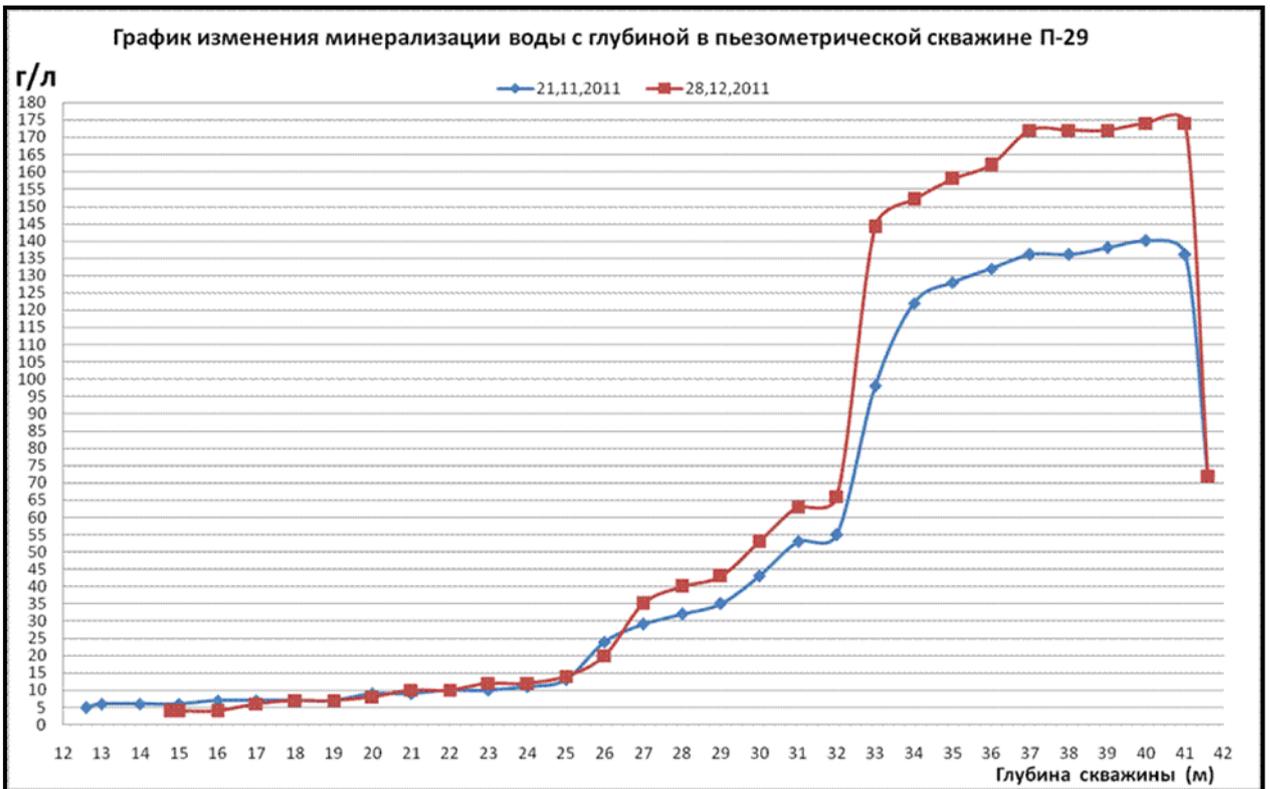
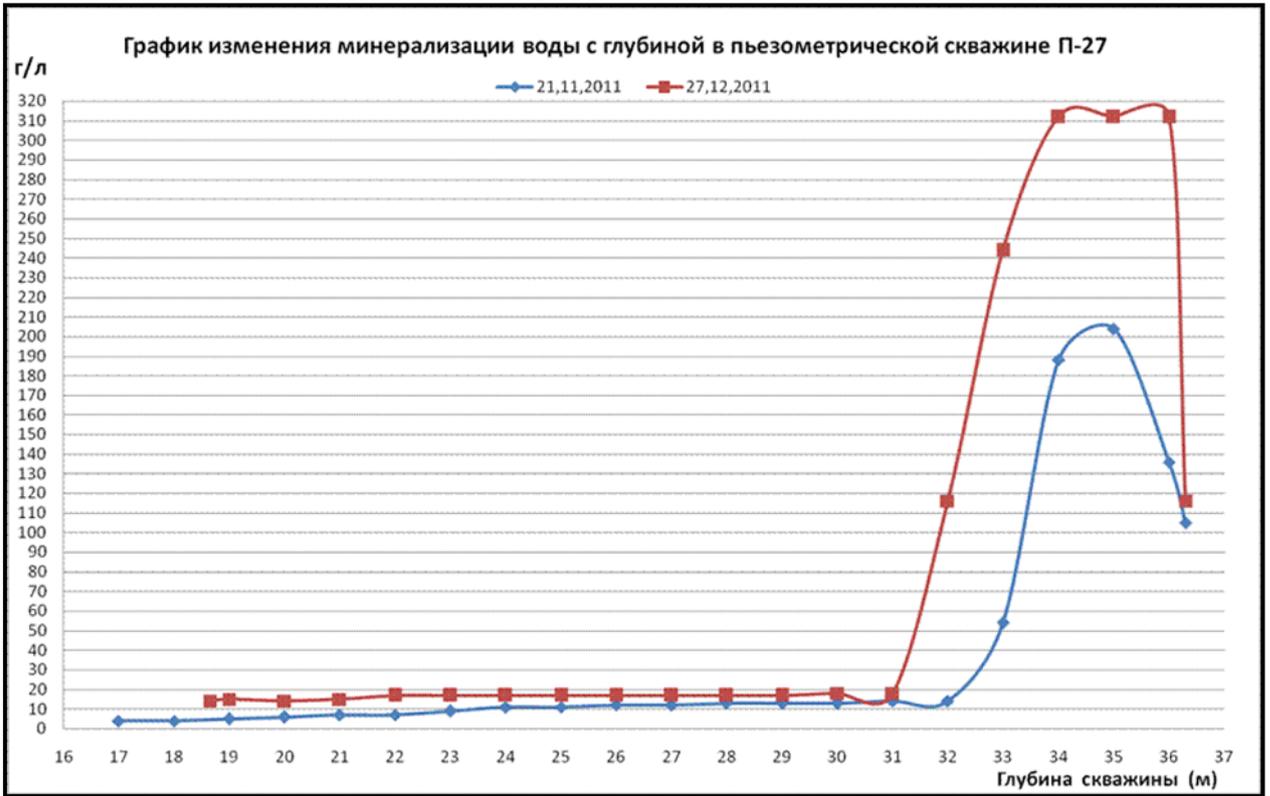


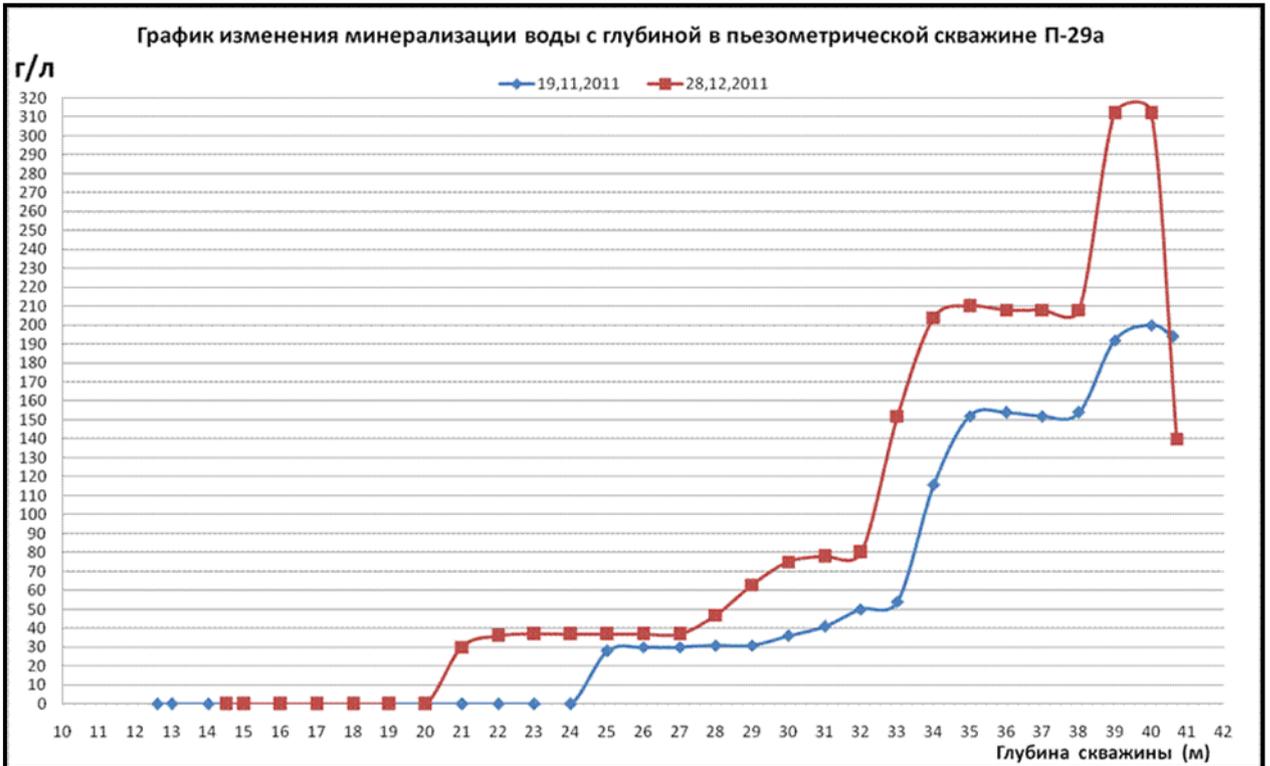


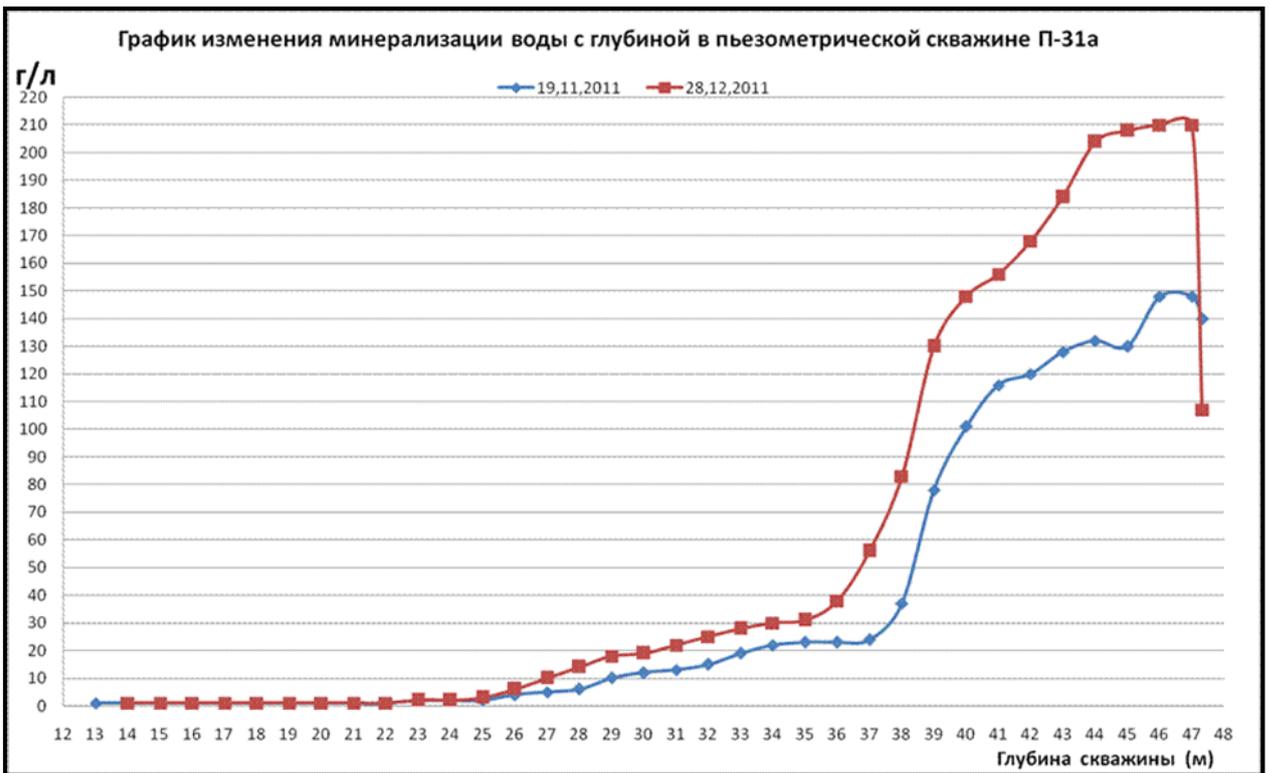
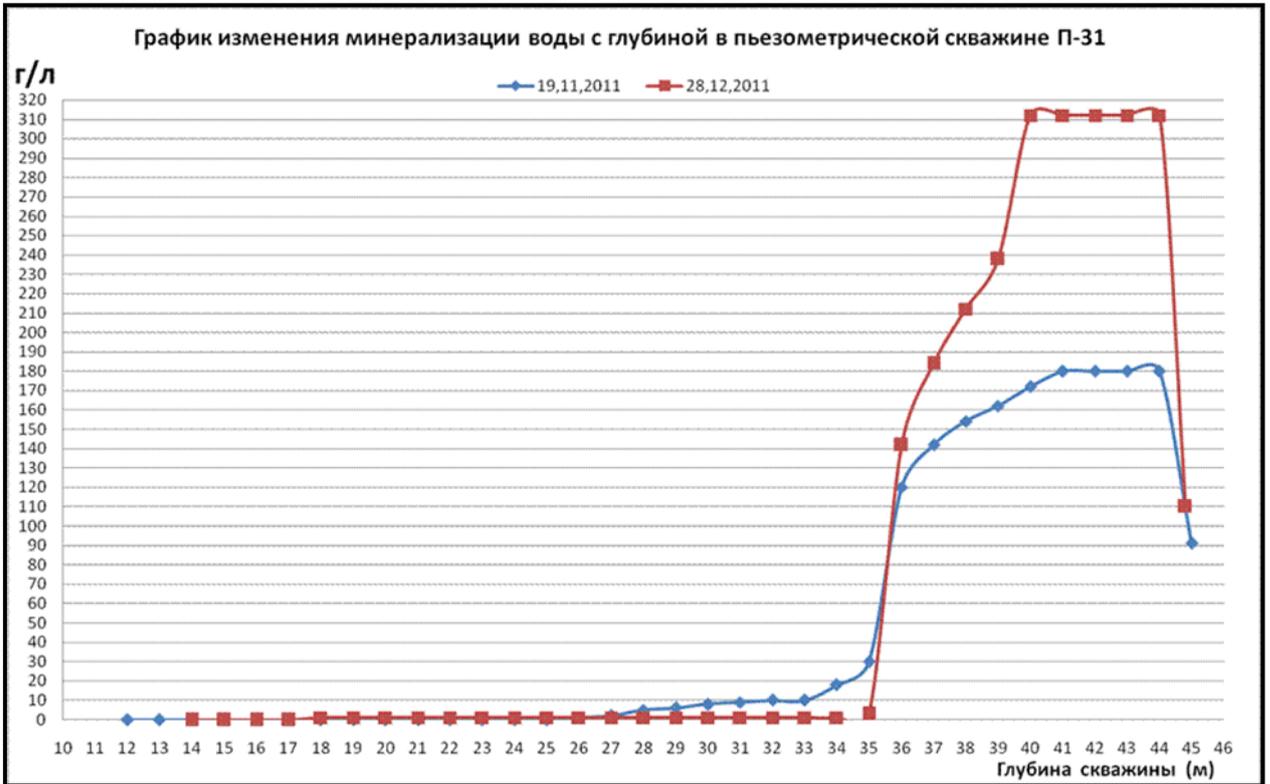
Графики распределения степени минерализации в пьезометрических сетях основания плотины Рогунской ГЭС

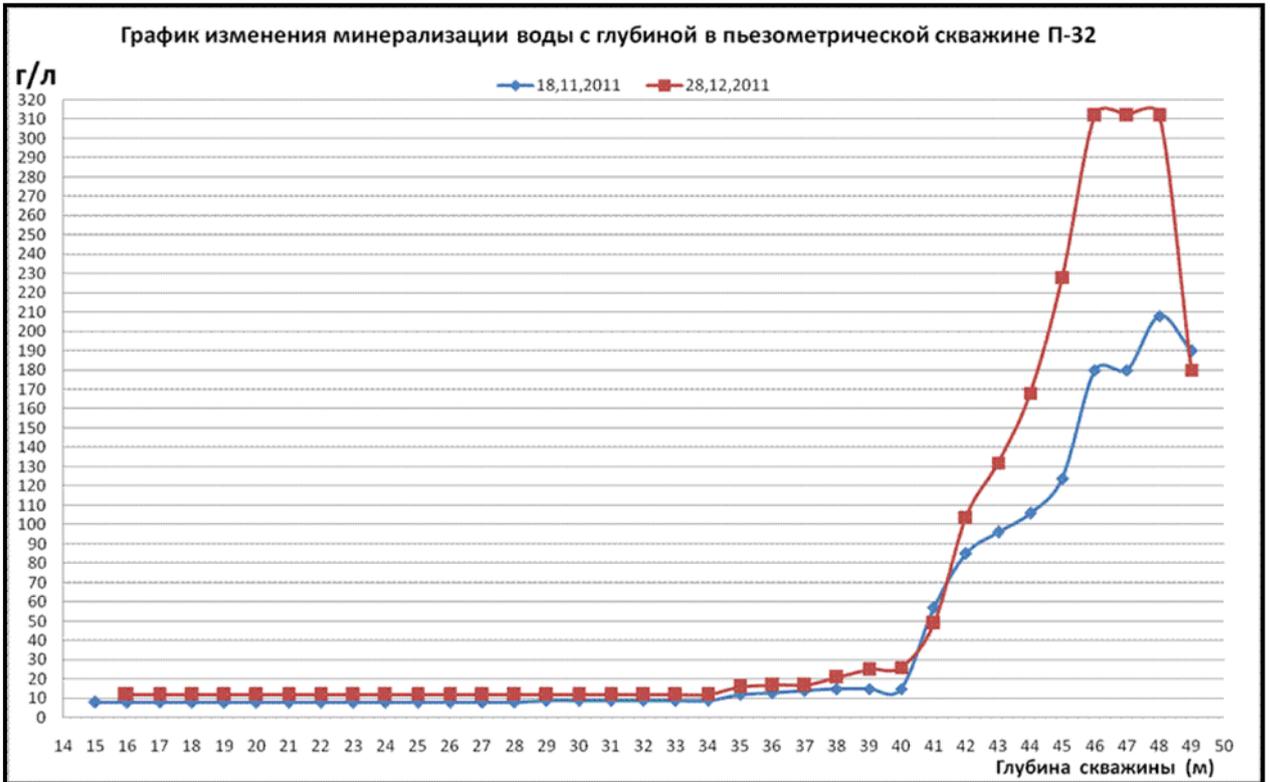


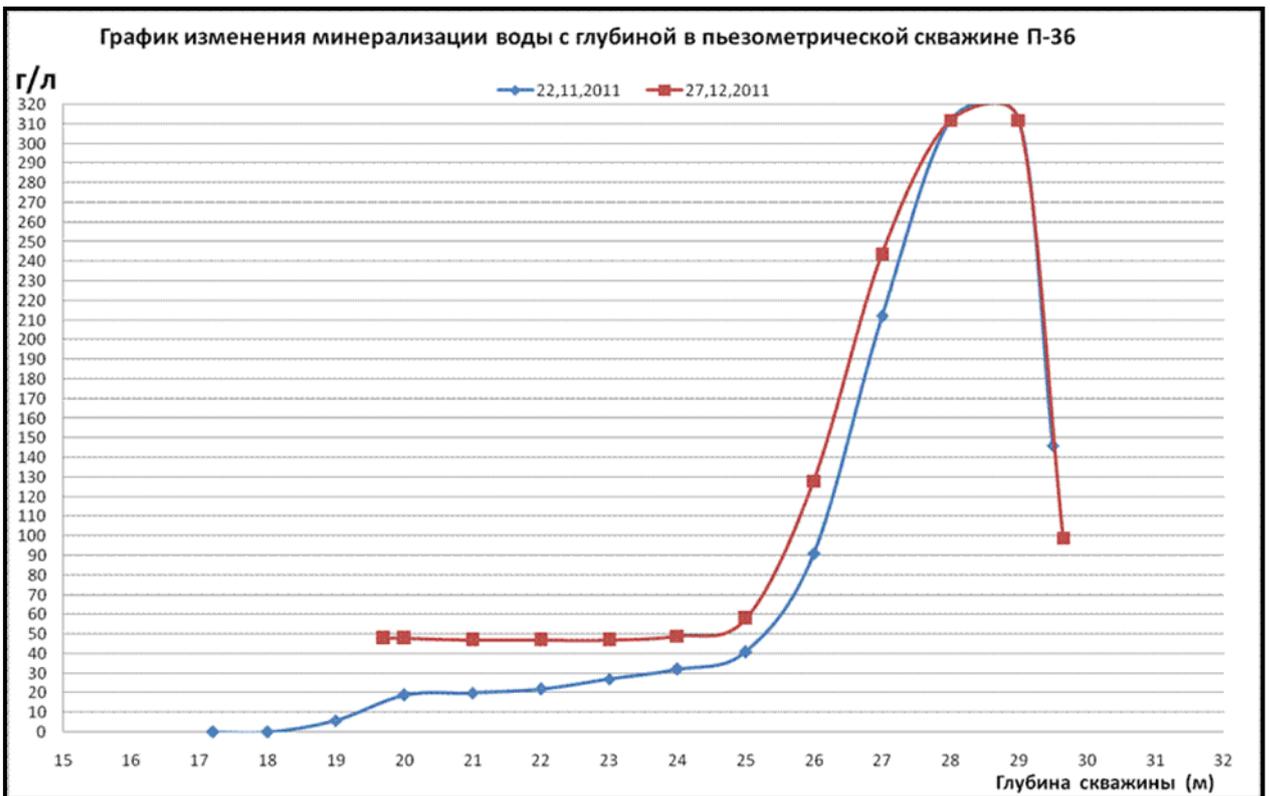
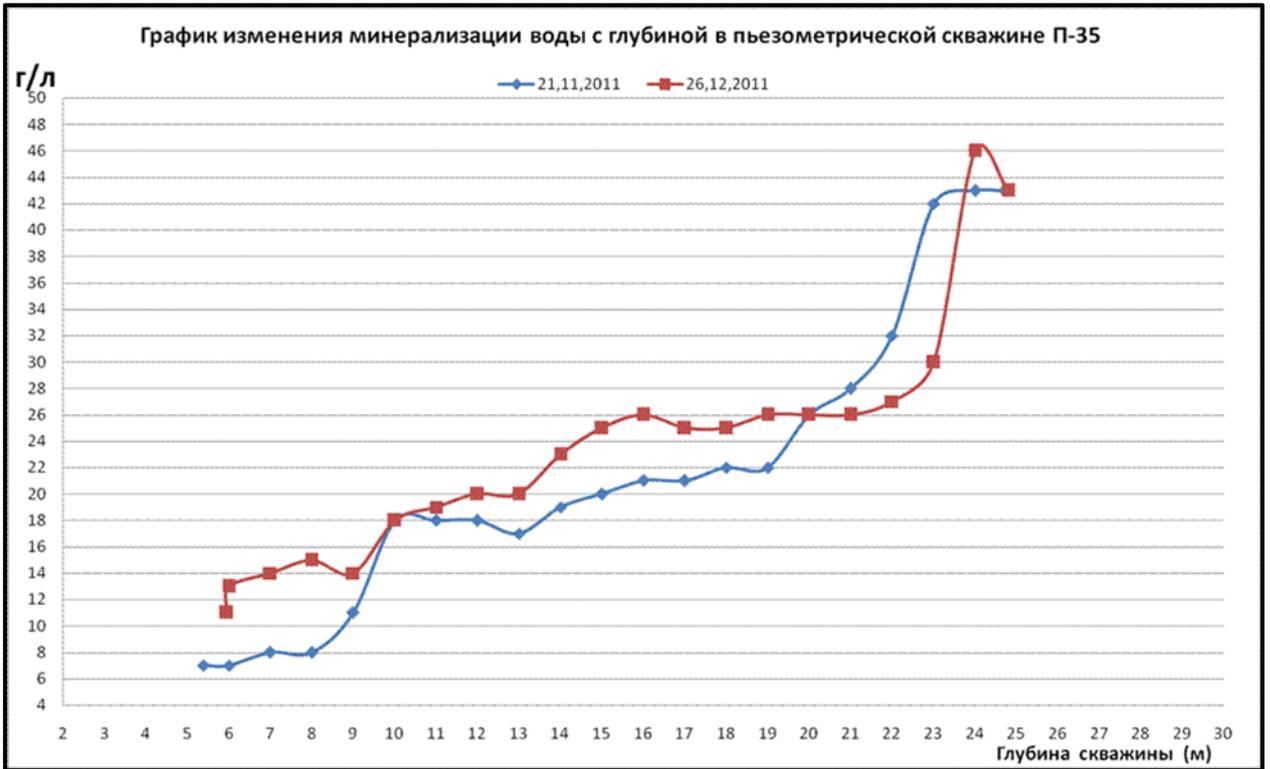












## Справка об участие в разработке и изготовлении кондуктометров



### ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «НЭЛТ»

Таджикистан, 734042, г. Душанбе, ул. Академика Раджабова 11-38  
Тел: (992)-37-2212844, Факс: (992)-37-2212847 E-mail: [nelt@nelt.info](mailto:nelt@nelt.info), [www.nelt.info](http://www.nelt.info)

№ 01-12/ 2018 от 10 декабря 2018г.

### СПРАВКА

Настоящим документом подтверждается факт того, что при личном непосредственном участии г-на Давлатшоева С.К. в период 2011-2013 г.г. группой инженеров ООО «НЭЛТ» были разработаны и изготовлены следующие приборы: кондуктометр – солемер «NELT» и кондуктометр «КАЛЬМАР». Данные приборы предназначены для измерения УЭП подземных минерализованных вод и используются в пьезометрических сетях основания плотины Рогунской ГЭС для мониторинга гидрогеохимического режима. Система, контролируя гидрогеохимический режим в основании плотины, позволяет своевременно корректировать проект мероприятия по принятию технического решения по ликвидации аварийных ситуаций.

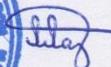
Компания ООО «Гидроспецпроект», которой руководил г-н Давлатшоев С.К. в 2011-2013 г.г. являлась Заказчиком ООО «НЭЛТ», финансировала работы по разработке и изготовлению указанных кондуктометров. Г-н Давлатшоев С.К. принимал активное участие в разработке приборов и технической документации:

1. Кондуктометр – солемер «NELT». Техническое описание;
2. Кондуктометр КАЛЬМАР. Руководство пользователя.

Более подробная информация о кондуктометрах приведена на официальном сайте ООО «НЭЛТ» по нижеследующей ссылке:  
[www.nelt.info/energy.htm](http://www.nelt.info/energy.htm)

С уважением,  
Директор



  
А. Лазарев

Акт внедрения в эксплуатацию

«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер

ООО «Гидроспецпроект»

Хайриддинов Г.К.

«14» марта 2015 года.



Акт о внедрение

результатов научно – исследовательской работы Давлатшоева С.К. «Кондуктометр КАЛЬМАР» защищенными патентами ТЖ 80, ТЖ 120 и ТЖ 371.

Изготовленный промышленный вариант кондуктометр КАЛЬМАР на основании технических результатов защищенными патентами ТЖ 80 «Устройства для кондуктометрических измерений», ТЖ 120 «Способ измерения теплофизических характеристик жидкостей и устройства для его осуществления», ТЖ 210 «Способ измерения диэлектрической проницаемости жидких диэлектриков» и ТЖ 371 «Устройства для определения электрофизических свойств электролитов в зависимости от давления» внедрено в производство с 2012 года для исследования гидрогеохимического режима в основание плотины Рогунской ГЭС.

Кондуктометр КАЛЬМАР вносит весомый вклад в решение следующих задач:

- изучение гидрогеохимические особенности зоны солевого пласта и химические составы подземных вод;
- измерение уровня минерализации вблизи солевого пласта;
- эффективность защитных мероприятий солевого пласта от растворения;
- уточнение фильтрационных характеристик в основание плотины;
- измерение оптимального уровня минерализации закачиваемого искусственного рассола по обеим сторонам пласта соли.

Ожидаемый экономический эффект составляет 456 192 сомони в год.

Начальник ПГО

Кодиров Ш.С.

Экономист

Абдуллоев С.Н.

**Акт внедрения в учебном процессе**

«Утверждаю»

Ректор Таджикского государственного педагогического университета имени Садриддина Айни

академик Салими Н.Ю.



**АКТ**

Научно-технической комиссии о реализации и внедрении научных выводов кандидатской диссертации Давлатшоева Саломата Каноатшоевича на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям: 05.11.13 –«Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий», 05.23.07 –«Гидротехническое строительство» на тему: «Разработка метода и прибора для наблюдения гидрогеохимического режима в основании плотины гидроэлектростанции».

**Комиссия в составе:** проректора по научной работе ТГПУ имени Садриддина Айни, профессора Убайдуллоева Н., зав. кафедры общей физики ТГПУ имени Садриддина Айни, доцента Умарова А.А., зав. кафедры теоретической физики ТГПУ имени Садриддина Айни, доцента Туйчиева Х.Ш., кандидата физико-математических наук, доцента кафедры общей физики ТГПУ имени Садриддина Айни Нейматова А., и. о. доцента кафедры общей физики ТГПУ имени Садриддина Айни Мирзомамадова А.Г. – свидетельствуют о том, что при личном участии Давлатшоева С.К. было разработано математический модель кондуктометра, предназначенный для измерения УЭП подземных минерализованных вод. Разработанный математический модель кондуктометра используются в научных и учебных лабораториях кафедры «Общей физики», Таджикского Государственного педагогического университета имени Садриддина Айни, аспирантам и преподавателями для выполнения научных работ, а также студентами,

магистрантами, при выполнении дипломных, курсовых и лабораторных работ.

Председатель комиссии:

Проректор по науке ТГПУ

имени Садриддина Айни, профессор  Убайдуллоев Н.

Члены комиссии:

Зав. кафедрой общей физики ТГПУ

имени Садриддина Айни, доцент  Умаров А.А.

Доцент кафедрой общей физики ТГПУ

имени Садриддина Айни  Неъматов А.

Зав. кафедрой теоретической физики

ТГПУ имени Садриддина Айни, доцент  Туйчиев Х.Ш.

и. о. доцента кафедры общей физики

ТГПУ имени Садриддина Айни  Мирзوماмадов А.Г.

Подписи проректора по науке, Убайдуллоева Н. и доцентов ТГПУ имени Садриддина Айни, Умарова А.А., Неъматова А., Туйчиева Х.Ш. и Мирзوماмадова А.Г.

Заверяю:

Начальник ОК ТГПУ

имени Садриддина Айни  Назаров Д.



Малые патенты Республики Таджикистан и патенты ЕАПО

ЧУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ДАВЛАТИИ  
ПАТЕНТӢ

# НАХУСТПАТЕНТИ

№ ТҶ 80

БА ИХТИРОИ  
*Дастгоҳ барои ченкунии кондуктометрии*

Дорандаи  
нахустпатент Давлатшоев С.К.

Сарзамин Чумхурии Тоҷикистон

Муаллиф(он) Давлатшоев С.К., Сафаров М.М., Зарипова М.А.,  
Бобошеров Д.И., Махмадиев М.С.

Аввалияти ихтироъ 10.04.2007

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 10.04.2007

Аризаи № 0700102

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои  
Чумхурии Тоҷикистон 31 августи \_\_\_\_\_ с. 2007 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
этибор дорад аз 10 апрели \_\_\_\_\_ с. 2007 то 10 апрели \_\_\_\_\_ с. 2017



ДИРЕКТОР  Ш. Нажмудинов

Республика Таджикистан  
Государственное патентное ведомство

**МАЛЫЙ ПАТЕНТ**  
**№ TJ 80**

**на изобретение**  
*Устройство для кондуктометрических измерений*

Патентообладатель Давлатшоев С.К.

Страна Республика Таджикистан

Автор (ы) Давлатшоев С.К., Сафаров М.М., Зарипова М.А.,  
Бобошеров Д.И., Махмадиев М.С.

Приоритет изобретения 10.04.2007

Дата подачи заявки 10.04.2007

Заявка № 0700102

Зарегистрировано в Государственном реестре  
изобретений Республики Таджикистан

31 августа 2007

Малый  
патент действителен с 10 апреля 2007 г. по 10 апреля 2017 г.



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ДАВЛАТИИ  
ПАТЕНТИ

# НАХУСТПАТЕНТ

№ ТҶ 708

БА ИХТИРОИ  
АСБОБИ СЕЙСМИКИИ ҶОҲҶО

Дорандаи нахустпатент Давлатшоев Саломат Каноатшоевич

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Муаллиф(он) Давлатшоев С.К., Хайриддинов Г.К., Кодиров Ш.С.,  
Давлатшоев К.С., Каноатшоев С.С.

Аввалияти ихтироъ 16.03.2015

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 16.03.2015

Аризаи № 1500927

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои

Ҷумҳурии Тоҷикистон 7 июли с. 2015 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
этибор дорад аз 16 марти с. 2015 то 16 марти с. 2025



ДИРЕКТОР

Чумъахонзода Ҷ.Ҷ.

Республика Таджикистан

Государственное патентное ведомство

**МАЛЫЙ ПАТЕНТ**

**№ TJ 708**

**на изобретение**  
***СКВАЖНЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПРИБОР***

Патентообладатель Давлатшоев Саломат Каноатшоевич

Страна Республика Таджикистан

Автор (ы) Давлатшоев С.К., Хайриддинов Г.К., Кодиров Ш.С.,  
Давлатшоев К.С., Каноатшоев С.С.

Приоритет изобретения 16.03.2015

Дата подачи заявки 16.03.2015

Заявка № 1500927

Зарегистрировано в Государственном реестре  
изобретений Республики Таджикистан

7 июля 2015

Малый патент действителен с 16 марта 2015 г. по 16 марта 2025 г.



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

# НАХУСТПАТЕНТ

№ ТҶ 1149

БА ИХТИРОИ

*Системаи боздошти селобаи полоишии пахлуни сарбанди хокусангии  
баландфишор*

Дорандаи нахустпатент Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Муаллиф(он) Давлатшоев С.Қ., Амирзода О.Ҳ.

Аввалияти ихтироъ 20.10.2020

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 20.10.2020

Аризаи № 2001473

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои

Ҷумҳурии Тоҷикистон 14 апрели с. 2021 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
этибор дорад аз 20 октябри с. 2020 то 20 октябри с. 2030



ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН  
ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

УДОСТОВЕРЕНИЕ

Гражданин Давлатшоев С.К.

Является автором изобретения Система перехвата обходных фильтрационных потоков высоконапорных каменно - земляных плотин

На изобретение выдан малый патент №ТJ 1149

Патентообладатель Институт водных проблем гидроэнергетики и экологии  
Национальной академии наук Таджикистана

Страна Республика Таджикистан

Соавторы Амирзода О.Х.

Приоритет изобретения 20.10.2020

Дата подачи заявления 20.10.2020

Заявление № 2001473

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан 14 апреля 2021

Малый действителен с 20 октября 2020 г. по 20 октября 2030 г.  
Патент

Настоящее удостоверение предъявляется при реализации прав и льгот,  
установленных действующим законодательством



*[Handwritten signature]*

ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

# НАХУСТПАТЕНТ

№ ТҶ 1161

БА ИХТИРОИ

*Тарзи боздошти селобаи болоиши паҳлуии сарбанди хокусангии  
баландфишор*

Дорандаи нахустпатент Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Муаллиф(он) Давлатшоев С.Қ., Амирзода О.Ҳ.

Аввалияти ихтироъ 20.10.2020

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 20.10.2020

Аризаи № 2001472

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои

Ҷумҳурии Тоҷикистон 26 майи с. 2021 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
этибор дорад аз 20 октябри с. 2020 то 20 октябри с. 2030



ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН  
ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

МАЛЫЙ ПАТЕНТ

№ TJ 1161

на изобретение

*Способ перехвата обходных фильтрационных потоков высоконапорных  
земляных плотин*

Патентообладатель **Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии.  
Национальная академия наук Таджикистана**

Страна **Республика Таджикистан**

Автор (ы) **Давлатшоев С.К., Амирзода О.Х.**

Приоритет изобретения **20.10.2020**

Дата подачи заявки **20.10.2020**

Заявка № **2001472**

Зарегистрировано в Государственном реестре  
изобретений Республики Таджикистан **26 мая 2021**

Малый  
патент действителен с **20 октября 2020** г. по **20 октября 2030** г.



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

# НАХУСТПАТЕНТ

№ ТҶ 1213

БА ИХТИРОИ

*Дастгоҳ барои ҳимояи зерасоси иншооти гидротехникӣ аз харобшавӣ*

Дорандаи нахустпатент Давлатшоев С.К., Кобулиев З.В., Сафаров М.М.

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Муаллиф(он) Давлатшоев С.К., Амирзода О.Ҷ., Кобулиев З.В.,  
Сафаров М.М.

Аввалияти ихтироъ 14.07.2020

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 14.07.2020

Аризаи № 2001449

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои

Ҷумҳурии Тоҷикистон 29 ноябри с. 2021 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
этибор дорад аз 14 июли с. 2020 то 14 июли с. 2030



ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН

ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

МАЛЫЙ ПАТЕНТ

№ ТЈ 1213

на изобретение

*Устройство для защиты основания гидротехнического сооружения от разрушения*

Патентообладатель Давлатшоев С.К., Кобулиев З.В., Сафаров М.М.

Страна Республика Таджикистан

Автор (ы) Давлатшоев С.К., Амирзода О.Х., Кобулиев З.В., Сафаров М.М.

Приоритет изобретения 14.07.2020

Дата подачи заявки 14.07.2020

Заявка № 2001449

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан

29 ноября 2021

Малый патент действителен с 14 июля 2020

г. по 14 июля 2030 г.



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

# НАХУСПАТЕНТ

№ ТҶ 1214

БА ИХТИРОИ

*Тарзи химояи зерасоси иншооти гидротехникӣ аз харобшавӣ*

Дорандаи нахустпатент Давлатшоев С.К., Кобулиев З.В., Сафаров М.М.

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Муаллиф(он) Давлатшоев С.К., Амирзода О.Х., Кобулиев З.В., Сафаров М.М.

Аввалияти ихтироъ 14.07.2020

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 14.07.2020

Аризаи № 2001450

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои

Ҷумҳурии Тоҷикистон 29 ноябри с. 2021 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент эътибор дорад аз 14 июли с. 2020 то 14 июли с. 2030



ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН

ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

МАЛЫЙ ПАТЕНТ

№ TJ 1214

на изобретение

*Способ защиты основания гидротехнического сооружения от разрушения*

Патентообладатель Давлатшоев С.К., Кобулиев З.В., Сафаров М.М.

Страна Республика Таджикистан

Автор (ы) Давлатшоев С.К., Амирзода О.Х., Кобулиев З.В., Сафаров М.М.

Приоритет изобретения 14.07.2020

Дата подачи заявки 14.07.2020

Заявка № 2001450

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Республики Таджикистан

29 ноября 2021

Малый патент действителен с 14 июля 2020

г. по 14 июля 2030 г.





**ЕВРАЗИЙСКАЯ ПАТЕНТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ЕВРАЗИЙСКОЕ ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО**

ЕВРАЗИЙСКИЙ ПАТЕНТ



**ЕВРАЗИЙСКИЙ ПАТЕНТ  
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ  
№ 041213**

**Название изобретения:**

**«СПОСОБ ЗАЩИТЫ ОСНОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО  
СООРУЖЕНИЯ ОТ РАЗРУШЕНИЯ»**

**Патентовладельцы:**

**ДАВЛАТШОЕВ САЛОМАТ КАНОАТШОЕВИЧ (ТJ)**

**Изобретатели:**

**Давлатшоев Саломат Каноатшоевич, Кобулнев Зайналобудин Валиевич,  
Сафаров Махмадали Махмадиевич (ТJ)**

**Заявка №:** 202100215

**Дата подачи заявки:** 09 июля 2021 г.

**Дата выдачи патента:** 27 сентября 2022 г.

Настоящим удостоверяется, что евразийский патент выдан на изобретение с формулой, опубликованной в Бюллетене Евразийского патентного ведомства «Изобретения (евразийские заявки и патенты)» № 9 / 2022 год.

При уплате установленных годовых пошлин патент действует на территории государств-участников Евразийской патентной конвенции – Азербайджанской Республики, Кыргызской Республики, Республики Армения, Республики Беларусь, Республики Казахстан, Республики Таджикистан, Российской Федерации, Туркменистана.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 1650024017000

Владелец: Ивлиев Григорий Петрович

Действителен: с 15.04.2022 по 14.04.2027

**ИВЛИЕВ Григорий Петрович**  
Президент Евразийского патентного ведомства





ЕВРАЗИЙСКАЯ ПАТЕНТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ  
ЕВРАЗИЙСКОЕ ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

ЕВРАЗИЙСКИЙ ПАТЕНТ



**ЕВРАЗИЙСКИЙ ПАТЕНТ  
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ  
№ 042546**

Название изобретения:

**«СПОСОБ ПЕРЕХВАТА ОБХОДНЫХ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ  
ПОТОКОВ ВЫСОКОНАПОРНЫХ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН»**

Патентообладатель:

**ДАВЛАТШОЕВ САЛОМАТ КАНОАТШОЕВИЧ (ТJ)**

Изобретатели:

**Давлатшоев Саломат Каноатшоевич, Ампрзода Ориф Хамид (ТJ)**

Заявка №:

**202100214**

Дата подачи заявки:

**09 июля 2021 г.**

Дата выдачи патента:

**27 февраля 2023 г.**

Настоящим удостоверяется, что евразийский патент выдан на изобретение с формулой, опубликованной в Бюллетене Евразийского патентного ведомства «Изобретения (евразийские заявки и патенты)» № 2 / 2023 год.

При уплате установленных годовых пошлин патент действует на территории государств-участников Евразийской патентной конвенции – Азербайджанской Республики, Кыргызской Республики, Республики Армения, Республики Беларусь, Республики Казахстан, Республики Таджикистан, Российской Федерации, Туркменистана.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 1650024017000

Владелец: Ивлиев Григорий Петрович

Действителен с: 15.04.2022 по 14.04.2027

**ИВЛИЕВ Григорий Петрович**  
Президент Евразийского патентного ведомства



27.02.2023

ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТИ

# НАХУСТПАТЕНТ

№ ТҶ 1406

БА ИХТИРОИ

*Тарз ва дастгоҳ барои муайян кардани коэффисиенти филтратсия  
дар пояи сарбанд*

Дорандаи  
нахустпатент Давлатшоев С.К.

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Муаллиф(он) Давлатшоев С.К., Шамсуллоев Ш.А., Мирзоева Б.М.,  
Тоирзода С.Т., Чакалов С.Х.

Аввалияти ихтироъ 22.02.2023

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 22.02.2023

Аризаи № 2301802

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои

Ҷумҳурии Тоҷикистон 5 июли с. 2023 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
эътибор дорад аз 22 феввали с. 2023 то 22 феввали с. 2033



ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН

ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

МАЛЫЙ ПАТЕНТ

№ TJ 1406

на изобретение

*Способ и устройство для определения коэффициента фильтрации  
в основании плотины*

Патентообладатель Давлатшоев С.К.

Страна Республика Таджикистан

Автор (ы) Давлатшоев С.К., Шамсуллоев Ш.А., Мирзоева Б.М.,  
Тоирзода С.Т., Чакалов С.Х.

Приоритет изобретения 22.02.2023

Дата подачи заявки 22.02.2023

Заявление № 2301802

Зарегистрировано в Государственном реестре  
изобретений Республики Таджикистан

5 июля 2023

Малый патент действителен с 22 февраля 2023 г. по 22 февраля 2033 г.



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

# НАХУСТПАТЕНТ

№ ТҶ 1407

БА ИХТИРОИ

*Тарз ва дастгоҳ барои муайян кардани суръати об дар нақбҳо*

Дорандаи нахустпатент Давлатшоев С.К.

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Муаллиф(он) Давлатшоев С.К., Тоирзода С.Т., Мирзоева Б.М.,  
Шамсуллоев Ш.А., Чакалов С.Х.

Аввалияти ихтироъ 22.02.2023

Таърихи рӯзи пешниҳоди ариза 22.02.2023

Аризаи № 2301803

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои

Ҷумҳурии Тоҷикистон 5 июли с. 2023 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
эътибор дорад аз 22 феввали с. 2023 то 22 феввали с. 2033



ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН

ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

МАЛЫЙ ПАТЕНТ

№ ТЈ 1407

на изобретение

*Способ и устройство для определения скорости водного потока в туннелях*

Патентообладатель Давлатшоев С.К.

Страна Республика Таджикистан

Автор (ы) Давлатшоев С.К., Тоирзода С.Т., Мирзоева Б.М.,  
Шамсуллоев Ш.А., Чақалов С.Х.

Приоритет изобретения 22.02.2023

Дата подачи заявки 22.02.2023

Заявление № 2301803

Зарегистрировано в Государственном реестре  
изобретений Республики Таджикистан

5 июля 2023

Малый патент действителен с 22 февраля 2023 г. по 22 февраля 2033 г.



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТӢ

# НАХУСТПАТЕНТ

№ ТҶ 1414

БА ИХТИРОИ

*Тарзи муайян кардани чуқурии мусаффошавии обҳои зерзаминии маъданӣ  
ва пардаи байни маҳлулҳои обии зиччиашон гуногун*

Дорандаи  
нахустпатент Давлатшоев Саломат Қаноатшоевич

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Муаллиф(он) Давлатшоев Саломат Қаноатшоевич

Аввалияти ихтироъ 05.05.2023

Таърихи рузи пешниҳоди ариза 05.05.2023

Аризаи № 2301832

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои

Ҷумҳурии Тоҷикистон 31 июли с. 2023 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
этибор дорад аз 05 майи с. 2023 то 05 майи с. 2033

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН

ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

МАЛЫЙ ПАТЕНТ

№ ТЈ 1414

на изобретение

*СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ОПРЕСНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ  
МИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД И ЗАВЕС МЕЖДУ ВОДНЫМИ  
РАСТВОРАМИ РАЗНОЙ ПЛОТНОСТИ*

Патентообладатель Давлатшоев Саломат Каноатшоевич

Страна Республика Таджикистан

Автор (ы) Давлатшоев Саломат Каноатшоевич

Приоритет изобретения 05.05.2023

Дата подачи заявки 05.05.2023

Заявление № 2301832

Зарегистрировано в Государственном реестре  
изобретений Республики Таджикистан

31 июля 2023

Малый  
патент действителен с 05 мая 2023

г. по 05 мая 2033 г.



ҶУМҲУРИИ  
ТОҶИКИСТОН



ИДОРАИ  
ПАТЕНТИ

# НАХУСТПАТЕНТ

№ ТҶ 1488

БА ИХТИРОИ

*Тарзи муайян кардани мавқеи ҷойгиршавии пардаи гарминогузар дар  
қабри замин*

Дорандаи  
нахустпатент Давлатшоев С.К.

Сарзамин Ҷумҳурии Тоҷикистон

Муаллиф(он) Давлатшоев С.К., Фозилов А.Р., Мирзоева Б.М.,  
Хушмамади С., Фозилов В.А.

Аввалияти ихтироъ 30.10.2023

Таърихи рузи пешниҳоди ариза 30.10.2023

Аризаи № 2301895

Дар Феҳристи давлатии ихтироъҳои

Ҷумҳурии Тоҷикистон 15 апрели с. 2024 ба қайд гирифта шуд

Нахустпатент  
этибор дорад аз 30 октябри с. 2023 то 30 октябри с. 2033

ДИРЕКТОР

Исмоилзода М.

РЕСПУБЛИКА ТАДЖИКИСТАН

ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

МАЛЫЙ ПАТЕНТ

№ ТЖ 1488

на изобретение

*Способ определения расположения геотепловой завесы в  
земной коре*

Патентообладатель Давлатшоев С.К.

Страна Республика Таджикистан

Автор (ы) Давлатшоев С.К., Фозилов А.Р., Мирзоева Б.М., Хушмахмади С.,  
Фозилов В.А.

Приоритет изобретения 30.10.2023

Дата подачи заявки 30.10.2023

Заявка № 2301895

Зарегистрировано в Государственном реестре  
изобретений Республики Таджикистан

15 апреля 2024

Малый патент действителен с 30 октября 2023 г. по 30 октября 2033 г.

