

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра геофизики

**«Картирование участков фильтрации на Ивановской плотине  
(полуостров Ямал) по материалам вертикальных электрических  
зондирований»**

**АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 2 курса 261 группы

геологического факультета

направление 05.04.01 «Геология»

Профиль «Геофизика при поисках нефтегазовых месторождений»

Гурьянова Дениса Андреевича

Научный руководитель

к.г.-м.н., доцент

\_\_\_\_\_

дата, подпись

В.Ю. Шигаев

Заведующий кафедрой

к. г.- м.н., доцент

\_\_\_\_\_

дата, подпись

Е.Н. Волкова

Саратов 2024

**Актуальность исследований.** Одной из основных причин аварий гидротехнических сооружений (ГТС), эксплуатируемых в условиях криолитозоны, являются локальные нарушения фильтрационной устойчивости. Эти нарушения приводят к разрушению тела плотин из-за протечек и неконтролируемого сброса воды. Поэтому несомненной опасности подвергаются любые объекты, находящиеся ниже по течению реки. Плотины, как элементы инфраструктуры, играют ключевую роль в предотвращении негативных последствий этих природных явлений, обеспечивая защиту населенных пунктов и сельскохозяйственных территорий.

ООО «Газпром Проектирование» занимается проектированием и проведением инженерных изысканий на различных объектах полуострова Ямал. Управление инженерных изысканий проектного института производит полный комплекс полевых, камеральных и лабораторных работ в составе инженерно-геодезических, инженерно-геологических, инженерно-геотехнических, инженерно-гидрометеорологических изысканий, как для строительства новых, так и для реконструкции действующих промышленных и гражданских сооружений. Исследования позволяют оценить текущее состояние плотин, их эффективность и потенциальные риски, а также разработать рекомендации по модернизации и улучшению системы управления водными ресурсами.

Известно, что наибольшую опасность для насыпных плотин в изучаемом регионе представляют ледяные тела, а так же зоны их растепления. Эти участки в теле плотин являются зонами с ослабленной механической прочностью, которые в дальнейшем разрушаются водным потоком, что может привести к затоплению прилегающих территорий.

Применение для поиска участков фильтрации в теле ГТС метода вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) обусловлено главным

образом аномально-низким удельным электрическим сопротивлением (УЭС) обводненных участков в местах разуплотнения ГТС.

**Объектом** исследования является насыпная плотина «Ивановская» в верховьях р. Варыяха (полуостров Ямал), где силами компании ООО «Газпром проектирование» проводились инженерно-геофизические изыскания. Объект представляет собой каменно-земляную плотину мерзлого типа. Высота насыпи плотины в русле реки равномерная и составляет порядка 20 м. Протяжённость объекта составляет порядка 450м, ширина 20м. Тело плотины неоднородно и сложено слабоперемешанными гравийно-щебнистыми грунтами с песчаным, супесчаным и суглинистым заполнителем.

**Целью** ВКР является картирование участков фильтрации на объекте исследований по материалам ВЭЗ.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие **задачи**: 1. Изучить краткую геологическую характеристику района работ.

2. Изучить краткие теоретические основы, методику полевых работ, основные вопросы обработки и интерпретации данных ВЭЗ.

3. Привести результаты выполненных исследований.

Автор благодарен сотрудникам ООО «Газпром Проектирование»: А.С. Шабалину, А.Г. Власенко, С.В. Бочкарёву за помощь в сборе материала и ценные консультации при изучении основ обработки и интерпретации полевой электроразведочной информации с использованием специальных программ.

Работа состоит из введения, трех разделов: краткая геологическая характеристика района работ, краткие теоретические основы метода ВЭЗ и интерпретация данных в программе RES2DINV и результаты интерпретации полевых данных и их верификация с данными бурения, заключения и списка литературы из 20 наименований.

**Основное содержание работы. Раздел 1. Краткая геологическая характеристика района работ.** Изучаемое гидротехническое сооружение расположено в западной части полуострова Ямал в 25 км от побережья Карского моря, в верховьях реки Вары-Яха (**подраздел 1.1**).

Плотины играют ключевую роль в предотвращении негативных последствий паводков. В условиях изменения климата строительство новых и укрепление существующих плотин становится одной из важных задач (**подраздел 1.2**). С учетом тенденции к увеличению интенсивности и частоты паводков (из-за роста температуры), необходимо проводить регулярную оценку состояния этих сооружений и, при необходимости, проводить их модернизацию.

По геологическому строению исследуемая территория во многом схожа с другими объектами Западного Ямала (**подраздел 1.3**). Наибольший интерес для исследователей в области инженерной геологии представляют четвертичные отложения, как вместилище большинства инженерных сооружений.

Основные гидрологические сезоны – весеннее половодье, летне-осенний период и зимняя межень (**подраздел 1.4**). После продолжительного холодного периода с полным или почти полным прекращением стока на реках наступает весеннее половодье с резким и интенсивным подъемом уровня воды. В половодный период наблюдаются сильные разливы рек, что угрожает устойчивости гидротехнических сооружений (ГТС).

Исследуемый участок характеризуется низкими температурами многолетнемерзлых пород, что свидетельствуют как об устойчивости многолетней мерзлоты на данном участке, так и о возможности новообразования мерзлых толщ (**подраздел 1.5**). В частности нельзя исключить возникновение разнообразных термоэрозионных процессов при влиянии теплового и механического воздействия текущих масс воды

(особенно в паводковый период), как на тело плотин, так и на берега рек и других водоемов.

**Раздел 2. Краткие теоретические основы метода ВЭЗ и интерпретация данных в программе RES2DINV.** С целью поиска мест фильтрации в теле плотины применялся метод вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ). В методе реализован геометрический принцип зондирования, когда глубина проникновения постоянного электрического тока зависит от разносов токовых электродов (**подраздел 2.1**).

Полевые работы методом ВЭЗ на объекте исследований проводились с использованием серийно выпускаемого комплекта оборудования: «измеритель МЭРИ 24» и «генератор АСТРА 100» производитель - ООО «Северо-Запад» г. Москва (**подраздел 2.2**). В поле применялась несимметричная четырехэлектродная установка (экспресс-установка) с линейным шагом между электродами, разработанная сотрудниками МГУ им. М.В. Ломоносова.

Плотина исследовалась по трём профилям, ориентированных с запада на восток по простиранию тела изучаемого ГТС. Профиль №1 (центральный), включает в себя 10 пикетов и проходит по телу ГТС. Профиль №2 (южный) включает в себя 8 пикетов, проходит по коренным породам и руслу реки, профиль №3 (северный) включает в себя 6 пикетов, простирается так же по коренным породам и руслу реки. Профили расположены на расстоянии 10 м друг от друга, пикеты разнесены на расстояние 35-50м друг от друга в зависимости от топографических условий, как показано на рисунке 1.

Итогом обработки и интерпретации данных ВЭЗ является 3D модель тела плотины, составленная на основе сводных геолого-геофизических разрезов (**подраздел 2.3**). Здесь отображаются результаты обработки

данных ВЭЗ и интерпретация полученных данных в виде геоэлектрических границ, увязанных с данными инженерно-геологического бурения.

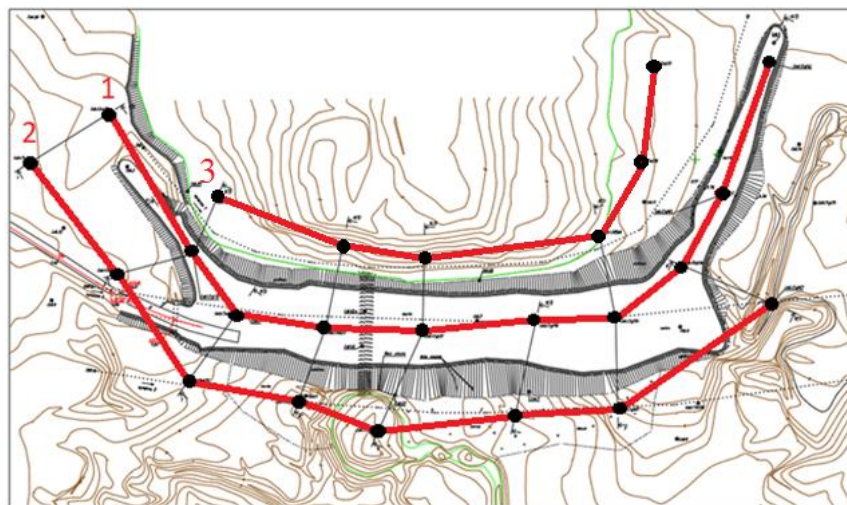


Рисунок 1 - Расположение профилей и пикетов ВЭЗ на изучаемом объекте

**Раздел 3. Результаты интерпретации полевых данных и их верификация с данными бурения.** На геоэлектрическом разрезе по северному профилю можно выделить 3 области распределения различных значений УЭС. Первые 5-7м от поверхности – это область повышенных значений УЭС (порядка 1500-2500 Ом·м), соответствующая сильно льдистым породам, как показано на рисунке 2.

Здесь отмечается зональное распределение мощности данного слоя, а именно: западная и центральная часть профиля имеет мощности порядка 5-7м, а восточная часть имеет мощность порядка 10м. Это связано с расположением профиля исследований. Его западная и центральная части проходят вдоль тела плотины, где глубина русла реки имеет небольшую глубину и профиль проходит частично по отсыпной части плотины. Восточная же часть профиля проходит вдоль восточного берега, где глубина реки больше, в чем легко убедиться на рисунке 1. Далее, вниз по разрезу, мы можем наблюдать область пониженных значений УЭС до 250-300 Ом·м, что соответствует коренным породам.

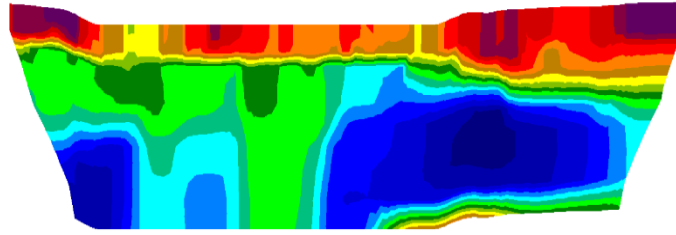


Рисунок 2 – Геоэлектрический разрез по северному профилю

На центральном разрезе, на глубине первых 10м, выделена зона с УЭС 1500 - 2500 Ом·м, представленная сильно льдистыми породами, как показано на рисунке 3.

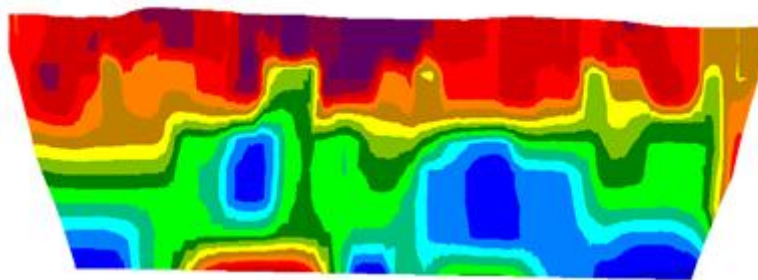


Рисунок 3 – Геоэлектрический разрез по центральному профилю.

Далее, вниз по разрезу, отмечается повсеместное снижение УЭС, что так же, свидетельствует об уменьшении степени льдистости и увеличении влияния на УЭС литологического фактора. В западной части профиля на глубинах 10-20 м выявлен слабомёрзлый терригенный материал с УЭС 250-300 Ом·м. В центральной и восточной частях профиля на этих глубинах наблюдаются две аномальные зоны пониженных УЭС в 20 Ом·м, которые имеют намного меньшую площадь распространения по разрезу в сравнении с северным разрезом, объясняются наличием водотока.

На геоэлектрическом разрезе по южному профилю также отмечается зональное распределение сильно льдистых пород: на западе их мощность равна примерно 10м, в центральной части разреза порядка 7м, а в восточной части разреза порядка 5м. Подобное распределение мощностей связано с несколькими факторами. Во-первых – со спецификой заложения

профиля ВЭЗ. Так, его западная часть проходит по коренным мерзлым породам западного берега реки, что видно на разрезе.

Здесь выделены сильно льдистые материнские породы; центральная часть разреза проходит по руслу реки, где высокоомные значения отражают замерзшую поверхность реки; восточные мощности высокоомного горизонта, вероятнее всего, показывают остаточное обледенение первичного русла реки. Во-вторых, распределение мощностей сильно льдистых пород я бы так же приурочил к экспозиции, которая вносит большую роль в распределении УЭС у поверхности, как показано на рисунке 4.

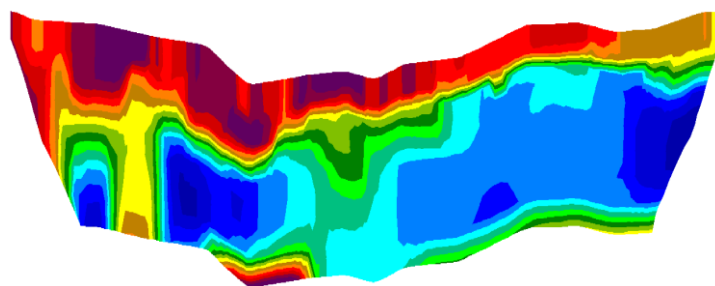


Рисунок 4 – Геоэлектрический разрез по южному профилю

Далее, ниже по разрезу, мы так же наблюдаем область пониженных значений УЭС порядка 250-300 Ом·м, соответствующую коренным породам. На данном разрезе так же имеются области аномально низких значений УЭС. Следует отметить увеличение площади их распространения в сравнении с центральным разрезом.

Полученные материалы подтверждают наличие зоны фильтрации в теле плотины, имеющую весьма обширную область питания на севере, относительно узкие каналы в самом теле плотины, которые расширяются в южном направлении за счет дополнительного объема фильтрующейся воды. На южном разрезе наблюдаются локальные области разгрузки водотока.

Данные ВЭЗ прошли верификацию с данными бурения инженерно-геологических скважин. Всего в пределах профилей пробурено 24



скважины, общий геологический разрез по десяти из которых (по телу объекта) представлен на рисунке 5.

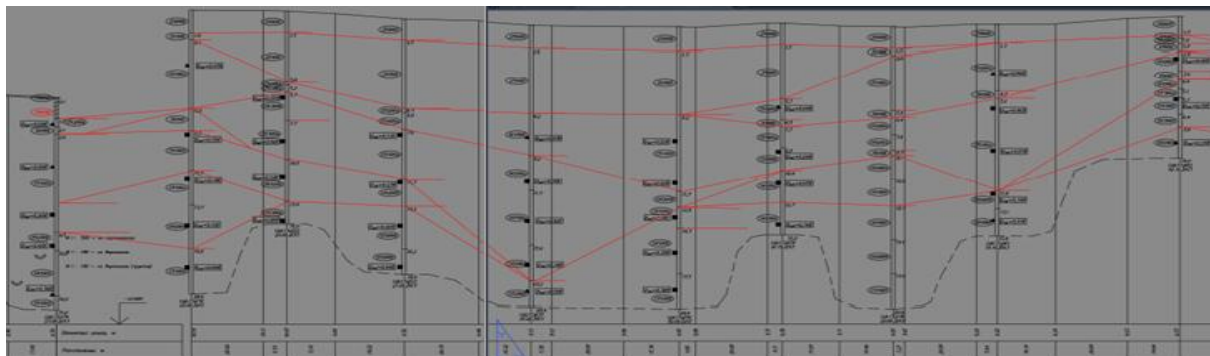


Рисунок 5 – Сводный инженерно-геологический разрез, построенный по результатам бурения десяти скважин по центральному профилю

Далее в программе AutoCAD, полученный ранее геоэлектрический разрез верифицируется с данными бурения. В результате остаются сводные разрезы, которые представлены на рисунках 6-7.

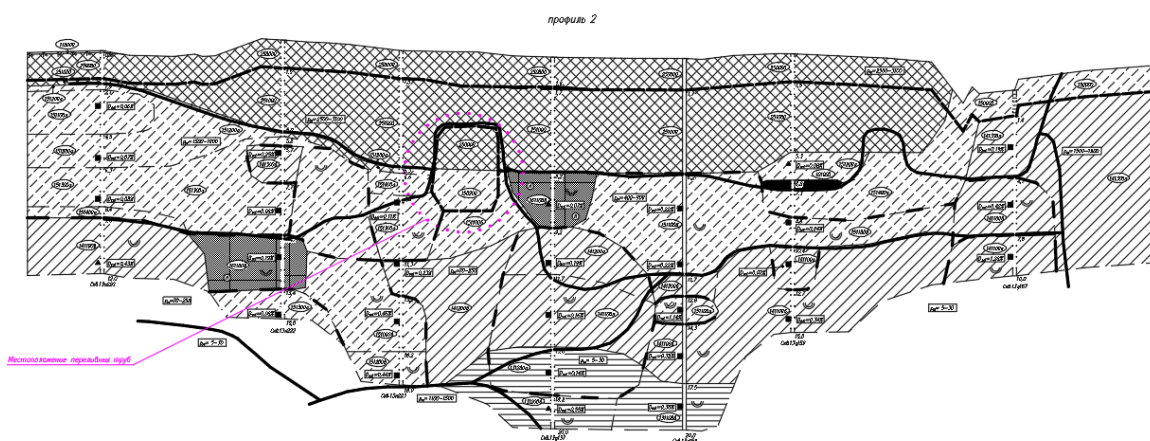


Рисунок 6 - Конечный вариант обработки данных бурения по центральному профилю исследований.

Из анализа геоэлектрического разреза по центральному профилю видно, что зоны фильтрации располагаются примерно на постоянной глубине 15-20 м.

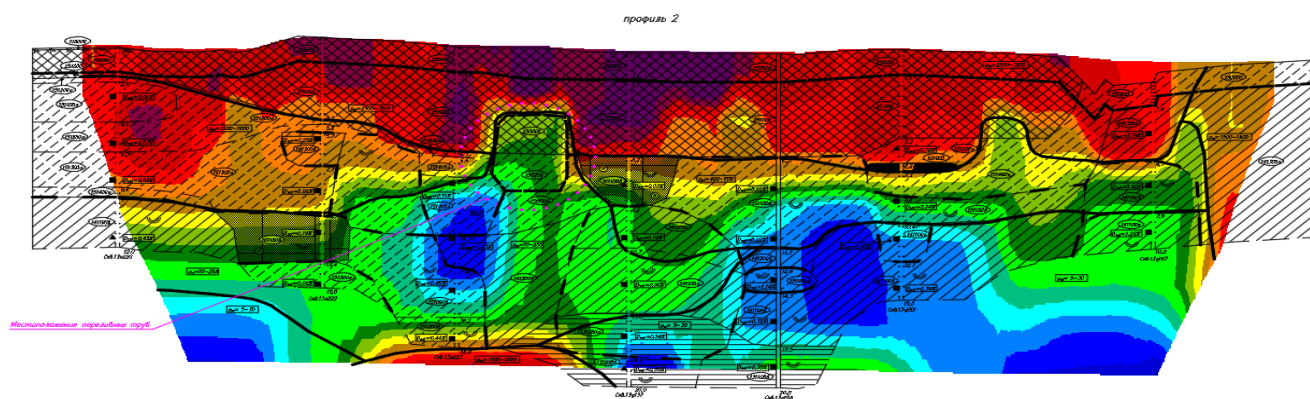


Рисунок 7 – Сводный геоэлектрический разрез по центральному профилю исследований, верифицированный с данными бурения.

По данным бурения на этой глубине выделены суглинками мёрзлые, слабольдистые, незасолённые. Система водотоков в суглинках сформировалась, по-видимому, из-за неравномерного распределение литологического (минерального) состава внутри насыпного грунта. Схожие результаты получены в ходе верификации данных ВЭЗ с данными бурения инженерно-геологических скважин и по другим профилям ВЭЗ.

Для локализации областей разуплотнения соискателем построена 3D модель изучаемого объекта в программе AutoCAD. На модели в теле плотины выделяются несколько зон, отличающихся по значениям УЭС. Пример такой зоны на глубине 15 м приводится на рисунке 8.

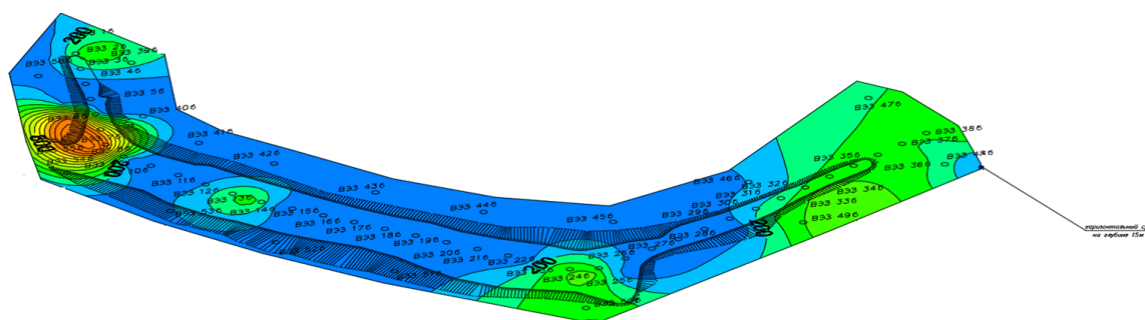


Рисунок 8 – Карта УЭС на глубине 15м в теле плотины.

Здесь зона фильтрации фиксируется пониженным УЭС в 10-30 Ом\*м.

Полученные результаты указывают на высокую детальность выделения зон фильтрации в теле плотины на различных глубинах. Предложенная специалистами ООО «Газпром проектирование» методика

проведения ВЭЗ является эффективным практическим инструментом поиска разуплотнённых и обводнённых зон в теле ГТС.

**Заключение.** Фильтрационный режим на ГТС часто нарушается при возникновении аварийных ситуаций. Это во многом связано с разрушением тела грунтовых плотин вследствие недостаточных мер по выявлению фильтрационных участков. Поэтому экспериментальные исследования в потенциально опасных по фильтрации зонах ГТС является важной и актуальной задачей.

Проведенные автором совместно со специалистами ООО «Газпром проектирование» исследования по картированию участков фильтрации на Ивановской плотине (полуостров Ямал) по материалам вертикальных электрических зондирований позволили выделить в теле изучаемого ГТС потенциально опасные участки.

По результатам интерпретации у поверхности тела плотины выделены области с повышенными значениями УЭС порядка 1500-2500 Ом\*м, которым соответствуют породы с высокой степенью льдистости. Критерием выделения в разрезе плотины талых зон, соответствующих местам фильтрации воды, является их пониженное удельное электрическое сопротивление (УЭС) относительно мерзлых пород. К талым или растепленным (отрицательная температура около 0 °С) породам относились геоэлектрические комплексы с УЭС менее 1000 Ом\*м.

В результате двумерной инверсии была получена резистивная модель тела плотины в пределах участка исследований. Здесь на глубинах 10-20м выделена область со значениями УЭС 10-30 Ом\*м, которая соответствует суглинистому материалу, размываемому в ходе сезонных паводков. Данная информация в последствие была подтверждена данными бурения инженерно-геологических скважин.

За период получения материала и написания ВКР, автором решены следующие задачи:

1. Изучена краткая геологическая характеристика района работ.
2. Изучены краткие теоретические основы, методика полевых работ, основные вопросы обработки и интерпретации данных ВЭЗ.
3. Приведены результаты выполненных исследований.

Кроме того, благодаря всесторонней помощи специалистов ООО «Газпром проектирование» автором приобретён неоценимый опыт проведения полевых работ и освоены следующие программы обработки и интерпретации данных ВЭЗ:

- Res2dinv – необходима для визуализации геоэлектрической обстановки;
- AutoCAD – необходима для работы с планами площадок; определения простираения профилей, оформительской части геоэлектрических разрезов и построения 3D модели исследуемого объекта и др.

Полученные материалы подтверждают наличие зоны фильтрации в теле плотины, расширяющейся в южном направлении за счет дополнительного объёма фильтрующейся воды, проникающей в верхние горизонты и обеспечивающей оттаивание льдистых пород.

Применяемая в ходе полевых работ экспресс установка обеспечивает высокую разрешающую способность метода ВЭЗ при контроле состояния ГТС. На геоэлектрических разрезах четко выделяются участки фильтрации, указывающие на начальную стадию разрушения насыпной плотины. Новые данные о направлении распространения водных масс позволили выявить ветхие участки изучаемого сооружения и принять своевременные меры для их устранения.