

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора, Заслуженного деятеля науки РФ *Волосухина Виктора Алексеевича* на диссертационное исследование *Давлатшоева Саломата Каноатшоевича* на тему: «*Развитие теории и методов управления фильтрационным режимом в основаниях высоконапорных плотин*», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.1. Геология, геодезия, гидрология, строительство, архитектура (2.1.8. Гидротехническое строительство)

Актуальность темы исследования

Возведение водоподпорных сооружений (плотин) и создание водохранилищ на территориях неблагоприятных в инженерно-геологическом отношении, с наличием растворимых пород, (известняки, гипс, ангидрид, каменная соль), может привести к изменению геотермического и гидрогеохимического режимов, появлению в массиве пресных вод, способных растворять породы или интенсификацию карста.

Безопасность эксплуатации плотин, в особенности высоконапорных, на растворимых породах во многом предопределяет необходимость обоснованного выбора инженерных мероприятий по защите пород от растворения в виде противofiltrационных и противосуффозионных устройств и контроля в реальном масштабе времени за их работой, а также организацию наблюдений за развитием физико-химических процессов в их основании.

Участок Рогунской ГЭС находится в зоне контакта южного Тянь-Шаня с поднятым северным хребтом афгано-таджикской депрессии. Блок Таджикской депрессии, где расположена плотина и ее составные сооружения, состоит из мезозойско-третичного континентального и морского осадочного чехла, залегающего над Палеозойским фундаментом. Его северной границей является региональная система разлома Иляко Вахш (Вахшский разлом в зоне реализации проекта). Как следствие высоких сжимающих напряжений и региональных поднятий, мезо-третичный осадочный чехол, ранее отложенный выше Палеозойского фундамента в районе Афгано-Таджикского бассейна, в настоящее время выходит на поверхность в молодых горных хребтах (Исследования ТЭО проекта строительства Рогунской ГЭС. Фаза II: Варианты определения проекта. Том 1: исполнительное резюме стр. 19).

В виду того, что территория строительства Рогунского гидроузла, расположена в зоне сложных инженерно-геологических, геотектонических, гидрогеохимических и сейсмических условий, то повышение требований к исследованию и изысканию основания сооружения во время строительства и эксплуатационные периоды с применением существующих методов и аппаратуры, а также разработкой современных систем инженерных мероприятий по защите основания плотины от разрушения, является важной задачей.

В заключительном отчете по предлагаемому проекту Рогунской ГЭС (Группа Всемирного Банка. Отчет Фазы II (окончательного): Варианты определения Проекта Том 3: Инженерия и проектирование. Глава 1: Критерии проектирования), в разделе «Фильтрация», в частности, рекомендовано:

«Внимание будет уделено обеспечению того, что фильтрация содержится в допустимых пределах относительно выполняемые противofiltrационные меры, особенно в отношении соляного купола плотины и **основания перемычки/плотины** и примыканий. Утечки в обход через обратную сторону правого устоя и про-

должение Йонахшского разлома может привести к растворению соли/гипса и соответствующие меры такие, как расширение противодиффузионной завесы должны быть рассмотрены.

Принципы для противодиффузионной завесы под плотиной должны быть разработаны как для глубины его модели и во внутрь правого бортового примыкания (в зависимости от гидравлического градиента, замеченного в прилегания).

Возможность линейного пути утечки, вниз по течению, вдоль разломов, связанных с проникновением соли, такие как Гулизинданский разлом (если горизонт грунтовых вод позволяет), или инверсия маршрутов родников будут изучены. При необходимости будут разработаны меры по уменьшению фильтрации». Диссертационные исследования Давлатшоева С.К. реализованы именно в рамках рекомендаций изложены в вышеупомянутых заключительных отчетах.

Таким образом, проведенные соискателем Давлатшоевым С.К., диссертационные исследования, являются определенным вкладом в развитии теории и методов управления фильтрационным режимом в основаниях высоконапорных плотин, в частности плотины Рогунской ГЭС, имеют не только практическое, но также и теоретическое значение.

Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует положением пунктов 1, 9 и 11 паспорта научной специальности 2.1. Геология, геодезия, гидрология, строительство, архитектура (2.1.8. Гидротехническое строительство).

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.

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

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.

Название темы диссертации соответствует паспорту специальности 2.1.8. Гидротехническое строительство.

Степень научной новизны результатов диссертации и положения, выносимые на защиту

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующих научных результатах:

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 противодиффузионных и противосуффозионных мероприятий, а также 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.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Концептуальные основы совершенствования методов ведения мониторинга, с разработкой критериального показателя для оперативной оценки эффективности противофильтрационных 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 изученности научной темы

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.И. 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.

Фундаментальный вклад в развитие теории фильтрационных процессов в основании и теле плотины и обеспечение безопасности гидротехнических сооружений внесли также учёные Л.Н. Рассказов, Н.А. Анискин, В.А. Волосухин, Д.В. Козлов, В.Г. Орехов, Ю.П. Ляпичев, К.Н. Анахаев, М.П. Саинов, В.В. Малаханов, А.С. Бестужева, М.Ю. Беккиев 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, связанных 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.

Объём и структура 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.

В **введение** диссертации (стр. 8 – 10) автором приведены актуальность темы исследования, цель и задачи исследования, её научная новизна и научно-практическая ценность работы

В **первой главе диссертации** представлены результаты анализа водно-ресурсного потенциала играющего важнейшую роль в обеспечении устойчивого развития Таджикистана и особенности гидротехнического строительства, обусловленное природно-географическими факторами; обоснования выбора объекта исследований; оценки геологического строения района строительства плотины Рогунской ГЭС; особенностей тектонических характеристик зоны объекта исследования; состояния солевого пласта основания плотины; обзора, анализа и оценки противофильтрационных завес и особенностей формирования подземных вод в зоне объекта исследований.

Во **второй главе диссертации** рассмотрены принципы организации инженерного мониторинга, методика и технология исследования изменения состава подземных вод классическими методами и приборами резистивиметрии, термометрией и отбором проб из скважины. также рассмотрены и обоснованы возможности

применения современных технологий изучения изменения состава подземных вод (гидрогеохимический режим), геотермической обстановки и фильтрационного режима.

К основным задачам, решаемым в процессе мониторинга, на концептуальном уровне, отнесены: контроль за гидрогеохимическим режимом в основании плотины; контроль геотермического и фильтрационного режима в основании плотины; организация наблюдений за работой системы защиты основания; выявление 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, исключая отрицательные последствия нарушений заданного режима.

Автор в своих исследованиях для оперативного контроля гидрогеологического, гидрохимического и геотермического режимов использовал классические методы геофизического исследования. Также в этой главе рассмотрен, созданный автором кондуктометр NELT, на базе которого предложен четырёх уровневый контроль изменения степени минерализации в 12 наблюдательных створов совмещённых с наблюдательными створами, утверждённым проектом.

В третьей главе диссертации, изложены теоретические и практические основы создания измерителя тепловых потоков (тепломер) для мониторинга пути сосредоточенной фильтрации в основании высоконапорной плотины; разработанная математическая итерационная модель и алгоритм оптимального поиска путей сосредоточенной фильтрации, определения направления теплового потока; результаты проведенных анализов диапазона изменения геотемпературного поля; представлены результаты расчёта точности измерения температуры; процесс создания тепломера.

Автор, на основе своих исследований, справедливо отмечает, что фильтрующаяся вода в основании высоконапорной плотины наряду с химической и механической суффозии грунта основания, выносом частицы грунта и растворимые породы, образуя пути сосредоточенной фильтрации, приводит к возникновению процесса теплопереноса из окружающей породы.

Для выявления пути сосредоточенной фильтрации на начальном этапе её зарождения соискатель, на основе исследования изменения теплового поля в основании плотины, использует теорию тепломассопереноса. Автором предложен специальный измеритель тепловых потоков для мониторинга путей сосредоточенной фильтрации в основании плотины, являющийся одним из методов определения путей зарождения сосредоточенной фильтрации.

В данной главе приведена конструкция, разработанного автором термометр-тепломера и изложен метод оптимального поиска путей сосредоточенной фильтрации, испытанные в левобережной пьезометрической сети основания плотины Рогунской ГЭС.

На наш взгляд, преимуществом рекомендуемого прибора, является возможность использования только одного двухканального зонда, что позволяет значительно повысить производительность термометрии скважин, увеличить точность регистрации температуры, измерить температуру в любой интересующей точке, создаёт необходимые условия сканирования всей скважины, или организацию наблюдений процессов фильтрации подземных вод на любой выбранной глубине.

В четвертой главе диссертации рассмотрены теоретические и практические основы совершенствования измерительных приборов для мониторинга гидрогеохимического режима основания высоконапорной плотины в реальной термодинамической системе. Отдельные разделы посвящены рассмотрению вопросов разра-

ботки математической модели трансформаторного кондуктометра и ее метрологических характеристик прямого измерения; результатов анализа и оценки изменения диапазона степени минерализации подземных вод; методов и технологии разработки и создания кондуктометра.

Как известно, 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, трудоёмок и затратен 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, связанное с временем производства анализа проб. Автор отмечает, что одним из решений данной задачи является применение кондуктометрического способа измерения.

Анализ и оценка результатов, ранее проведенных автором, исследований электрофизических свойств раствора поваренной соли, позволил автору сделать вывод о том, что при измерении больших значений удельной электропроводности, наиболее эффективно использовать трансформаторный кондуктометр.

В четвертой главе приведены конструктивные особенности, структурная схема и принцип работы, разработанного автором, кондуктометра «Кальмар», а также в доступной форме изложены его преимущества и область применения.

Пятая глава диссертации посвящена изложению: теоретических и практических основ использования изменения геотермического режима земной коры; результатам разработки метода и системы контроля изменения теплового поля земной коры и расположения геотепловой завесы; методам определения коэффициента фильтрации в основании плотины и путей сосредоточенной фильтрации; теоретическим и практическим основам выявления изменения гидрогеохимической особенностей в основании высоконапорной плотины; результатам анализа и оценки геологических и гидрогеохимических условий в зоне залегания пласта соли; результатам натурных исследований изменения гидрогеохимического режима вокруг солевого пласта в зависимости от изменения уровня воды в реке Вахш; методологии и результатам мониторинга опреснения, отжатия подземных минерализованных вод и появления гидронапорно-осмотической завесы.

К одним из существенных результатам, проведённых автором исследований, следует отнести установление (экспериментально) ранее неизвестного физического явления для условий объекта исследований: возникновение геотепловой завесы, разделяющей земную кору **на зоны: аккумуляции солнечной энергии** (приповерхностная часть земной коры) и **аккумуляции теплового потока**, идущего из недр Земли, определяемой 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.

Выявлено также, факт того, что при приближении геотепловой завесы к поверхности Земли объём зоны аккумуляции за счет уменьшения солнечной энергии ведет к аномальному прогреву приповерхностной части земной коры, что является одним из значимых причин нагрева атмосферного воздуха; нарушения температуры снегообразования в начальный период зимнего сезона; экстремальных дождей осадков; наводнению; ураганам; деградации ледников; усиленному испарению поверхностной воды; засухи, а также увеличению площади лесных пожаров.

Результирующим фактом исследований, является, разработанная диссертантом, двухуровневая система контроля для определения точного расположения геотепловой завесы и величины геотермической ступени и автоматизированная многоканальная измерительная система измерения температуры в реальном масштабе времени, изложенные в данной главе.

Развитие теорией фильтрации воды в грунтах, различных пористых материалов и скальное основание высоконапорных плотин представляет большой практический интерес при решении инженерных задач в области гидротехники. На сегодняшний день разработано множество методик, расчётов и инструментальных способов определения коэффициента и скорости фильтрации: закон Дарси; методы налива и откачек; метод тепловой волны; индикаторные методы; инструментальные методы закачка воды под давлением (тест Люжона) и установки пьезометрических датчиков в основании плотины.

Как известно, скорость фильтрации, являющейся осредненной характеристики движения воды при ламинарном движении жидкости в порах грунта, подчиняется закону Дарси. Применение закона Дарси при формировании пути сосредоточенной фильтрации (канальная фильтрация) в скальных трещиноватых породах основания высоконапорной плотины, где движение фильтрующейся воды примет характер турбулентности, не приемлем.

Многие из названных методов применяются на этапе проектирования, тогда как при эксплуатации сооружения их применение ограничено, кроме использования пьезометрических датчиков устанавливаемые в основании сооружения показания, которых связано синхронно с гидростатическим уровнем верхнего бьефа. Погрешность определения коэффициента фильтрации в выше названных методов изменяется в пределах от 20 до 40 %.

На ряду с вышеизложенным, а также детальным изучением изменения теплового поля земной коры, на основе установленного факта практического отсутствия влияния солнечного излучения в основании плотины, автором впервые разработан интеллектуальный метод определения коэффициента фильтрации в основании плотины, с учетом изменения теплового состояния основания плотины на основе теории тепломассопереноса, имеющей значительное научно-практическое значение.

Суть интеллектуального метода заключается в том, что периодически измеряемые значения температуры и составляют эмпирические уравнения, описывающие изменения состояния температурного поля за единицу времени.

Другим значимым результатом Давлатшоева С.К. изложенного в этой главе является факт установления неизвестного ранее физического явления – **опреснения**, возникающего при повышении величины гидростатического давления над осмотическим давлением минерализованных вод и **отжатия** при повышении осмотического давления над гидростатическим давлением. Выявлено также, 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.

В главе 5 Давлатшоевым С.К. представлен обоснованный вывод о том, что повышение гидростатического давления на сильноминерализованные воды приведёт к опреснению минерализованных вод, что ведет к постоянным перебоям (забивание фильтров в системе солепровода, осаждение соли в стенках трубопровода, забивание пьезометров) в системе временной солевой завесы.

В шестой главе диссертации рассмотрены результаты теоретических и практических основ анализа и оценки процесса эксплуатации временной солевой завесы на левобережной части солевого пласта Рогунской ГЭС; разработки управляемого противосуффозионного устройства за оголовком солевого пласта и управляемого перехвата обходных фильтрационных потоков дренажными устройствами; приведена оценка качества укрепительной цементации вмещающего массива песчаников на опытном участке трансформаторного помещения Рогунской ГЭС, а также представлены разработанные рекомендации по созданию высокоплотной противофильтрационной завесы в основании плотины Рогунской ГЭС.

Соискателем выявлено, что в проекте Рогунской ГЭС для защиты солевого пласта предусмотрена системы солевых и гидравлических завес на всю длину защищаемого участка, принцип работы которой 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. Следует отметить, что постоянное возмещение бытового солевого пласта в основании перемычки, создает устойчивую гидрохимическую среду и способствует сохранности солевого пласта на защищаемом участке при расчетных исходных данных, является трудозатратным, ненадёжным и представляет собой источник риска жизни техническому персоналу во время эксплуатации.

С учетом полученных результатов в диссертационной работе предлагается вариант управления гидрогеохимическим режимом за счет создания системы защиты солевого пласта на основе установленного физического явления, т.е. опреснение и отжатые сильноминерализованные воды под действием гидростатического давления и возникновение гидронапорно - осмотической завесы между менее и сильноминерализованными подземными водами.

Одним из существенных результатов исследований является, разработанный автором, вариант (способ и устройство) защиты солевого пласта от растворения в составе солезакщитного комплекса, признанный на уровне изобретения, позволяющие уменьшить давление фильтрационных вод на оголовке солевого пласта, путём перехвата пресных фильтрационных потоков в зоне оголовка солевого пласта. Разница гидростатических давлений между оголовком солевого пласта и противофильтрационной завесы позволяет опреснять сильноминерализованные воды в районе противофильтрационной завесы и отжатые сильноминерализованных вод ближе к солевому пласту, что ведет к прижатию минерализованных вод к телу солевого пласта.

Следует также особо отметить, что соискателем для недопущения формирования сосредоточения обходных фильтрационных потоков вдоль разлома №35 в сторону зоны примыкания плотины к бортам предложена система организованного управляемого перехвата фильтрационных вод, осуществляемая системой дренажа по обеим бортам высоконапорной земляной плотины до непроницаемого разлома и отвод вод в нижний бьеф сооружения по лотку, позволяющему, уменьшить фильтрационное давление в зоне примыкания плотины и бортов плотины.

Разработка рекомендаций по уплотнению тела противофильтрационной завесы в основании плотины, основана на процессе уплотнения породы цементационными работами сейсмоакустическим каротажным методом в опытном участке трансформаторного помещения.

Обобщение результатов геофизических исследований позволили Давлатшоеву С.К. выявить факт наличия отрицательного значения эффекта цементации, полученные для пород с высокими первоначальными продольными скоростями, что яв-

ляется подтверждением тезиса о том, что при использовании существующей 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 совершается раскрытие мелких трещин и проявляется эффект гидроразрывов.

На основании полученных результатов геофизических исследований рекомендовано создание противодиффузионного экрана высокой плотности наряду с цементными суспензионными растворами использовать химический гелеобразующий раствор, разработанный Проблемной лабораторией геологического факультета МГУ.

Заключение состоит из 8 пунктов:

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 противодиффузионных и противосуффозионных мероприятий**, и формирования мероприятий по обеспечению безопасности основания плотины.

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.

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.

4. Экспериментально установлено ранее неизвестное физическое явление возникновения геотепловой завесы, разделяющей 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.

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.

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.

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 сильно минерализованными водами возникающее при достижении равновесного состояния между гидростатическим и осмотическим давлением, при котором массоперенос молекулы воды в обоих направлениях прекращается.

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.

Научная и практическая значимость диссертации 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 - возникновение 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 аде-

кватного 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 минерализованной вод к солевому пласту, защищающие пласт соли от растворения пресными водами.

Наряду с вышеизложенным, следует особо отметить, что автором впервые: разработана математическая модель трансформаторного кондуктометра; на основе теории тепломассопереноса, разработан метод определения коэффициента фильтрации в основании плотины, с учетом изменения теплового состояния Земли.

Немаловажное значение имеют также результаты исследования по установке причины аномального распределения солевого облака вокруг солевого пласта в основании плотины Рогунской ГЭС и разработанное управляемое противосуффозионное устройство по защите солевого пласта в основании плотины, имеют огромное теоретико-практическое значение.

Публикация результатов исследования 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 Евроазиатской патентной организации, а также в 36 статьях, опубликованных в сборниках международных, республиканских научных конференций и в 5 монографиях. 16 работ написаны и опубликованы автором единолично.

Автореферат диссертации соответствует требованиям Порядка присуждения учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года, №267.

Замечания по работе

1. В таблице 3.8 диссертации приведены технические характеристики термометра-тепломера. Следует пояснить: на каком основании измеряемый диапазон температуры термометра-тепломера определено в приделе 8-25⁰С.

2. На рисунке 5.2 диссертации приведена модель взаимодействия встречных тепловых потоков в земной коре, с указанием расположения геотепловой завесы. Необходимо более полно пояснить понятие геотепловой завесы, являющейся физическим индикатором развития климатических условий.

3. При приближении геотепловой завесы к поверхности Земли объём зоны аккумуляции солнечной энергии уменьшается, ведущая к аномальному прогреву приповерхностной части земной коры. В диссертации не раскрывается влияние нагрева приповерхностной части земной коры с аномальными явлениями происходящие на земле, в частности, с деградациями ледников.

4. Как известно, скорость фильтрации при ламинарном движении жидкости в порах грунта подчиняется закону Дарси. В работе не приведено определение закона фильтрации на подобие закона Дарси, но в то же время, приведена модифицированная формула коэффициента фильтрации.

5. В чем заключается суть механизма калибровки, разработанного метода определения коэффициента фильтрации и точности метода. Подобная информация, к сожалению, в диссертации отсутствует.

6. В диссертации не раскрывается существенный фактор, заключающийся в непосредственной связи увеличения глубины опреснения подземных минерализованных вод с отсутствием путей сосредоточенной фильтрации в основании плотины.

