

*На правах рукописи*

**ПЕРЕВОЩИКОВА Наталья Андреевна**



**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЧЕБОКСАРСКОЙ ГЭС**

*Специальность 25.00.08 – Инженерная геология,  
мерзлотоведение  
и грунтоведение*

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ – 2013**

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

*Научный руководитель –*

доктор геолого-минералогических наук, профессор

*Дашко Регина Эдуардовна*

*Официальные оппоненты:*

*Неизвестнов Ярослав Владимирович*

доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГУП «ВНИИОкеангеология им. им. И.С.Грамберга», лаборатория инженерной геологии дна Мирового океана, главный научный сотрудник

*Корвет Надежда Григорьевна*

кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет», кафедра грунтоведения и инженерной геологии, доцент

*Ведущая организация –* ОАО СПб НИИИ «Энергоизыскания».

Защита диссертации состоится 30 сентября 2013 г. в 16 ч на заседании диссертационного совета Д 212.224.11 при Национальном минерально-сырьевом университете «Горный» по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2, ауд. № 4312.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального минерально-сырьевого университета «Горный».

Автореферат разослан 28 августа 2013 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ  
диссертационного совета



ШИДЛОВСКАЯ  
Анна Валерьевна

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность**

Чебоксарская ГЭС входит в группу декларируемых гидротехнических сооружений, которые характеризуются пониженным уровнем безопасности эксплуатации. Рассматриваемая ГЭС до настоящего времени не принята государственной комиссией, поскольку находится во временной эксплуатации на промежуточной отметке водохранилища 63 м, вместо проектной 68 м.

Проект поднятия уровня водохранилища выполняется с целью выработки дополнительной энергии 1,24 млрд кВт·ч в год и тем самым выходом Чебоксарской ГЭС на проектную мощность, а также восстановления глубоководного судоходного пути на участке Чебоксарского гидроузла. Реализация проекта сдерживается угрозой подтопления и затопления огромных площадей Нижегородской области, Республик Чувашия и Марий Эл. Активное обсуждение проблемы поднятия уровня водохранилища на заседаниях Российской Академии Наук, в СМИ, а также на государственном уровне подтверждает всю важность вопроса. Однако при прогнозировании возможных процессов, связанных с переработкой береговой зоны, развитием оползневых процессов, а также ухудшением экологической ситуации в районе водохранилища ни в одном из документов по проекту поднятия уровня водохранилища не рассматривается проблемы безопасности основных сооружений ГЭС.

На сегодняшний день нормативным документом, регламентирующим функционирование Чебоксарской ГЭС, является «Декларация безопасности гидротехнического сооружения», срок действия которой ограничен 3 августом 2013 года. Сокращение времени декларации до 3 лет, вместо положенных 5 лет, связано с непроектным уровнем верхнего бьефа.

Проблемами развития инженерно-геологических процессов при строительстве и эксплуатации гидроузлов в разные годы занимались Графтио Г.О., Маслов Н.Н., Роза С.А., Золотарев Г.С., Бобков Н.В., Комаров И.С., Лыкошин А.Г., Молоков Л.А., Белый Л.Н., Максимов С.Н., Ломтадзе В.Д., Карпышев Е.С., Варга А.А., Калинин Э.В., Чернышев С.Н., Фишман Ю.А., Федоров М.П., Каган А.А., Могилевская С.Е., Терцаги К., Джаггер Ч. и др.

Обеспечение безопасности эксплуатации Чебоксарской ГЭС актуально не только в условиях поднятия уровня водохранилища, но и

при существующей отметке водохранилища, в силу прогрессирующего развития трещиноватости бетонных сооружений за счет неравномерных осадок основных сооружений. Изменение инженерно-геологических условий в период эксплуатации ГЭС привело к тому, что осадки ГЭС не затухают с начала эксплуатации ГЭС, при этом прослеживается тенденция к их увеличению во времени. Проект поднятия уровня водохранилища должен рассматривать проблемы, связанные не только с береговой зоной и экологической ситуацией водоема, в обязательном порядке необходима оценка безопасности функционирования сооружений самой Чебоксарской ГЭС.

#### **Цель работы.**

Анализ и оценка влияния сложных инженерно-геологических условий на развитие процессов в береговой зоне, и изучение длительной устойчивости бетонных сооружений Чебоксарской ГЭС с учетом особенностей преобразования глинистых и карбонатно-глинистых пород в их основании при дополнительном увлажнении; предупреждение дальнейшего развития коррозии конструктивных материалов в условиях поднятия уровня водохранилища до проектной отметки +68,0м.

#### **Основные задачи исследований**

1. Анализ особенностей инженерно-геологического и гидрогеологического строения территории бетонных сооружений Чебоксарской ГЭС и формирование состава вод водохранилища с учетом природных и техногенных факторов для оценки устойчивости бетонных сооружений ГЭС и береговой зоны Чебоксарского водохранилища.

2. Исследование взаимодействия бетонных сооружений (водосливной плотины и здания ГЭС) с глинистыми и карбонатно-глинистыми породами основания в условиях переменного гидродинамического режима водохранилища и восходящего перетекания напорных минерализованных подземных вод.

3. Закономерности развития деформаций основных бетонных сооружений и характер их разрушения в зависимости от специфики инженерно-геологических и гидрогеологических условий при подъеме уровня верхнего бьефа до проектной отметки.

4. Влияние химического состава и наличия биотической компоненты в поверхностных и подземных водах на развитие коррозионных процессов в бетонных конструкциях основных

сооружений Чебоксарской ГЭС.

#### **Фактический материал и личный вклад автора**

Диссертация является продолжением научных исследований на Чебоксарской ГЭС, которые начались в 2010 году на базе кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Горного Университета. Автором выполнены последующие циклы исследований (2011-2012 гг.) на Чебоксарской ГЭС с целью установления динамики разрушения бетонных сооружений на основе полевых и лабораторных исследований, а также для наблюдения и анализа причин развития прогрессирующей трещиноватости бетонных сооружений за счет неравномерных осадок здания машинного зала и водосливной плотины.

#### **Основные методы исследований.**

Для оценки динамики изменения инженерно-геологических условий и обоснования длительной устойчивости объектов ГЭС и береговой зоны водохранилища, в том числе причин интенсивного разрушения конструкционных материалов бетонных сооружений, был использован комплекс исследований, включающих теоретические, экспериментальные и расчетные методы.

Теоретические исследования включали анализ природы прочности и деформируемости глинистых отложений, содержащих карбонаты при изменении напряженного состояния и дополнительного увлажнения на основе материалов изысканий для Чебоксарской ГЭС, начавшихся в 1960 году.

Экспериментальные работы включали лабораторные исследования татарских глин при изменении содержания карбонатов на свойства глинистых и карбонатно-глинистых пород татарского возраста, с применением современной аппаратуры Центра Инженерных Исследований; изучение химического состава подземных вод, взаимодействующих с бетонными сооружениями Чебоксарской ГЭС, путем опробования глубинных, бетонных и дренажных пьезометров в полевых и лабораторных условиях; исследование химического состава поверхностных вод в приплотинной части ГЭС со стороны верхнего и нижнего бьефов с применением полевых и лабораторных методов; специализированная съемка состояния здания машинного зала и водосливной плотины в пределах сухой потерны с фотофиксацией и отбором проб разрушенных материалов, высолов и натечных форм; изучение химического состава водных вытяжек с целью установления интенсивности разрушения бетонных конструкций и выявления

наиболее активно разрушающихся зон; исследование компонентного состава подземных и поверхностных вод, взаимодействующих с основными сооружениями ГЭС для исследования степени их агрессивности по отношению к бетонам; микробиологические исследования проб дезинтегрированного бетона, воды и донных отложений со стороны верхнего и нижнего бьефов для установления численности и видового разнообразия микроорганизмов, участвующих в деструкции бетонных сооружений Чебоксарской ГЭС.

Расчетные методы, изложенные в диссертационной работе, применялись для оценки устойчивости склона правого берега водохранилища при подъеме уровня до отметки +68,0 м.

#### **Реализация результатов исследований.**

Проанализированные по результатам материалов прошлых лет и скорректированные с современной точки зрения инженерно-геологические и гидрогеологические условия в створе гидроузла позволили установить основные причины развития трещиноватости бетонных конструкций, возникающих в результате незатухающих осадок в основании машинного зала и водосливной плотины. Выявлено непосредственное участие микроорганизмов при разрушении конструкционных материалов, а также установлены основные источники поступления микробиоты. Все результаты исследований переданы в организацию ОАО филиал «РусГидро» Чебоксарская ГЭС. Кроме того, в 2011 году даны рекомендации по замене материала, который способствовал активной биокоррозии бетонов и который используется для ремонтных работ в пределах сухой потерны Чебоксарской ГЭС. Результаты диссертационной работы необходимо учитывать при решении вопроса о поднятии уровня Чебоксарского водохранилища в связи с прогнозированием негативных процессов и явлений в основании комплекса бетонных сооружений и в береговой зоне водохранилища. Исследования, изложенные в диссертационной работе, представляют интерес для ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева, как одному из научно-исследовательских институтов, занимающихся проблемами эксплуатации ГЭС.

#### **Научная новизна работы**

- Установлены основные причины развития трещин в бетонных сооружениях ГЭС на основе анализа структурно-тектонических, инженерно-геологических, гидрогеологических условий гидроузла, а также процессов, связанных со специфическим режимом

работы гидроэлектростанции – статическими и динамическими нагрузками, последние из которых возникают при периодическом сбросе воды в период половодья и снижением уровня верхнего бьефа в межень.

- На основе экспериментальных исследований разрушенных материалов бетонов, сталактитов и высолов выделены зоны бетонных сооружений, наиболее подверженные биокоррозионным процессам, а также обозначены основные и дополнительные источники поступления микробиоты в тело здания машинного зала и водосливной плотины.

#### **Защищаемые положения**

1. Анализ безопасности эксплуатации Чебоксарской ГЭС при подъеме уровня водохранилища до проектной отметки должен базироваться на прогнозных оценках изменения инженерно-геологических условий в основании бетонных сооружений с учетом наличия существующих тектонических разломов в створе, интенсивной трещиноватости осадочной толщи в основании гидроузла и относительно низкой устойчивости карбонатно-глинистых отложений при их взаимодействии с поверхностными и подземными водами.

2. Формирование трещиноватости в теле бетонных сооружений за счет развития неравномерных осадок карбонатно-глинистых пород с высокой степенью изменчивости их деформационных свойств создает условия для активизации биокоррозии бетонных сооружений в процессе фильтрации вод Чебоксарского водохранилища совместно с воздействием минерализованных вод глубоких водоносных горизонтов при их восходящем перетекании.

3. Подъем уровня водохранилища до проектной отметки (+68 м) приведет к активизации инженерно-геологических процессов в береговой зоне и будет способствовать снижению устойчивости бетонных сооружений, связанной с растворением и выщелачиванием карбонатов в глинисто-карбонатной толще основания сооружений

#### **Практическая значимость работы**

- На основе анализа материалов прошлых лет по инженерно-геологическим изысканиям в створе гидроузла с применением теоретических и экспериментальных исследований взаимодействия сооружений с глинистыми и карбонатно-глинистыми породами основания, выделены основные причины нарушения целостности и монолитности основных сооружений Чебоксарской ГЭС.

- По результатам полевых и лабораторных исследований

произведен комплексный анализ влияния микробиотической компоненты на конструкционные материалы Чебоксарской ГЭС, а также выделены источники поступления микроорганизмов в тело бетонных сооружений, вызывающие активизацию деятельности основных деструкторов бетонных сооружений.

- Предложена методика по оценке особенностей компонентного состава вод, взаимодействующих с бетонными сооружениями Чебоксарской ГЭС, результаты которой позволяют оценивать биокоррозионное воздействие водной среды по отношению к конструкционным материалам

- Выполнено прогнозирование интенсивности развития инженерно-геологических процессов, которые будут протекать в береговой зоне при подъеме уровня водохранилища до проектной отметки 68,0 м.

**Достоверность научных положений и выводов,** сформулированных в диссертационной работе, базируется на анализе большого объема фондовых материалов по проектированию, строительству и эксплуатации Чебоксарской ГЭС с использованием материалов последних лет, связанных с проблемой подъема уровня Чебоксарского водохранилища. В диссертационной работе использованы многочисленные теоретические, научно-практические и экспериментальные исследования по влиянию микроорганизмов на разрушение строительных материалов, проводимые на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии уже более двух десятков лет. В диссертационной работе также использованы результаты, полученные в ходе проведения научно-исследовательских работ при непосредственном участии автора: «Выявление микрофлоры (бактерий, микромицетов, микроводорослей и т.д.) на сооружениях бетонной водосливной плотины ГЭС Чебоксарской ГЭС» (2010 г.), «Разработка инновационных технологий по приоритетному направлению научной школы «Инженерная геология» (2011 г.), «Геотехническое прогнозирование влияния микробиотической деятельности на безопасность освоения и использования подземного пространства мегаполисов и горнопромышленных регионов» (2012 г.), «Комплексное использование природных ресурсов богатых железных руд Яковлевского месторождения для развития высокотехнологичного производства и выпуска продукции широкой номенклатуры» (2010-2012 гг.).



### **Апробация работы.**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях: «Полезные ископаемые России и их освоение» (НМСУ «Горный», Санкт-Петербург, 2012, 2013 гг.), «Науки о Земле: устойчивое развитие территорий – теория и практика» (ЧувГУ, г.Чебоксары, 2012 г.), международной конференции во Фрайбергской горной академии (Фрайберг, Германия, 2012 г.), «Пятнадцатые Сергеевские чтения. Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты)» (Научный совет РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии, Москва, 2013).

### **Публикации**

Основные результаты диссертации содержатся в 7 опубликованных работах, в том числе 3 статьи в журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК Минобрнауки России.

### **Структура работы.**

Диссертация изложена на 258 страницах, состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы из 140 наименований, содержит 73 рисунка, 39 таблиц.

Автор выражает глубокую признательность за постоянную помощь и поддержку на всех этапах подготовки диссертационной работы научному руководителю д.г.-м.н. проф. Р.Э.Дашко. Автор благодарит всех сотрудников кафедры гидрогеологии и инженерной геологии за обсуждение материалов диссертации. Искреннюю благодарность автор выражает коллективу отдела диагностики ГЭС Чебоксарской ГЭС и лично начальнику участка Н.А.Шабалину за помощь в проведении натурных исследований в период 2010-2012 гг. Автор благодарит д.б.н., заведующего лабораторией микологии и альгологии СПбГУ Д.Ю.Власова за всестороннюю помощь в проведении микробиологических исследований.

## **ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ**

**1. Анализ безопасности эксплуатации Чебоксарской ГЭС при подъеме уровня водохранилища до проектной отметки должен базироваться на прогнозных оценках изменения инженерно-геологических условий в основании бетонных сооружений с учетом наличия существующих тектонических разломов в створе, интенсивной трещиноватости осадочной толщи в основании**

**гидроузла и относительно низкой устойчивости карбонатно-глинистых отложений при их взаимодействии с поверхностными и подземными водами.**

Безопасность эксплуатации гидротехнических сооружений, относящихся к первому уровню ответственности, рассматривается как основное условие их функционирования, нарушение которого может привести к необратимым последствиям на региональном уровне и повлечь за собой материальный и социальный ущерб.

Заполнение водохранилища до проектной отметки 63,0 м было реализовано в 1980 году, а запуск последнего гидроагрегата ГЭС – в 1987 г. К основным сооружениям Чебоксарской ГЭС относятся глухая земляная плотина (левобережное примыкание к низкому берегу р. Волги), бетонная водосливная плотина (2 секции), здание машинного зала (9 секций) и примыкающий к правому крутому берегу Волги шлюз. Особое внимание при оценке эксплуатации Чебоксарской ГЭС уделяется бетонным сооружениям – водосливной плотине и зданию машинного зала, так как они являются основными конструкциями, обеспечивающими подпор верхнего бьефа и выработку энергии, а также отвечающими за безопасность эксплуатации гидроузла.

Сложность инженерно-геологических условий в районе гидроузла определяются структурно-тектоническим положением ГЭС, наличием тектонических нарушений в створе, залеганием в основании бетонных сооружений трещиноватой глинисто-карбонатной толщи и приуроченных к ней напорных водоносных горизонтов, имеющих зональность по составу и минерализации подземных вод.

Чебоксарская ГЭС расположена в зоне Охотско-Московского линеамента субширотного направления на восточном крыле Чебоксарского прогиба. Шесть тектонических нарушений в створе ГЭС были установлены в ходе изысканий, четыре из которых прослеживаются в основании машинного зала, а два - на участке левобережного примыкания. Наличие тектонических нарушений подтвердилось в строительный период, а также при эксплуатации ГЭС по куполовидным поднятиям сульфатно-хлоридных вод. Зоны с повышенной минерализацией выявлены в секциях 5 и 6 машинного зала (рисунок 1). Карбонатно-глинистые и глинистые отложения сарминской свиты татарского отдела верхнепермской системы в период строительства были разделены на *серии А, Б, В, Г, Д и Е* с учетом глубины залегания пород, их литологических признаков, инженерно-

геологических характеристик и наличия водоносных горизонтов. В основании заглубленного здания машинного зала (МЗ), длиной 547,5 м, прослеживаются отложения *серии Д*, представленные толщей переслаивания известняков с мергелями и глин, в минеральном составе которых преобладает гидрослюда с примесью монтмориллонита и палыгорскита (рисунок 2). К толще трещиноватых известняков и мергелей приурочен напорный водоносный горизонт *серии Д*, пьезометрический уровень которого до строительства ГЭС превышал уровень р.Волги на 3-4 м. Сульфатная агрессивность вод предопределила необходимость использования при строительстве сульфатостойкого бетона повышенной плотности. Подошва водосливной бетонной плотины (ВСП) расположена на более высоких отметках по сравнению с МЗ (понур - 35,4 м и водослив - 33,8 м). Основанием ВСП служат полиминеральные глинистые отложения с включениями карбонатов, линзами и прослоями слабого алевролита (рисунок 3). К трещиноватым карбонатам и алевролитам приурочен напорный водоносный горизонт гидрокарбонатно-натриевого состава, пьезометрический уровень которого в естественных условиях совпадал с уровнем р.Волги, что способствовало восходящему перетеканию сульфатно-хлоридных натриевых вод *серии Д*.

Согласно инженерно-геологической характеристике разреза татарские глины в основании бетонных сооружений содержат карбонаты, суммарное содержание которых варьирует от 1-5% до 25%, повышение содержания карбонатов до 40-65% способствует переходу глинистых отложений в мергель. Присутствие карбонатов в глинистых отложениях вызывает высокую степень агрегированности тонкодисперсных фракций и наличие жестких структурных связей, которые формируют прочность, деформационную способность и водостойчивость пород. Использование метода лазерной дифракции на установке «Mastersizer» в 2012 г, показало, что, даже с применением диспергатора (раствора аммиака), агрегированность тонкодисперсных фракций оставалась высокой и содержание глинистой фракции варьировало в узких пределах 4,6-7,4 %. Однако число пластичности в исследуемых пробах изменялось от 22,0 до 36,2, что является следствием высокой физико-химической активности этих отложений за счет присутствия палыгорскита и монтмориллонита (таблица 1). В период строительства ГЭС было установлено, что при сохранении структурных связей глины *серий Е* и *Д* набухают слабо (1-2%), однако

их нарушение приводит к резкому увеличению набухания глин до 15-40%, чему способствует активность минеральной составляющей глинистой фракции. В период строительства ГЭС деформации подъема дна котлована были зафиксированы повсеместно на участке здания машинного зала и водосливной плотины за счет упругого разуплотнения и набухания глинистых отложений, что вызвало существенное изменение показателей их физико-механических свойств.

Исследования, выполненные автором в 2012 году и направленные на определение микробной массы (ММ) в породах серии Е с использованием метода Бредфорд при различных условиях эксперимента, показали уменьшение величины ММ с возрастанием содержания карбонатов за счет щелочности среды, подавляющей развитие микробиоты (рисунок 4). Кроме того, сорбционная способность карбонатов ниже по сравнению с глинистой составляющей. Наибольшая величина ММ (до 300 мкг/г) была получена в образцах с минимальным содержанием карбонатов, однако при повышении температуры и добавления питательных субстратов увеличение ММ отмечалось во всех пробах. Согласно многолетним исследованиям на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии (Г и ИГ) Горного университета, развитие микроорганизмов в глинах будет способствовать снижению их показателей сопротивления сдвигу и росту деформируемости глин за счет развития пластических деформаций. Анализ безопасности эксплуатации Чебоксарской ГЭС необходимо рассматривать с позиций негативного изменения состояния и свойств трещиноватой карбонатно-глинистой толщи в основании бетонных сооружений с учетом постепенного растворения карбонатов в глинистых отложениях в процессе фильтрации вод водохранилища, воздействия напорных вод глубоких водоносных горизонтов и негативного изменения физико-механических свойств в присутствии микробной компоненты.

**2. Формирование трещиноватости в теле бетонных сооружений за счет развития неравномерных осадок карбонатно-глинистых пород с высокой степенью изменчивости их деформационных свойств создает условия для активизации биокоррозии бетонных сооружений в процессе фильтрации вод Чебоксарского водохранилища совместно с воздействием минерализованных вод глубоких водоносных горизонтов при их восходящем перетекании.**

Изменение прочности и деформационных характеристик татарских глин в основании Чебоксарской ГЭС приводят к неравномерным осадкам основных ее сооружений. На сегодняшний день по всем секциям машинного зала и водосливной плотины наблюдается тенденция к развитию незатухающих осадок сооружений с начала эксплуатации ГЭС (рисунок 5), что приводит к образованию трещин в теле бетонных сооружений. По данным диагностической службы Чебоксарской ГЭС наибольшая дезинтеграция наблюдается в бетонах 6-7 секции МЗ и в обеих секциях ВСП (рисунок 6). Длина отдельных трещин в некоторых секциях достигает 49 м и 50 м соответственно в МЗ и ВСП.

Состав вод водохранилища Чебоксарской ГЭС формируется под влиянием природных и техногенных факторов, среди которых выделяется наличие болотных отложений в пределах надпойменных террас левобережья, широкое распространение зоны мелководья (до 40% при допустимых 15-20%), затопление свалок промышленных предприятий и сброс хозяйственно-бытовых отходов с территорий несанкционированной застройки берегов водохранилища. По результатам опробования в 2010-2012 гг. воды водохранилища характеризуются гидрокарбонатно-натриевым составом с содержанием гидрокарбонатов до 104-154,2 мг/дм<sup>3</sup>, натрия - 1,5-13,2 мг/дм<sup>3</sup>, хлоридов до 16,3 мг/дм<sup>3</sup> и сульфатов – 56,4 мг/дм<sup>3</sup>. Величина pH варьирует в пределах 7,0-7,8 (таблица 2). Прогревание мелководий и накопление биогенных элементов приводит к бурному развитию водорослей, зарастанию водохранилища и активизации деятельности микроорганизмов в придонной части и илах мелководья, что ухудшает качество воды в водохранилище, подтверждаемое повышенными значениями величин химического потребления кислорода (40,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) и перманганатной окисляемости (17,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>).

Донные отложения водохранилища аккумулируют компоненты биогенного и абиогенного генезиса. По результатам наших исследований, численность КОЕ (колониеобразующих единиц микробиоты) в донных отложениях ВБ в 2011 году достигла высоких значений и составила 5000 КОЕ/г (таблица 3). Восходящие минерализованные воды глубоких водоносных горизонтов татарского отдела также несут с собой богатую микрофлору, на что указывают результаты определения микробной массы в отложениях серии Е (см.рисунок 4). Микробиота, привносимая поверхностными и

подземными водами в тело бетонных сооружений, вызывает развитие биокоррозии в бетонных конструкциях.

В период 2010-2012 гг. на Чебоксарской ГЭС сотрудниками кафедры Г и ИГ и автором было проведено три этапа специализированной съемки в сухой потерне, по результатам которой выделены основные виды коррозионных разрушений бетонов машинного зала и водосливной плотины: **образование трещин, капез, течь, высачивание, высолы, формирование сталактитов** (таблица 4).

Для выявления причин коррозионных процессов, а также выделения наиболее интенсивно разрушающихся зон бетонных сооружений в период исследований были отобраны пробы разрушенных конструктивных материалов, новообразований и натечных форм для определения химического состава приготовленных из них водных вытяжек (ВВ), а также проведены микробиологические исследования вышеуказанных образцов, выполненные на базе биолого-почвенного факультета СПбГУ. Проведенные эксперименты и исследования показали химическое разнообразие компонентного состава ВВ, минерализация которых в некоторых пробах достигает высоких значений  $3500 \text{ мг/дм}^3$  (секция-4/МЗ), что свидетельствует об интенсивности процесса разрушения бетонных сооружений ГЭС (таблица 5). Разрушение бетонов и цементных растворов происходит за счет растворения цементных минералов – силикатов и алюминатов кальция, что сопровождается выносом кальция и магния, наибольшие значения которых встречены в пробах разрушенного бетона (секция-2/МЗ) и материала, используемого для ремонтных работ (секция-8/МЗ). Во всех водных вытяжках отмечается присутствие кремниевой кислоты. Содержание органической компоненты, определяемой по величинам химического потребления кислорода (ХПК) и перманганатной окисляемости (ПО), отмечается во всех пробах, при этом наибольшее значение ХПК зафиксировано в водной вытяжке из разрушенного бетона (секция-6/МЗ). Стоит отметить, что в этой же секции фиксируется повышенная трещиноватость бетонов, а также подъем минерализованных вод из глубоких водоносных горизонтов серии Д. Еще ранее работами кафедры Г и ИГ было установлено, что трудноокисляемая органика в водных вытяжках обычно имеет биогенное происхождение за счет жизнедеятельности микроорганизмов, клетки которых и продукты их метаболизма на 60-

65 % состоят из микробного белка, а состав ферментов – 100 % белок. Величина биологического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>) характеризует деятельность только аэробных форм микроорганизмов, которые присутствуют во всех исследуемых пробах. Стоит отметить, что максимальное значение ХПК и БПК<sub>5</sub> коррелируется с наибольшим содержанием в водной вытяжке кремниевой кислоты, а также со степенью трещиноватости бетонных сооружений (количество трещин на погонный метр секции). Данная зависимость свидетельствует об участии органической компоненты биогенного генезиса в снижении прочности бетонов и, как следствие, формировании в них трещин.

Микологический анализ отобранных образцов выявил среди широкого разнообразия видов микромицетов преобладание видов *Cladosporium* и *Penicillium*, которые являются активными деструкторами конструкционных материалов. Численность микромицетов в отдельных пробах достигает  $1,25 \times 10^5$  КОЕ/г. Высокие показатели численности микромицетов в отобранных пробах соответствуют интенсивному разрушению строительных материалов согласно результатам химического анализа водных вытяжек (секция-8/МЗ, секция-1/МЗ). Бактериологический анализ образцов поврежденных материалов, показал присутствие гетеротрофных и железобактерий в изученных пробах, численность которых достигает  $6 \times 10^6$  КОЕ/г. Отмечается одновременно повышение численности бактерий и микромицетов. Результаты микробиологических исследований разрушенного бетона, а также натечных форм (сталактитов и высолов) подтверждают участие микроорганизмов в процессе деградации бетонных сооружений.

Катализатором микробной деятельности в пределах сухой потерны служит гидроизоляционный материал, созданный на основе переработки нефтепродуктов, который использовался до 2011 года на ГЭС. Он рассматривается как питательный и энергетический субстрат для микроорганизмов, на что указывает активность развития микромицетов – 4400 КОЕ/г в этом материале. Используемый на сегодняшний день двухкомпонентный раствор «Sika», также не может служить в качестве абсолютно биоустойчивого материала, так как в одном из компонентов наблюдалось развитие бактерий и микромицетов (50 КОЕ/г). Дополнительными факторами, способствующими развитию микробной деятельности, служат высокая влажность воздуха в сухой потерне, а также наличие оптимальной для развития микроорганизмов

температуры воздуха – 22-25<sup>0</sup>С.

Подъем уровня водохранилища до проектной отметки и затопление огромных территорий, в том числе населенных пунктов, сельскохозяйственных территорий, кладбищ и больших количеств свалок будет способствовать обогащению вод водохранилища компонентами биогенного и абиогенного генезиса, что приведет к увеличению численности и разнообразия микроорганизмов в водной среде и, соответственно, интенсификации жизнедеятельности микроорганизмов.

**3. Подъем уровня водохранилища до проектной отметки (+68,0 м) приведет к активизации инженерно-геологических процессов в береговой зоне и будет способствовать снижению устойчивости бетонных сооружений, связанной с растворением и выщелачиванием карбонатов в глинисто-карбонатной толще основания сооружений.**

Долина реки Волги в районе Чебоксарского гидроузла имеет ассиметричный профиль: высокий и крутой правобережный склон (а.о. 85-190 м), в разрезе которого преобладают карбонатизированные глины серии Е татарского отдела, местами перекрытые маломощными четвертичными отложениями, и пологий левый берег (а.о. 65-80 м), сложенный песками поймы и надпойменных террас Волги.

В ходе проектирования Чебоксарской ГЭС было выполнено прогнозирование времени стабилизации переработки берегов водохранилища, которое составляло 30 лет с момента его заполнения до промежуточной отметки +63,0 м. Однако, интенсивное развитие процессов в береговой зоне, в том числе оползневых смещений, указывает на нестабильность формирования береговой зоны водохранилища в течение 33 лет эксплуатации ГЭС.

В пределах Чувашской Республики протяженность размываемого правобережья составляет 12,3 км (при общей протяженности береговой линии вдоль водохранилища 35 км), величина отступления бровки варьирует в пределах 0,5-1 м/год. Процесс переработки правобережья осложняется развитием оползней. В пределах правобережной части водохранилища только в Чувашской Республике насчитывается 46 оползней с объемом оползающей массы более  $1 \cdot 10^6$  тонн. Для оползневых смещений рассматриваемого района характерно многоярусное строение, при этом количество ярусов определяется высотой склона (Золотарев Г.С., 1959). Смещение



верхних ярусов оползней зачастую связано с влиянием подземных вод и атмосферных осадков, нижних – абразионным воздействием вод водохранилища.

Интенсивность процессов переработки берегов вызвана водонеустойчивостью карбонатизированных глин татарского отдела к механическому и химическому воздействию вод водохранилища. Наличие в береговой зоне болотных отложений, повсеместные выходы подземных вод на правом склоне, а также сбросы многочисленных промышленных предприятий и отходы хозяйственно-бытового назначения формируют в приплотинной части водохранилища специфический состав вод, агрессивный по отношению к карбонатам. Известно, что карбонаты относятся к труднорастворимым соединениям в дистиллированной воде, однако их растворимость значительно увеличивается в присутствии органических и минеральных кислот. Исследования, выполненные на мергельных глинах при длительной их обработке подкисленными растворами, показали, что параметры физико-механических свойств этих пород заметно изменяются: возрастает показатель консистенции (породы переходят из твердого в полутвердое и даже тугопластичное), величина свободного набухания увеличивается в 2-3 раза, в среднем на 30-35% снижается прочность и модуль общей деформации.

Выполненные расчеты устойчивости правобережного склона (высотой 70 м и углом наклона  $40^{\circ}$ ) по VII схеме института ВНИМИ (наличие слабых контактов или прослоев в нижней части разреза) показали, что в условиях разупрочнения глин за счет их набухания при подъеме уровня водохранилища до проектной отметки, нельзя гарантировать устойчивость склона. При заполнении Чебоксарского водохранилища до проектной отметки площадь затопляемых земель увеличивается на 55 % по сравнению с отметкой +63,0 м (рисунок 7). Кроме того, поднятие уровня будет способствовать усилению абразионных процессов береговой зоны. Для прогноза развития процессов переработки берегов при НПУ 68,0 м ИЦЭ «Поволжья» были выполнены расчеты с использованием метода Е.Г. Качугина по возможной переработке берегов на 10-и 50-летний срок, согласно которым ширина полосы трансформации правого берега повысится на 5 и 10 м, а левого – на 10 и 30 м соответственно. Однако в указанном методе учитывается только механическое воздействие вод и не рассматривается влияние химического состава вод водохранилища,

изменение которого может привести к усилению агрессивных свойств по отношению к карбонатно-глинистым породам. Размыв пород береговой зоны и смещение оползневых масс в водохранилище повысит мутность воды, что ускорит процессы заиления, сопровождающиеся потерей полезного объема воды в водохранилище и снижением проектной мощности ГЭС.

Подъем уровня водохранилища до проектной отметки вызовет увеличение градиента напора и, соответственно, скорости фильтрации вод через трещиноватую карбонатно-глинистую и глинистую толщу основания ГЭС и тело бетонных сооружений, что ускорит процессы негативной трансформации физико-механических свойств вышеуказанных пород и приведет к дальнейшему развитию неравномерных деформаций основных сооружений ГЭС.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой решается актуальная научно-прикладная задача инженерно-геологического обоснования длительной устойчивости Чебоксарской ГЭС при условии подъема уровня водохранилища до проектной отметки +68,0 м.

1. Чебоксарская ГЭС функционирует в сложных инженерно-геологических условиях, что определяется структурно-тектоническим положением гидроузла: наличием региональных и локальных разломов, повсеместной трещиноватостью отложений, неравномерной карбонатизацией глин по площади и простиранию в основании бетонных сооружений, а также воздействием минерализованных вод глубоких водоносных горизонтов. Татарские глины, прослеживающиеся в основании основных сооружений, характеризуются изменчивостью физико-механических свойств в зависимости от степени их карбонатизации и воздействием вод водохранилища, их агрессивностью по отношению к минеральной составляющей пород. Компонентный состав вод водохранилища формируется под воздействием затопленных болот и заторфованных отложений, широкого распространения зоны мелководья, сбросов загрязненных стоков с береговой зоны, в том числе со стороны несанкционированной застройки берегов, что создает условия для активного развития микроорганизмов в донных отложениях. По результатам микробиологических исследований, в приплотинной части водохранилища в донных отложениях выявлена высокая численность

микроорганизмов, при этом общее микробное число достигло  $3,0 \cdot 10^7$  КОЕ/г, а численность микромицетов - 5000 КОЕ/г.

2. Развитие незатухающих осадок бетонных сооружений ГЭС происходит за счет негативных изменений показателей прочности и деформационных свойств глинисто-карбонатных пород под воздействием вод водохранилища, формирующихся в придонной части, где содержится высокое количество органических соединений, и для которой характерен активный биоценоз, в том числе *тионовые бактерии*, способные продуцировать серную кислоту. Неравномерность развития осадок вызывает формирование трещин различной длины и степени раскрытия в бетонах машинного зала и водосливной плотины.

3. Фильтрация вод через тело бетонных сооружений приводит к развитию коррозионных процессов. Экспериментальные исследования, выполненные в 2010-2012 гг по определению численности и видового разнообразия микроорганизмов, в сочетании с результатами химического анализа водных вытяжек в пробах разрушенного бетона и натечных форм указывают на активное участие микроорганизмов в деструкции конструкционных материалов. Основными источниками поступления микробиоты в тело сооружений являются поверхностные воды водохранилища, а также воды глубоких напорных водоносных горизонтов татарских отложений, что подтверждают результаты прямых (микробиологические исследований) и косвенных (определение микробной массы по методу Бредфорд) методов исследований. Поддержанию высокой численности и видового разнообразия микробиоты способствуют температурно-влажностные условия в теле сооружений, а также используемые гидроизоляционные материалы для ремонтных работ, являющиеся питательным и энергетическим субстратом для микроорганизмов в силу особенностей их состава.

4. В условиях непроектного уровня водохранилища наблюдается интенсивная переработка берегов, которая сопровождается оползневыми процессами, повсеместно развитыми в правобережной части. С поднятием уровня водохранилища до проектной отметки будут активизироваться абразионные процессы в береговой зоне водохранилища, оживление старых и возникновение новых оползней. Увеличение поступления песчано-глинистого материала в водохранилище приведет к росту мутности вод и осаждению дисперсного материала в приплотинной части

водохранилища, что будет способствовать его заилению с потерей полезного объема воды, необходимого для выработки проектной электроэнергии на ГЭС. Кроме того, затопление многочисленных свалок, кладбищ и сельскохозяйственных угодий приведет к увеличению микробной компоненты в водохранилище и к интенсификации коррозионных процессов в бетонных сооружениях ГЭС.

**Наиболее значимые работы по теме диссертации**

- 1. Дашко Р.Э. Инженерно-геологическая и микробиологическая оценка особенностей разрушения бетонных сооружений Чебоксарской ГЭС / Р.Э. Дашко, А.В. Шидловская, О.Ю. Александрова, Н.А. Перовщикова // Инженерные изыскания. Вып.2. М.:ПНИИС, 2012, с.15-19.**
- 2. Дашко Р.Э. Влияние некоторых геэкологических факторов на разрушение бетонных сооружений Чебоксарской ГЭС / Р.Э.Дашко, Н.А.Перовщикова, Д.Ю.Власов // Записки Горного Института. Т.200.СПб, НМСУ «Горный», 2013, с. 185-192**
- 3. Дашко Р.Э. Инженерно-геологические и геэкологические аспекты обоснования длительной устойчивости бетонных сооружений Чебоксарской ГЭС / Р.Э.Дашко, Н.А.Перовщикова, Д.Ю.Власов // Записки Горного Института. Т.203.СПб, НМСУ «Горный», 2013, с.160-165**
4. Дашко Р.Э. Влияние экологического состояния водохранилища Чебоксарской ГЭС на устойчивость бетонных сооружений / Р.Э.Дашко, Н.А.Перовщикова, Д.Ю.Власов // Материалы международной научно-практической конференции «Науки о земле: устойчивое развитие территорий - теория и практика». ЧувГУ, Чебоксары, 2012, с.53-68
5. Дашко Р.Э., Перовщикова Н.А. Геэкологические аспекты повышения безопасности эксплуатации Чебоксарской ГЭС / Р.Э.Дашко, Н.А.Перовщикова, Д.Ю.Власов // Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии «Сергеевские чтения XV». М.: РУДН, 2013, с.239-244
6. Дашко Р.Э. Формирование биоагрессивности подземной среды и ее влияние на конструкционные материалы / Р.Э. Дашко, **Н.А. Перовщикова** // Грунтоведение. Инженерная геология. Инженерные изыскания, №1, 2012, с. 35-39.

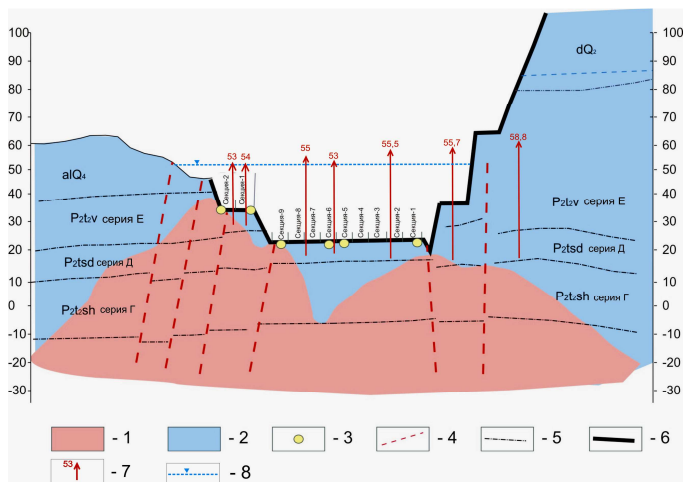


Рисунок 1 - Гидрогеохимический профиль створа Чебоксарской ГЭС (1975 г) с дополненными данными по результатам химического анализа пьезометров 2012 г.  
**Условные обозначения:** 1-2: концентрация  $SO_4^{2-}$ : более 500 мг/л (1) и менее 500 мг/л (2); 3- местоположение пьезометров с высоким значением минерализации (> 1 г/л) и концентрации ионов  $Cl^-$  и  $SO_4^{2-}$  (2012 г.); 4 - тектоническое нарушение (1975 г); 5 – стратиграфическая граница; 6 – контур основания здания ГЭС; 7-пьезометрический уровень (до начала строительства); 8-уровень реки Волги до создания ГЭС

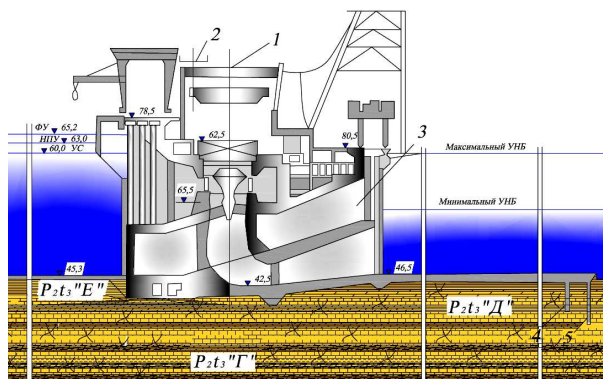


Рисунок 2 – Схематический поперечный разрез МЗ и основания Чебоксарской ГЭС с данными основных физико-механических свойств глин серии Д

| Показатель                   | Глины серии Д                  |
|------------------------------|--------------------------------|
| W, %                         | 21,1(40)<br><b>30,4(171)</b>   |
| $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup> | 1,74(40)<br><b>1,44(145)</b>   |
| $I_{д.ед}$                   | -0,11(28)<br><b>0,30(68)</b>   |
| c, МПа                       | 0,085(100)<br><b>0,028(20)</b> |
| tg $\varphi$                 | 0,55(100)<br><b>0,21(20)</b>   |
| E, МПа                       | 30(100)<br><b>24 (60)</b>      |

**Условные обозначения:** 1-а/м дорога, 2-ж/д дорога, 3-водоброс, 4-железобетонная стенка-локализатор размыва, 5-ряд буронабивных свай

**Примечание:** в числителе указаны показатели свойств, определяемые в период изысканий, в знаменателе-при вскрытии котлована ГЭС

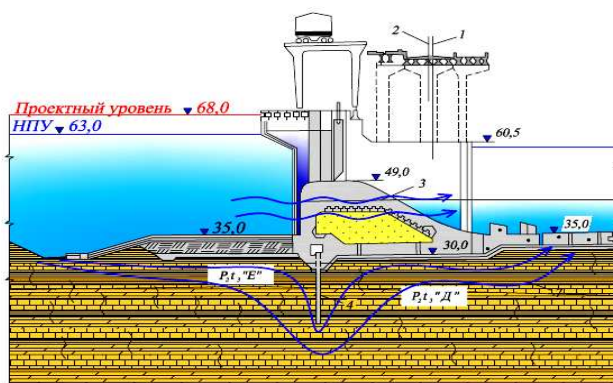


Рисунок 3 – Поперечный разрез основания ВСП Чебоксарской ГЭС с данными физико-механических свойств серии Е

**Условные обозначения:** 1-ось агрегатов ГЭС, 2-ось а/м дороги, 3-порог водослива строительного котлована, 4-разгрузочные скважины, линиями указано направление фильтрации вод водохранилища

| Показатель                   | Глины серии Е |
|------------------------------|---------------|
| W, %                         | 20,4(362)     |
| $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup> | 1,73(362)     |
| $I_{д.ед}$                   | -0,17(356)    |
| c, МПа                       | 0,03 (100)    |
| tg $\varphi$                 | 0,3 (100)     |
| E, МПа                       | 31 (100)      |

Таблица 1 - Результаты определения гранулометрического состава различными методами и числа пластичности татарских глинистых отложений серии Е

| пробы | Гранулометрический состав по фракциям, % |                           |                       | $I_p$ , д.ед |
|-------|--|---------------------------|-----------------------|--------------|
|       | Песчаная (0,25-0,05 мм)                  | Пылеватая (0,05-0,002 мм) | Глинистая (<0,002 мм) |              |
| 1*    | 12,0                                     | 88,0                      | -                     | 25           |
| 1-п   | 39,98                                    | 55,6                      | 4,60                  | 22,0         |
| 1-с   | 39,66                                    | 53,6                      | 6,72                  |              |
| 1-с/д | 15,6                                     | 78,2                      | 6,21                  |              |
| 2-п   | 16,03                                    | 79,1                      | 4,90                  | 31,5         |
| 2-с   | 2,5                                      | 91,0                      | 6,46                  |              |
| 2-с/д | 19,49                                    | 73,6                      | 6,88                  | 36,2         |
| 3-п   | 14,49                                    | 81,2                      | 4,27                  |              |
| 3-с   | 7,59                                     | 86,5                      | 5,91                  |              |
| 3-с/д | 13,21                                    | 79,4                      | 7,35                  |              |

1\* - ареометрический метод. Метод лазерной дифракции («Mastersizer»):  
 пробы 1-с, 2-с, 3- в суспензии;  
 пробы 1-п, 2-п, 3-п – в пасте;  
 пробы 1-с/д, 2-с/д, 3-с/д – в суспензии с использованием диспергатора.

Классификация пород согласно гранулометрическому составу:

■ - супесь пылеватая, ■ - алевролит  
 ■ - глина

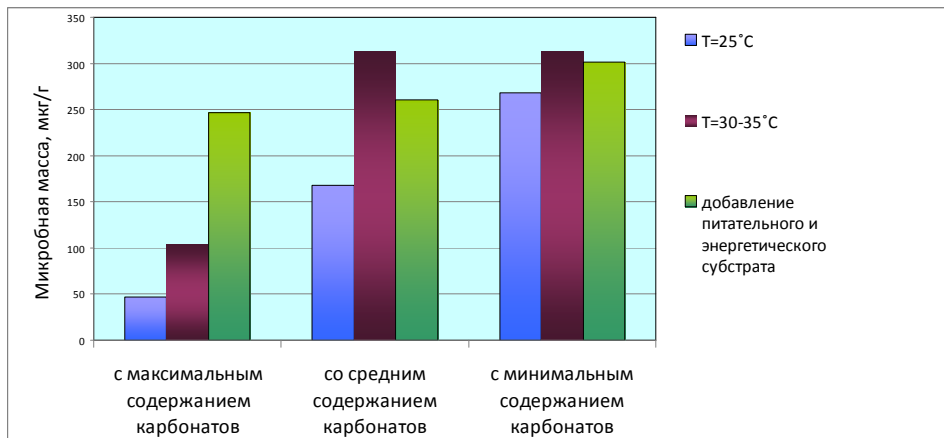


Рисунок 4- Определеение микробной массы в татарских глинах серии E при различных условиях проведения опыта с использованием метода Бредфорд

Таблица 2 - Результаты микробиологического анализа донных отложений, отобранных со стороны верхнего и нижнего бьефа

| Место отбора проб | Дата отбора пробы | Численность микромицетов КОЕ/г | Общее микробное число, КОЕ/г |
|-------------------|-------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Верхний бьеф      | июль 2010г        | 1400                           | $3,8 \cdot 10^8$             |
|                   | июль 2011г        | 6000                           | $3,0 \cdot 10^7$             |
| Нижний бьеф       | июль 2010г        | 1200                           | $3,6 \cdot 10^6$             |
|                   | июль 2011г        | 1000                           | $1,4 \cdot 10^8$             |

Таблица 3 – Результаты химического и микробиологического анализа вод водохранилища, выполненные в период 2010-2012 гг

| Показатель  |                                 | Год исследования |       |                  |
|---|---------------------------------|------------------|-------|------------------|
|   |                                 | 2010             | 2011  | 2012             |
| Катионы мг/дм <sup>3</sup>  | Na <sup>+</sup>                 | 2,2              | 13,2  | 1,5              |
|   | K <sup>+</sup>                  | 0,12             | 1,8   | <1,0             |
|   | Ca <sup>+</sup>                 | 49,4             | 44,0  | 27,0             |
|   | Mg <sup>+</sup>                 | 8,9              | 9,5   | 8,0              |
|   | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>    | 0,44             | 0,52  | 0,33             |
|   | Fe <sub>общ</sub>               | 0,03             | <0,05 | -                |
|   | Al <sup>3+</sup>                | 0,78             | 0,73  | 0,11             |
| Анионы мг/дм <sup>3</sup>   | Cl <sup>-</sup>                 | 16,3             | 10,6  | <10,0            |
|   | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>   | 154,2            | 123,0 | 104              |
|   | CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>   | <1,0             | <1,0  | <6,0             |
|   | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>   | 9,1              | 56,4  | 10               |
|   | HSiO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> | 7,2              | 1,5   | 1,9              |
|   | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>    | 0,5              | 2,1   | 1,3              |
| Температура, °C   |                                 | 20,9             | 21,2  | 20,7             |
| Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>                                   |                                 | 196,2            | 222,0 | 123,0            |
| Окисляемость KMnO <sub>4</sub> , мгO <sub>2</sub> / дм <sup>3</sup> |                                 | 9,4              | 8,0   | 17,0             |
| ХПК, мгO <sub>2</sub> / дм <sup>3</sup>                             |                                 | 22,8             | 12,4  | 40,0             |
| БПК <sub>5</sub> , мгO <sub>2</sub> / дм <sup>3</sup>               |                                 | 3,1              | 3,1   | 9,2              |
| Жесткость, моль/ дм <sup>3</sup>                                    |                                 | -                | 3,0   | 2,0              |
| pH  |                                 | 7,3              | 7,1   | 7,8              |
| Eh, mV  |                                 | -                | -54   | -69              |
| Общее микробное число, КОЕ/мл                                       |                                 | -                | -     | $1,6 \cdot 10^5$ |
| Олиготрофы, КОЕ/мл  |                                 | -                | -     | $6,7 \cdot 10^6$ |
| Актиномицеты, КОЕ/мл  |                                 | -                | -     | $2,0 \cdot 10^5$ |
| Тионовые бактерии, КОЕ/мл   |                                 | -                | -     | $4,7 \cdot 10^5$ |

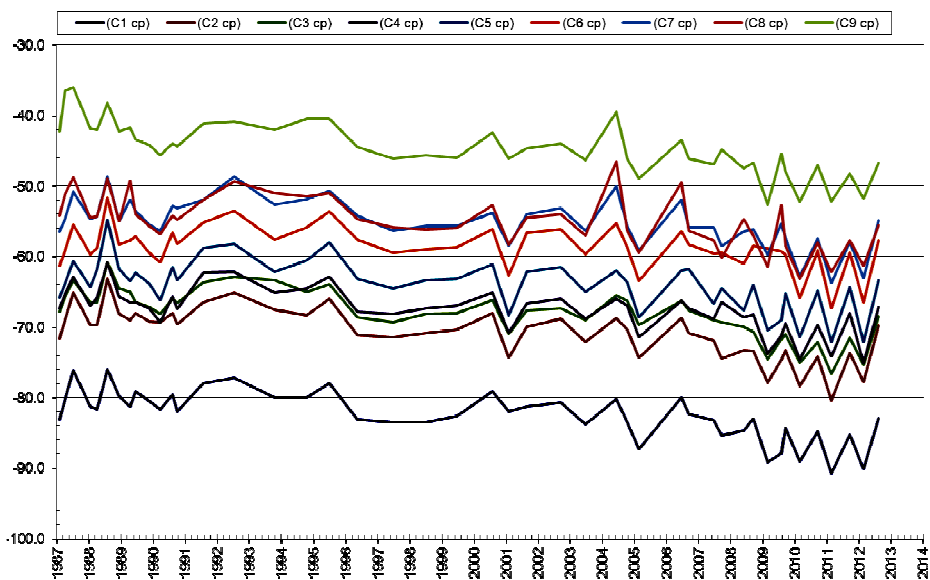


Рисунок 5 - Графики развития осадок секций здания машинного зала в период 1987-2012 гг.

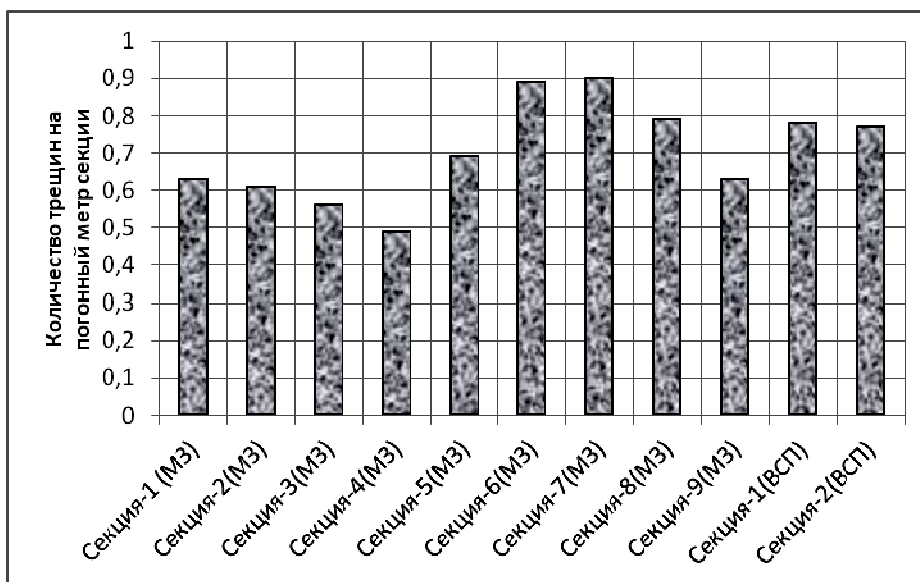


Рисунок 6 – Гистограмма развития трещиноватости в бетонных сооружения Чебоксарской ГЭС (по данным диагностической службы)

Таблица 4 - Основные виды разрушения бетонных конструкций по результатам специализированных исследований (2010-2012 гг)

|  |   |   |
|--|---|---|
|  |   |   |
| <p>Формирование трещин в теле бетонных сооружений ГЭС</p>                        | <p>Высачивание вод в местах деформационных швов</p> | <p>Образование высолов в местах интенсивного разрушения бетонов</p> |
|  |   |   |
| <p>Формирование сталактитов в зонах дезинтеграции конструкционных материалов</p> |   |   |

Таблица 5 –Результаты химического анализа состава водных вытяжек из разрушенных материалов и натечных форм и их микологическое исследование (2012 г.)

| Показатель   | Здание МЗ           |            |            |            |            |            |                     |              |                     | Здание ВСП |            |
|--|---------------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------------|--------------|---------------------|------------|------------|
|  | С-1<br>«С»          | С-2<br>«Б» | С-3<br>«С» | С-4<br>«Б» | С-5<br>«С» | С-6<br>«Б» | С-7<br>«С»          | С-8<br>«МРр» | С-9<br>«Б»          | С-1<br>«В» | С-2<br>«Б» |
| рН   | 5.9                 | 7.4        | 7.4        | 7.0        | 7.0        | 8,6        | 8,0                 | 11,2         | 11,1                | 10,8       | 10,7       |
| Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup>                    | 983                 | 2830       | 2274       | 3498       | 1978       | 3283       | 1072                | 2850         | 1911                | 1452       | 1625       |
| Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>                | 68                  | 532        | 44         | 185        | 85         | 34         | 54                  | 682          | 487                 | 385        | 354        |
| Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>                | 14                  | 66         | 9,8        | 40         | 9,2        | 3,9        | 3,6                 | 36           | 39                  | 58         | 41         |
| H <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup> | 0,59                | 1,1        | 6,4        | 0,56       | 20         | 22         | 2,2                 | 3,9          | 1,1                 | 2,1        | 2,4        |
| Al <sup>3+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>                | 0,81                | 1,5        | 0,24       | 0,044      | 0,15       | 0,37       | 0,70                | 0,11         | 0,17                | 0,59       | 0,84       |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>    | 2,7                 | 1,0        | 5,8        | 6,7        | 2,9        | 31         | 3,0                 | 5,4          | 5,2                 | 1,1        | 4,2        |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>    | 47                  | 4,2        | 23         | 72         | <0,5       | 1,3        | 3,8                 | 1,0          | 2,6                 | <0,5       | <0,5       |
| ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>               | 102                 | 223        | 517        | 85         | 569        | 793        | 70                  | 102          | 154                 | 28         | 63         |
| БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup> | 34                  | 50         | 172        | 32         | 186        | 480        | 32                  | 20           | 28                  | 6,4        | 19         |
| ПО, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>                | 73                  | 87         | 391        | 55         | 258        | 708        | 49                  | 38           | 38                  | 21         | 55         |
| ОН <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>                 | <5                  | <5         | <5         | <5         | <5         | <5         | <5                  | 374          | 272                 | 94         | 26         |
| Результаты микробиологического исследования          |                     |            |            |            |            |            |                     |              |                     |            |            |
| Количество микромицетов, КОЕ/г                       | 12500*              | н/опр      | 500*       | н/опр      | 500*       | н/опр      | 450                 | 12000*       | 9500                | 11500*     | н/опр      |
| Численность бактерий, КОЕ/г                          |                     |            |            |            |            |            |                     |              |                     |            |            |
| Гетеротрофные бактерии                               | 2,8*10 <sup>5</sup> |            |            |            |            |            | 9,0*10 <sup>5</sup> |              | 4,0*10 <sup>4</sup> |            |            |
| Железобактерии                                       | 1,6*10 <sup>5</sup> | н/опр      | н/опр      | н/опр      | н/опр      | н/опр      | 6,0*10 <sup>6</sup> | н/опр        | 0                   | н/опр      | н/опр      |
| Тионовые бактерии                                    | 0                   |            |            |            |            |            | 0                   |              | 5,5*10 <sup>5</sup> |            |            |

Примечание:  
 Основа для приготовления ВВ «С»-сталактиты, «Б»- разрушенный бетон, «МРр»- материал, используемый для ремонтных работ, «В»-высолы  
 \*-встречены обильные бактериальные колонии



Рисунок 7 - Схема подтопления и затопления территорий республик Чувашия, Марий Эл и Нижегородской области при поднятии уровня Чебоксарского водохранилища до проектной отметки 68,0 м

**Условные обозначения:** 1 – границы водохранилища при отметке 63,0 м; 2 – границы водохранилища при отметке 68,0м; 3 – границы зон подтопления при отметке 63,0 м; 4 – границы зон подтопления при отметке 68,0 м; 5 -населенные пункты в пределах Чебоксарского водохранилища; 6- защитные сооружения; 7 – административные границы