

**ЗАХАРОВ Сергей Дмитриевич**

**ИНФОРМАТИВНОСТЬ БИОТИЧЕСКИХ И АБИОТИЧЕСКИХ  
ПОКАЗАТЕЛЕЙ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ВОДОХРАНИЛИЩ**

**Специальность:  
03.00.16 - экология**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата биологических наук**

Казань - 2006

Работа выполнена в Управлении по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Республики Татарстан и кафедре прикладной экологии Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова – Ленина» кандидат биологических наук,

Научный руководитель: кандидат биологических наук, доцент  
Степанова Надежда Юльевна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор  
Яковлев Валерий Анатольевич

кандидат биологических наук, профессор  
Попов Анатолий Андреевич

Ведущее учреждение: Государственное образовательное  
учреждение высшего профессионального  
образования Ульяновский  
государственный педагогический  
университет им. И.Н. Ульянова


Защита диссертации состоится "19" декабря 2006 года в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного Совета Д 212.081.19 при ГОУ ВПО «Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова – Ленина», 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова – Ленина».

Отзывы на автореферат просим присылать по адресу:  
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, КГУ, совет Д 212.081.19, отдел аспирантуры, ученому секретарю Г.А. Евтюгину.

Автореферат разослан " 17 " ноября 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного Совета,  
доктор химических наук, профессор



Г.А. Евтюгин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Водохранилища представляют собой особый тип природно-техногенных водных экосистем, функционирующих в условиях интенсивного регулирования человеком. В результате чего они отличаются динамичностью внутриводоемных процессов и меньшей устойчивостью по отношению к антропогенному влиянию.

Мониторинг водохранилищ проводится по единой программе в соответствии с методическими руководствами Росгидромета, ответственного за мониторинг состояния окружающей среды и ее загрязнения в стране, и других ведомств (Руководство по гидробиологическому мониторингу..., 1992; Организация и проведение..., 1992; Экологический мониторинг..., 1998, 2000). Последующий анализ данных для целей экологического контроля водохранилищ решает следующие взаимно дополняющие, но не заменяющие друг друга задачи: 1) индикация экологического состояния природных объектов на шкале "норма-патология"; 2) диагностика, т.е. выявление и ранжирование причин, нарушающих экологическое благополучие; 3) нормирование воздействий на экосистемы; 4) прогноз экологического состояния систем на основе предполагаемых значений потенциальных абиотических воздействий; 5) управление качеством нарушенных экосистем (Булгаков и др., 2003).

Для индикации экологического состояния природных объектов, в т.ч. водохранилищ, используют два основных подхода: химический и биологический. В первом применяют такие расчетные показатели как индекс загрязнения воды (ИЗВ, УКИЗВ), которые базируются на применении предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ (ПДК). Второй подход учитывает состояние биотической составляющей экосистемы. Для реализации биотического подхода необходим набор методов получения оценок состояния сообществ, с помощью которых можно было бы отличить экологически благополучную экосистему от экосистемы, в которой произошли существенные изменения, вызванные внешними (в первую очередь — антропогенными) воздействиями (Булгаков и др., 2003).

Общепринятый подход к оценке экологического состояния природных объектов в мировой практике экологического контроля отсутствует. Существующие методы различны для различающихся биотопов и программ мониторинга (Воробейчик и др., 1994; Булгаков, 2002; Семенченко, 2004, 2006). Наиболее употребительны способы индикации, основанные на экспертных оценках. Классификатор качества пресных вод, используемый в системе экологического мониторинга Росгидромета, оперирует балльными индексами (индекс сапробности, биотический, олигохетный индексы и др.), которые в свою очередь являются экспертными оценками экологического качества вод для отдельных групп организмов.

---

Соруководителем по вопросам математического моделирования является кандидат физико-математических наук, доктор биологических наук, профессор Савельев А.А.

При всем различии перечисленных индексов их объединяет общий принцип: в основе каждого из них лежит анализ распределения организмов по градиенту загрязнения (в первую очередь, по градиенту органических веществ в воде). При этом какие-либо допустимые пределы для измеряемых переменных не устанавливаются, но вместо этого вводятся экспертные оценки в баллах, значениях сапробности, номера классов качества вод. Естественно, что при практическом использовании такого подхода возникают разнообразные недоразумения, многократно обсуждавшиеся в литературе. В частности нередки случаи, когда оценки, полученные по разным биотическим идентификаторам, не совпадают и приходится создавать методы расчета т.н. интегральных оценок, что порождает “индексы загрязнения”, число которых растет от года к году.

Упомянутые выше показатели объединяет и их общий недостаток: при их построении игнорируются биотические отношения между популяциями в реальных сообществах, такие как конкуренция, мутуализм и др. На основе представлений, развиваемых В.А. Абакумовым (1991, 1992) предложены градации состояния водных экосистем: фоновое состояние, состояние антропогенного экологического напряжения, состояние антропогенного экологического регресса и состояние антропогенного метаболического регресса. Этот подход, несомненно, более “экологичен”, и поэтому представляется более обоснованным, нежели система сапробности или разнообразные биотические индексы, баллы и т.п. (Булгаков и др., 2003).

Другая группа методов должна обеспечить выявление тех физико-химических характеристик экосистемы, которые ответственны за изменение состояния сообщества и его выход за установленные границы стабильного существования. Это должны быть математические методы анализа, позволяющие выделить в многомерном пространстве экологических факторов область экологического благополучия. Значительный интерес представляет также данные гидрологического мониторинга, о транспирации и сумме выпадающих осадков, которые могут послужить основой для создания воднобалансовых моделей.

Таким образом, совершенствование и поиск новых обобщенных показателей, достоверно характеризующих качество среды обитания, остается важнейшей задачей на пути повышения информативности данных мониторинга.

**Цель** данной работы - анализ информативности биотических и абиотических показателей в системе мониторинга водохранилищ на примере крупнейшего в Волжском каскаде Куйбышевского водохранилища и создание модели водного баланса бассейна крупного притока (р. Меша) для оценки его воздействия на водохранилище.

#### **Задачи исследования:**

1. Выявить особенности формирования ионного состава атмосферных осадков в бассейне Куйбышевского водохранилища, найти подход и оценить антропогенную составляющую в общем уровне загрязнения осадков; оценить

вклад атмосферных осадков в формирование качества поверхностных вод Куйбышевского водохранилища.

2. Оценить вклад приоритетных загрязняющих веществ в формирование величины интегрального показателя ИЗВ и информативность последнего для характеристики экологического состояния водохранилища.

3. На основе анализа многолетних данных об изменчивости биотических и абиотических показателей качества вод с использованием методов математической статистики выявить характер отклика показателей биотических сообществ (фито-, зоопланктон, бентос) на уровень химического загрязнения воды водохранилища и причинно-следственные связи между ними.

4. Путем экспериментальной апробации обосновать выбор обобщенного показателя самоочищающей способности водной экосистемы в условиях различной антропогенной нагрузки для внедрения в систему мониторинга водохранилищ.

5. Построить модель водного баланса бассейна р. Меши, впадающей в Куйбышевское водохранилище, для оценки воздействия притоков с различным гидрологическим режимом на водохранилище.

Данная работа выполнена в рамках госбюджетной темы "Развитие теоретических и прикладных основ экологического мониторинга", ГР № 01.98.0006937 код ГСНТИ 87.43.21.

**Научная новизна.** На основе результатов многолетнего исследования состава региональных атмосферных осадков оценен антропогенный вклад хлорид- (0-63 %) и сульфат-ионов (93-98 %) в ионный состав атмосферных осадков, выпадающих в акватории Куйбышевского водохранилища. Выявлено наличие устойчивого тренда повышения содержания оксидов азота в атмосферном воздухе и нитрат-ионов в составе атмосферных осадков, согласующееся с отмеченной общей тенденцией к росту содержания нитрат- и нитрит-ионов в воде водохранилища.

На основе анализа результатов многолетних данных о качестве воды Куйбышевского водохранилища по гидрохимическим показателям выявлена недостаточная информативность интегрального показателя ИЗВ (и УКИЗВ), базирующегося на существующей системе санитарно-гигиенического нормирования качества поверхностных вод, не учитывающего региональных геохимических особенностей и не связанного с откликом биотической составляющей. Показана информативность для характеристики экологического состояния водохранилища интегрального показателя - БПК<sub>5</sub>, адекватно отражающего процессы деструкции органического вещества в воде и вносящего вклад в величину численности фитопланктона, что доказывается соответствующими уравнениями регрессии.

Показано отсутствие информационной самодостаточности различных принятых в системе мониторинга и использованных в работе биотических индексов в силу противоречивости интерпретации результатов на их основе. По отклику фито- и зоопланктонного сообществ экологическое состояние Куйбышевского водохранилища характеризуется усилением эвтрофирования

с элементами экологического регресса (по Абакумову). Последнее согласуется с найденной зависимостью структурных показателей фито- и зоопланктона от содержания биогенных элементов в воде водохранилища, традиционно не используемых при расчете показателя ИЗВ. В отличие от планктонных организмов для структурных показателей бентоса выявлен и количественно описан достоверный отклик на присутствие в воде приоритетных токсичных компонентов, учитываемых в расчете величины ИЗВ (медь, цинк, железо, нефтепродукты, фенолы, СПАВы).

На основе полученных в работе экспериментальных данных показана более низкая способность воды Куйбышевского водохранилища к самоочищению в сравнении с характерной для некоторых его крупных притоков.

С использованием современных ГИС технологий создана математическая модель водного баланса бассейна р. Меши, впадающей в Куйбышевское водохранилище, которая достаточно хорошо согласуется с исходными гидрологическими данными, данными о транспирации и сумме выпадающих осадков. Созданная модель пригодна для оценки водного баланса других притоков в отсутствие гидрологического поста в их акватории.

**Практическая значимость.** Полученные в работе данные могут быть использованы при разработке программ мониторинговых исследований водохранилищ и для оценки воздействия притоков на водохранилище.

Индекс биохимического самоочищения Куйбышевского водохранилища и его крупных притоков внедрен в практику мониторинга гидрометеослужбы РТ.

Созданная модель может быть тиражирована для других притоков Куйбышевского водохранилища в отсутствие гидрологического поста в их акватории.

Отдельные разделы диссертационной работы используются в учебном процессе Казанского государственного университета.

**На защиту выносятся следующие положения:**

- Особенности формирования, характеристика трендов ионного состава атмосферных осадков в бассейне Куйбышевского водохранилища, предложенный подход и оценка вклада антропогенной составляющей в концентрацию основных ионов в атмосферных осадках.

- Данные о согласованности увеличения во времени доли оксидов азота в атмосферном воздухе и нитрат-ионов в атмосферных осадках и общей тенденции к росту содержания нитрат- и нитрит-ионов в воде Куйбышевского водохранилища.

- Выявленное усиление эвтрофирования воды Куйбышевского водохранилища с элементами экологического регресса (по Абакумову). Определенные математическими методами причинно-следственные связи и анализ отклика структурных показателей гидробионтов на содержание биогенных и приоритетных загрязняющих веществ в воде водохранилища.

- Оценка информативности различных принятых в системе мониторинга биотических индексов и обобщенных показателей загрязнения воды.

- Воднобалансовая модель бассейна притока (р. Меши), пригодная для оценки водного баланса других притоков в отсутствие гидрологического поста в их акватории.

**Личный вклад автора.** Сбор, формализация, обобщение данных многолетнего мониторинга Куйбышевского водохранилища и его притоков, создание баз данных, руководство выполнением экспериментов, статистическая обработка и обобщение полученных результатов, формулирование выводов на их основе проведены лично автором. Соавтором работы являются научный руководитель к.б.н., доц. Степанова Н.Ю., соруководитель к.ф.-м.н., д.б.н. проф. Савельев А.А., сотрудники гидрометеослужбы РТ, КГУ и ФГНУ ГосНИОРХ (Жданова Г.Н., Вертлиб М.Г., Аникина Е.Ю., Белякова Е.В., Шарифуллин А.Н., Мозжерин В.И., Латыпова В.З., Яковлева О.Г., Минакова Е.А., Кондратьева Т.А., Говоркова Л.К.), принявшие участие в обсуждении результатов, экспедиционных выездах, в выполнении ряда экспериментов, которым автор приносит свою благодарность.

**Публикации.** Основные результаты работы изложены в 11 работах, в т.ч. в 3 монографиях и 2 статьях, одна из которых опубликована в журнале, рекомендованном ВАК.

**Апробация работы.** Результаты исследований докладывались на Всероссийской научной конференции «Климат, мониторинг окружающей среды, гидрометеорологическое прогнозирование и обслуживание» (Казань, 2000), Научной конференции по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды в государствах – участниках СНГ (С-Петербург, 2002), VI Всероссийском гидрологическом съезде (С-Петербург, 2004), Конгрессе международного научно-промышленного форума Великие реки 1999-2004 гг. (С-Петербург, 2005), Международной конференции «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем» (С-Петербург, 2006).

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа изложена на .....страницах машинописного текста, включает ..... рисунков, .... таблиц. Состоит из введения, шести глав, выводов, списка использованных библиографических источников, включающего ..... ссылок на отечественные и зарубежные работы.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **ВВЕДЕНИИ** сформулированы актуальность и цель диссертационной работы, поставлены задачи исследования, изложены положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость работы.

### **ГЛАВА 1 ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ВОД И МОНИТОРИНГ ВОДОХРАНИЛИЩ (Обзор литературы)**

Обзор литературы посвящен характеристике экологических особенностей водохранилищ, их влиянию на окружающую среду, описаны особенности формирования качества поверхностных вод, их

самоочищающей способности. Приводится описание системы экологического мониторинга поверхностных вод, в том числе современных подходов в оценке экологического статуса водоемов по результатам биологического мониторинга.

## **ГЛАВА 2 ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В данной главе дана характеристика объекта исследования, приводятся виды хозяйственной деятельности в бассейне Куйбышевского водохранилища, гидрологический режим, приводятся гидрохимическая и гидробиологическая оценка качества воды, приводятся методы отбора проб, методики химического и биологического анализа. Исследование построено на анализе данных многолетнего мониторинга атмосферных осадков, гидрологического, гидрохимического и гидробиологического мониторинга Куйбышевского водохранилища и собственных исследований.

Использованы стандартные способы статистической обработки результатов. Оценку значимости коэффициентов корреляции регрессионного анализа проводили по t-критерию Стьюдента ( $p < 0,05$ ) и по F-критерию Фишера.

## **ГЛАВА 3 ДИНАМИКА ИОННОГО СОСТАВА И КИСЛОТНЫЕ СВОЙСТВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В БАСЕЙНЕ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

Атмосферные осадки являются практически единственным источником поступления влаги на сушу и обуславливают формирование водного баланса водоема в целом и отдельных его составляющих. Поэтому исследование химического состава атмосферных осадков является одной из важных задач мониторинга окружающей природной среды.

Исследована динамика химического состава атмосферных осадков по основным ионам:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Анализируя динамику среднегодовых концентраций ионов в атмосферных осадках за рассматриваемый период, следует отметить, что для большинства ионов характерны незначительные изменения концентраций, проявляющиеся в виде колебаний возле некоторого относительно постоянного уровня. К таким ионам относятся анионы  $\text{HCO}_3^-$ , а также катионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Для ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$  отмечается устойчивая тенденция к уменьшению их среднегодовых концентраций в осадках, обусловленная, по-видимому, уменьшением антропогенной составляющей. Оценен антропогенный вклад хлорид- (0-63 %) и сульфат-ионов (93-98 %) в ионный состав атмосферных осадков, выпадающих в акватории Куйбышевского водохранилища. К третьей группе ионов относятся катионы  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_3^-$ , концентрация которых в осадках увеличиваются год от года. Предшественниками  $\text{NO}_3^-$  в осадках являются оксиды азота, выбрасываемые в атмосферу автотранспортом, а также образующиеся из атмосферного азота при высокотемпературных процессах. Внедрение эффективных методов улавливания оксидов азота из газо-воздушных смесей все еще остается не вполне решенной задачей. С этим, по-видимому, и связан тот факт, что, несмотря на внедрение



природоохранных мероприятий, содержание оксидов азота в воздухе и ионов  $\text{NO}_3^-$  нитрат в осадках возрастает.

## ГЛАВА 4 ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ПРЕДЕЛАХ РТ

### Оценка качества воды по гидрохимическим показателям

В соответствии с программой гидромониторинга в воде Куйбышевского водохранилища в пределах РТ гидрохимический состав воды исследовали на пунктах наблюдения Зеленодольск, Казань, Чистополь и Тетюши в период 1994-2004 гг.

Из числа исследованных показателей можно выделить наиболее динамичные – Fe, Zn, Cu,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  и нефтепродукты, содержание которых значительно изменялось в отдельные годы, в отличие от относительно стабильных показателей -  $\text{O}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$ , фенолы и СПАВ.

Для отдельных компонентов (ионов Fe, Zn, Cu) и для интегрального показателя загрязнения (ИЗВ) характерен минимум значений их концентраций, приходящийся на 1996-1998 гг., на графиках (рис. 1) это временное снижение выглядит в виде седловиной впадины.

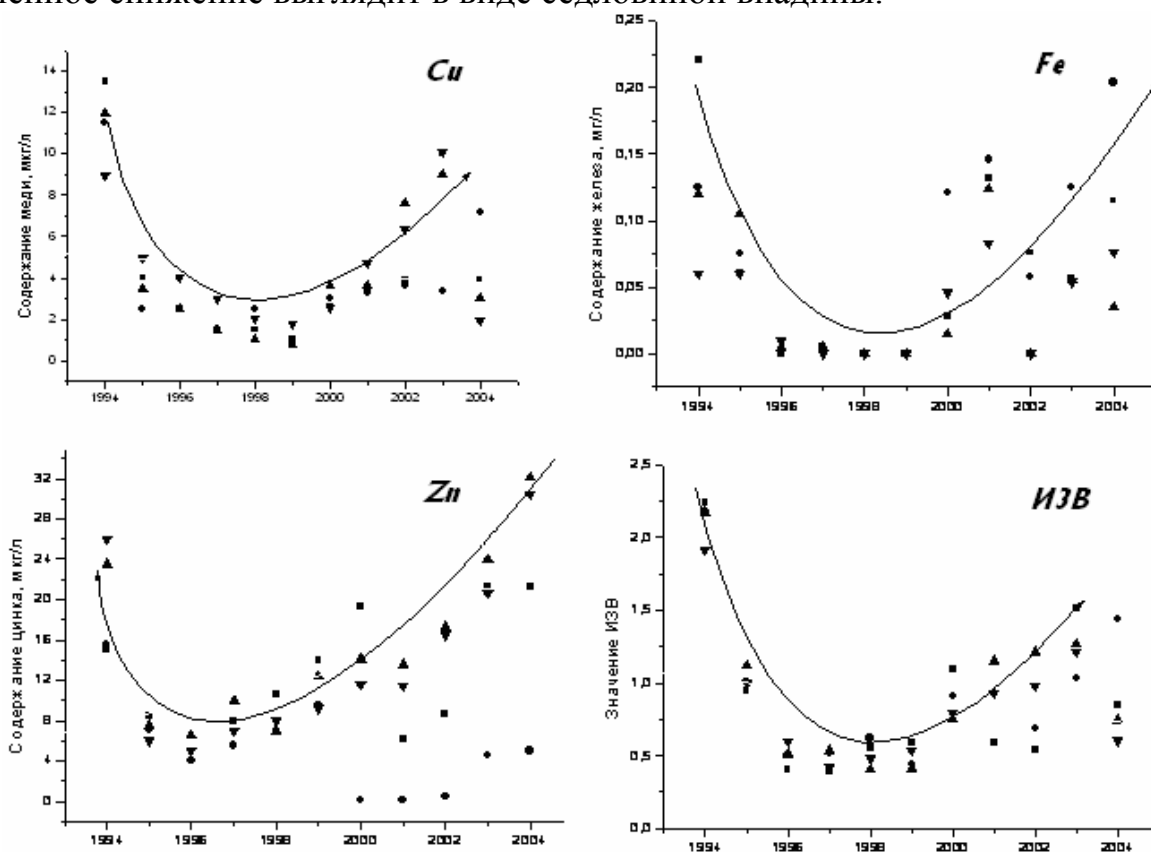


Рис. 1. Изменение содержания железа, меди, цинка и интегрального показателя ИЗВ в воде Куйбышевского водохранилища в пределах РТ во времени

Для следующей группы показателей – БПК<sub>5</sub>,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ , нефтепродукты – характерно достоверное увеличение либо уменьшение содержания в воде водохранилища на всех станциях в пределах вод РТ. Из

указанной группы показателей отмечен рост во времени содержания азота  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NO}_2^-$ , что согласуется с тенденцией увеличения суммарной концентрации соединений азота в атмосферных осадках на территории РТ, как было показано нами в Главе 3. В то же время для легкоокисляемых форм органических соединений и в меньшей степени для нефтепродуктов и  $\text{Cr}^{6+}$  имеется тенденция к снижению их содержания в воде водохранилища за период исследования.

### **Характеристика экологического состояния по показателям фитопланктонного сообщества**

Характеризуя состав фитопланктона в пунктах наблюдения сети гидрометеослужбы РТ за исследуемый период, можно отметить, что альгофлора состоит из диатомовых, сине-зеленых, зеленых, пиррофитовых, евгленовых и желто-зеленых водорослей. Численность фитопланктона на разных станциях довольно сильно различалась и колебалась в диапазоне 0,46-54,29 млн. кл/л. В целом диапазон количественных характеристик альгофлоры на данных станциях соответствует средним значениям (16,72 млн. кл/л), опубликованным в литературе (Говоркова, 2004).

Для характеристики экологического состояния Куйбышевского водохранилища использовались данные гидробиологического мониторинга показателей развития фитопланктона, которые были обработаны по статистическим характеристикам: медиана ( $M_0$ ) общей численности, относительной численности доминирующего вида и численности синезеленых водорослей, а также частоту  $\alpha$  обнаружения аномально высоких или низких значений общей численности и кратность ( $\beta$ ) ее превышения относительно значения  $M_0$ . Весь массив данных был разбит на интервалы (табл. 1), в каждом из которых определены диапазон колебаний данных, наиболее часто встречаемый интервал (модальный интервал), частота модального интервала и плотность распределения данных.

Анализ данных, сведенных в табл. 1, выявляет широкое распределение значений численности фитопланктона по интервалам, однако более 50% значений укладываются в диапазон 0-4 тыс. кл/мл. Наиболее часто встречаются значения в диапазоне 0-2 тыс. кл/мл, частота ( $W$ ) их в этом интервале составляет 27,5 %. Максимальная плотность вариационного ряда или плотность распределения ( $P_0=W/K$ ) равна 17,19. Для Куйбышевского водохранилища в зоне наших наблюдений характерны значения  $P_0$  и  $M_0$ , соответствующие антропогенному напряжению с элементами экологического регресса.

При антропогенном эвтрофировании используют дополнительные статистические характеристики (табл. 1) частоты обнаружения высоких и низких значений ( $\alpha$ ), кратность отклонения аномальных значений ( $\beta$ ). По значениям  $\alpha$  (45-55) и  $\beta$  (165-407) тип отклика экосистем Куйбышевского водохранилища можно охарактеризовать как экологический регресс планктонных сообществ в ответ на высокую степень эвтрофирующего воздействия на экосистемы.

Таблица 1. Статистические характеристики численности фитопланктона (тыс. кл/мл) в воде Куйбышевского водохранилища по интервалам

Распределение данных численности по интервалам						
0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-30	> 30
1,14	3,12	4,49	7,11	9,37	12,41	54,29
0,98	3,75	5,1	6,69	8,5	10,35	
1,3	2,21	4,52	6,31	8,13	18,11	
1,88	2,85	4,74	6,3			
0,46	2,15	4,62				
1,56	2,8	5,43				
0,91	2,24	4,57				
0,28	3,44					
1,54	3,61					
1,25	2,28					
1,02						
Количество проб по интервалам						
n=11	n=10	n=7	n=4	n=3	n=3	n=1
Частота интервала в сумме всех частот (W), %						
27,5	25	17,5	10	10	7,5	2,5
Медиана (M <sub>0</sub> )						
<b>1,14</b>	2,83	4,62	6,50	8,32	12,41	54,29
Диапазон значений по интервалам						
0,28-1,88	2,15-3,75	4,49-5,43	6,30-7,11	8,13-9,37	10,35-18,11	
Интервальная разность (K)						
1,6	1,6	0,94	0,81	1,24	7,76	36,18
Плотность вариационного ряда (Π <sub>0</sub> )						
<b>17,19</b>	15,62	18,62	12,35	8,06	0,97	0,07
Частота (α)						
<b>45<sup>1)</sup></b>	50	57	50	67	67	
<b>55<sup>2)</sup></b>	50	43	50	33	33	
Кратность отклонения аномальных значений (β)						
<b>165<sup>3)</sup></b>	132	117	109	113	146	
<b>407<sup>4)</sup></b>	132	103	103	102	12	

Примечание. <sup>1), 2)</sup> - Частота обнаружения высоких и низких значений общей численности соответственно. <sup>3), 4)</sup> - Кратность отклонения соответственно аномально высоких и низких значений общей численности от медианы.

### Характеристика экологического состояния по показателям зоопланктонного сообщества

Характеристика зоопланктона по соотношению количества видов и их численности. Прежде всего, отметим, что пробы зоопланктона в данной работе отбирали от ст. Зеленодольск до ст. Тетюши, а также включали Камский отрог (от ст. Нижнекамск до ст. Чистополь) по заранее установленным створам по трем вертикалям: левая, правая пойма и русло. Загрязненность водного объекта, приводящая к нарушению экологического

баланса экосистемы, можно оценить через изменения в развитии планктонного пелагического сообщества. В качестве критерия механизма адаптации используется изменение соотношения общей численности и общего числа видов. Графический способ обобщения информации позволяет выделить на рисунке зоны, отождествляющие состояние, как с прогрессивным, так и регрессивным развитием экосистемы, и дать экологическую интерпретацию возможных природных модификаций экосистемы водоема в целом и отдельных его частей.

Для Куйбышевского водохранилища в пределах РТ в целом характерно достаточно большое видовое разнообразие, среднее число видов составляет 18, при этом численность зоопланктона не очень высока (в среднем 43,33 тыс. экз/м<sup>3</sup>). Если анализировать вклад каждого плеса, то можно отметить, что наибольшее эвтрофирующее воздействие испытывает Волжский плес (рис. 2), куда осуществляется сброс сточных вод крупных городов РТ (Зеленодольск, Казань). Камский, Волжско-Камский и Тетюшский плесы отождествляются с состоянием высокого запаса прочности системы, прошедшей начальные сукцессионные стадии своего развития. Весь фонд толерантности экосистемы еще не использован.

Соотношение количества видов и численности зоопланктона в целом в Куйбышевском водохранилище в верхних его плесах (большинство векторов расположено в нижней средней части графика) указывает на уменьшение видового разнообразия сообщества за счет выпадения олигосапробных и преимущественного развития мезосапробных видов, численность которых еще не достигла максимума. Можно отметить тенденцию к росту численности зоопланктона под воздействием эвтрофирования, о чем свидетельствуют несколько точек, расположенных в средней части графика. Токсического воздействия на зоопланктонное сообщество не наблюдается, т.к. отсутствуют вектора, соответствующие малой численности при ограниченном количестве видов в нижнем левом квадрате графика.

По показателям зоопланктонного сообщества экосистему водохранилища можно охарактеризовать как водоем со все еще богатыми компенсационными возможностями, но с наметившейся тенденцией к эвтрофикации.

Характеристика зоопланктона по индексу видового разнообразия. Индекс видового разнообразия (ИВР) в совокупности с другими биологическими показателями качества среды отражает не только число видов, но и степень их выравненности, сбалансированности, что важно для характеристики функционирования водных экосистем. При использовании индекса видового разнообразия, рассчитанного по численности (ИВРч), получили значения, которые позволяют охарактеризовать Куйбышевское водохранилище как олиготрофный водоем с качеством воды «чистая», что не соответствует действительности (табл. 2).

Более целесообразно в данном случае использовать ИВР, рассчитанный по биомассе (ИВР<sub>б</sub>). Показатели биомассы зоопланктона хорошо отражают трофический статус водоема, т.к. при переходе из олиготрофного в

эвтрофный статус биомасса резко сокращается за счет значительных изменений в таксономической и размерной структуре сообщества, приводящей к развитию мелких форм, в основном, коловраток с низкой индивидуальной массой. Согласно показателям ИВР<sub>6</sub> Куйбышевское водохранилище в пределах вод РТ можно отнести к категории эвтрофного водоема с умеренно-чистым качеством воды.

Таблица 2. Показатели зоопланктона для характеристики качества вод в верхних плесах Куйбышевского водохранилища

Плеса <sup>1)</sup>	Показатели <sup>2)</sup>					
	ИВРч±Δ	ИВРб±Δ	S±Δ	E/O ±Δ	E±Δ	Vcr/Br±Δ
1	2,75±0,40	1,63±0,28	3,99±2,75	1,06±0,57	0,96±0,87	39,2±22,4
2	3,74±0,35	1,55±0,20	1,36±0,45	0,23±0,12	2,59±0,99	2459±1576
3	3,47±0,35	1,75±0,19	2,21±0,89	2,04±1,62	2,22±1,68	105,9±93,7
4	3,44±0,53	1,72±0,23	1,91±1,09	1,51±0,66	2,50±0,69	183,1±112,2
Среднее	3,35±0,41	1,66±0,22	2,29±1,36	2,08±1,23	1,07±0,90	696,7±451,3

Примечание. <sup>1)</sup>Плеса: 1- Волжский; 2- Камский; 3- Волжско-Камский; 4- Тетюшский.

<sup>2)</sup> Показатели: см. текст.

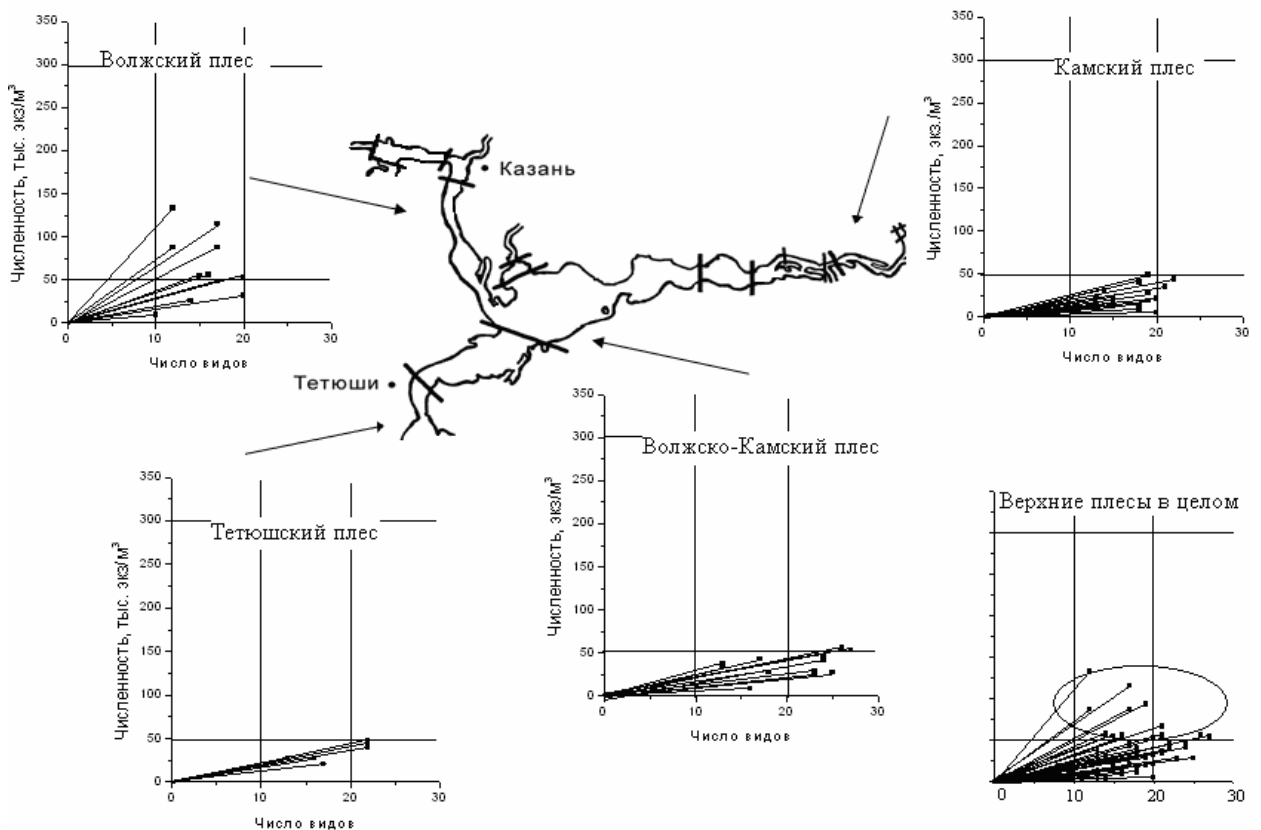


Рис. 2. Соотношение численности и количества видов зоопланктонного сообщества Волжского, Камского, Волжско-Камского, Тетюшского и верхних плесов Куйбышевского водохранилища в целом.

Характеристика зоопланктона по индексу сапробности. Видовая структура – это, прежде всего, набор видов и количество особей каждого вида, слагающих сообщество. Ее можно рассматривать как своеобразную систему отсчета, т.к. по изменениям в численности видов можно судить о проявлениях многообразных факторов, определяющих жизнь сообщества.

Рассчитанные значения индекса сапробности (S) по Пантле и Букку (табл. 2) позволяют оценить Куйбышевское водохранилище в пределах вод РТ следующим образом: в целом оно относится к β-мезосапробной зоне (воды умеренного загрязнения). Выделяется Волжский плес (α-мезосапробная – полисапробная зона - сильно загрязненные воды 5 класса качества) и Камский плес, который можно отнести к олигосапробной зоне ( $S < 1,5$  - чистые воды, 2 класс качества).

Характеристика зоопланктона по показателю трофности. Наиболее важным является использование информации не столько о составе сообщества, сколько о соотношении различных видов-индикаторов. Например, показатель трофности (E/O), представляющий соотношение числа видов-индикаторов эвтрофного и олиготрофного типов (табл. 2). Согласно имеющейся в литературе (Андроникова, 1996) классификационной шкале Куйбышевское водохранилище на территории РТ можно отнести к категории эвтрофной и только Камский плес к мезотрофному типу водоема.

Характеристика зоопланктона по коэффициенту трофии. Следующий структурный коэффициент – коэффициент трофии (E) (Андроникова, 1996):  $E = \frac{K(x+1)}{(A+V)(y+1)}$ , где K – число видов Rotatoria, A – Copepoda, V – Cladocera, x – число мезо-эвтрофных видов, y – олиго-мезотрофных видов.

Если говорить о соотношении таксонов более высокого ранга, чем вид (класс Rotatoria, отряд Copepoda, подотряд Cladocera), то известно, что с повышением трофического уровня водоема закономерно происходит увеличение количественных показателей Rotatoria и Cladocera и уменьшение численности и биомассы Copepoda.

По этому показателю (табл. 2) Куйбышевское водохранилище в пределах вод РТ можно отнести к категории эвтрофной, и только Волжский плес характеризуется как мезотрофная зона. Последний вывод не согласуется с характеристикой исследуемых вод по другим рассчитанным и приведенным выше индексам.

Характеристика зоопланктона по отношению биомасс ракообразных и коловраток. В сравнительно-типологических целях может быть использован и другой показатель таксономической структуры зоопланктона – отношение биомассы ракообразных и коловраток (Bcr/Br). Средние величины этого показателя при практически одинаковых выборках в эвтрофных водоемах почти в 3,5 раза ниже, чем в олиготрофных (Андроникова, 1996), что свидетельствует о меньшей доле ракообразных по сравнению с коловратками и, следовательно, меньшей кормовой ценности более мелкого зоопланктона в эвтрофных водоемах.

Как видно из данных табл. 2, наибольшие показатели данного индекса характерны для Камского и Тетюшского плесов. Особенно выделяется Камский плес, представляющий наибольшую кормовую ценность для ихтиофауны.

Таким образом, проведенное здесь исследование структурных показателей зоопланктонного сообщества показало, что более всего черты олиготрофного водоема сохранил Камский плес. Зоопланктонное сообщество этого плеса характеризуется значительным числом доминирующих (структурообразующих) видов, большими показателями информационного индекса разнообразия (по численности), что указывает на значительную степень организованности зоопланктонного сообщества. В планктоне преобладают представители Copepoda с длительным жизненным циклом и сложным метаморфозом. По численности и тем более по биомассе ракообразные резко преобладают над коловратками.

Остальные плесы Куйбышевского водохранилища на территории РТ (Волжско-Камский и Тетюшский) занимают промежуточное положение с большим или меньшим сдвигом в сторону эвтрофирования, они несут черты мезотрофного водоема и характеризуются  $\beta$ - $\alpha$  -мезосапробностью.

В соответствии с подходом, разработанным Абакумовым (1991), Куйбышевское водохранилище в пределах РТ по отклику зоопланктонного сообщества характеризуется усилением эвтрофирования с элементами экологического регресса. Этот вывод согласуется с достоверной зависимостью численности зоопланктона от содержания в воде  $\text{NO}_3^-$  ионов при отсутствии таковой от токсичных компонентов.

### **Характеристика зообентоса**

Исследования показали, что в целом видовой состав зообентоса на пунктах наблюдения был довольно стабильным по годам и включал в основном моллюсков, олигохет, ракообразных, хирономид, кроме того, встречались пиявки, водяные клещи, полихеты, кумовые ракообразные, мизиды, нематоды. Диапазон изменения численности зообентоса составляет от 360 до 9673 экз/м<sup>2</sup>, что не противоречит отмеченным в литературе данным (Говоркова, 2004).

Характеризуя биомассу зообентоса, можно отметить, что в период наблюдения она менялась в диапазоне от 0,55 до 16,61 г/м<sup>2</sup>, эти значения несколько ниже отмеченных в литературе (Говоркова, 2004) для Куйбышевского водохранилища 208,91 г/м<sup>2</sup>. Это объясняется меньшим вкладом моллюсков в структуре зообентоса на пунктах наблюдения.

Согласно данным гидробиологического мониторинга (табл. 3), качество исследуемых вод соответствует умеренно-загрязненным водам (3 класс качества).

В настоящее время многими гидробиологами (Яковлев, 2000, 2002; Макрушин, 2006) отмечается несомненное ограничение использования индексов в условиях водохранилища. Во-первых, в настоящее время в фауне водохранилища представлено большое число солоноватоводных видов

понто-каспийского комплекса, которые отсутствуют в списках индикаторные виды сапробности и не могут быть включены в гидробиологический анализ. Следующее ограничение связано с доминированием дрейссены, что отражается на величинах индекса разнообразия Шеннона (ИВР) и индексе Гуднайта-Уитлей.

Таблица 3. Средние значения биологических показателей качества воды Куйбышевского водохранилища в пределах РТ по данным за 1993-2003 гг.

Участок	Биологические показатели <sup>1)</sup>			
	ИВР	ГИ	S	Качество вод
Ст. Зеленодольск	1,25±0,19	10,9±2,2	2,18±0,76	Умеренно загрязненные
Ст. Казань	1,77±0,35	17,0±4,2	3,51±1,40	Загрязненные
Ст. Чистополь	1,82±0,22	18,1±3,1	2,45±1,10	Умеренно загрязненные
Ст. Тетюши	2,20±0,27	9,4±1,7	2,27±0,86	Умеренно загрязненные

Примечание. <sup>1)</sup> ИВР – индекс Шеннона, ГИ – Гуднайта-Уитлей, S – сапробность.

### Параметры биохимического самоочищения воды Куйбышевского водохранилища

Оценка качества водных ресурсов должна включать также и оценку способности водоема к самоочищению в изменяющихся условиях среды. Параметры биохимического самоочищения воды Куйбышевского водохранилища в пределах РТ исследованы на примере 4-х пунктах гидрометеорологических наблюдений на реках Меша, Свияга, Казанка и на Куйбышевском водохранилище.

На основе систематических экспериментальных исследований самоочищающей способности вод показана информативность мощности биохимического самоочищения, выражаемая величиной ИБС (Фрумин, 1993), как легко определяемого в эксперименте многофакторного показателя способности совокупной биоты водной экосистемы к саморегуляции в условиях различной антропогенной нагрузки (табл. 4).

Таблица 4. Средние значения мощности биохимического самоочищения (ИБС<sub>ср</sub>) по сезонам года в водных объектах

Объект и пункты отбора	Сезон	ИБС	Сезон	ИБС
Куйбышевское водохранилище	Летний	0,85	Зимний	0,66
Р. Свияга	Летний	0,90	Зимний	0,77
Р. Меша	Летний	0,89	Зимний	0,71
Р. Казанка	Летний	0,88	Зимний	0,66

Выявленная сезонная динамика величины ИБС связана, по-видимому, с массовым всплеском численности микроорганизмов в теплые сезоны года. В летний период, так же как и в зимний, мощность биохимического самоочищения воды на исследованных пунктах наблюдения в



Куйбышевском водохранилище ниже, чем это характерно для воды исследованных притоков, и зависит, главным образом от гидрологического режима, климатических условий и меньшей ролью макрофитов.

По результатам проведенных исследований можно отметить, что большим значениям БПК<sub>5</sub> природной воды соответствуют более высокие значения индекса биохимического самоочищения (ИБС). По-видимому, на поступление избыточного количества легкоокисляемых органических веществ экосистема реагирует интенсификацией процессов самоочищения.

## **ГЛАВА 5 ВЫЯВЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫМИ В МОНИТОРИНГЕ КУЙБЫШЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

В данной главе приведены выявленные причинно-следственные связи между показателями воздействия и отклика. Коэффициент детерминации равный 0,93, полученный для зависимости ИЗВ от содержания в воде солей  $\text{NH}_4^+$ , Fe, Cu, Zn, фенолов, нефтепродуктов и СПАВ, указывает на адекватность модели, которая в высокой степени объясняет увеличение значения ИЗВ от вышеуказанных показателей, однако отрицательный знак перед концентрацией Fe свидетельствует об обратной связи с величиной ИЗВ. Это отражает различные формы нахождения Fe в воде водохранилища (в виде гидроксидов, способствующих самоочищению воды по сорбционному и седиментационному механизму). Наибольшее значение коэффициента В в данной модели характерно для концентрации Cu (табл. 5). Переменные, входящие в полученную модель, вносят наибольший вклад в загрязнение воды Куйбышевского водохранилища и соответственно влияют на величину обобщенного показателя ИЗВ, характеризующего качество воды.

Следующая полученная модель объясняет зависимость обобщенного показателя БПК<sub>5</sub> от содержания растворенного  $\text{O}_2$ , солей  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_2^-$ , Cr и нефтепродуктов почти на 50% (табл. 5). Наибольшая величина коэффициента В перед концентрацией  $\text{O}_2$  вполне логична, т.к. он расходуется на окисление органических веществ. Аммонийные соединения, как показал анализ, могут служить косвенным индикатором повышенного содержания легкоокисляемых органических веществ, поскольку они являются показателями свежего фекального загрязнения, которое, как правило, сопровождается поступлением и органических веществ. Следующие переменные, оказывающие влияние на величину БПК<sub>5</sub>, шестивалентный хром и нефтепродукты. Содержание в воде нефтепродуктов, особенно растворимых и легкоокисляемых фракций, увеличивает значение БПК<sub>5</sub>, в то время как содержание шестивалентного хрома, превышение которого практически не отмечается, скорее всего, сопровождает аллохтонное, антропогенно обусловленное загрязнение водоемов. Можно отметить отрицательный знак, характеризующий разнонаправленность связи между величиной БПК<sub>5</sub> и содержанием нитратных солей. БПК – это показатель интенсивности процесса окисления органических веществ, в то время как

появление нитратов в воде – это результат более глубоких процессов окисления, захватывающих азотсодержащие вещества. Разнонаправленность связей между БПК и содержанием нитратов указывает на достаточно большое содержание легко окисляемых органических соединений в воде Куйбышевского водохранилища, процесс окисления которых занимает все 5 суток, в течение которых проводят анализ, и не затрагивает азотсодержащих веществ.

Таблица 5. Уравнения линейной зависимости содержания загрязняющих веществ в воде Куйбышевского водохранилища ( $p < 0,05$ )

Наименование показателя (у)	Уравнение регрессии	Коэффициент регрессии	Коэффициент детерминации
ИЗВ	$y = 1,21C_{Cu} + 0,24C_{\text{ФЕНОЛЫ}} + 0,22C_{\text{НЕФТ}} + 0,21C_{\text{СПАВ}} + 0,20C_{Zn} + 0,11C_{\text{NH}_4^+} - 0,49C_{Fe}$	0,96	0,93
БПК <sub>5</sub>	$y = 0,56C_{O_2} + 0,32C_{\text{NH}_4^+} + 0,27C_{Cr} + 0,26C_{\text{НЕФТ}} - 0,19C_{\text{NO}_3^-}$	0,69	0,47

Примечание. <sup>1)</sup>  $C_{O_2}$  – содержание легкоокисляемых органических веществ, определяемых по БПК<sub>5</sub>, <sup>2)</sup>  $r_{\text{критич.}} = 0,20$

Таким образом, проведенный статистический анализ с учетом всего массива данных о химическом составе вод Куйбышевского водохранилища в пределах вод РТ, показал взаимосвязь концентраций наиболее типичных загрязняющих веществ. Полученные ассоциации загрязняющих веществ связаны с их химическими свойствами и путями миграции и трансформации в водной среде.

### Взаимосвязь между биологическими и гидрохимическими показателями

Лучшим показателем благополучия экосистемы и конечной целью мониторинга является оценка и прогноз состояния ее биотической составляющей. Для выявления зависимости между биологическими и гидрохимическими показателями, характеризующими качество воды Куйбышевского водохранилища, был применен регрессионный анализ (РА). В ходе РА (табл. 6) для биологических показателей было выявлено следующее: численность фитопланктона обратно пропорциональна содержанию легкоокисляемых органических соединений (по БПК<sub>5</sub>), напрямую зависит от содержания фосфатов и хрома в воде. Наличие легкоокисляемых органических соединений, как правило, отражается на прозрачности и цветности воды, что влияет на проникновение солнечной радиации и интенсивность фотосинтеза. Известно, что лимитирующим фактором при эвтрофировании водоемов является содержание фосфатов, следовательно, увеличение их содержания в воде закономерно приводит к увеличению численности и биомассы фитопланктона. Зависимость развития

фитопланктона от хрома менее выражена. Для фитопланктона А.Г. Дмитриевой (2002) отмечается стимулирующая роль металлов, в том числе хрома, при их низком содержании в воде. Отмеченная прямая зависимость общей численности зоопланктона, а также связанного с ней индекса видового разнообразия (ИВРч), от содержания нитратов в воде, указывает на косвенное влияние данного фактора через процесс эвтрофирования. Увеличение численности зоопланктона происходит за счет коловраток и планктонных организмов группы Cladocera, кормовой базой которых является бактерио- и фитопланктон. Прямая зависимость величины ИВРч от содержания фенолов, имеющих скорее автохтонное происхождение, не может рассматриваться как токсическое воздействие. Полученные зависимости структурных показателей зоопланктона от содержания в воде азотсодержащих и органических соединений при отсутствии достоверной зависимости от токсичных компонентов (табл. 6) подтверждают ранее высказанное заключение о преобладании антропогенного эвтрофирующего воздействия над токсическим.

Таблица 6. Уравнения зависимости биотических показателей от химического состава воды ( $p < 0,05$ )

Показатель (у)	Уравнение регрессии	Коэффициент регрессии	Коэффициент детерминации
<b>Фитопланктон</b>			
Численность	$y = 52,50 - 11,26C_{\text{БПК}_5} + 7,94C_{\text{Cr}_6} + 139,81C_{\text{PO}_4}$	0,69	0,48
<b>Зоопланктон</b>			
Численность	$y = 48,33 - 40,74 \cdot 10^{C_{\text{NO}_3}} - 0,29/C_{\text{NH}_4}$	0,48	0,27
ИВР(ч)	$y = 2,67 + 79,51C_{\text{фен}} + 2,47C_{\text{NO}_3} - 24,34C_{\text{NO}_2}$	0,63	0,40
<b>Бентос</b>			
Биомасса бентоса	$y = 13,26 - 0,42B_{\text{рак}} - 12,54C_{\text{NH}_4}$	0,68	0,47
Биомасса олигохет	$y = 0,54 + 0,14C_{\text{NO}_3} - 2,51C_{\text{Cu}}$	0,64	0,41
Биомасса полихет	$y = 0,49 - 0,01C_{\text{NO}_3}$	0,50	0,25
Биомасса хирономид	$y = -4,54 + 0,43C_{\text{O}_2} - 6,38C_{\text{Fe}} + 1,95\text{ИЗВ} - 0,20C_{\text{Cu}} - 4,77C_{\text{нефт}}$	0,68	0,46
Численность ракообразных	$y = 1,27 - 0,002C_{\text{СПАВ}} + 0,003C_{\text{NO}_3}$	0,59	0,35
Биомасса ракообразных	$y = 0,67 + 0,07C_{\text{NO}_3} - 4,10C_{\text{Zn}} - 0,06C_{\text{СПАВ}} + 0,05C_{\text{фен}}$	0,62	0,38
Биомасса пиявок	$y = 0,63 - 5,56C_{\text{Zn}} - 0,09C_{\text{СПАВ}} + 0,06C_{\text{NO}_2} + 0,35\text{ИЗВ}$	0,76	0,58

Примечание.  $r_{\text{критич.}} = 0,30$ .

## ГЛАВА 6 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СТОКОФОРМИРОВАНИЯ (на примере воднобалансовой модели р. Меши)

Для оценки воздействия притоков на качество воды Куйбышевского водохранилища нами построена модель водного баланса бассейна притока на примере р. Меши.

Использованная модель основана на теории переменной площади водосбора (класс таких моделей известен в мировой литературе как TOPMODEL), которая утверждает, что вклад поверхностного стока в речной поток зависит только от части площади водосбора (эффективная или активная площадь). Эффективная площадь складывается из тех областей, где околоповерхностный уровень подземных вод выходит на поверхность. При этом осадки заполняют поры почв до полного влагонасыщения и поступают с поверхностным стоком в водный объект. Поверхностный сток может также возникнуть, когда подземные воды выходят обратно на склоны как «возвратный поток». Эффективная поверхность не статична, сужается и расширяется с дождями и сезонными изменениями, зависит от среднего по бассейну водного баланса, топографии и состояния почвы. Предлагаемая модель представляет динамику этих изменений эффективной поверхности во времени и пространстве, предоставляя прогноз общего стока в бассейне, вклад подземного и поверхностного стока и визуализацию пространственных изменений насыщенности почвы и эффективной поверхности через распределение топографического индекса.

Было показано, что наиболее чувствительными параметрами являются коэффициент пропорциональности убывающий с глубиной, логарифм коэффициента фильтрации, максимальная емкость среды. Для построения воднобалансовой модели притоков на качество воды Куйбышевского водохранилища были подобраны оптимальные ее параметры и рассчитан топографический индекс для бассейна р. Меши.

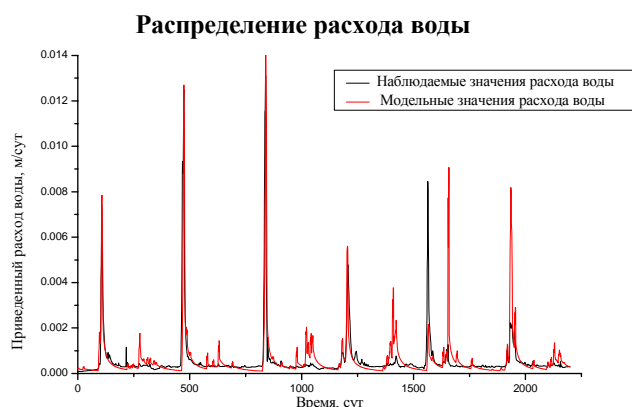


Рис. 3 Сравнение результатов моделирования с реальными значениями

Созданная воднобалансовая модель достаточно хорошо согласуется с фактическими данными о расходе воды, транспирации и сумме выпадающих осадков и может использоваться для других притоков Куйбышевского водохранилища в отсутствие гидрологического поста в их акватории.

## ВЫВОДЫ

1. На основе результатов многолетнего комплексного исследования состава региональных атмосферных осадков, состояния Куйбышевского водохранилища в пределах Республики Татарстан (РТ) и оценки качества вод на основе гидрохимических показателей в системе мониторинга водохранилищ показано, что отмеченная в последние десятилетия общая тенденция к росту содержания нитрат- и нитрит-ионов в воде Куйбышевского водохранилища согласуется с наличием устойчивого тренда повышения содержания оксидов азота в атмосферном воздухе и нитрат-ионов в составе атмосферных осадков, выпадающих в акватории Куйбышевского водохранилища. Оценен вклад антропогенной составляющей в ионном составе атмосферных осадков, который составляет для хлорид-ионов - 0-63%, сульфат-ионов - 93-98%.

2. Степень химического загрязнения воды водохранилища, определяемая величиной интегрального показателя - индекса загрязнения вод (ИЗВ), закономерно снижается с ростом концентрации общего железа в воде водохранилища, что может быть связано с преимущественно коллоидной формой миграции железа, обладающей высокой сорбционной способностью в отношении загрязняющих веществ. Показано, что информативность показателя ИЗВ, базирующегося на существующей системе санитарно-гигиенического нормирования качества поверхностных вод, ограничена с точки зрения достоверности характеристики экологического состояния водохранилищ, региональных геохимических особенностей и отсутствия отклика биотической составляющей. Введенный в последние годы в системе Росгидромета показатель УКИЗВ при несколько большей информативности не лишен упомянутого недостатка.

3. Показана информативность для характеристики экологического состояния водохранилища интегрального показателя - БПК<sub>5</sub>, адекватно отражающего процессы деструкции органического вещества в воде и вносящего вклад в величину численности фитопланктона, что доказывается соответствующими уравнениями регрессии.

4. На основе результатов многолетнего исследования качество воды Куйбышевского водохранилища в пределах РТ по гидробиологическим показателям (фитопланктон, зоопланктон, зообентос) оценивается в целом как умеренно-загрязненные воды (III класс качества). Показано отсутствие информационной самодостаточности различных принятых в системе мониторинга биотических индексов в силу противоречивости интерпретации результатов на их основе. Так, ИВР, рассчитанный по численности и биомассе зоопланктона характеризуют статус Куйбышевского водохранилища как олиготрофный и эвтрофный соответственно, сапробиологический индекс – мезотрофный, а показатель трофности и коэффициент трофии – эвтрофный.

5. По отклику фито- (значение медианы общей численности водорослей  $M=1,14$  тыс.кл/мл, плотность распределения  $P_0=17,19$ ) и

зоопланктонного сообществ (соотношение количества видов - 18 к их численности - 43 тыс. экз/м<sup>3</sup>) и с учетом развиваемых Абакумовым представлений об экологических модификациях водных экосистем экологическое состояние Куйбышевского водохранилища характеризуется усилением эвтрофирования с элементами экологического регресса. Последнее подтверждается найденной зависимостью структурных показателей планктонных сообществ от концентрации биогенных элементов в воде водохранилища.

6. Отклик структурных планктонных и бентосных показателей на присутствие в воде приоритетных токсичных компонентов (медь, цинк, железо, нефтепродукты, фенолы, СПАВы) различается: достоверная зависимость ( $R=0,59-0,81$  при  $p<0,05$ ) найдена и количественно описана лишь для макрозообентоса. Судя по величинам соответствующих отрицательных коэффициентов в уравнениях множественной регрессии, в наибольшей степени угнетение бентосных организмов связано с концентрацией в воде железа общего, меди, цинка (как индикатора процессов седиментации и депонирования в донных отложениях сорбированных в коллоидных формах железа токсикантов) и ионов аммония (как показателя интенсивности процессов аммонификации, приводящих к снижению концентрации кислорода и росту рН).

7. На основе систематических экспериментальных исследований самоочищающей способности вод Куйбышевского водохранилища и его крупных притоков показано, что мощность биохимического самоочищения, выражаемая величиной индекса ИБС, имеет сезонную динамику, связанную с массовым всплеском численности микроорганизмов в теплые сезоны года. В целом мощность биохимического самоочищения воды на исследованных станциях Куйбышевского водохранилища ниже, чем воды исследованных притоков, и определяется, главным образом, гидрологическим режимом, климатическими условиями и меньшим вкладом роли макрофитов. Индекс ИБС внедрен в программу мониторинга гидрометеослужбы РТ как легко определяемый в эксперименте многофакторный показатель способности совокупной биоты водной экосистемы к саморегуляции в условиях различной антропогенной нагрузки.

8. С использованием современных ГИС технологий создана математическая модель водного баланса бассейна р. Меши, впадающей в Куйбышевское водохранилище, которая достаточно хорошо согласуется с исходными гидрологическими данными, данными о транспирации и сумме выпадающих осадков. Созданная модель пригодна для оценки водного баланса других притоков в отсутствие гидрологического поста в их акватории

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи

1. Захаров С.Д. Использование основных структурных показателей зоопланктонного сообщества для характеристики трофического статуса Куйбышевского водохранилища [Текст] /С.Д. Захаров, Н.Ю. Степанова, Т.А. Кондратьева, Л.К. Говоркова, В.З. Латыпова // Проблемы региональной экологии. 2006.- №6. – С. 77-82.
2. Захаров С.Д. Динамика ионного состава и кислотные свойства атмосферных осадков Приказанского региона [Текст] /В.З. Латыпова, О.Г. Яковлева, Е.А. Минакова, Г.Н. Жданова, С.Д. Захаров // Ученые записки КГУ, 2006. - №1. – С. 24-29.

### Монография и аналитические сборники

3. Захаров С.Д. Экология города Казани [Текст] /Коллективная монография. - Казань, 2005. - С.88-96. (1000 экз.)
4. Захаров С.Д. Водные ресурсы Республики Татарстан в 1999 году (использование и охрана) [Текст] /С.Д. Захаров, Г.Н. Жданова /Под ред. Захарова С.Д. и др. – Казань: Изд. Абак, 2000.- 86 с. (500 экз.)
5. Захаров С.Д. Информационный бюллетень о состоянии поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Республики Татарстан за 2004 г. [Текст] / С.Д. Захаров, Г.Н. Жданова /Под ред. Захарова С.Д. и др. – Казань: Изд. ООО «Центр печати», 2005. - 168с. (100 экз.)
6. Захаров С.Д. Обзор состояния природной среды и ее загрязнения на территории Республики Татарстан в 2002; в 2003; в 2004 и в 2005 гг. [Текст] / С.Д. Захаров, Г.Н. Жданова, Р.Б. Шафикова, С.П. Реутов, О.Ю. Хисамова, А.А. Соколов, М.Г. Ветлиб / Под ред. Захарова С.Д. – Казань. - 116 с.; 115 с.; 118 с.; 127 с. (по 100 экз.)

### Материалы конференций

7. Захаров С.Д. Состояние и проблемы Куйбышевского водохранилища на территории Республики Татарстан [Текст] / С.Д. Захаров, Г.Н. Жданова, М.Г. Ветлиб // VI Всероссийский гидрологический съезд. С-Петербург, 2004.- С.46-47.
8. Захаров С.Д. Водные ресурсы Республики Татарстан [Текст] / С.Д. Захаров, Г.Н. Жданова, В.И. Мозжерин // Конгресс международного научно-промышленного форума Великие реки 1999-2004 гг. «Проблемы гидрометеорологии и мониторинг окружающей природной среды в бассейнах великих рек». С-Петербург, 2005. – С.223-224.
9. Захаров С.Д. Качество воды и структурные показатели фито- и зоопланктона Куйбышевского водохранилища [Текст] / С.Д. Захаров, Н.Ю. Степанова, В.З. Латыпова // Международная конференция «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем». С-Петербург. 2006.-С.142-143.

10. Захаров С.Д. Изменчивость годового и межennaleго стока рек [Текст] / С.Д. Захаров, Е.Ю. Аникина, Е.В. Бемякова // Конференция по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды в государствах – участниках СНГ, посвященная 10-летию образования Межгосударственного совета по гидрометеорологии. С-Петербург, 2002.-С.47-49.

11. Захаров С.Д. Мониторинг окружающей природной среды на территории Республики Татарстан [Текст] / С.Д. Захаров, Г.Н. Жданова // Всероссийская научная конференция «Климат, мониторинг окружающей среды, гидрометеорологическое прогнозирование и обслуживание». Казань, 2000. - С.106-107.