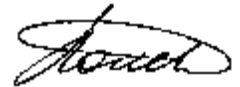


*На правах рукописи*



**ПОЛЕВА АЛЕКСАНДРА ОЛЕГОВНА**

**Комплексная оценка экосистемы Павловского водохранилища  
(Республика Башкортостан)**

Специальности      03.00.16 – Экология  
                                 03.00.05 – Ботаника

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Уфа – 2009

Работа выполнена в лаборатории гидрогеологии и геоэкологии Института геологии Уфимского научного центра РАН и кафедре ботаники Государственного образовательного учреждения ВПО «Башкирский государственный университет»

Научные руководители: доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, Абдрахманов Рафил Фазылович

доктор биологических наук, профессор  
Шкундина Фаина Борисовна

Официальные оппоненты: Габбасова Илюся Масгутовна,  
доктор биологических наук, профессор

Кабиров Рустэм Расхатович,  
доктор биологических наук, профессор

Ведущая организация: Татарский государственный гуманитарно-педагогический университет

Защита состоится 25 декабря 2009 в 14-00 часов на заседании Объединенного диссертационного совета ДМ 002.136.01 при Институте биологии Уфимского научного центра РАН по адресу: 450054 г. Уфа, Проспект Октября, 69.

Тел. / факс (347) 235-53-62, e-mail: [ib@anrb.ru](mailto:ib@anrb.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института биологии УНЦ РАН и

на сайте <http://ib.anrb.ru/sovet.html>

Автореферат разослан « 23» ноября 2009 года.

Ученый секретарь диссертационного совета  
кандидат биологических наук, доцент  
Р.В.



Уразгильдин

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность проблемы.** При создании водохранилищ замедляется и останавливается течение. Это приводит к аккумуляции значительного количества биогенных и органических веществ в зоне подпора, в которой образуется обширная площадь затопления. Дно служит дополнительным фактором обогащения воды биогенными и органическими веществами за счет выщелачивания из почвы и разложения затопленной растительности. Изменяется температурный и световой режим, а усиливающееся заиливание снижает содержание кислорода в толще воды (Топачевский и др., 1972; Денисова, 1979; Корнева, 2009).

Органические вещества, поступающие в воду с бытовыми, сельскохозяйственными стоками, а также отходами лесной промышленности, ведут к повышению эвтрофикации водоемов, что неблагоприятно сказывается на их кислородном режиме и уровне биопродуктивности. Обилие этих веществ вызывает усиленное развитие фитопланктона и высшей водной растительности, возникает дефицит кислорода, расширяется глубинная зона с анаэробным обменом, накоплением сероводорода и других компонентов, что ведет к гибели зоопланктона, ценных видов рыб, ухудшению питьевых качеств воды.

Одной из острейших проблем современности стала задача водообеспечения населения качественной питьевой водой. Павловское водохранилище, расположенное на р. Уфа в пределах Уфимского плато Южного Урала, испытывает мощное техногенное воздействие промышленных, сельскохозяйственных предприятий и лесопромышленного комплекса Челябинской, Свердловской областей и Башкортостана. В долине р. Уфы ниже Павловского водохранилища расположены крупные водозаборы централизованного водоснабжения г. Уфы и других населенных пунктов. Кроме того Павловское водохранилище является крупным рекреационным узлом. В связи с этим выяснение условий формирования химического состава воды и водных ресурсов Павловского водохранилища имеет не только теоретическое, но и важное практическое значение.

**Цель работы** – проведение комплексной оценки экологического состояния Павловского водохранилища на основании гидрохимических и гидробиологических исследований.

### **Задачи исследований:**

- выполнение комплексных натурных и экспериментальных исследований с целью оценки влияния затопленной древесины на экосистему водохранилища;
- анализ качественных и количественных закономерностей развития автотрофного планктона и бентоса, выяснение изменения степени жизнеспособности автотрофного бентоса;
- количественная оценка степени эвтрофирования и санитарно-биологического состояния водохранилища;
- оценка уязвимости всей экологической системы Павловского водохранилища.

**Научная новизна.** Впервые в условиях Южно-Уральского региона проведены комплексные исследования и установлены особенности формирования гидрохимического и гидробиологического режимов водохранилища. Выполнены экспериментальные исследования влияния затопленной древесной растительности на экосистему водохранилища. Выявлен и составлен систематический список водорослей и цианопрокариот автотрофных планктона и бентоса Павловского водохранилища, что

позволило расширить общий список водорослей водохранилищ Приволжского федерального округа. С использованием некоторых подходов эколого-флористической классификации выявлены индикаторные виды. Определены количественные закономерности развития фитопланктона и на их основе оценено санитарно-биологическое, трофическое состояние водохранилища, а также степень уязвимости водной системы.

**Практическая значимость.** Результаты исследований по влиянию затопленной древесины на качество водных ресурсов отмечены в научных достижениях Российской Академии наук в 2008 г. На основании результатов химического и гидробиологического анализа воды дана комплексная оценка экологического состояния водохранилища. Полученные флористические данные могут быть использованы при составлении кадастров водорослей и цианопрокариот водохранилищ и рассматриваться как составляющие экологического мониторинга и выработки соответствующих рекомендаций по охране и рациональному использованию водных ресурсов. Результаты экспериментов по воздействию затопленной древесины на экосистему водоема могут использоваться при проектировании и создании новых водохранилищ. Результаты исследований могут быть использованы в курсах лекций «Гидробиология», «Учение о биосфере» на биологическом и географическом факультетах БашГУ и естественно-географическом факультете БГПУ.

**Апробация работы.** Основные результаты исследований докладывались на региональных, всероссийских и международных совещаниях и конференциях: Межрегиональных научно-практических конференциях «Бассейновый принцип в оптимизации водопользования и водоохраных мероприятий» (Уфа, 1994), «Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана» (Уфа, 2006), «Чистая вода Башкортостана» (Уфа, 2008), «Рыбные ресурсы Камско-Уральского региона и их рациональное использование» (Пермь, 2008), Всероссийских научно-практических конференциях "Водохозяйственные проблемы и рациональное природопользование" (Оренбург, 2008), «Организация территории: статика, динамика, управление» (Уфа, 2008), Международной научно-практической конференции «Чистая вода России» (Екатеринбург, 2008), Всероссийской школе-семинаре «Проблемы современной альгологии» (Уфа, 2008).

### **Защищаемые положения**

1. Затопленная древесина оказывает существенное влияние на газовый режим водоема и поступление в него биогенных веществ.
2. В водохранилище сформировались разнообразные сообщества автотрофного планктона и бентоса, которые активно участвуют в формировании качества воды и могут быть использованы для мониторинга водного объекта.
3. Комплексная экологическая оценка экосистемы Павловского водохранилища показала, что по численности автотрофного планктона водоем относится к мезотрофным, по биомассе к эвтрофным и высокоэвтрофным, в водохранилище сформировалась в основном  $\beta$ -мезосапробная зона. По уязвимости водного объекта водоем относится к классу ПБ – достаточно устойчивый.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация изложена на 127 страницах машинописного текста и состоит из введения, 7 глав, выводов, списка литературы. Работа иллюстрирована 27 рисунками, содержит 21 таблицу, 5 приложений. Список использованных источников включает 200 отечественных и 25 иностранных наименований.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 4 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** дается литературный обзор состояния автотрофного компонента и описывается влияние, оказываемое затопленной древесиной на водные ресурсы водохранилищ. Проведенный нами анализ литературных источников показал, что плавающая и затопленная древесина, а также фитопланктон и фитобентос оказывают существенное влияние на качество воды.

**Во второй главе** описываются: объект исследования, исходные материалы и используемые методы изучения. Объектом исследования является Павловское водохранилище, где автор проводил исследования с 1987 по 2009 гг. В ходе выполнения работ проводились экспедиционные работы с отбором проб воды на физико-химический и микроэлементный анализы. Аналитическое изучение выполнялось в аттестованных гидрохимических лабораториях ПГО «Башкиргеология», «Башгидромет», Республиканской СЭС, в лаборатории Аналитического центра ФГУ по мониторингу водных объектов бассейнов рек Белой и Урала. Для изучения донных отложений и затопленной древесины были проведены водолазные работы, при этом выполнено изучение объема затопленной древесины, газовый состав, изучено влияние древесины на гидрогеохимические условия водохранилища. Оценку влияния затопленной древесины на гидрохимический состав водохранилища проводили по методике Т.М. Лабутиной (1985).

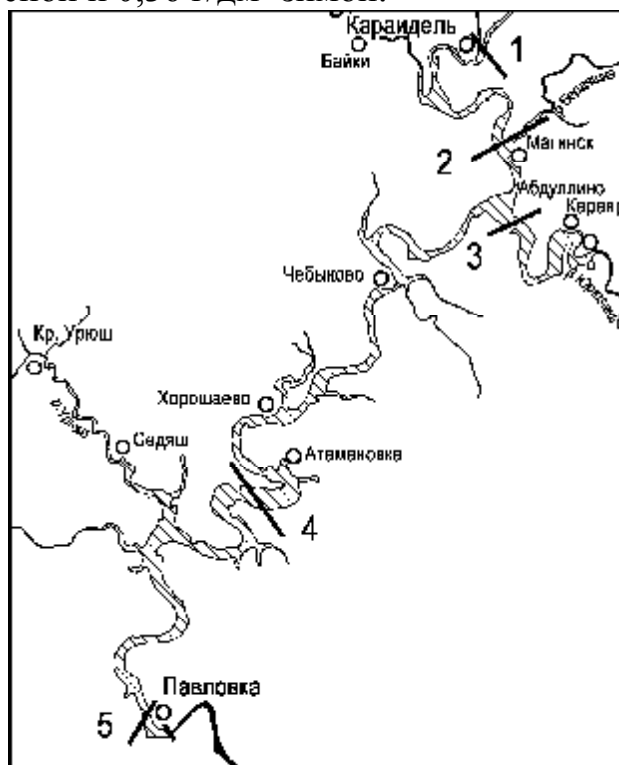
Пробы водорослей отбирались в 2003, 2008, 2009 гг. по створам на всей акватории водохранилища в вегетационный и подледный периоды года. Сбор и обработка материалов соответствовала общепринятым методикам изучения водорослей (Голлербах и др., 1953; Топачевский, Масюк, 1984; Водоросли, 1989). Биомассу фитопланктона определяли расчетно-объемным методом. Для определения соотношения живых и мертвых клеток водорослей был использован метод люминесцентной микроскопии (Горюнова и др., 1969; Садчиков, 2004).

**В третьей главе** характеризуются природные условия формирования химического состава воды Павловского водохранилища (рис. 1). Полный объем водохранилища составляет 1,4, а полезный – 0,95 млрд.м<sup>3</sup>. Оно обеспечивает сезонное, недельное и суточное регулирование стока р. Уфы, аккумулируя до 16% весеннего расхода. Площадь водосбора р. Уфы в створе водохранилища составляет 47,1 тыс. км<sup>2</sup>, что равняется 89% водосбора реки. Площадь зеркала водохранилища равняется 116 км<sup>2</sup>, при максимальной ширине 1750 м (средняя - 770 м) и глубине 35 м в при плотинной части (средняя 12 м). Годовая амплитуда колебания уровня воды равняется 11 м.

Процесс формирования донных отложений Павловского водохранилища происходит непрерывно в течение всего времени существования последнего (Абдрахманов, 1994). За это время (около 50 лет) образовался слой осадков мощностью до 2 м. Кроме минеральных отложений в донных образованиях обнаружено значительное количество затонувшей древесины.

Химический состав воды рассматриваемого водохранилища формируется под влиянием природных и техногенных факторов. Состав воды Павловского водохранилища сульфатно-гидрокарбонатный и однороден на всем его протяжении. Минерализация воды в верховье водохранилища (с. Муллакаево), составляет 0,41

г/дм<sup>3</sup>, затем постепенно снижается и у плотины (п. Павловка) она не превышает 0,21-0,26 г/дм<sup>3</sup>, т.е. происходит двукратное разбавление. В пределах наиболее глубокой части водохранилища минерализация в течение года меняется незначительно: 0,21 весной и 0,36 г/дм<sup>3</sup> зимой.



**Рис. 1. Схема расположения исследуемых створов Павловского водохранилища**  
 1 – п. Караидель, 2 – п. Магинск, 3 – устье р. Юрюзань, 4 – с. Атамановка,  
 5 – Верхний бьеф

Вода слабощелочная (рН – 7,6-8,3). Окислительно-восстановительные условия характеризуются величиной  $Eh + 279$  мВ в верхней зоне водохранилища,  $+115$  мВ в средней; в придонной зоне и в слабых неуплотненных илах (июль)  $Eh$  снижается до  $+7$  –  $(-65)$  мВ. В придонной зоне (илах) отмечается запах сероводорода. Концентрация кислорода в воде в летнее время колеблется (мг/дм<sup>3</sup>): 10,71 (на глубине 1 м), 6,14 (9 м), 5,04 (18 м), а в придонной части близка к нулю, чем по нашим наблюдениям в отдельные годы вызвана гибель донных рыб.

Основными источниками поступления в водохранилище техногенных веществ являются: затопленная древесина, сельскохозяйственные (минеральные удобрения, стоки животноводческих ферм, пестициды и ядохимикаты), коммунальные, промышленные стоки Челябинской, Свердловской областей и Башкортостана. Общее количество только трех биогенных элементов, ежегодно поступающих в водохранилище, составляет около 17400 тонн (азота – 9200, фосфора – 2500 и калия – 5700) (Абдрахманов, 1994).

**В четвертой главе** описаны модельные эксперименты по изучению влияния затопленной древесины разных пород (сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), береза повислая (*Betula pendula* Roth)) на экосистему водохранилища, проведенные в июле-августе 2007 г. непосредственно в водоеме (на глубине более 10 м). Такие исследования проведены впервые в Волго-Уральском регионе (Абдрахманов, Полева, Тюр, 2007; Абдрахманов и др., 2008<sub>1,2,3</sub>).

На основе полученных опытных данных нами были построены графики динамики концентрации  $O_2$ ,  $CO_2$ , БПК<sub>5</sub> (биохимическое потребление кислорода), ХПК (рис. 2) и биогенных элементов ( $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ) и pH (рис. 3) в воде. Из графиков видно, что при попадании в нее древесины разных пород, процессы окисления происходят сходные.

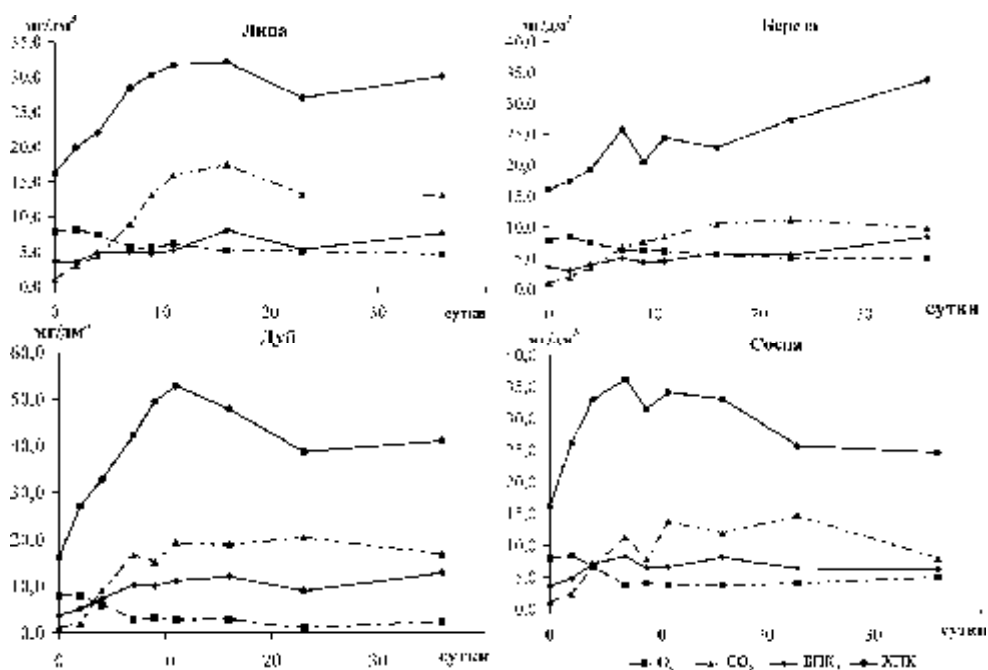


Рис. 2. Динамика концентрации  $O_2$ ,  $CO_2$ , БПК<sub>5</sub>, ХПК в опытах с древесной растительностью

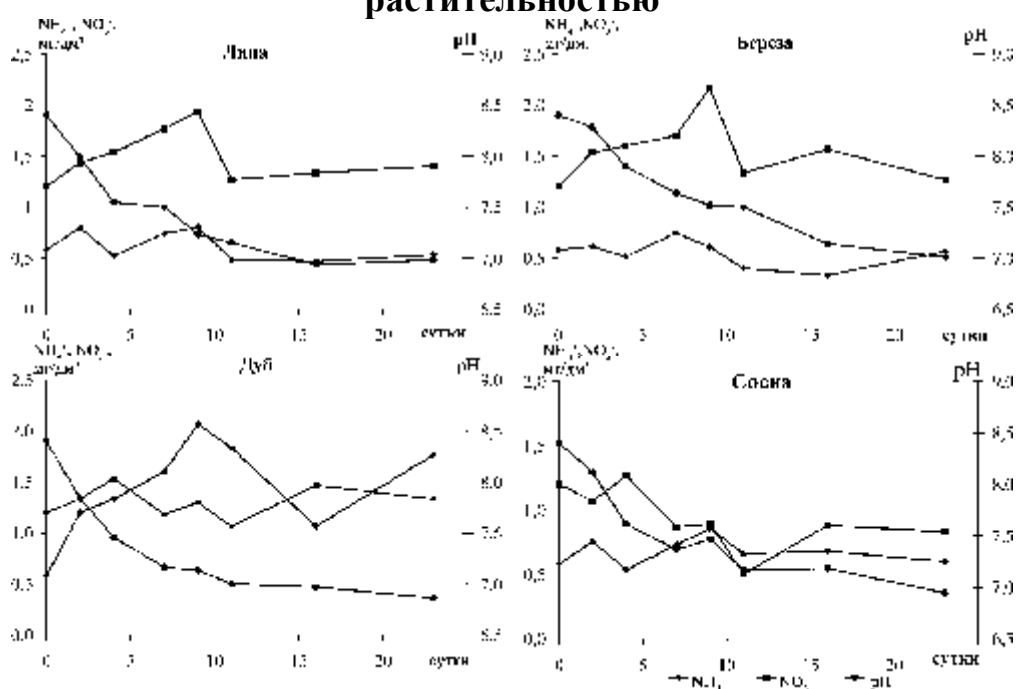


Рис. 3. Динамика биогенных элементов ( $NH_4^+$ ,  $NO_3^-$ ) и pH в опытах с древесной растительностью

Существенные изменения в газовом режиме водной среды произошли в первые 7-9 дней экспозиции. Содержание  $O_2$ , по сравнению с контролем, во всех образцах снизилось с 7,90 до 3,03-6,33 мг/дм<sup>3</sup> на фоне повышения концентрации  $CO_2$ . БПК<sub>5</sub> в воде в начале эксперимента составляло 3,6 мг/дм<sup>3</sup>, к концу эксперимента (7,6-8,4 мг $O_2$ /дм<sup>3</sup>).

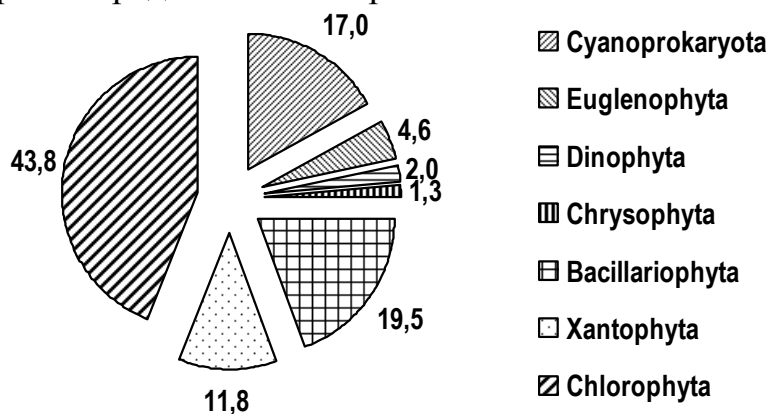


значительно возросло в первые 12 суток эксперимента (с 16,1 до 25,8-52,8 мг/дм<sup>3</sup>), наибольшее увеличение ХПК характерно для опытов с сосной и дубом.

На 7-9 день экспозиции существенно растет содержание биогенных веществ (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) в воде. Концентрация NH<sub>4</sub><sup>+</sup> изменяется от 0,58 до 0,75-0,86 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация NO<sub>3</sub><sup>-</sup> в водной среде у опытов с липой и березой на 7-9 сутки (от 1,2 до 1,93 и 2,17 мг/дм<sup>3</sup>) максимальна, у сосны произошло снижение концентрации (0,87 мг/дм<sup>3</sup>), а у дуба колебалось в районе исходных значений (1,18-1,30 мг/дм<sup>3</sup>). Величина рН воды изменялась от 8,4 до 6,86-7,01, что говорит о происходящих активных химических процессах. Высокий уровень ХПК свидетельствует о продолжающихся процессах деструкции органического вещества на дне водохранилища.

**В пятой главе** приводится систематическая структура водорослей и цианопрокариот Павловского водохранилища.

За период исследования 2003-2009 гг. нами в автотрофном планктоне выявлено 153 вида и внутривидовых таксона водорослей и цианопрокариот из 90 родов, 47 семейств, 24 порядков, 10 классов и 7 отделов. Значения относительного видового разнообразия представлены на рис. 4.



**Рис. 4. Распределение числа видов автотрофного планктона Павловского водохранилища по отделам (%)**

Степень флористического сходства различных створов по данным 2008 г. определена с использованием коэффициента Сьеренсена – Чекановского (K<sub>sc</sub>). Максимальное сходство видового состава выявлено на створах «Магинск» и «Караидель» (0,64), также достаточно большое сходство показали створы «Атамановка» и «Верхний бьеф» (0,54). Меньшие значения коэффициента характерно для пары «Магинск»-«Верхний бьеф» и «Караидель»-«Верхний бьеф» (0,31 и 0,32 соответственно), что объясняется положением створов относительно плотины.

Сравним таксономическую структуру фитопланктона Павловского водохранилища в различные годы исследования (табл. 1). За исследуемый период произошло увеличение видового разнообразия *Chlorophyta* и уменьшение *Bacillariophyta*. Увеличение видового разнообразия *Chlorophyta* может быть связано с усилением антропогенного эвтрофирования.

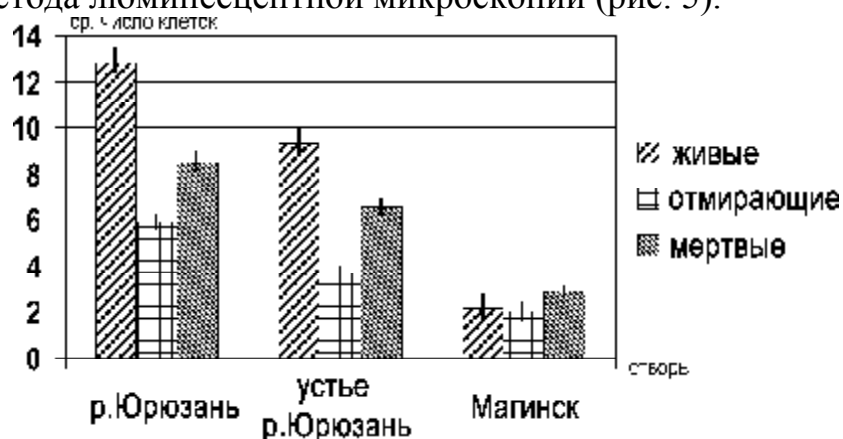
### Динамика количества видов фитопланктона Павловского водохранилища по отделам

(2001 г. – по данным Шкундиной, Насыровой (2004); 2003, 2008, 2009 – по нашим данным)

Названия отделов	Число видов				% от всех видов			
	2001	2003	2008	2009	2001	2003	2008	2009
<i>Bacillariophyta</i>	41	8	19	23	51	13	20,4	30,2
<i>Chlorophyta</i>	28	16	55	36	35	26	59,1	47,5
<i>Cyanoprokaryota</i>	9	14	13	11	11	22,7	14,0	14,5
<i>Dinophyta</i>	2	1	2	2	3	1,5	2,2	2,6
<i>Euglenophyta</i>	-	3	3	3	-	5,3	3,2	3,9
<i>Xanthophyta</i>	-	18	-	-	-	30	-	-
<i>Chrysophyta</i>	-	1	1	1	-	1,5	1,1	1,3
<b>Всего</b>	<b>80</b>	<b>62</b>	<b>93</b>	<b>76</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

В автотрофном бентосе Павловского водохранилища нами было выявлено 76 видов и внутривидовых таксонов из 48 родов, 26 семейств, 20 порядков, 8 классов и 4 отделов. Ведущими по числу видов являются отделы *Bacillariophyta* – 59 (64,5%) и *Cyanoprokaryota* — 13 (17,1%) видов и внутривидовых таксонов. Менее существенный вклад вносили *Chlorophyta* – 10 (13,2%), минимальное число видов зафиксировано для *Euglenophyta* – 4 (5,3%) вида и внутривидовых таксона. В целом, структура автотрофного бентоса типична для флоры водорослей и цианопрокариот большинства водоемов Башкортостана, с доминированием диатомовых, зеленых водорослей и цианопрокариот (Экология..., 2000; Шкундина 1989; 2006; Шкундина, Денисова 2002; Ярушина и др. 2004; Салимова 2004; Гуламанова 2008; Никитина, 2008).

Для оценки физиологического состояния бентоса нами было проведено определение соотношения живых и мертвых клеток водорослей и цианопрокариот на основании метода люминесцентной микроскопии (рис. 5).



**Рис. 5. Изменение жизнеспособности клеток автотрофного бентоса на разных створах в исходных пробах в 2008 г.**

Из приведенных данных видно, что наибольшая общая численность клеток водорослей и цианопрокариот отмечается на створе р. Юрюзань (2734 кл. из них (%): живых – 47,1, отмирающих – 21,6, мертвых – 31,3), в устье р. Юрюзань (1963 кл. из них (%): живых – 47,5, отмирающих – 19,0, мертвых – 33,5), а на створе Магинск (710 кл. из них (%): живых – 30,8, отмирающих – 28,7, мертвых – 40,4) число клеток уменьшается. На

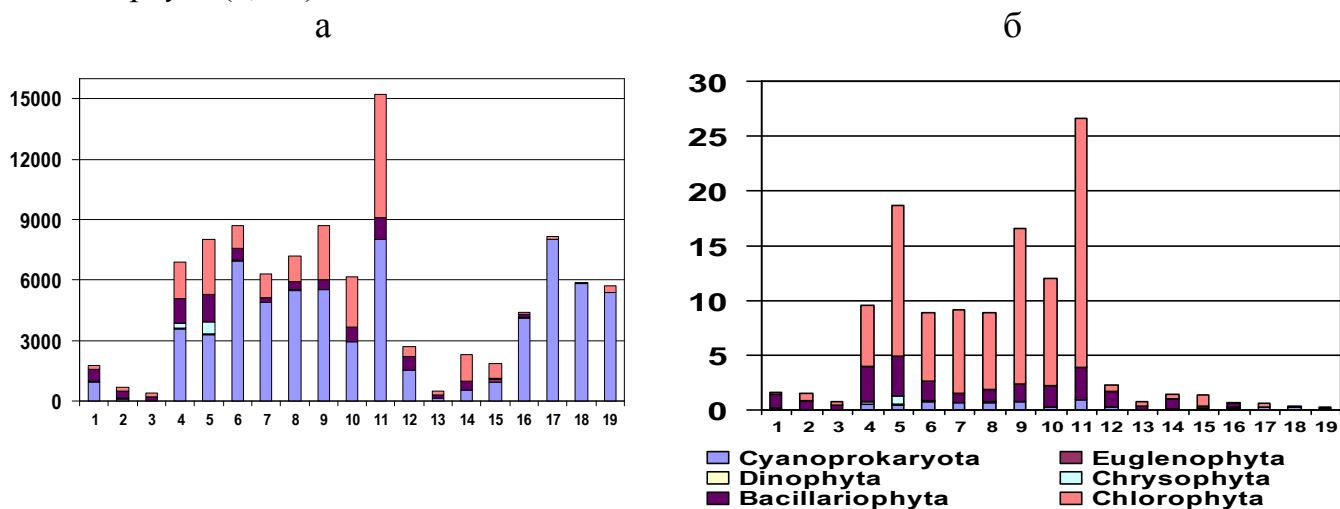
створе Магинск число живых, отмирающих и мертвых клеток примерно одинаково, при незначительном преобладании мертвых.

На створах р. Юрюзань и устье р. Юрюзань было выявлено наибольшее количество живых клеток (1288 и 904 соответственно), а на створе Магинск – наименьшее (219). Однофакторный дисперсионный анализ показал, что место отбора достоверно влияло на степень жизнеспособности клеток ( $F' > F_{106,31} > 3,03$ ).

**В главе шестой** представлены результаты количественного анализа автотрофного планктона, выявлена динамика распределения численности и биомассы по створам и на основании этого рассчитаны индексы сапробности, оценено санитарно-биологическое состояние. По данным измерения численности и биомассы оценена степень эвтрофирования водохранилища.

Средняя численность фитопланктона (480 тыс. кл./дм<sup>3</sup>) в 2003 г. на изученных створах позволила отнести Павловское водохранилище к эвтрофным водоемам. Индекс сапробности по численности в 2003 г. составил  $1,78 \pm 0,05$ .

В летних пробах 2008 г. по численности на большинстве створов доминировали *Cyanoprokaryota* (66,6%). По всей акватории водохранилища интенсивно развивался *Microcystis pulverea*, на створах Караидель, Атамановка, Верхний бьеф – *Gomphosphaeria lacustris*, на створах Караидель и Атамановка – *Anabaena circinalis*. На втором месте (рис. 6) по численности стоял отдел *Chlorophyta* (22,7%). Сквозным видом являлась *Chlorella vulgaris* (%). Третье место по численности фитопланктона занимал отдел *Bacillariophyta* (8,5%).



**Рис. 6. Горизонтальное изменение численности (тыс. кл./дм<sup>3</sup>) (а) и биомассы (г/м<sup>3</sup>) (б) автотрофного планктона Павловского водохранилища в 2008 г.**

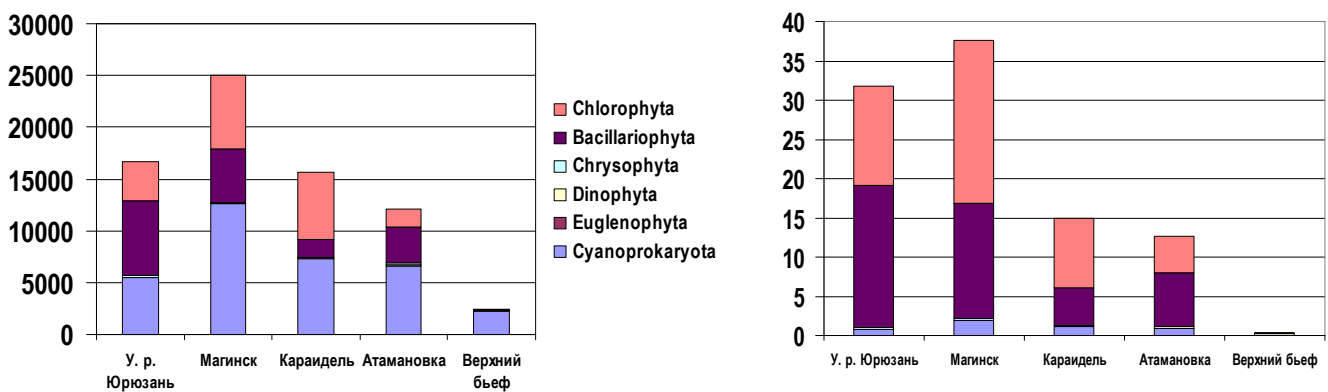
Наибольшая численность фитопланктона в вегетационный период (см. рис. 6) отмечена на створе п. Караидель (15222 тыс. кл./дм<sup>3</sup>), минимальная на створе устье р. Юрюзань (408 тыс. кл./дм<sup>3</sup>). Такое распределение объясняется местоположением створов. В местах, где водохранилище имеет большую антропогенную нагрузку численность планктона выше.

В среднем численность фитопланктона по всему водохранилищу составила 5384 тыс. кл./дм<sup>3</sup>. По классификации Цветковой (цит. по Дмитриеву, 1979) водоем можно отнести к мезотрофным.

По биомассе в летних пробах 2008 г. (см. рис. 6) на первом месте стоял отдел *Chlorophyta* (74,8%). Основное количество водорослей этого отдела было отмечено

в створах п. Магинск и п. Караидель, что объясняется расположением этих поселков в верховьях водохранилища, где гидробиологический режим проявляет сходство с речным. Кроме этого здесь велика антропогенная нагрузка. На втором месте был отдел *Bacillariophyta* (18,47%). Представители этого отдела часто встречались на всех створах, за исключением створа Верхний бьеф, где в некоторых пробах они вообще отсутствовали. Третье место по биомассе занимал отдел *Cyanoprokaryota* (5,3%). Наибольшая биомасса была отмечена на створе Караидель (26,6 г/м<sup>3</sup>), минимальная в створе Верхний бьеф (0,28 г/м<sup>3</sup>). В среднем по водохранилищу биомасса фитопланктона составила 6,4 г/м<sup>3</sup>, что позволяет по шкале трофности отнести водоем к эвтрофным.

В пробах вегетационного периода 2009 г. (рис. 7) по численности на большинстве створов доминировали *Cyanoprokaryota* (47,7%). По всей акватории интенсивно развивались *Microcystis pulverea*, *Synechococcus elongatus*, *Synechocystis aquatilis*. На втором месте стоял отдел *Chlorophyta* (24,7%). На всех створах, кроме Атамановки активно вегетировали *Chlorella vulgaris*, *Lagerheimia octacantha*, *Coelastrum microporum*, *Tetrachlorella alternans*, *Scenedesmus bijugatus*. Третье место по численности в фитопланктоне занимал отдел *Bacillariophyta* (24,7%). Активно вегетировали представители этого отдела на створах Устье р. Юрюзань, Магинск, Караидель, Атамановка.



**Рис. 7. Горизонтальное изменение численности (тыс. кл./дм<sup>3</sup>) (а) и биомассы (г/м<sup>3</sup>) (б) автотрофного планктона Павловского водохранилища в 2009 г.**

Наибольшая численность фитопланктона в летний период (см. рис. 7) зарегистрирована на створе п. Магинск (25026 тыс. кл./дм<sup>3</sup>), минимальная на створе Верхний бьеф (2412 тыс. кл./дм<sup>3</sup>).

В среднем численность фитопланктона по всему водохранилищу составила 14377 тыс. кл./дм<sup>3</sup>. Таким образом, по классификации Цветковой водоем можно отнести к мезотрофным.

Отмечено значительное увеличение численности фитопланктона в створе Устье р. Юрюзань. Это очевидно связано с начавшимся там строительством рекреационной зоны. В целом картина горизонтального распределения численности автотрофного планктона в водохранилище в 2009 г. совпадает с нашими наблюдениями 2008 г.

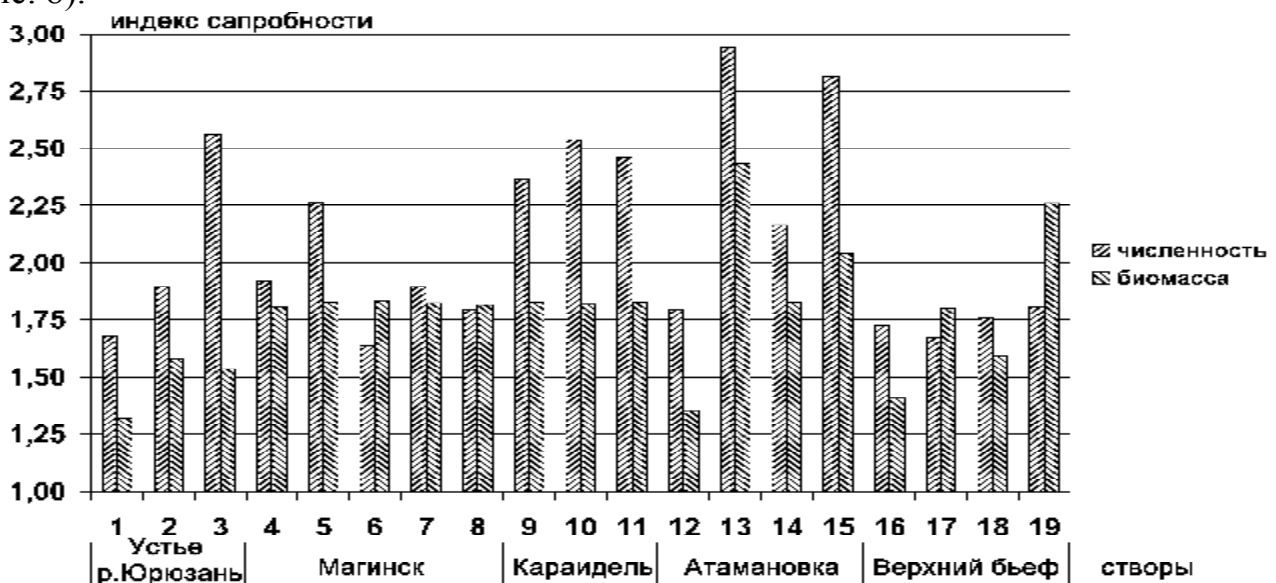
По биомассе в летних пробах 2009 г. на первом месте стоял отдел *Chlorophyta* (48,1%). Основное количество водорослей этого отдела было отмечено в створах п. Магинск и Устье р. Юрюзань, где гидробиологический режим проявляет сходство

с речным. В створе Устье р. Юрюзань по сравнению с 2008 г. и численность и биомасса автотрофного планктона значительно увеличились, что очевидно связано с увеличением антропогенной нагрузки. На втором месте был отдел *Bacillariophyta* (46,2%). Представители этого отдела часто встречались на всех створах. Третье место по биомассе занимал отряд *Cyanoprokaryota* (4,85%). Остальные отделы в биомассе автотрофного фитопланктона были представлены незначительно.

Наибольшая биомасса была отмечена на створе Магинск (37,6 г/м<sup>3</sup>), минимальная в створе Верхний бьеф (0,41 г/м<sup>3</sup>). В среднем по водохранилищу биомасса фитопланктона составила 19,5 г/м<sup>3</sup>, что позволяет по шкале трофности (Трифенова, 1979) отнести водоем к высокотрофным.

Как в 2008 г., так и в 2009 г. в вегетационный период на створе Верхний бьеф отмечались олиготрофные условия, в 2008 г. высокотрофные условия были на створе Караидель, а в 2009 г. такие условия сложились на всех остальных створах. Полученные данные еще раз подтвердили, что вместе с изменением химического состава воды по акватории водохранилища (уменьшением минерализации, изменением проточности и др.) увеличивается способность водохранилища к самоочищению.

На основе полученных результатов были вычислены показатели сапробности (по Бариновой и др., 2006) по численности и биомассе автотрофного планктона (рис. 8).



**Рис. 8. Индексы сапробности по численности и биомассе автотрофного планктона по створам в 2008 г.**

Полученные нами результаты показывают, что в водохранилище сформировалась в основном β-мезосапробная зона. В устье р. Юрюзань, на створах Караидель и Атамановка индекс сапробности по численности соответствует α-мезосапробной зоне. Минимальные значения характерны для створа Магинск. Полученные данные подтверждают, что индексы сапробности и биомасса (показывающая степень эвтрофирования) достигают максимальных значений на разных створах (см. рис. 6-8). Источником загрязнения видимо являются базы отдыха, расположенные на берегу. Абсолютное значение индекса сапробности по биомассе были ниже и характеризовали в основном β-мезосапробную зону. Увеличение индекса сапробности по биомассе наблюдалось на створе Атамановка и Верхний бьеф (у причала маломерных судов). Сравнение степени изменчивости

показателей трофности и сапробности показывает, что трофность варьировала сильнее, чем сапробность.

В 2008 г. индекс сапробности по численности в среднем составил  $2,09 \pm 0,09$ , по биомассе  $1,82 \pm 0,05$ . В 2009 г. по численности –  $1,25 \pm 0,25$ , по биомассе  $1,80 \pm 0,10$ .

В 2009 г. в водохранилище сформировалась в основном  $\beta$ -мезосапробная зона. Минимальные значения характерны для створа Верхний бьеф, где наблюдается олигосапробная зона, а по численности даже ксеносапробная, на остальных створах формируется  $\beta$ -мезосапробная зона. Наибольшие значения показателей эвтрофирования и сапробности отмечались на разных створах (см. рис. 6-8).

В ходе использования некоторых методических подходов эколого-флористической классификации были выделены 2 группы видов автотрофного планктона.

**Первая группа.** Сквозные виды, распространенные по всей территории водохранилища. Это виды *Chlorella vulgaris* и *Microcystis pulverea* имеющие широкое распространение. *Chlorella vulgaris* обычный представитель, обитающий в сточных водах,  $\alpha$ -мезосапробионт, олигогалоб-галофил. *Microcystis pulverea* – планктонно-бентосный и почвенный вид, олиго-бетамезосапробионт, олигогалоб-индефферент. Оба этих вида по географическому распространению космополиты.

**Во вторую группу** вошли виды, характерные для разных створов водохранилища, из них *Fragilaria capucina* встречается на всех створах, но не во всех пробах. Для этой группы характерны представители отдела *Chlorophyta*. Многочисленны были водоросли рода *Scenedesmus*: *S. quadricauda*, *S. arcuatus*, *S. bijugatus*. Первый из них относится к бетамезосапробионтам, два других олиго-альфамезосапробионты. Все эти виды планктонные, по галобности олигогалобы-индефференты. Кроме этого распространены были виды *Coelastrum microporum*, *Tetrachlorella alternans*, *Cosmarium asphaerosporum*. Из других отделов к этой группе относились *Gloeocapsa limnetica*, *Synedra acus*.

В ходе анализа нами были выделены 4 сообщества (фитоценона) автотрофного планктона с двумя вариантами одного из них (табл. 2).

Сообщество *Scenedesmus quadricauda-Synedra acus* характерно для двух створов Магинск и Караидель (9 видов). Сообщество диагностируется видами рода *Scenedesmus*: *Scenedesmus quadricauda* –  $\beta$ -мезосапробионт, *Scenedesmus arcuatus* и *Scenedesmus bijugatus* – олиго- $\alpha$ -мезосапробионты, *Synedra acus* –  $\beta$ -мезосапробионт.

Вариант этого сообщества *Dinobryon divergens-Aulacoseira granulata* (8 видов) для створа Магинск характеризует речные воды Восточноевропейского типа в вегетационный период (Шкундина, 1993). Такое доминирование речных видов объясняется впадением р. Бердяшка, вода которой разбавляет воды водохранилища.

Вариант сообщества *Pediastrum tetras-Dictyosphaerium anomalum* (12 видов) выделяется для створа Караидель. На этом створе группируются, в основном, хлорококковые водоросли и цианопрокариоты, причем *Microcystis aeruginosa* обычно вызывает «цветение» в равнинных водохранилищах. Этот комплекс развивается при повышенном содержании железа и нефтепродуктов по сравнению с Верхним бьефом. В период исследования наблюдалось превышение ПДКр.х. по железу, общему фосфору, меди, фенолов, нефтепродуктов.



Сокращенная дифференцирующая таблица сообществ и вариантов автотрофного планктона<sup>1</sup>

Створы, № пробы	Магниск								Карандель								Атамановка								Верхний бьеф			Устье р. Юризань																																																																																																																																				
	4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19																																																																																																																																	
	3000	156	90	42	4440	4680	4320	2880	1440	3960	1200	120	360	240	1320	1680	1440	720	72	120	96	42	54	18	90	126	24	12	1	2	3																																																																																																																																	
<i>Micrasterias rubraea</i>																																																																																																																																																																
<i>Chlorella vulgaris</i>																																																																																																																																																																
Диагностические виды сообщества <i>Scenedesmus quadricauda-Synedra acus</i>																																																																																																																																																																
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	192	456	216	300	252	504	324	726	12	12																							24																																																																																																																															
<i>Coscinorhynchus asphaerosporum</i>	30	24	18	18	30	66	84	102					18																				6																																																																																																																															
<i>Synedra acus</i>	288	414	234	174	174	330	432	708																									6	24																																																																																																																														
<i>Trichlorella alternans</i>	108	168	72	84	120	144	180	276																																																																																																																																																								
Диагностические виды варианта <i>Dinobryon divergens- Aulacoseira granulata</i>																																																																																																																																																																
<i>Dinobryon divergens</i>	258	612	54	18	54																													72	12																																																																																																																													
<i>Aulacoseira granulata</i>	234	510	324	36	114			54					138	234																																																																																																																																																		
<i>Phacus agilis</i>	12	6	6	6	6	6	6																																																																																																																																																									
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>	60	78	90	66	6																																																																																																																																																											
Диагностические виды варианта <i>Pediastrum tetras-Dictyosphaerium anomalum</i>																																																																																																																																																																
<i>Dictyosphaerium anomalum</i>																																																																																																																																																																
<i>Ankistrodesmus angustus</i>	6																																																																																																																																																															
<i>Pediastrum tetras</i>			24																																																																																																																																																													
<i>Nitzschia acicularis</i>																																																																																																																																																																
<i>Pediastrum boryanum</i>																																																																																																																																																																
Диагностические виды сообщества <i>Phacus pleuronectes- Anabaena circinalis</i>																																																																																																																																																																
<i>Anabaena circinalis</i>																																																																																																																																																																
<i>Phacus pleuronectes</i>																																																																																																																																																																
<i>Schroederia setigera</i>																																																																																																																																																																
Диагностические виды сообщества <i>Gomphosphaeria lacustris- Syneschosoccus elongatus</i>																																																																																																																																																																
<i>Gomphosphaeria lacustris</i>	102	444																																																																																																																																																														
<i>Syneschosoccus elongatus</i>	30	180	1110		570																																																																																																																																																											
Диагностический вид сообщества <i>Fragilaria sarcinina</i>																																																																																																																																																																
<i>Fragilaria sarcinina</i>	690	234	36		72	102																																																																																																																																																										
Биомасса (г/м <sup>3</sup> )	11,04																																18,41																																1,45																																0,47																																558 330 180																															
Зона трофности	Высокоэвтрофная																																Высокоэвтрофная																																Мезотрофная																																Олиготрофная																																Мезотрофная																															

<sup>1</sup> Показатели численности приведены по количеству клеток в пробе.

Сообщество *Phacus pleuronectes- Anabaena circinalis* характерно для створа Атамановка. В него вошли 6 видов водорослей, это виды *Anabaena circinalis*, *Aphanizomenon flos-aguae*, *Phacus pleuronectes*, *Schroederia setigera*, *Planktosphaeria gelatinosa*, *Chlorococcum ellipsoideum*. Начиная с этого створа диагностическими видами являются хлорококковые, эвгленовые и цианопрокариоты. Интенсивное развитие цианопрокариот характерно и для других водохранилищ, представители родов *Aphanizomenon* и *Anabaena* могут вызывать «цветение» воды. *Phacus pleuronectes* –  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапроб, космополит. Таким образом, состав видов показывает возрастание застойных явлений и увеличение содержания растворенных органических веществ. Вид *Anabaena circinalis* является дифференцирующим для створов Караидель и Атамановка.

Сообщество *Gomphosphaeria lacustris- Synechococcus elongatus* было выявлено на створе Верхний бьеф. На этом створе происходит уменьшение содержания железа и увеличение концентрации меди. Выявление только двух индикаторных видов может быть связано с тем, что медь является альгицидом. Виды этого сообщества оказываются устойчивыми к повышению концентрации ионов меди. На Верхнем бьефе в 2009 г. вид *Gomphosphaeria lacustris* полностью отсутствовал, причем концентрация ионов меди была в пределах ПДК.

Диагностическим видом сообщества в устье р. Юрюзань являлась *Fragilaria capucina*. Это олигосапроб, космополит, индефферент, обычно доминирующий в реках. Группа характерных видов в этом створе не выделяется.

В седьмой главе дается оценка экологического состояния Павловского водохранилища. В зоне влияния водохранилища находится много природных, социально-экономических ресурсов и объектов историко-культурного наследия, поэтому экосистема водохранилища подвергается интенсивному рекреационно-туристическому использованию. Рекреационная емкость зоны водохранилища примерно 5000 человек в день – летом и около 3000 зимой.

Оценка экологической уязвимости водного объекта (табл. 3) произведена по методике В.В. Дмитриева (1999). По нашим данным Павловское водохранилище относится к семейству уязвимости ПБ (сумма разрядов 12, количество баллов 10), по баллам трофности (3) к эвтрофно-мезотрофным водоемам.

Таблица 3

**Определение баллов, разрядов и семейства экологической уязвимости Павловского водохранилища**

№	Тип классификации водного объекта	Баллы	Разряд
1	По физико-географическим и морфометрическим признакам	6	6
2	По гидрологическому режиму	8	3
3	По условиям водообмена	9	3
	Семейство уязвимости водоема	ПБ	

**ВЫВОДЫ**

1. Павловское водохранилище относится к горному типу. Состав воды сульфатно-гидрокарбонатный, однородный на всем его протяжении, минерализация уменьшается от 0,41 (в верхнем течении) до 0,21-0,26 г/дм<sup>3</sup> (в нижнем). Формирование гидрохимического и гидробиологического режимов Павловского водохранилища происходит под влиянием природных и антропогенных (промышленные, сельскохозяйственные, лесопромыш-



ленные предприятия, населенные пункты и пр.) факторов. Одним из наиболее мощных, оказывающих влияние на гидробиологический режим, является затопленная древесина.

2. Экспериментальные и натурные исследования показали, что древесина, при попадании ее в воду, в первые 10-12 суток выделяет наибольшее количество экстрагируемых веществ. На фоне возрастания ХПК и БПК<sub>5</sub> происходит резкое снижение концентрации кислорода и повышение концентрации CO<sub>2</sub> в водной среде. Затопленная древесина в начале экспозиции вызывает увеличение содержания ионов NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Наибольшее увеличение ХПК характерно для сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и дуба черешчатого (*Quercus robur* L.).

3. В автотрофном планктоне Павловского водохранилища развивается разнообразное сообщество водорослей и цианобактерий, включающие 153 вида и внутривидовых таксона, при наибольшем видовом разнообразии в планктоне отдела *Chlorophyta*. Максимальное число обнаруженных видов было на створе Магинск (64), наименьшее - на створе Верхний бьеф (18) (КО=0,31).

4. В автотрофном бентосе выявлено 76 видов и внутривидовых таксонов, при доминировании отдела *Bacillariophyta*. Наибольшее число обнаруженных видов было на створе р. Юрюзань (29), минимальное – устье р. Юрюзань (14). На створах р. Юрюзань и устье р. Юрюзань было наибольшее количество живых клеток (1288 и 904 соответственно), а на створе Магинск – 219. Однофакторный дисперсионный анализ показал, что место отбора достоверно влияло на степень жизнеспособности клеток ( $F' > F_{106,31} > 3,03$ ).

5. Средняя численность автотрофного планктона в водохранилище в вегетационный период составила (тыс. кл./дм<sup>3</sup>): в 2008 г. – 5384, в 2009 г. – 14377. По численности в соответствии с классификацией Цветковой (цитир. по Дмитриеву, 1999) водоем относится к мезотрофным. В 2008 г. средняя биомасса составила 6,4 г/м<sup>3</sup>, в 2009 г. – 19,5 г/м<sup>3</sup>. По биомассе по классификации Трифионовой водоем в 2008 г. относился к эвтрофным, в 2009 г. – к высокоэвтрофным.

6. В водохранилище сформировалась в основном β-мезосапробная зона. В 2008 г. индекс сапробности по численности в среднем составил 2,09±0,09, по биомассе 1,82±0,05. В 2009 г. по численности – 1,25±0,25, по биомассе 1,80±0,10.

7. Для экосистемы Павловского водохранилища выделено 2 группы автотрофного планктона: 1 группа – сквозные виды, распространенные по всей территории водохранилища – *Chlorella vulgaris* и *Microcystis pulverea*, 2 группа – виды, характерные для разных створов.

Также дифференцированы 4 сообщества автотрофного планктона с двумя вариантами одного из них. Состав сообществ отражает изменения гидрологического и гидрохимического режимов водохранилища.

Сообщество *Scenedesmus quadricauda-Synedra acus* (9 видов) включает виды, характерные для створов Магинск и Караидель. Внутри сообщества выделены 2 варианта: *Dinobryon divergens-Aulacoseira granulata* (8 видов) – для створа Магинск, *Pediastrum tetras-Dictyosphaerium anomalum* (12 видов) – для створа Караидель. Сообщество *Phacus pleuronectes-Anabaena circinalis* (6 видов) характерно для створа Атамановка, *Gomphosphaeria lacustris-Synechococcus elongates* (2 вида) – на створе Верхний бьеф. Виды последнего сообщества оказываются устойчивыми к повышению концентрации ионов меди. На Верхнем

бьефе в 2009 г. вид *Gomphosphaeria lacustris* полностью отсутствовал, причем концентрация ионов меди была в пределах ПДК. Группа характерных видов в устье р. Юрюзань не выделяется, исключая *Fragilaria capucina*.

8. По уязвимости водной экосистемы к эвтрофированию Павловское водохранилище (по классификации В.В. Дмитриева, 1999) относится к классу ПБ (достаточно устойчивое), а по уязвимости водного объекта к эвтрофированию и загрязненности воды к классу III. Оценка водного объекта по большому количеству показателей характеризует ее как более уязвимую.

### **Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

#### **Статьи в рецензируемых журналах:**

1. Абдрахманов Р.Ф., Тюр В.А., Полева А.О. Особенности формирования химического состава воды крупных водохранилищ Башкортостана // Мелиорация и водное хозяйство. 2008, №3. С. 15-21.
2. Полева А.О., Шкундина Ф.Б. Фитопланктон Павловского водохранилища на р. Уфе // Вестник Оренбургского университета. Оренбург, 2008, № 12. С. 15-19.
3. Абдрахманов Р.Ф., Тюр В.А., Полева А.О., Юров В.М. Особенности гидрологического и гидрохимического режимов крупных водохранилищ Южного Урала // Вестник Воронежского государственного университета. №1, 2009. С. 23-30.
4. Гуламанова Г.А., Полева А.О. Использование автотрофного планктона для мониторинга стоячих водоемов Республики Башкортостан // Аграрная Россия. Науч.-произв. журнал. Спец. вып. М., 2009. С. 31-32.

#### **Статьи в сборниках**

5. Полева А.О. Оценка влияния древесины на качество воды Павловского водохранилища // Бассейновый принцип в оптимизации водопользования и водоохраных мероприятий. Матер. науч.-практ. конф., Уфа: БашГУ, 1994. С. 43.
6. Полева А.О. Прогноз поступления биогенных и органических веществ в Нурское водохранилище при его затоплении // Ежегодник-1995. Информ. матер., Уфа: ИГ УНЦ РАН, 1996. С. 195-196.
7. Абдрахманов Р.Ф., Полева А.О. Формирование донных отложений Павловского водохранилища // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана: Матер. VI Межрегион. науч.-практ. конф. Уфа, ДизайнПолиграфСервис, 2006. С. 197-198.
8. Абдрахманов Р.Ф., Полева А.О., Тюр В.А. Экспериментальные исследования условий формирования химического состава воды крупных водохранилищ Южного Урала. Ежегодный геологический сборник. Уфа: ИГ УНЦ РАН. 2007. С. 262-265.
9. Абдрахманов Р.Ф., Полева А.О., Тюр В.А. Гидрохимические и гидробиологические особенности крупных водохранилищ Башкортостана // Сборник матер. междунар. науч.-практ. конф. «Чистая вода России». Екатеринбург, 2008. С. 281-287.
10. Полева А.О. Особенности гидрохимии и гидробиологии Павловского водохранилища // Чистая вода Башкортостана-2008. Матер. межрегион. науч.-практ. конф. Уфа, 2008. С. 189-193.
11. Полева А.О. Влияние затопленной древесной растительности на качество воды водохранилища. Экспериментальные исследования. Прогноз влияния затопленной

- древесины на качество воды / Юмагузинское водохранилище: Гидрологический и гидрохимический режимы. Уфа: Информреклама, 2008. С. 72-86.
12. Полева А.О., Шкундина Ф.Б. Оценка ущерба экосистеме Павловского водохранилища на основании данных по фитопланктону Материалы науч.-практ. конф. "Рыбные ресурсы Камско-Уральского региона и их рациональное использование" Перм. гос. ун-т. Пермь, 2008. С. 155-157.
13. Полева А.О. Фитопланктон Павловского водохранилища в июне 2003 г. // Матер. Всеросс. школы-семинара "Проблемы современной альгологии", Уфа, БашГУ, 2008. С. 103-106.
14. Абдрахманов Р.Ф., Тюр В.А., Полева А.О., Юров В.М. Гидрологические и гидрохимические проблемы формирования водохранилищ Южного Урала // Материалы Всеросс. науч.-практ. конф. "Водохозяйственные проблемы и рациональное природопользование" Оренбург, 2008 С. 63-67.
15. Фаткуллин Р.А., Тюр В.А., Полева А.О., Халиуллина Г.Ф. Рекреационно-туристский потенциал водохранилищ Башкортостана // Матер. Всеросс. научно-практ. конф. "Организация территории: статика, динамика, управление", Уфа, 2008. С. 58-60.