



Н.И. Богданов

*Биологическая
реабилитация
водоёмов*

Пенза 2008

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК
ПЕНЗЕНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ОЗЕРНОГО И РЕЧНОГО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АЛЬГОБИОТЕХНОЛОГИИ

ПРАВИТЕЛЬСТВО ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ
УПРАВЛЕНИЕ ПО РАЗВИТИЮ ПРОМЫСЛОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЮ
БИОРЕСУРСОВ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.И. Богданов

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ
РЕАБИЛИТАЦИЯ
ВОДОЁМОВ**

3-е издание, дополненное и переработанное

Пенза 2008

УДК 556.115+582.232

Б 73

Рецензенты: доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией биохимии и биотехнологии фототрофных микроорганизмов, лауреат Государственной премии СССР, заслуженный деятель науки Российской Федерации **И.Н. Гоготов**; доктор биологических наук, профессор **М.Ф. Вундцеттель**; академик РАСХН **И.П. Кружилин**.

Богданов Н.И.

Биологическая реабилитация водоёмов / Н.И. Богданов. 3 изд., доп. и перераб. – Пенза: РИО ПГСХА, 2008. – 126 с.

Приведены сведения по биологической реабилитации водоёмов, включающие действия, направленные на минимизацию загрязняющих веществ, улучшение санитарного состояния, предотвращение «цветения» воды синезелеными водорослями, биологическую мелиорацию высшей водной растительности и, наконец, вылов рыбы и прочих биологических объектов. Причем рыба рассматривается не, только как объект промыслового или любительского лова, а и как компонент экосистемы, предназначенный для выноса из водоёма первичной продукции, которая трансформируется в рыбную продукцию в виде ихтиомассы.

В качестве механизма, использующегося для биологической реабилитации сточных вод и загрязненных водоёмов, служит представитель зеленых водорослей из класса протококковых – штамм *Chlorella vulgaris* BIN.

Для специалистов водного хозяйства, экологов, гидробиологов, преподавателей и студентов биологических факультетов.

Издано на средства областного бюджета в рамках целевой программы «Экология и природные ресурсы Пензенской области на 2007 – 2008 гг.»

ISBN 978-5-94338-325-0

© Н.И. Богданов, 2008

Оглавление

Введение.....	5
1 Биологическая реабилитация загрязненных водоёмов и сточных вод.....	7
1.1 Реабилитация сточных вод после аэротенков и загрязненных водоёмов.....	10
1.2 Особенности реабилитации сточных вод птицефабрик	10
1.3 Биологическая реабилитация сточных вод химкомбината..	14
1.4 Санитарные качества воды	14
Выводы	17
2 Биологические основы предотвращения «цветения» синезеленых водорослей в Пензенском водохранилище.....	18
2.1 Общие понятия о «цветении» водоёмов и меры по его предотвращению	20
2.2 Природные условия водосборной площади и краткая гидрологическая характеристика Пензенского водохранилища	23
2.3 Физико-химическая характеристика водоёма.....	26
2.4 Фитопланктон Пензенского водохранилища.....	31
2.4.1 Видовой состав фитопланктона в 1992 и 1998 гг.	31
2.4.1.1 Альголизация Пензенского водохранилища в 1998 году	33
2.4.1.1.1 Характеристика штамма <i>Chlorella vulgaris</i> ИФР № С-111	34
2.4.1.1.2 Характеристика штамма <i>Chlorella vulgaris</i> BIN ..	37
2.4.1.1.3 Альголизация Пензенского водохранилища в 2001 и 2002 гг.....	40
2.4.2 Видовой состав фитопланктона Пензенского водохранилища после его альголизации	41
2.4.3 Численность фитопланктона	48
2.5 Первичная продукция фитопланктона и деструкция органического вещества в Пензенском водохранилище	50
2.6 Фитопланктон р. Суры и прилегающих водоёмов	52

2.7 Синезеленые водоросли, вызывающие «цветение» воды в Пензенском водохранилище.....	57
2.7.1 Синезеленые водоросли, вызывающие «цветение» воды в водоемах.....	57
2.7.2 Влияние зеленых водорослей на синезеленых, вызывающих «цветение» воды в Пензенском водохранилище	58
2.8 Бактериопланктон Пензенского водохранилища	65
2.9 Механизм действия суспензии хлореллы	67
2.10 Ихтиофауна как компонент экосистемы Пензенского водохранилища	68
Выводы	71
3 Биологическая мелиорация водоёмов	74
3.1 Гидрологическая и физико-химическая характеристика водоёма.....	75
3.2 Бактериопланктон	79
3.3 Фитопланктон	82
3.4 Первичная продукция фитопланктона и макрофитов.....	85
3.5 Деструкция органического вещества.....	90
3.6 Первичная продукция и вылов рыбы из водоёма-охладителя.....	91
Выводы	93
4 Роль растительноядных рыб в биологической мелиорации Пензенского водохранилища	95
4.1 Ихтиофауна и биологическая мелиорация водоёма-охладителя Балаковской АЭС	97
4.2 Использование растительноядных рыб для биологической мелиорации водоёмов-охладителей энергетических станций.....	100
Выводы	101
Заключение	103
Литература	106
Приложения	114

ВВЕДЕНИЕ

Возрастающая техногенная нагрузка вызывает значительное нарушение окружающей среды. Прогнозы на будущее не вселяют оптимизма. Во многом это связано с дальнейшим расширением масштабов производства и несовершенством используемых технологий. Имеющиеся разработки по очистке отходов производства чаще всего не используются по экономическим соображениям. Предлагаемый способ очистки отходов конкретного производства должен отвечать не только качественным требованиям, но и быть достаточно простым в использовании и малозатратным (Богданов, 2001).

Экологическое состояние водоёмов тесно связано с хозяйственной деятельностью человека. Это приводит к изменениям качества вод различных категорий водоёмов, выражающееся в эвтрофировании с последующим их загрязнением (Алимов, 1989).

Для предотвращения загрязнения водоёмов сделано много. Однако единого механизма, способного эффективно защищать водоёмы как от экзо- так и эндогенного загрязнения, пока не разработано. Скорее всего, решение этой проблемы заключается в комплексном подходе к ней. Это заключается не только в очистке сточных вод, как это делалось в 60-х и 80-х годах, а в том, чтобы достигнуть биологической реабилитации, как сточных вод, так и загрязнённых водоёмов.

Теоретической основой биологической реабилитации является комплексное решение проблем загрязнённых водоёмов. Схема биологической реабилитации водоёмов включает действия, направленные на минимизацию загрязняющих веществ, улучшение санитарного состояния, предотвращение «цветения» воды синезелеными водорослями, биологическую мелиорацию высшей водной растительности и, наконец, вылов рыбы и прочих биологических объектов. Причем рыба рассматривается не только как объект промыслового или любительского лова, а и как компонент экосистемы, предназначенный для выноса из водоёма первичной продукции, которая трансформируется в рыбную продукцию в виде ихтиомассы.

В качестве механизма, использующегося для биологической реабилитации сточных вод и загрязненных водоёмов, служит представитель зеленых водорослей из класса протококковых – штамм *Chlorella vulgaris* BIN. Он был выведен, учитывая положительные результаты, полученные по предотвращению «цветения» водоёмов синезелеными водорослями, где для альголизации использовался штамм *Ch. vulgaris* ИФР № С-111.

Данная разработка послужит как теоретической, так практической основой для биологической реабилитации водоёмов.

1 БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВОДОЁМОВ И СТОЧНЫХ ВОД

В настоящее время очистка сточных вод основывается на бактериальной деятельности. При этом необходимым условием является барботирование активного ила воздухом, из которого бактерии для своей жизнедеятельности поглощают кислород, а в окружающую среду выделяют углекислый газ. Порочность этой системы очистки заключается в колоссальном расходе кислорода на бактериальные процессы деструкции органических веществ при очистке сточных вод. Углекислый газ – продукт жизнедеятельности бактерий – выделяется в воздух, т. е. ныне существующие очистные сооружения являются потребителями кислорода и загрязнителями воздуха углекислым газом. В санитарном отношении бактериальная очистка не освобождает сточные воды от микроорганизмов, вызывающих заболевания человека и животных.

Биологическая особенность бактерий заключается в том, что они узкоспециализированы, т. е. нет одного вида бактерий, который мог бы очистить весь спектр веществ, которые находятся в сточных водах (Богданов, 2001).

Поэтому назрела острая необходимость найти иной подход к проблеме оздоровления окружающей среды. Еще в 60-х гг. прошлого века были проведены успешные разработки по очистке сточных вод культивированием в них представителей различных видов водорослей (Винберг, 1961; Сивко, 1961; Левина, 1961). Рост водорослей сопровождался, прежде всего, снижением концентрации аммиачного азота и минерального фосфора. В дальнейшем использовались биогенные элементы, первоначально входившие в состав органических веществ сточной жидкости (Винберг, 1961). Чаще всего в биологических прудах доминировали протококковые водоросли и только иногда вольвоксовые и эвгленовые. Биомасса водорослей, выращенных на сточных водах, не уступала, а зачастую и превышала, полученную на питательной среде (Сивко, 1961). Было установлено наличие бактерицидного компонента в культуральной жидкости протококковых

водорослей. Это способствовало освобождению сточной жидкости от сапрофитной и патогенной микрофлоры (Левина, 1961).

В 80-х гг. прошлого века охране водоёмов от попадания в них загрязнённых сточных вод с использованием биологических методов очистки, посвящено большое количество работ (Буриев, 1980; Таубаев, 1980; Вагисов, 1984 и др.). Так, например, при выращивании хлореллы на сточных водах городов Андижана, Намангана, Ахангарана за 6–8 дней плотность клеток достигает 89, Фергано-Маргиланского промышленного узла – 32–50, птицефабрики – 27–42, свиноводческого комплекса – 49–52 млн./мл. Процесс очистки сточных вод от органических и минеральных загрязнений с использованием микроводорослей протекает в 1,5–2,0 раза интенсивней (Вагисов, 1984). В результате биологической очистки стабилизируется гидробиологический режим сточных вод. Содержащиеся в сточных водах азотистые компоненты и фосфаты полностью используются водорослями (Буриев, 1980). С успехом водоросли используются для очистки фенольных сточных вод химических заводов и нефтепродуктов в сточной воде нефтеперерабатывающего завода (Минибаев, 1980; Буриев, 1984).

Выявлено бактериостатическое действие *Chlorella vulgaris* на микрофлору сточной воды животноводческого комплекса. Так, на третьи сутки роста водорослей численность бактерий, растущих на МПА (мясо-пептонный агар), уменьшилось в 1000, бактерий кишечной палочки – в 100 раз (Бильмес, 1984).

Использование смешанных культур протококковых водорослей (*Chlorella vulgaris*–157 и *Scenedesmus obliquus*–УА – 2–6) позволяет достигнуть обеззараживания суспензии на 99,0–100,0 %. При плотности клеток в суспензии хлореллы и сценедесмуса 50–80 млн./мл гибель бактерий группы *E. coli* составила 99,9 % (Таубаев, 1976).

Экологически это оправдано тем, что для своей жизнедеятельности водоросли используют минеральные (биогенные) вещества, углекислый газ и в процессе жизнедеятельности выделяют в окружающую среду кислород. Эволюционно водоросли находятся на более высокой ступени развития, например, по сравнению с бактериями, и поэтому многие виды являются универсальными потребителями органических и минеральных веществ.

Однако ни в 60-х, ни позже в 80-х гг. эти эксперименты с культурами микроводорослей не вошли в широкую практику очистки сточных вод, так как не было подобрано одного вида (монокультуры) или комплекса (поликультуры) видов для использования в системе очистных сооружений. Суть заключается в том, чтобы в водоёмы сбрасывалась не просто очищенная вода, соответствующая нормативным требованиям, а вода, прошедшая биологическую реабилитацию. Биологическая реабилитация – это восстановление экосистемы до естественного уровня.

Биологическая реабилитация загрязненных водоёмов происходит путем естественных процессов самоочищения «...за счет жизнедеятельности микроорганизмов, растений и животных...» (Алимов, 1989), населяющих эти категории водоёмов. Однако этот процесс протекает достаточно долго, и эффективность его низкая (Кузнецов, 1963; Кружилин, 2006).

Для ускорения процессов и повышения эффективности восстановления загрязненной воды используется способ биологической реабилитации за счет альголизации штаммом *Chlorella vulgaris* BIN (Богданов, 2002).

Биологическая реабилитация предусматривает заселение водорослями, подготавливаемых к сбросу сточных вод или альголизацию загрязненного водоёма. В качестве альголизанта используется представитель зеленых водорослей – штамм *Ch. vulgaris* BIN.

Для практического применения наибольший интерес представляет монокультура, поэтому с появлением штамма *Ch. vulgaris* BIN открылась новая возможность использовать не комплексы видов, а один штамм. Причем этот штамм легко культивируется и хорошо адаптируется к условиям водоемов, так как является планктонным (Богданов, 2007).

Штамм *Ch. vulgaris* BIN растёт на промышленных, сельскохозяйственных и бытовых сточных водах, при этом происходит структурная перестройка фитопланктонного сообщества, населяющего сточные воды и загрязненные водоёмы. В результате альголизации в сточных водах естественный альгоценоз дополняется *Ch. vulgaris* BIN, а в загрязненных водоёмах, наравне с *Ch. vulgaris* BIN, преобладание в развитии получают зеленые во-

доросли, наиболее благоприятные для экологического, санитарного и рыбохозяйственного состояния водоёма (Богданов, 2007).

1.1 Реабилитация сточных вод после аэротенков и загрязненных водоёмов

Сточные воды (бытовые) после аэротенков очищаются на 50–60 %, поэтому оставшиеся в растворе биогены и органические вещества являются исключительно благоприятной средой для развития водорослей. Поэтому добавление поликультуры микроводорослей в течение 8–10 дней снижало не только содержание азота и фосфора, но и численность болезнетворных бактерий (Таубаев, 1976).

Штамм *Ch. vulgaris* BIN, введенный в сточные воды, за четыре дня занимает доминирующее положение в фитопланктоне.

Как видно из таблицы 1, в сточной воде после аэротенков с добавлением суспензии хлореллы за период культивирования биологическая реабилитация достигла 95 %, тогда как без добавления суспензии хлореллы она составила 4,9 %.

В пробе из водоёма, загрязненного сточными водами за четыре дня после альголизации, биологическая реабилитация достигла 47,5 %, тогда как без добавления суспензии хлореллы – всего 4,2 %. В контроле хлорелла выращивалась на питательной среде, поэтому получены более высокие результаты: с добавлением суспензии хлореллы – 100 %, без добавления – 3,9 %.

1.2 Особенности реабилитации сточных вод птицефабрик

Результат естественного самоочищения сточных вод птицефабрики природным составом водорослей, в сравнении с биологической реабилитацией, при внесении суспензии хлореллы (штамма *Ch. vulgaris* BIN), приведен в таблице 1.

Сточная вода из пруда-накопителя птицефабрики без добавления суспензии хлореллы за два дня снизила показатель коэффициента пропускания света более чем в два раза. Однако с третьего дня культивирования процесс замедлился, и к четверто-

Таблица 1 – Показатели биологической реабилитации сточных вод после аэротенков, воды загрязненного водоёма и пруда накопителя птицефабрики (коэффициент пропускания света, %)

Показатель	День						Биологическая реабилитация, %
	0*	1	2	3	4	5	
Сточная вода после аэротенков:							
1) без добавления суспензии хлореллы	98,0	98,0	96,0	93,0	89,0	78,0	4,9
2) с добавлением суспензии хлореллы	98,0	66,0	36,0	22,8	8,2	4,0	95,0
Загрязненный водоём:							
1) без добавления суспензии хлореллы	98,0	98,0	96,0	95,0	91,0	90,0	4,2
2) с добавлением суспензии хлореллы	98,0	65,0	41,0	30,0	18,4	8,0	47,5
Сточная вода из пруда накопителя:							
1) без добавления суспензии хлореллы	47,0	47,0	31,0	22,0	27,5	28,3	13,4
2) с добавлением суспензии хлореллы	47,0	31,0	9,0	7,2	6,4	3,9	97,4
Питательная среда**:							
1) без добавления суспензии хлореллы	99,0	99,0	99,1	96,8	96,3	96,2	3,9
2) с добавлением суспензии хлореллы	99,0	68,0	38,0	21,7	9,0	3,8	100

* Исходная.

** Питательная среда приготовлена на водопроводной воде.

му дню показатель коэффициента пропускания света повысился до 28,3 %.

Предварительно был определен видовой состав водорослей в испытуемом образце воды. Температура воды в пруду была 4 °С. Отмечалось слабое «цветение» воды. Видовой состав водорослей был представлен: *Euglena viridis*, *Navicula lanceolata*, *Navicula placentula*, *Golenkinia radiata* и *Chlamidomonas debraryana*. Доминировал в планктоне представитель зеленых водорослей – вид *Golenkinia radiata*. Через два дня после начала культивирования произошла смена видового состава водорослей: *Chlorella vulgaris* f. *subolobloga*, штамм 132-1, *Cymbellaturgida*, *Golenkinia radiata*, *Euglena viridis* и *Kirchneriella obesa*. Доминировали в планктоне виды из зеленых водорослей: *Golenkinia radiata* и штамм *Chlorella vulgaris* f. *subolobloga*, 132-1 (Андреева, 1975). Смена видового состава была обусловлена изменением температуры и условиями освещения, при которых проводилось культивирование.

В опыте, в котором была добавлена суспензия хлореллы, к концу периода культивирования коэффициент пропускания света достиг 3,2 %. Видовой состав состоял из клеток штамма *Chlorella vulgaris* VIN. Представители исходных видов из планктона выпали.

В этой серии опыта биологическая реабилитация без добавления суспензии хлореллы составила 11,3 % по сравнению с тем, в котором была добавлена суспензия хлореллы (Контроль I, рисунок 1).

После добавления суспензии хлореллы отмечается нарастание биомассы, что свидетельствует об ускоренном изъятии из воды загрязняющих веществ по сравнению с контролем (Опыт I, рисунок 1).

Для сравнения этой серии опыта также можно использовать результаты, полученные с применением питательной среды, когда были получены лучшие результаты (Контроль III и Опыт III, рисунок 1).



Рисунок 1 – Биологическая реабилитация вод пруда-накопителя птицефабрики

1.3 Биологическая реабилитация сточных вод химкомбината

Результаты опытов по биологической реабилитации сточных вод с азотсодержащими загрязняющими веществами с использованием штамма *Chlorella vulgaris* BIN приведены в таблице 2.

Как видно из таблицы, в образце воды сточной канавы без добавления хлореллы снижение концентрации азота аммонийного на четвертый день составило 9 %, тогда как с добавлением суспензии хлореллы – 39 %. Общий азот снизился, соответственно, на 7 и 20 % (по данным ЦЗЛ ЛООС ООО «Завод полимеров Кирово-Чепецкого химического комбината»).

1.4 Санитарные качества воды

Обеззараживающее действие водорослей неоднократно было показано на примере сточных вод животноводческих хозяйств (Эргашев, 1980; Уделис, 1980). Использовались специально подобранный и адаптированный на стоках комплекс водорослей, состоящий из представителей зеленых, диатомовых и синезеленых. Необходимо отметить, что во всех случаях в комплекс водорослей входили различные виды из рода *Chlorella*.

После 8-суточной экспозиции жидкой части сточных вод свинофермы, куда был введен комплекс водорослей, гибель бактерий группы *E. coli* составила в среднем 99,1 %.

По микробиологическим показателям санитарного качества воды Волго-Донского судоходного канала (Карповское, Береславское и Варваровское водохранилище) и Цимлянского водохранилища установлено высокое антропогенное загрязнение в результате сброса недостаточно очищенных (обеззараженных) сточных вод, что приводит к нарушению естественного статуса этих водоёмов.

Исследование санитарного качества воды этих водохранилищ на участках, где проводилась альголизация суспензией хлореллы на основе штамма *Chlorella vulgaris* BIN и где присутствует водоросль хлорелла, показало, что «отсутствуют признаки

Таблица 2 – Результаты опытов по биологической реабилитации сточных вод химкомбината от азотсодержащих загрязняющих веществ с использованием штамма *Chlorella vulgaris* BIN

Показатель	Дата проведения анализов (октябрь, 2007 г.)					Снижение концентрации форм азота за 4 дня, %
	08*	09	13	17	20	
Коэффициент пропускания света, %						
Без добавления суспензии хлореллы	98,0	98,0	98,0	89,0	88,0	-
С добавлением суспензии хлореллы	98,0	48,0	38,0	2,0	1,0	-
Азот аммонийный, мг/л						
Без добавления суспензии хлореллы	3,4	3,4	3,1	1,1	0,9	9
С добавлением суспензии хлореллы	3,4	3,1	1,9	0,9	0,2	39
Азот общий, мг/л						
Без добавления суспензии хлореллы	15,1	15,1	14,1	14,0	14,0	7
С добавлением суспензии хлореллы	15,1	13,7	11,0	7,2	1,3	20

* Исходная.

фекального загрязнения, отмечаются интенсивные процессы самоочищения и минимальная бактериальная обсемененность» (рисунок 2).

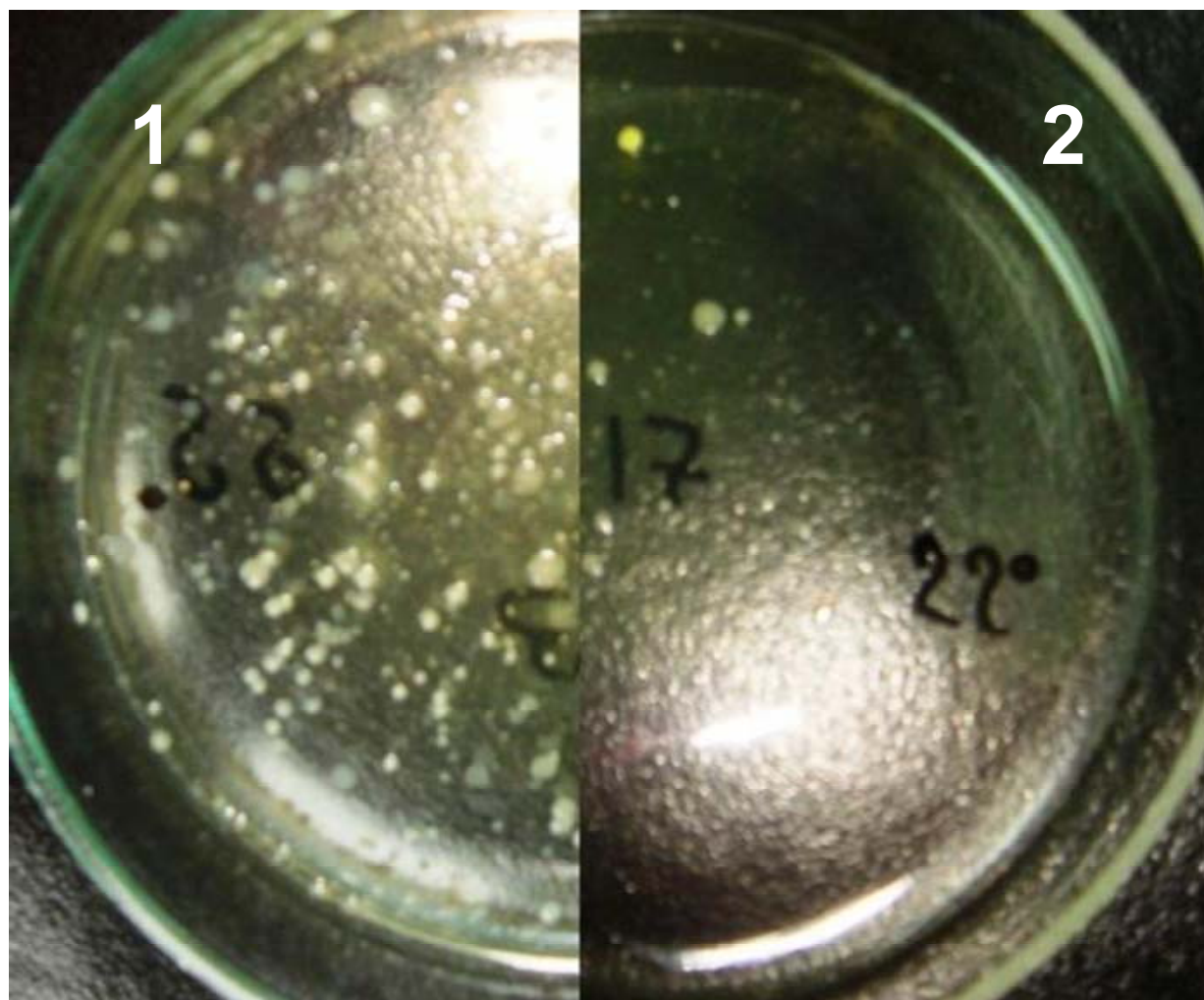


Фото Н.В. Воронович
Монтаж Н.И.Богданова

*Рисунок 2 - Рост сапрофитов на МПА:
1 – на участке без внесения хлореллы;
2 – на участке с внесением хлореллы.*

Выводы

Биологической реабилитации были подвергнуты бытовые сточные воды, вода загрязненного водоёма, сточные воды сельскохозяйственного производства и сточные воды химкомбината. Цель этих экспериментов заключалась в том, чтобы показать, что во всех случаях при вселении штамма *Chlorella vulgaris* BIN идёт интенсивный процесс восстановления загрязнённых вод независимо от их категории. Причем процесс протекает намного интенсивней, чем при естественном самоочищении, хотя в данном случае в этом процессе принимает участие широкий спектр микроорганизмов, населяющих водоём.

Подвергается изменению также химический состав воды. Хлорелла активно использует не только азот и фосфорсодержащие компоненты, но и многие химические элементы и соли, в том числе и микроэлементы.

Развитие хлореллы в сточных водах и загрязнённых водоёмах приводит к улучшению санитарного состояния (Эргашев, 1980). Хлорелла подавляет развитие болезнетворных бактерий, что даёт возможность использовать эти водоёмы для хозяйственно-питьевого водоснабжения и целей рекреации.

В результате биологической реабилитации загрязнённых водоемов и сточных вод улучшаются гидробиологические условия, возрастает кормность водоёма, создаются благоприятные условия для обитания рыб.

Использование штамма *Chlorella vulgaris* BIN с заложенными в нем принципиально новыми возможностями биологической реабилитации загрязнённых водоемов и сточных вод позволяет изменить экологическую обстановку и создать надежную систему оздоровления окружающей среды.

2 БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ «ЦВЕТЕНИЯ» СИНЕЗЕЛЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ В ПЕНЗЕНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Экологическая обстановка Пензенского водохранилища и питающих его рек за последнее десятилетие в результате постоянно увеличивающейся антропогенной нагрузки претерпела значительные изменения в сторону ухудшения качества воды, деградации биоценозов и структурных изменений ихтиофауны. Особую озабоченность вызывает ухудшение качества воды в результате функциональных изменений в экосистеме водоема в связи с тем, что водохранилище используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов Пензы, Заречного и прилегающих районов.

Преобладающее развитие синезеленых водорослей, вызывающих «цветение» воды с накоплением избыточной биомассы, создает технические трудности при подаче воды в городскую водопроводную сеть, ухудшает её химический состав и санитарные показатели.

Ихтиофауна, населяющая водоем, в силу ограниченности видового состава и численности, не способна в полной мере утилизировать ежегодно продуцирующиеся органические вещества, излишки которых накапливаются в водоеме, способствуя дальнейшей его эвтрофикации.

Пензенское водохранилище по уровню продуктивности ранее было отнесено к категории эвтрофных водоемов. Статус высокой продуктивности водоёма поддерживался за счет поступления в него с водосборной площади избыточного количества органических и биогенных веществ. Причем отмечалась тенденция к ежегодному возрастанию аллохтонного поступления. Поэтому с первых лет использования водохранилища возникла необходимость улучшения качества воды.

Исследования Пензенского водохранилища проводились различными научными организациями. Каждая научная организация решала определенные задачи. Казанский отдел «СевНИИ-ГИН» (1980-1989 гг.) рассматривал вопросы влияния промышленных стоков, сельскохозяйственных и бытовых сбросов на са-

нитарное состояние водоема. Московский институт химической физики АН СССР (1989-1991 гг.) решал задачу повышения качества воды химическими способами. Псковское отделение ГосНИОРХ (1983-1987 гг.) изучало видовой состав рыб и возможности их вылова из водоема. Наиболее полное в гидробиологическом отношении исследование водоема выполнено Саратовским отделением ГосНИОРХ (1995-1996 гг.). Нижегородское отделение ГосНИОРХ (2000-2002 гг.) провело ихтиологические исследования водохранилища. С 2001 года лабораторией гидробиологии и прудового рыбоводства ПензНИИСХ разрабатываются практические рекомендации по улучшению качества воды Пензенского водохранилища.

В связи с этим было запланировано комплексное исследование водоема и особенно тех его проблем, которые ранее не изучались. Намечено изучение видового состава фитопланктона, первичной продукции и деструкции органического вещества, определение видов синезеленых водорослей, вызывающих «цветение» воды, изучение ихтиофауны и вопросов рационального рыбохозяйственного использования водоема. С целью структурной перестройки фитопланктонного сообщества проводилась альголизация водоема представителями протококковых – штаммами *Chlorella vulgaris* для увеличения роли зеленых водорослей в альгоценозе как фактора, сдерживающего развитие синезеленых. Реконструкция ихтиофауны осуществлялась путем вселения в водоем фитофагов (белый толстолобик), зоопланктофагов (пестрый толстолобик) и макрофитофагов (белый амур).

В 2003 году проведены лабораторные исследования для выяснения механизма влияния альголизации на «цветение» водоема синезелеными водорослями. Одновременно изучен видовой состав фитопланктона прилегающих к водохранилищу Алферовского и Золотаревского прудов и р. Суры с целью установить влияние поступающих в водоем синезеленых водорослей на альгофлору Пензенского водохранилища.

В 2006 г. научно-исследовательские работы на водоёме проводились по областной целевой программе «Развитие рыбного хозяйства в Пензенской области в 2005-2007 гг. и на период до 2010 года».

2.1 Общие понятия о «цветении» водоёмов и меры по его предотвращению

Многие водоёмы России ежегодно «цветут» синезелеными водорослями. Благоприятные природно-климатические условия способствуют их массовому развитию. Биомасса синезеленых водорослей накапливается в заливах, выносится в открытую часть, тем самым способствуя массовому развитию синезеленых водорослей на значительной акватории водоёма. «Цветение» воды усугубляет гидробиологическое состояние водоёма и вызывает структурные изменения в экосистеме. После отмирания водорослей огромное количество биомассы, разлагаясь, ухудшает химический состав и санитарные показатели, затрудняет забор воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения и сельскохозяйственного производства (Гусева, 1952; Сиренко, 1972).

Теоретической основой разработок по предотвращению «цветения» водоёмов явились наблюдения за гидробиологическим режимом, которые были проведены на Кайраккумском и Нурекском (Таджикистан) водохранилищах (Богданов, 1975). На Кайраккумском водохранилище исследования проводились в течение 25-летнего периода, которые показали, что при доминировании в фитопланктоне зеленых водорослей, массового развития синезеленых, тождественного «цветению», не отмечается, хотя последние присутствуют в планктоне (Богданов, 1990, 1991; Богданов, 2007).

Практическое подтверждение эта теория получила на рыбоводных прудах Московского и Куйбышевского районов (Таджикистан). Внесение удобрений (азотных и фосфорных) и суспензии хлореллы в рыбоводные пруды, направленное на преимущественное развитие зеленых водорослей сдерживало развитие синезеленых, что позволило получить высокую продукцию товарной рыбы (Богданов, Эгамов, 1993).

Левич с соавторами (1997) в опытах по внесению в пруды (Астраханская область) минеральных форм азота и фосфора в различных количественных сочетаниях подтвердил наши доводы о «возможности достижения эффекта направленного регулирования типа «цветения» в природных условиях. При повышении величины отношения азота к фосфору биомасса протококковых

возрастает, а биомасса цианобактерий, наоборот, снижается». Разумеется, что в водохранилищах регулировать тип «цветения» внесением минеральных форм азота и фосфора невозможно. Поэтому нами была предложена и практически испытана на Пензенском водохранилище альголизация водоёма штаммами хлореллы (Богданов, 2007).

«Цветение» воды вызывают представители трёх родов: *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Microcystis* (Сиренко, 1972). Они являются эврибионтными видами, которые в массе развиваются в водоёмах независимо от их размера, типа и географического положения (Приймаченко, 1981).

Известны различные подходы и пути решения этой проблемы. Методы механического изъятия и химического воздействия на места скопления водорослей «можно рассматривать как частичную меру по улучшению санитарного состояния водоёмов» (Приймаченко, 1981). Эти меры не могут устранить причины, вызывающие «цветение» воды и предохранить водоём от излишнего развития синезеленых водорослей. Принято считать, что основной причиной, вызывающей «цветение» воды синезелеными водорослями, является антропогенное эвтрофирование водоёмов. Однако, более вероятно, что причина накопления синезеленых водорослей заключается в невозможности использования их в водоёме. А.Д. Приймаченко справедливо указывает на то, что эти виды представлены крупными колониальными формами, которые недоступны для потребления беспозвоночными. Использование растительноядных рыб (белый толстолобик, пёстрый толстолобик) для мелиорации водоёмов оказалось недостаточно эффективным из-за больших размеров колоний этих водорослей. Поэтому примеры использования растительноядных рыб для борьбы с «цветением» водоёмов чаще всего не приводили к ожидаемым результатам (Кудерский, 2000).

Решением этой проблемы является изменение структуры фитопланктонного сообщества, при которой достигается естественное развитие видов, присущих данной экосистеме. При этом в фитопланктоне соотношение синезеленых и зеленых водорослей должно быть в пользу последних. Преобладание в планктоне водоёма зеленых водорослей сдерживает массовое развитие синезеленых, предохраняя водоём от «цветения». Однако аборигенные

виды зеленых водорослей защитить водоём от «цветения» не могут, в противном случае водоёмы бы не «цвели». Для повышения роли зеленых водорослей и предотвращения «цветения» воды предполагается введение (альголизация) в водоём штаммов *Chlorella vulgaris* BIN или ИФР №С-111, поскольку аборигенные виды хлореллы оказались малоэффективными для этих целей. Обладая хорошо выраженными планктонными свойствами, эти штаммы хлореллы проявляют выраженный антагонизм к синезеленым водорослям выше приведенных родов. В лабораторных экспериментах достигнут полный лизис колоний синезеленых водорослей перечисленных родов (Богданов, 2004).

Планктонные штаммы хлореллы способствуют преобладающему развитию в водоёме зеленых водорослей. Так, анализы фитопланктона Пензенского водохранилища после альголизации водоёма штаммами хлореллы показали, что в летне-осенний период в планктоне преобладали зеленые водоросли, при этом по численности они составляли от 50 до 70 % общего количества фитопланктона. Очевидно, доминирование зеленых водорослей, в том числе штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 в структуре фитопланктона водоёма в течение 2001-2004 годов предотвращало «цветение» синезелеными водорослями. Акклиматизированная хлорелла расселилась по всей акватории водоема.

Зеленые водоросли являются прекрасными кормовыми организмами, которые используются фильтраторами, и поэтому они не накапливаются в воде, трансформируясь по пищевым звеньям экосистемы (Левич и др., 1997).

В результате альголизации Пензенского водохранилища произошел сдвиг в видовом составе фитопланктона в сторону представителей зеленых, и баланс между синезелеными и зелеными водорослями сместился в пользу последних. «Цветения» воды в водохранилище в течение последних восьми лет (2001-2008 гг.) практически не отмечалось, несмотря на непрерывное поступление в него синезеленых водорослей из прилегающих водоёмов и р. Суры.

Следовательно, наиболее эффективный способ предотвращения «цветения» воды синезелеными водорослями заключается в альголизации водоёма представителями зеленых водорослей (Богданов и др., 2005), а для усиления эффекта альголизации

проводится зарыбление водоёма растительноядными рыбами (Богданов, Парамонов, 2003).

2.2 Природные условия водосборной площади и краткая гидрологическая характеристика Пензенского водохранилища

Климат района расположения водохранилища умеренно континентальный, со снежной умеренно холодной зимой и теплым летом. Продолжительность безморозного периода составляет 135 дней, с 11 мая по 24 сентября. Средняя годовая температура воздуха не превышает 3,5 °С. Средняя дата появления устойчивого снежного покрова – 28 ноября, схода снегов – 9 апреля. Среднегодовое количество осадков составляет 460 мм, из них на теплый период года приходится 297 мм.

Преобладающими ветрами в зимний период являются ветры южных и юго-восточных направлений, а в летний период – северных и северо-западных. Среднегодовая скорость ветра 4,2, максимальная – 30 м/с (Курицын и др., 1991 г.).

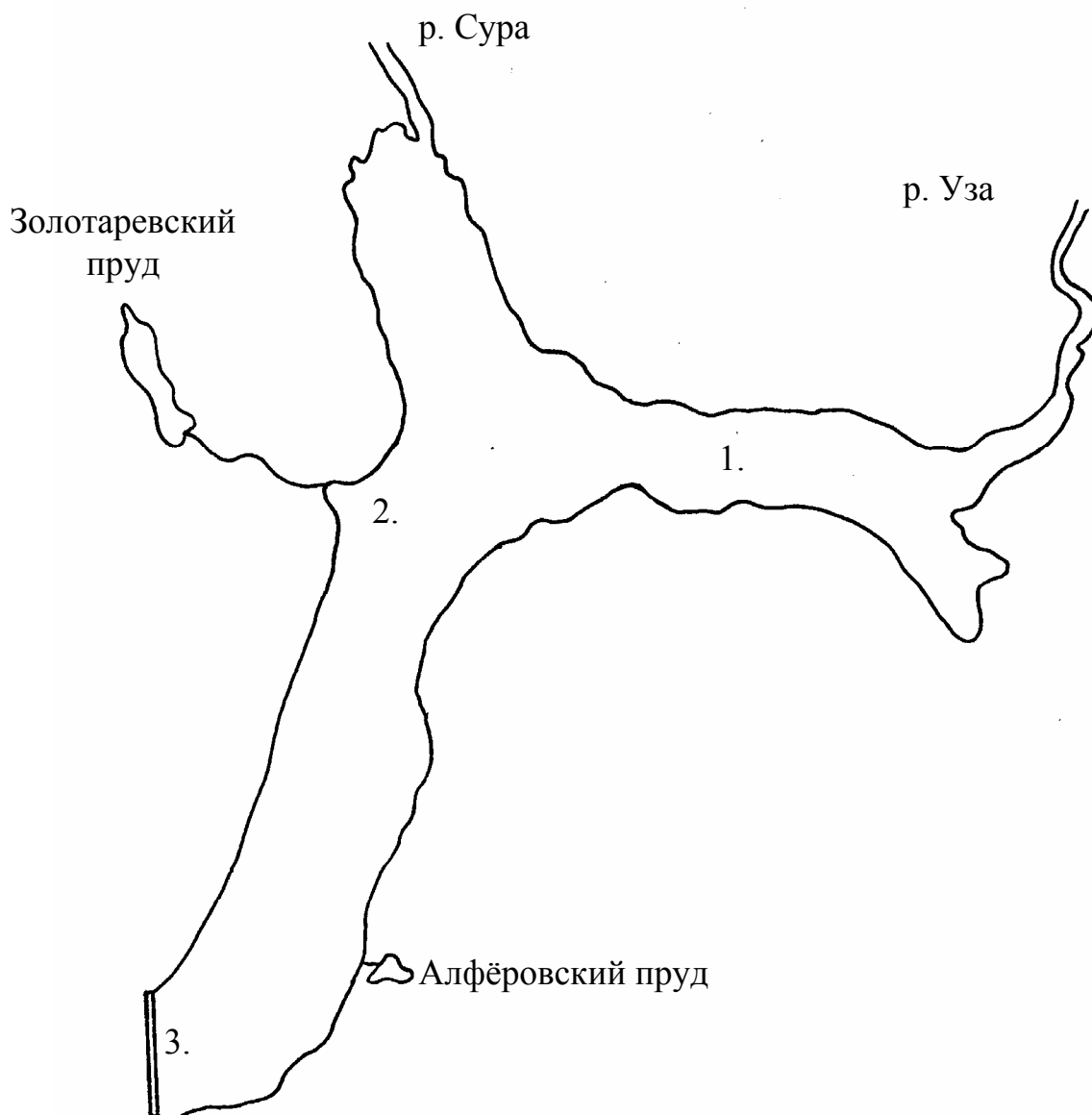
Пензенское водохранилище создано в 1979 г. путём перекрытия р. Суры на расстоянии 629 км от устья. Водоем предназначен для обеспечения промышленно-хозяйственных нужд, для орошения сельскохозяйственных угодий и питьевого водоснабжения населения города Пензы.

Площадь водохранилища при НПУ (т. е. при нормальном подпорном уровне) составляет 11 тыс. га, объем – 560 млн. м³. Мелководья занимают площадь до 2,5 тыс. га.

Верховье водохранилища разделено на два отрога. В правый отрог впадает р. Сура (Золотаревский участок, ст. 2), в левый – р. Уза (Узинский участок, ст. 1). Приплотинный участок (ст. 3) расположен от центра водохранилища до плотины (рисунок 3).

Общая площадь водосбора составляет 13800 км². Наибольшая длина водохранилища (по правому отрогу) равняется 32 км, ширина 4 км, средняя глубина – 5 м, максимальная – 15 м.

Пополнение водных запасов Пензенского водохранилища происходит, в основном, за счет р. Суры, впадающей в Золотаревский отрог, и р. Няньги, впадающей в Узинский отрог. По ма-



*Рисунок 3 – Карта-схема Пензенского водохранилища
Обозначения: 1-3 – номера станций*

териалам Сурского гидропоста, в 2003 г. в водохранилище поступило $1,2 \text{ км}^3$ воды. Приток по коллекторно-дренажной сети и из прилегающих к водохранилищу водоемов, а также поступление с осадками составляют незначительную часть (3–5 %).

В расходном балансе 95 % составляет сброс воды через гидроузел, остальное количество приходится на испарение и забор воды насосными станциями. При объеме водохранилища $0,56 \text{ км}^3$ водообмен за год равняется 2,14 раза.

Уровень воды зависит от водного режима питающих рек. Водоём, помимо коммунально-хозяйственного назначения, вы-

полняет функцию регулирования паводковых вод. Поэтому в весенне-летний период уровень воды в водохранилище находится на максимальной отметке. Сработка уровня начинается в сентябре и весь зимний период, до паводка (март) держится на уровне 147,5–147,8 м. В течение года колебание уровня не превышает трех метров (рисунок 4).

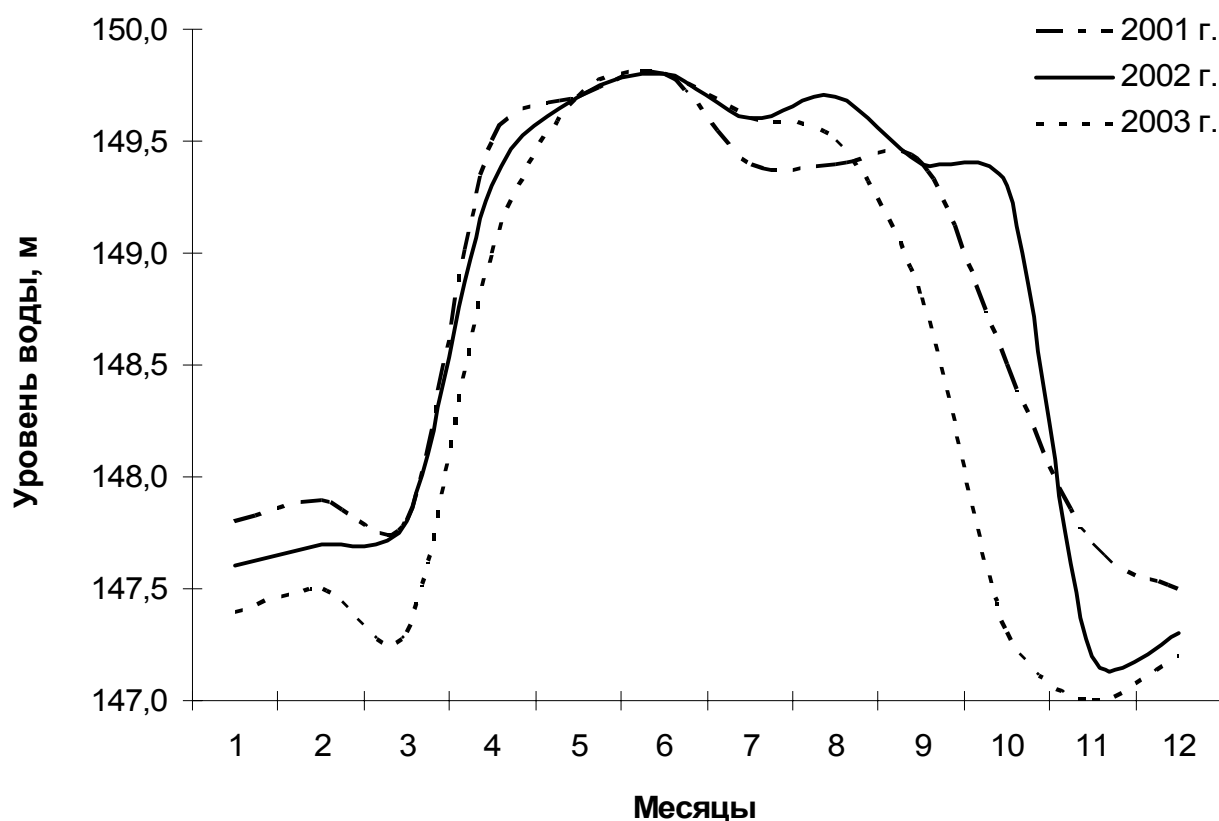


Рисунок 4 – Динамика уровня воды в верхнем бьефе Пензенского водохранилища

Правый берег водохранилища крутой и лесистый. Наиболее значительный населенный пункт, расположенный по правому берегу, – с. Золотаревка.

Левый берег пологий. По левому берегу расположено больше населенных пунктов, Узинский рыбхоз, животноводческие фермы. Здесь ведется распашка земель под сельскохозяйственные культуры. Мелководья Узинского участка водохранилища зарастают высшей водной растительностью.

2.3 Физико-химическая характеристика водоёма

Физические и химические факторы среды обитания являются основополагающими для гидробионтов. Среда обитания может изменяться под влиянием организмов, населяющих водоем, а также в результате антропогенного воздействия. В водной среде показатели газового режима, рН, температуры воды варьируют как по сезонам, так и в течение суток.

Так, в утренние часы содержание в воде растворенного кислорода может быть меньше, чем в другое время суток. Величины рН в течение светового дня могут изменяться, начиная от кислой и до щелочной реакции.

Температурный режим воды Пензенского водохранилища довольно обстоятельно изучался в течение ряда лет (1998, 2001-2003 гг.). В летнее время вода прогревается до 28 °С (Приложения А, Б; таблица 3). Разница температур в придонных и поверхностных слоях незначительная, что объясняется сильным ветровым воздействием на относительно неглубокий водоем. Различные участки водоемагреваются неравномерно. Так, температура воды у плотины 18 июня 1998 г. была 25 °С, тогда как на Золотаревском участке она составила 23 °С и в то же время в Узинском отроге – 24 °С. Весной и осенью температура воды находилась в пределах 13–15 °С (Богданов, 1999 г.).

Температурный режим воды Пензенского водохранилища в 2003 г. значительно отличался от прошлых лет (таблица 3). Средняя температура воды была на 4 °С меньше, чем в 2002 г., и составила 16,3 °С. Максимальная температура отмечалась в июле на Золотаревском участке в поверхностном слое воды (21,8 °С), что на 6,4 °С ниже, чем в 2002 году (Приложение Б).

Разница температуры воды в летние месяцы по различным участкам акватории водохранилища составила 3–4 °С, причем температура воды Приплотинного участка обычно превышает температуру на других участках. В 2003 году такого различия не отмечалось. Водная толща прогревалась достаточно равномерно, и разница в вертикальном распределении температур составляла до 2 °С.

Прозрачность воды зависит от целого ряда факторов, основным из которых является наличие в воде минеральных взве-

шенных веществ и планктона. В 2002 году лишь в начале (май) и конце сезона (октябрь) прозрачность была менее 1 м, в остальные месяцы она превышала этот показатель. Максимальное значение (1,75 м) было отмечено в июле на Приплотинном участке (таблица 3). Весь период исследований здесь отмечалась относительно высокая прозрачность воды по сравнению с остальными участками водохранилища.

Таблица 3 – Физико-химические показатели воды на участках Пензенского водохранилища в 2003 году

Участок водохранилища	Дата отбора проб	Прозрачность, м	Температура, °С			Кислород, мг/л			pH		
			0	1 м	3 м	0	1 м	3 м	0	1 м	3 м
Приплотинный	март	–	0,6	0,3	0,3	9,4	9,5	9,4	8,38	8,38	8,58
Приплотинный	апрель	–	1,1	0,1	0,2	8,5	8,5	8,6	8,38	8,38	8,38
Приплотинный	май	0,40	15,1	14,7	14,4	5,4	5,4	5,5	7,0	7,00	7,00
Узинский отрог		0,40	17,1	15,8	14,4	5,8	5,7	5,7	7,37	7,30	7,20
Золотаревский отрог		0,70	19,1	19,2	18,8	4,9	4,9	4,9	8,60	8,60	8,60
Приплотинный	июнь	0,80	15,0	14,8	14,9	5,4	5,5	5,5	7,78	7,78	7,78
Узинский отрог		0,50	16,3	15,3	15,0	5,8	5,7	5,8	8,58	8,58	8,58
Золотаревский отрог		0,65	17,0	16,9	16,8	5,6	5,7	5,8	7,57	7,57	7,57
Приплотинный	июль	1,35	20,6	20,5	20,4	4,6	4,7	4,7	7,60	7,60	7,60
Узинский отрог		0,50	20,3	21,4	22,0	5,1	5,0	4,9	7,59	7,59	7,59
Золотаревский отрог		0,60	21,8	21,6	19,9	5,0	5,2	4,5	8,58	8,58	8,58
Приплотинный	август	1,40	19,8	19,7	19,5	5,1	5,1	5,1	7,57	7,57	7,57
Узинский отрог		0,65	18,8	19,0	19,1	5,3	5,0	4,9	8,03	8,03	8,03
Золотаревский отрог		0,70	18,1	17,9	17,8	5,2	5,2	5,3	7,59	7,59	7,59
Приплотинный	сентябрь	0,65	14,0	13,6	13,2	7,2	7,5	6,8	7,20	7,20	7,20
Узинский отрог		0,50	7,3	7,3	7,4	6,5	6,4	6,3	7,37	7,37	7,37
Золотаревский отрог		0,45	13,2	13,2	13,2	7,0	7,1	7,3	5,57	5,57	5,57
Приплотинный	октябрь	0,30	11,0	10,9	10,8	7,5	7,6	7,6	7,59	7,59	7,59

В 2003 году прозрачность воды за вегетационный период находилась в пределах от 0,40 до 1,35 м, а в среднем составила 0,65 м. По сравнению с предыдущими годами она снизилась почти в два раза. Снижение прозрачности воды было обусловлено большим количеством взвешенных частиц, поступивших в водоем в паводковый период. Наиболее высокая прозрачность воды, как и в прошлые годы, наблюдалась на Приплотинном участке.

Кислородный режим водоема играет наиболее важную роль для жизнедеятельности гидробионтов. Кислород образуется в самом водоеме в результате фотосинтеза растений. Если вода не насыщена кислородом, то он поступает из атмосферы. Кислород расходуется на дыхание и другие окислительные процессы, протекающие в водоеме, а при наличии высоких концентраций убывает в результате выхода в атмосферу. Кислородный режим водоема зависит от ряда факторов: температуры воды, фотосинтеза фитопланктона, ветрового перемешивания, интенсивности окислительных процессов в водоеме, дыхания гидробионтов и других.

В период исследований 2002 года кислородный режим водоема был стабильным по всем участкам водохранилища. Данные анализов на содержание растворенного кислорода показали, что в летние месяцы на Приплотинном участке концентрация кислорода не превышает 5,5 мг/л, а на Золотаревском и Узинском участках его содержание находилось в пределах от 4,0 до 9,0 мг/л.

В период исследований 2003 г. содержание растворенного кислорода возросло по сравнению с 2002 г. и в среднем составило 6,1 мг/л за вегетационный период. Летом содержание кислорода в водной толще изменялось незначительно и находилось в пределах 4,5–5,8 мг/л. Весной и осенью уровень содержания кислорода в воде повышался, достигая величин 7,5–9,5 мг/л.

Кислородный режим водохранилища за последние годы (2001-2003 гг.) в значительной мере улучшился по сравнению с прежними годами, например, с 1998 г., когда в летний период концентрация O_2 не превышала 3,0 мг/л (Богданов, 1999 г.).

Концентрация водородных ионов (pH) в воде определяется интенсивностью протекания окислительно-восстановительных процессов в водоеме. От этого зависят многие стороны жизнедеятельности гидробионтов, особенно микроорганизмов. В показа-

ниях рН за последние годы значительных изменений не отмечалось. За вегетационный период они колебались от 7,5 до 8,8 (Приложения А, Б; таблица 3).

Биогенные элементы являются одним из наиболее важных показателей химического состава воды. Концентрации азот- и фосфорсодержащих соединений в воде Пензенского водохранилища за 2001-2003 гг., по данным Пензенского филиала ФГУ «СИАК», приведены в таблице 4. Так, средняя концентрация общего азота в 2003 году составила 1,63, максимальная – 2,59, а минимальная – 0,47 мг/л; содержание фосфатов соответственно составило 0,29, 0,62 и 0,10 мг/л. При анализе многолетней динамики биогенов в водохранилище отмечается тенденция к повышению среднегодовых концентраций форм минерального азота и фосфора в воде.

Содержание микроэлементов также является важной характеристикой химического состава воды. Концентрации общего железа и марганца превышали допустимые нормы практически с момента создания Пензенского водохранилища, что обусловлено особенностями песчаников, составляющих русло реки Суры (Коркина, 2003). Средняя концентрация общего железа составила 0,62, а максимальная достигла 3,5 мг/л. Нужно отметить, что содержание железа выше 0,5 мг/л неблагоприятно влияет на фитопланктон и может вызвать его коагуляцию с последующим отмиранием (Богданов, 1999). Ингибирующее влияние железа на фитопланктон было также указано А.Д. Приймаченко (1981).

По данным ЦГСЭН, качество воды Пензенского водохранилища в 1998 году ухудшилось по сравнению с 1996 и 1997 гг. (таблица 5). Содержание БПК_{полн.}, окисляемости, взвешенных веществ, азота аммонийного, нитратов резко повышалось в весенне-летний период (апрель-июнь), что свидетельствует об органическом загрязнении водоема.

Исследования, проведенные в первой половине 2003 года, показали, что стабильными остаются показатели: по цвету, запаху, рН, хлоридам, общей жесткости, окисляемости, щелочности, БПК_{полн.}, фтору, фенолам, сухому остатку, цинку, хрому, свинцу, молибдену, полифосфатам, мышьяку и аммонии. Снижение уровня содержания веществ в воде отмечается: по аммиаку, нитратам, железу, кальцию, меди, никелю, кадмию, марганцу, взве-

Таблица 4 – Содержание биогенов и некоторых микроэлементов в воде Пензенского водохранилища

Показатель	ПДК	Год	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
N амм.	0,40	2001	0,880	0,180	0,120	0,360	0,520	0,240	0,180	0,500	0,40	0,280	0,240	0,160
		2002	0,400	0,600	0,300	0,280	0,280	0,160	0,200	0,040	0,30	0,340	0,400	0,600
		2003	0,240	0,460	0,520	0,440	0,680	0,760	0,800	0,440	0,56	0,220	0,720	0,280
N нитрит.	0,02	2001	0,015	0,018	0,027	0,040	0,041	0,005	0,010	0,034	0,00	0,038	0,000	0,020
		2002	0,016	0,015	0,030	0,025	0,024	0,040	0,002	0,015	0,02	0,012	0,024	0,040
		2003	0,010	0,030	0,070	0,024	0,007	0,020	0,014	0,002	0,01	0,020	0,017	0,010
N нитрат.	9,10	2001	1,760	1,800	2,020	1,100	1,090	0,340	0,380	0,290	0,28	0,250	0,600	0,620
		2002	0,740	0,690	1,750	1,770	0,730	0,260	0,070	0,050	0,03	0,200	0,410	0,940
		2003	1,020	1,600	2,000	1,580	1,400	0,650	0,620	0,007	0,69	0,250	0,270	0,560
Фосфаты	0,60	2001	0,100	0,160	0,090	0,280	0,400	0,024	0,008	0,330	0,50	0,290	0,140	0,400
		2002	0,240	0,410	0,060	0,083	0,350	0,350	0,070	0,340	0,45	0,300	0,220	0,300
		2003	0,240	0,100	0,135	0,400	0,620	0,210	0,300	0,230	0,42	0,340	0,350	0,300
Железо об.	0,10	2001	0,210	0,320	0,200	2,120	0,400	0,690	0,400	0,720	0,16	0,150	0,290	0,220
		2002	0,190	0,130	0,190	0,330	0,200	0,567	0,110	0,110	0,54	0,350	0,150	0,380
		2003	0,160	0,130	0,140	0,880	2,400	0,500	0,400	0,100	0,20	0,360	0,320	0,400
Марганец	0,01	2001	0,090	0,076	0,060	0,138	0,050	0,090	0,070	0,080	0,05	0,079	0,040	0,036
		2002	0,020	0,028	0,094	0,100	0,027	0,007	0,006	0,150	0,03	0,088	0,050	0,107
		2003	0,080	0,130	0,140	0,220	0,100	0,010	0,030	0,030	0,05	0,06	0,13	0,07

Таблица 5 – Сравнительная характеристика изменения показателей качества воды за период 1996-1998 гг.

Показатель, мг/дм ³	1996 г.	1997 г.	1998 г.
Взвешенные вещества	30–68	56–90	27,5–113,5
БПК _{полн.}	6,5–8,0	6,6–9,0	4,0–6,8
Окисляемость	2,6–5,2	10,8	3,6–28,9

шенным веществам. За указанный период повысился уровень сульфатов и магния.

Таким образом, можно констатировать, что санитарное состояние водоема за последние годы (2001-2003 гг.) значительно улучшилось по сравнению с прежними годами (1998-2000 гг.).

2.4 Фитопланктон Пензенского водохранилища

2.4.1 Видовой состав фитопланктона в 1992 и 1998 гг.

В 1992 году фитопланктон Пензенского водохранилища был изучен Саратовским отделением ГосНИОРХ. По отчетным материалам (1992 г.) видовой состав фитопланктона был представлен 122 видами, разновидностями и формами, в том числе 46 видами диатомовых, 35 – зеленых, 16 – синезеленых, 13 – эвгленовых, двумя – пиррофитовых, пятью – желто-зеленых и пятью – золотистых. Массовое развитие синезеленых водорослей в 1992 году пришлось на конец июня – начало июля. При этом синезеленые водоросли (цианобактерии) составили более 90 % от общей биомассы фитопланктона. Они были представлены *Aphanizomenon flos-aquae* в сопровождении *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae* и *Phormidium frigidum*.

Результаты наших исследований Пензенского водохранилища в 1998 году показали, что в июне сестон Приплотинного участка состоял на 90 % из разложившихся синезеленых водо-

рослей. Среди неразложившихся остатков был обнаружен только один вид синезеленых водорослей – *Anabaena variabilis*. К концу месяца в фитопланктоне в массе появились *Microcystis pulveria* и *Aphanizomenon flos-aquae*. Другие микроводоросли как в видовом, так и в количественном составе были малочисленны. Так, из зеленых были *Scenedesmus quadricauda* и *Ankistrodesmus falcatus*, из жгутиковых – представители рода *Ceratium*, из диатомовых – *Synedra acus* и *Cyclotella comta*. Нужно отметить, что распределение водорослей по акватории водохранилища было неравномерным. На отдельных участках (Золотаревский и Узинский) массового развития синезеленых водорослей не наблюдалось.

В июле в воде Приплотинного участка водохранилища были обнаружены скопления разложившихся синезеленых водорослей, среди которых при прямом микроскопировании попадались единичные клетки представителей зеленых – *Scenedesmus quadricauda* и *Ankistrodesmus longissimus*. В то же время в воде Узинского участка был обнаружен богатый видовой состав водорослей, в основном, представителей зеленых. Синезеленые водоросли в численном отношении были в небольшом количестве и относились к двум видам – *Anabaena variabilis* и *Microcystis aeruginosa*. В процентном отношении к остальным видам синезеленые водоросли составляли не более 1–3 %.

В августе фитопланктон на Приплотинном участке состоял на 96–98 % из синезеленых водорослей. В местах скопления водорослей в массе был представлен *Aphanizomenon flos-aquae*, в планктоне присутствовали также *Microcystis pulveria*, *Anabaena flos-aquae*. Из зеленых водорослей были обнаружены представители родов: *Pediastrum*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*. К концу месяца в планктоне из синезеленых водорослей остался только один вид – *Aphanizomenon flos-aquae*, большая часть клеток которого находилась в стадии разложения. В поле зрения микроскопа редко попадались представители зеленых водорослей и отдельные клетки диатомовых.

Последний раз в 1998 году «цветение» воды на Приплотинном участке отмечалось 18 сентября и было вызвано *Aphanizomenon flos-aquae*. На остальных участках водохранилища массового развития синезеленых водорослей не наблюдалось (Богданов, 1999).

Сравнивая результаты наших исследований по видовому составу синезеленых водорослей с материалами Саратовского отделения ГосНИОРХ, следует отметить, что существенных изменений в видовом составе не произошло. Общими видами синезеленых водорослей, вызывающих «цветение» воды, как для 1992, так и для 1998 гг., были: *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis pulveria*, *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena variabilis*.

2.4.1.1 Альголизация Пензенского водохранилища в 1998 году

Первая попытка альголизации хлореллой (*Chlorella vulgaris*) Пензенского водохранилища была предпринята в 1998 году. Идея альголизации водоема штаммом зеленой водоросли *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 основывалась на том, что диапазон ее роста довольно широк не только на питательных средах, но и в природных водах. Содержание биогенов, органических веществ, микроэлементов в воде Пензенского водохранилища (см. таблицу 4) было оптимальным для развития хлореллы. Мы полагали, что хлорелла может создать конкуренцию синезеленым водорослям в использовании биогенных веществ. Установлено, что при концентрации фосфора 0,05 мг/л массового развития синезеленых водорослей не наблюдается (Приймаченко, 1981). Таким образом, чем больше снизится концентрация азота и фосфора в воде за счет использования их зелёными водорослями, тем меньше возможностей останется для развития синезеленых водорослей.

Однако прежде чем проводить альголизацию водоема имеющимся штаммом, необходимо было выделить из Пензенского водохранилища аборигенный вид *Chlorella vulgaris* и попытаться альголизировать водоем именно этой формой (как наиболее приспособленной к природно-климатическим и гидробиологическим условиям водохранилища).

Для выделения из водохранилища аборигенной формы *Chlorella vulgaris* были отобраны пробы воды с различных участков водохранилища. Методом накопительных культур (Методы физиолого-биохимического исследования водорослей..., 1975) её

удалось выделить из образца воды Узинского участка водохранилища.

Аборигенный вид *Chlorella vulgaris* (1) и штамм *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 (2) культивировались на водохранилищной воде с использованием питательной среды (Богданов, 1999 г.). Сравнительная характеристика некоторых особенностей аборигенных форм (1) и штамма (2) приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнительная характеристика штаммов

Показатель	1	2
Размер клетки, мкм	3–6	4–9
Рост на питательной среде	удовлетворительный	хороший
Способность к осаждению	осаждается	не осаждается
Прилипание к стенкам сосуда	прилипает	не прилипает
Отношение к свету	не светолюбив	светолюбив

Приведенные показатели свидетельствует о том, что аборигенная форма хлореллы по основным показателям уступает штамму *Chlorella vulgaris*. Независимо от этого, аборигенная форма хлореллы из Пензенского водохранилища была раскультивирована на питательной среде, и суспензия в количестве 20 л с плотностью клеток 60 млн./мл внесена в водохранилище в районе станции 1 (рисунок 3).

Учитывая хороший рост штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 на водохранилищной воде и его положительные качества по сравнению с аборигенной формой, суспензия штамма хлореллы (20 литров) была внесена в водохранилище в районе станции 2 (Богданов, 1999).

*2.4.1.1.1 Характеристика штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111*

Штамм *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 (рисунок 5) выделен из образцов воды Нурекского водохранилища (Таджикистан) в 1977 году. Для этого были изучены микроводоросли Нурекского

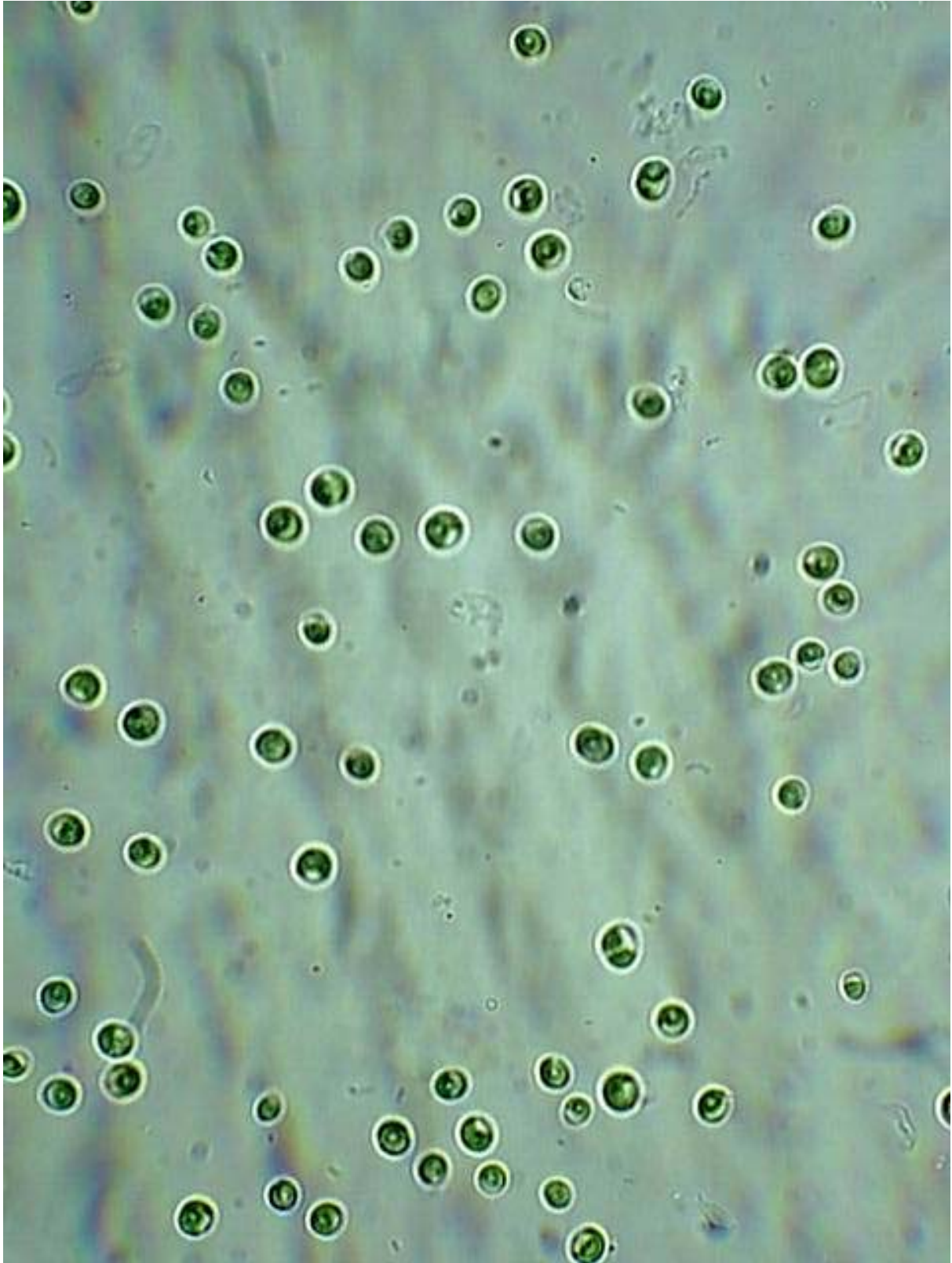


Рисунок 5 – Штамм *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111, увеличение 1000х

водохранилища, где среди фитопланктона была обнаружена *Chlorella vulgaris*. Определение вида проводилось по В.М. Андреевой (1975).

Морфологические признаки. Молодые клетки слабоэллипсоидные, размером от 1,5 до 2,0 мкм. Взрослые – шаровидные, на жидкой питательной среде 6–8 мкм в диаметре, на дно не осаждаются, стенки сосуда не обрастают. На агаризированной питательной среде на 7–10-й день на свету образуются круглые, гладкие и выпуклые колонии с ровными краями. Диаметр колоний 3–4 мм, окрашены в темно-зеленый цвет, размер клеток 5–8 мкм. Хлоропласт широкопоясковидный незамкнутый.

Физиологические признаки. Делится на два – восемь, очень редко на 16 автоспор. Штамм автотрофный. Растет на среде: аммиачная селитра 0,2–1,0 г; суперфосфат (1 % раствор) – 0,2 мл; железо сернокислое (1 % раствор) – 0,15 мл; азотнокислый кобальт (0,01 % раствор) – 1 мл; сернокислая медь (0,01 % раствор) – 1 мл; бактериальная суспензия – 25–40 мл; водопроводная вода – 1 л. В лабораторных условиях культивируется на среде Тамия (Музафаров, Таубаев, 1984; Владимирова, Семенов, 1962).

Штамм не требует специальной подачи в культуру углекислого газа. Достаточно один раз в сутки ввести бактериальную суспензию, насыщенную углекислым газом, который образуется за счет деятельности клетчатковых бактерий при разложении клетчаткосодержавшего материала, например, хлопкового линта, соломы и пр. (Имшенецкий, 1953).

Культуральные свойства. Оптимальные условия культивирования при естественном солнечном освещении в лотках с открытой поверхностью и толщиной слоя суспензии, не превышающей 20 см. Режим освещения соответствует естественнойточной инсоляции в летний период.

Штамм обладает способностью свободного парения и равномерного распределения в культуральной среде.

Оптимальная температура культивирования 26–36 °С.

Цикл развития штамма следующий: в светлый период суток идет активный процесс фотосинтеза, в результате чего клетки интенсивно набирают биомассу. Размеры клеток с 6 до 21 часа увеличиваются с 1,5 до 8,0 мкм. Активное деление клеток наблюдается с 22 до 4 часов. К 5 часам утра молодые клетки готовы к фо-

тосинтезу. Цикл развития клеток стойкий, нарушить его можно путем искусственного изменения светового режима.

Штамм выносит прямое солнечное освещение, при достижении плотности клеток в культуре более 10 млн./мл проявляются хорошо выраженные антагонистические свойства к альгофлоре, бактериям и инфузориям. Лизис альгофлоры в культуре штамма наступает через 4–8 часов, гибель бактерий и инфузорий через 6–10 часов культивирования. Штамм обладает невосприимчивостью к фагам.

При культивировании в лабораторных условиях на среде Тамия в термостате при температуре 36 °С и интенсивности освещения 30000 люкс на третьи сутки плотность клеток в культиваторе достигает 80 млн./мл при исходном количестве 9 млн./мл.

В стеклопластиковых лотках, установленных под открытым небом на четвертые сутки плотность клеток достигает 60 млн./мл при исходном количестве 3 млн./мл.

Преимуществом штамма является его планктонные свойства и равномерное распределение клеток в водной толще (Богданов, 1997).

2.4.1.1.2 Характеристика штамма *Chlorella vulgaris* BIN

Исходным для селекции *Chlorella vulgaris* BIN (рисунок 6) был штамм *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111, который культивировался на сточных водах бытовых, промышленных и сельскохозяйственных предприятий. В результате чего был отобран промежуточный штамм, наиболее приспособленный и нетребовательный к условиям культивирования.

Морфологические признаки. Молодые клетки шаровидной или слабоэллипсоидной формы, размером от 2 до 4 мкм. Взрослые клетки – шаровидные, диаметром 5–8 мкм. Окраска клеток темно-зеленая, в суспензии они распределены равномерно и не осаждаются. Слабое обрастание стенок сосуда отмечается на третий день. На агаризированной обедненной минеральной среде на 10-й день на свету образуют круглые, выпуклые колонии с ровными краями. Диаметр колоний 1–3 мм, окрашены в темно-зеленый цвет, размер клеток 3–7 мкм.



*Рисунок 6 – Штамм Chlorella vulgaris BIN,
увеличение 1000x*

Физиологические признаки. Клетки делятся на 4-16, а чаще на четыре-восемь автоспор. Штамм автотрофный. В лабораторных условиях растет на водопроводной воде с добавлением обедненной минеральной среды. В производственных условиях к питательной минеральной среде добавляют сточные воды.

Штамм хорошо растет при использовании в питательной среде любых азотсодержащих минеральных солей и не требует подачи в культуру углекислого газа.

Оптимальные условия культивирования достигаются как при естественном солнечном освещении, так и при освещении культуры лампами ДРЛФ, ДРИ. Штамм обладает хорошо выраженными планктонными свойствами, т. е. способностью свободного парения и равномерного распределения в культуральной среде.

В процессе культивирования живые клетки практически не осаждаются. В состоянии покоя осаждение клеток начинается через 6–15 дней. Для культивирования штамма механического перемешивания суспензии не требуется.

Живые клетки штамма заряжены отрицательно, что позволяет использовать метод электрофлотации для концентрирования биомассы из культуральной среды.

Температура культивирования 20–40 °С, оптимальная – 26–31 °С. Штамм переносит краткосрочный перегрев до 46 °С.

Стойкого цикла развития у штамма не имеется, клетки в культуре развиваются асинхронно. Режим освещения соответствует естественной солнечной инсоляции, при искусственном освещении лампами ДРЛФ или ДРИ в течение 20–22 часов в сутки. Достаточный минимум освещения 7–10, оптимальный 16-22 часа. Устойчивое развитие штамма не зависит от сезона года или источника освещения.

Культуральные свойства. Штамм проявляет хорошо выраженные антагонистические свойства к альгофлоре, бактериям, грибам, дрожжам и инфузориям. В течение суток наступает лизис грибов, дрожжей, прочих водорослей, инфузорий. Бактерии гибнут и осаждаются на дно в течение двух часов.

Штамм строго соблюдает условия монокультуры и обладает невосприимчивостью к фагам (Богданов, 2002).

2.4.1.1.3 Альголизация Пензенского водохранилища в 2001 и 2002 гг.

Альголизация Пензенского водохранилища, проведенная летом 1998 года, была неэффективной. «Цветение» воды синезелеными водорослями продолжалось как в 1999, так и в 2000 годах. Поэтому в 2001 году альголизацию водоема проводили в подледный период, чтобы сравнить стартовые условия, как для аборигенных видов, так и для акклиматизированных штаммов хлореллы.

Выделенная из водохранилища аборигенная форма *Chlorella vulgaris* не имела планктонных свойств, осаждалась на дно и прилипала к стенкам сосудов. В связи с этим было решено для альголизации водоема использовать планктонные штаммы *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 и *Chlorella vulgaris* BIN. Последний был адаптирован путем неоднократного выращивания на воде Пензенского водохранилища. Начиная с марта 2001 года, ежегодно в подледный период проводилась альголизация водоема суспензией хлореллы с плотностью клеток 50–60 млн./мл по 20 литров в районе станций 1 и 2 (рисунки 3, 7).



Рисунок 7 – Подледная альголизация Пензенского водохранилища в феврале 2001 г.

Для контроля расселения альголизированных штаммов по водохранилищу пробы воды отбирали на ст. 3 (Приплотинный участок), куда суспензия хлореллы никогда не вносилась. При прямом микроскопировании во всех пробах воды были обнаружены клетки *Chlorella vulgaris*. Для подтверждения того, что хлорелла относится к штаммам *Ch. vulgaris* ИФР № С-111 и ВІN, пробы образцов воды культивировались на селективной питательной среде (Богданов, 1999, 2002). Во всех случаях мы получали планктонную форму хлореллы, по морфологическим и физиологическим признакам идентичную штаммам *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 и ВІN.

В процентном отношении от общей численности клеток фитопланктона хлорелла составляла 10 % весной и 30 % летом и осенью. Следовательно, акклиматизация планктонных штаммов хлореллы в водохранилище прошла успешно, и она расселилась по всей акватории водоема.

Учитывая положительный результат альголизации водохранилища в 2001 году («цветения» синезелеными водорослями в водоеме не наблюдалось), эти работы в 2002 году были продолжены.

Необходимо отметить, что после альголизации водоема хлореллой в 2001-2002 годах в значительной степени увеличился видовой состав и количество зеленых водорослей по сравнению с остальными представителями фитопланктона. Сдвиг видового состава планктонных водорослей в сторону представителей зеленых и закрепление этого признака в водоеме могли способствовать противостоянию между синезелеными и зелеными водорослями в пользу последних.

2.4.2 Видовой состав фитопланктона Пензенского водохранилища после его альголизации

Видовой состав водорослей Пензенского водохранилища в 2001-2003 годах приведен в Приложении В. Учитывая, что по годам видовой состав микроводорослей существенно различался, ниже приводим описание видового разнообразия водорослей по каждому году (Тургенева и др., 2003).

Фитопланктон Пензенского водохранилища в 2001 году по сравнению с 1992 и 1998 гг. претерпел значительные изменения, которые произошли не только в видовом составе водорослей, но и в их соотношении и распределении по акватории водоема.

Впервые за все годы существования водоема, в 2001 году в водохранилище не отмечалось «цветения» воды. Видовой состав фитопланктона был представлен 73 видами, разновидностями и формами водорослей, в том числе 20 видами диатомовых, шестью – синезеленых, 29 – зеленых, 17 – жгутиковых и одним видом желто-зеленых. Как по количеству видов, так и по численности фитопланктона на первое место вышли зеленые водоросли. На втором месте были диатомовые и на третьем – жгутиковые. Синезеленые водоросли присутствовали в планктоне с мая по август, но занимали подчиненное положение.

Видовой состав водорослей и его распределение по месяцам вегетационного периода приведен в Приложении Г. Весной в планктоне развивались диатомовые водоросли, например, в марте были зарегистрированы *Cyclotella comta* и *Asterionella formosa*. В мае начинают развиваться зеленые водоросли, но преобладают диатомовые; к названным видам прибавляются *Synedra ulna*, *Cymbella ventricosa*, *Melosira granulata* и другие.

В летний период спектр видов расширяется, и в планктоне в обилии появляются зеленые, жгутиковые и синезеленые водоросли. Зеленые водоросли были представлены родами *Scenedesmus*, *Pediastrum*, *Chlorella*; жгутиковые – родом *Ceratium*, а синезеленые водоросли – родами *Anabaena*, *Merismopedia*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*. Хотя синезеленые водоросли присутствовали во всех пробах и по всей акватории водохранилища, однако массового развития не достигли. В процентном отношении, по сравнению с остальными водорослями, они составляли на различных участках водоема от 10 до 20 % от общей численности клеток.

В 2002 году видовой состав фитопланктона был представлен 80 видами, разновидностями и формами, в том числе: 39 – диатомовых, шестью – синезеленых, 27 – зеленых и восемью видами пиррофитовых. По сравнению с 2001 годом количественный и видовой состав зеленых и синезеленых почти не изменился. Следует отметить, что из общего числа видов лишь половина (40)

присутствовала в планктоне водоема в течение всего периода исследований, остальные отмечались периодически.

Распределение видового состава водорослей в течение вегетационного периода приведено в Приложении Д. Весной в планктоне отмечалось преимущественное развитие диатомовых водорослей. Так, в мае на Узинском участке доминировали виды: *Cyclotella comta*, *Synedra ulna*, *Melosira granulata*; на Золотаревском участке – *Synedra ulna*, *Synedra acus*, *Navicula dicephala*.

В летний период отмечается разнообразие видового состава водорослей. В обилии появляются зеленые, жгутиковые, а во второй половине лета – и синезеленые водоросли. В планктоне постоянно присутствовали: из зеленых – *Staurastrum*, *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Pediastrum*; из пиррофитовых – *Ceratium*. Синезеленые были представлены несколькими видами, однако чаще всего встречался один вид *Aphanizomenon flos-aquae*, который развивался в июле-августе на Приплотинном и Узинском участках.

В течение вегетационного периода наименьшее количество видов было отмечено в сентябре (17 видов, из них: девять – диатомовых, семь – зеленых, один – пиррофитовых). Максимальное количество видов наблюдалось в мае – 52 вида (из них: 32 – диатомовых, три – синезеленых, 13 – зеленых, четыре – пиррофитовых). Доминирующими видами были: *Cyclotella comta*, *Synedra ulna*, *Melosira granulata* (диатомовые), *Scenedesmus quadricauda*, *Actinastrum Hantzschii* (зеленые).

В остальные месяцы отмечалось от 20 до 37 видов (июнь-август). Причем в июле и августе преобладали зеленые водоросли, в июне и сентябре соотношение зеленых и диатомовых было равным, тогда как в мае число видов диатомовых было почти в три раза выше. Максимальное количество синезеленых (шесть видов) наблюдалось в июле, в остальные месяцы они были представлены одним-тремя видами (Приложение Д), причем наиболее значительного развития достигал только один вид – *Aphanizomenon flos-aquae*.

Кратковременный пик развития синезеленых водорослей в 2002 году пришелся на конец июля – начало августа. Видимо, это было обусловлено высокой температурой воды (Приложение Б) и соотношением N/P, которое в этот период приближалось к единице (таблица 2). «Цветение» воды отмечено лишь на Припло-

тинном участке в полуметровом слое водной толщи. Сырая биомасса водорослей в 400 м зоне Приплотинного участка (зона распространения «цветения» воды) составила 26 г/м³ (10,4 т на весь объем – 2000 × 400 × 0,5 м). Скопления синезеленых водорослей в поверхностном слое воды не наблюдалось.

2003 году видовой состав фитопланктона был представлен 142 видами, разновидностями и формами, в том числе 15 – синезеленых, 45 – диатомовых, 66 – зеленых, 29 – пиррофитовых. По сравнению с 2001-2002 годами в соотношении видов фитопланктона произошли определенные изменения. В июле, августе и сентябре доминирующее положение в фитопланктоне занимали зеленые водоросли (таблица 7). Наибольшее количество видов микроводорослей было в июне (76), из них 32 вида относились к зеленым. Распределение видового состава водорослей в течение вегетационного периода приведено в таблице 8.

Таблица 7 – Количественное соотношение видов фитопланктона по месяцам вегетационного периода 2003 года

Месяц	Тип водорослей				Всего
	синезеленые	диатомовые	зеленые	пиррофитовые	
Апрель	1	12	5	-	18
Май	5	14	20	6	45
Июнь	6	30	32	8	76
Июль	6	11	22	4	43
Август	7	18	39	5	69
Сентябрь	7	13	37	6	63

В 2003 году число видов синезеленых водорослей (15) превысило таковое в 2001-2002 гг. Чаще всего встречались виды родов *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Microcystis*.

Самое большое видовое разнообразие в 2003 году наблюдалось у представителей зеленых водорослей. В течение вегетационного периода из зеленых постоянно встречались: *Scenedesmus quadricauda*, *Oocystis natans*, *Chlorella vulgaris*, *Staurastrum gracile*, *Kirchneriella lunaris* и другие.

Таблица 8 – Распределение видового состава фитопланктона Пензенского водохранилища по месяцам вегетационного периода 2003 года

М Е С Я Ц				
май	июнь	июль	август	сентябрь
1	2	3	4	5
Oscillatoria sancta	<u>Oscillatoria sancta</u>	<u>Oscillatoria sancta</u>	<u>Oscillatoria sancta</u>	Aphanizomenon flos-aquae
<u>Anabaena variabilis</u>	<u>Anabaena variabilis</u>	<u>Anabaena constricta</u>	<u>Anabaena constricta</u>	<u>Oscillatoria sancta</u>
<u>Merismopedia tenuissima</u>	<u>Anabaena constricta</u>	<u>Merismopedia tenuissima</u>	<u>Anabaena variabilis</u>	<u>Anabaena constricta</u>
<u>Microcystis aeruginosa</u>	<u>Anabaena aequalis</u>	<u>Merismopedia glauca</u>	<u>Merismopedia tenuissima</u>	<u>Anabaena contorta</u>
<u>Marsoniella elegans</u>	<u>Merismopedia tenuissima</u>	Aphanizomenon flos-aquae	<u>Merismopedia glauca</u>	<u>Microcystis pulveria</u>
<u>Cyclotella comta</u>	<u>Microcystis flos-aquae</u>	Phormidium foveolarum	Phormidium foveolarum	Phormidium foveolarum
<i>Synedra ulna</i>	<i>Cyclotella comta</i>	<i>Cyclotella comta</i>	<u>Microcystis pulveria</u>	Phormidium frigidum
<i>Synedra ulna v. amphirinthus</i>	<i>Synedra ulna</i>	<i>Synedra ulna</i>	<i>Cyclotella comta</i>	<i>Cyclotella comta</i>
<i>Synedra ulna var. danica</i>	<i>Synedra ulna v. danica</i>	<i>Synedra ulna v. danica</i>	<i>Melosira granulata</i>	<i>Melosira granulata</i>
<i>Synedra acus</i>	<i>Synedra ulna v. amphirinthus</i>	<i>Synedra Vaucheriae</i>	<i>Opephora Martyi</i>	<i>Synedra ulna</i>
<i>Opephora Martyi</i>	<i>Synedra acus</i>	<i>Opephora Martyi</i>	<i>Synedra ulna</i>	<i>Synedra acus</i>
<i>Melosira granulata</i>	<i>Synedra acus v. radians</i>	<i>Melosira granulata</i>	<i>Synedra ulna v. danica</i>	<i>Stephanodiscus astraea</i>
<i>Stephanodiscus astraea</i>	<i>Opephora Martyi</i>	<i>Asterionella formosa</i>	<i>Synedra ulna v. contracta</i>	<i>Navicula exigua</i>
<i>Asterionella formosa</i>	<i>Melosira granulata</i>	<i>Cymbella affinis</i>	<i>Navicula exigua</i>	<i>Navicula dicephala</i>
<i>Navicula exigua</i>	<i>Cymbella affinis</i>	<i>Navicula exigua</i>	<i>Navicula platystoma v. Pantoczekii</i>	<i>Navicula lanceolata</i>
<i>Navicula platystoma v. Pantoczekii</i>	<i>Cymbella aequalis</i>	<i>Navicula dicephala</i>	<i>Navicula dicephala</i>	<i>Asterionella formosa</i>
<i>Rhizosolenia longiseta</i>	<i>Stephanodiscus astraea</i>	<i>Navicula pupula v. rostrata</i>	<i>Navicula pupula</i>	<i>Cymbella affinis</i>
<i>Cymbella affinis</i>	<i>Navicula exigua</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Navicula lanceolata var. tenuirostris</i>	<i>Cymbella tumida</i>
<i>Nitzschia vermicularis</i>	<i>Navicula placentula v. rostrata</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	<i>Navicula mutica var. ventricosa</i>	<i>Nitzschia sublinearis</i>
<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Navicula radiosa</i>	<i>Sc. quadricauda</i>	<i>Navicula lanceolata</i>	<i>Nitzschia linearis</i>
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	<i>Navicula costulata</i>	<i>Scenedesmus sp.</i>	<i>Navicula cryptocephala</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>
<i>Sc. quadricauda</i>	<i>Navicula lanceolata var. rostrata</i>	<i>Staurastrum gracile</i>	<i>Asterionella formosa</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>
<i>Oocystis natans</i>	<i>Gomphonema acuminatum</i>	<i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Cymbella tumida</i>	<i>Sc. quadricauda</i>
<i>Oocystis pelagica</i>	<i>Nitzschia communis</i>	<i>Palmella hyalina</i>	<i>Nitzschia sublinearis</i>	<i>Sc. quadricauda f. setosus</i>
<i>Palmella hyalina</i>	<i>Fragilaria capucina</i>	<i>Oocystis natans</i>	<i>Cocconeis pediculus</i>	<i>Sc. quadricauda f. abundans</i>
<i>Lagerheimia genevensis</i>	<i>Fragilaria virescens</i>	<i>Oocystis rupestris</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Oocystis rupestris</i>
<i>Tetraedron trilobatum</i>	<i>Fragilaria crotonensis</i>	<i>Coelastrum microporum</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	<i>Pediastrum boryanum</i>
<i>Tetraedron Schmidlei</i>	<i>Fragilaria constricta</i>	<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	<i>Sc. quadricauda</i>	<i>Pediastrum tetras</i>
<i>Ankistrodesmus falcatus</i>	<i>Rhizosolenia longiseta</i>	<i>Kirchneriella lunaris</i>	<i>Sc. quadricauda f. setosus</i>	<i>Pediastrum clathratum</i>
<i>Actinastrum Hantzschii</i>	<i>Nitzschia vermicularis</i>	<i>Tetraedron trilobatum</i>	<i>Sc. quadricauda f. abundans</i>	<i>Pediastrum duplex</i>
<i>Staurastrum gracile</i>	<i>Nitzschia palea</i>	<i>Crucigenia tetrapedia</i>	<i>Staurastrum gracile</i>	<i>Crucigenia fenestrata</i>
<i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Surirella robusta var. splendida</i>	<i>Staurastrum dejectum</i>	<i>Oocystis natans</i>	<i>Crucigenia rectangularis</i>
<i>Pediastrum tetras</i>	<i>Asterionella formosa</i>	<i>Tetracoccus botryoides</i>	<i>Oocystis rupestris</i>	<i>Crucigenia tetrapedia</i>
<i>Pediastrum clathratum</i>	<i>Pinnularia gracillima</i>	<i>Pteromonas aculeata</i>	<i>Oocystis pelagica</i>	<i>Tetraedron punctulatum</i>
<i>Coelastrum microporum</i>	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Closterium parvulum</i>	<i>Golenkinia radiata</i>	<i>Tetraedron trilobatum</i>
<i>Coelastrum sphaericum</i>	<i>Eunitia lunaris var. capitata</i>	<i>Closterium gracile</i>	<i>Closterium parvulum</i>	<i>Tetraedron trigonum</i>
<i>Golenkinia radiata</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Selenastrum bibraianum</i>	<i>Closterium gracile</i>	<i>Kirchneriella lunaris</i>

Окончание таблицы 8

1	2	3	4	5
Kirchneriella lunaris Chlamydomonas sp. <u>Cystodinium Steinii</u> Phacus caudata <u>Phacus longicauda</u> <u>Phacus sp.</u> Ceratium hirundinella Pyrocystis lunula	Scenedesmus acuminatus Sc. quadricauda Scenedesmus sp. Sc. quadricauda f. setosus Pediastrum boryanum Pediastrum tetras Pediastrum clathratum Pediastrum duplex Pandorina morum Crucigenia rectangularis Golenkinia radiata Tetraedron trilobatum Tetraedron Schmidlei Oocystis natans Oocystis pelagica Palmella hyalina Ankistrodesmus falcatus Actinastrum raphidioides Tetrastrium multisetum Tetracoccus botryoides Actidesmium Hookeri Richterella botryoides Acantosphaera Zachariasii Staurastrum gracile Kirchneriella lunaris Gigantochloris permaxima Coelastrum microporum Chodatella ciliata Pteromonas aculeata Pteromonas Chodati <i>Dysmorphococcus variabilis</i> Phacus caudata <u>Phacus longicauda</u> Ceratium hirundinella Pyrocystis lunula <u>Peridinium Willei</u> <u>Menodium falcatum</u> <u>Gymnodinium longiseta</u> <u>Gymnodinium fuscum</u>	<u>Cystodinium Steinii</u> <u>Peridinium Willei</u> Ceratium hirundinella <u>Phacus sp.</u>	Closterium moniliferum Coelastrum microporum Coelastrum sphaericum Gigantochloris permaxima Kirchneriella lunaris Kirchneriella obesa Tetraedron trilobatum Tetraedron trigonum Pediastrum tetras Pediastrum clathratum Pediastrum duplex Pediastrum boryanum Asterococcus superbus Crucigenia rectangularis Crucigenia tetrapedia Ankistrodesmus longissimus Ankistrodesmus Braunii Palmella hyalina Actinastrum Hantzschii Chodatella amphitricha Sorastrum simplex Errerella raphyoides Eudorina elegans Cosmarium laeve Cosmarium moniliforme Spirotaenia truncata Closterium sp. Pteromonas angulosa <u>Cystodinium Steinii</u> <u>Phacus parvula</u> <u>Phacus sp.</u> <u>Ceratium hirundinella</u> <u>Euglena deses</u>	Kirchneriella obesa Kirchneriella malmeana Lagerheimia genevensis Golenkinia radiata Closterium acerosum Closterium gracile Coelastrum microporum Ulothrix zonata Ulothrix tenerrima Dictiococcus varians Asterococcus superbus Palmella hyalina Trochiscia aspera Franceia ovalis Cosmarium cyclicum Sorastrum simplex Staurastrum controversis Staurastrum gracile Ankistrodesmus longissimus Ankistrodesmus falcatus Trachelomonas volvocina <u>Trachelomonas verrucosa</u> <u>Strombomonas acuminata</u> <u>Euglena tripteris</u> <u>Cystodinium Steinii</u> Phacus caudata

Обозначения (здесь и далее для всех таблиц): синезеленые – Anabaena constricta; диатомовые – Cyclotella comta; зеленые – Scenedesmus quadricauda; жгутиковые – Phacus caudate

Сравнивая соотношение видового состава водорослей в июне 2003 г. с соответствующим периодом 1998 г. (рисунок 8), следует отметить, что количество видов синезеленых снизилось с 13 до 8 %, тогда как количество видов зеленых увеличилось с 29 до 42 %. Это свидетельствует о том, что за пятилетний период произошла структурная перестройка фитопланктонного сообщества, причём изменения произошли в пользу зеленых водорослей, способных сдерживать развитие синезеленых.

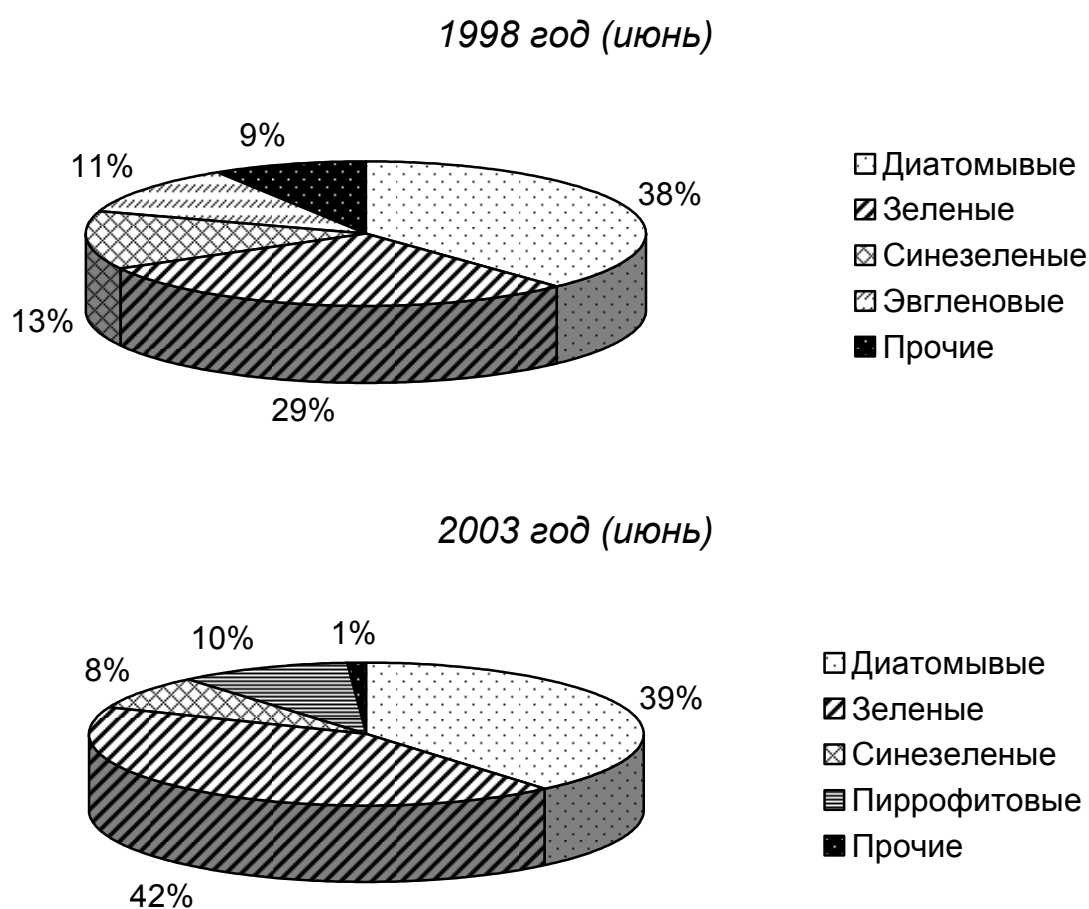


Рисунок 8 – Соотношение видового состава фитопланктона Пензенского водохранилища

Диатомовые водоросли занимали второе место по видовому разнообразию. Температурный режим воды в 2003 году для них оказался благоприятным. Наибольшее количество видов диатомей было в июне (30). В планктоне постоянно встречались *Cyclotella comta*, *Melosira granulata*, *Navicula exigua* и другие.

2.4.3 Численность фитопланктона

Численность микроводорослей в Пензенском водохранилище по месяцам вегетационного периода в 2001-2003 годы оставалась относительно стабильной.

В 2001 году наибольшая численность клеток фитопланктона была в августе и в среднем составила 20,5 тыс. кл./мл, а самая низкая – в мае (2,8 тыс. кл./мл). На Приплотинном участке весь вегетационный период было наименьшее число клеток фитопланктона по сравнению с Узинским и Золотаревским участками водохранилища.

В 2002 году численность водорослей на участках водохранилища находилась в пределах от 0,62 до 100,0 тыс. кл./мл. На Приплотинном участке численность фитопланктона в течение всего сезона была в несколько раз ниже, чем на других участках водохранилища и в среднем составила 10,4 тыс. кл./мл. На Золотаревском участке в мае отмечается максимальное число клеток микроводорослей за сезон (100 тыс. кл./мл). В летний период соотношение численности клеток фитопланктона на Золотаревском и Узинском участках находилось на одном уровне. В августе количество клеток водорослей на Узинском участке в три раза превысило показатель Золотаревского участка.

В вертикальном распределении фитопланктона по участкам водохранилища в 2002 году отмечалось снижение количества клеток от поверхности к придонному слою.

Численность фитопланктона в водной толще водохранилища за вегетационный период 2003 года приведена в таблице 9.

В развитии водорослей в водоеме прослеживается четкая сезонная динамика. Сезонное развитие водорослей начинается в мае и заканчивается в сентябре. Наибольшее количество клеток было в июле, когда в среднем по водохранилищу оно составило 21,2 тыс. кл./мл (таблица 9), а самые низкие показатели численности фитопланктона были ранней весной (март, апрель) и в середине осени (октябрь).

По акватории водоема на Приплотинном участке весь вегетационный период численность фитопланктона была самой низкой по сравнению с остальными участками и в среднем за сезон составила 4,14 тыс. кл./мл. На Узинском участке средняя числен-

**Таблица 9 – Численность фитопланктона (тыс. кл./мл)
в водной толще Пензенского водохранилища
в 2003 году**

Участок водохранилища	Дата отбора проб, месяц	Горизонт водной толщи, м				
		0	1	3	среднее по участку	среднее за месяц
Приплотинный	Март	0,85	0,62	0,45	0,64	0,64
Приплотинный	Апрель	0,99	0,33	0,36	0,56	0,56
Приплотинный	Май	6,03	2,23	2,17	3,47	19,70
Узинский		30,97	28,24	25,04	28,07	
Золотаревский		27,92	28,20	26,51	27,54	
Приплотинный	Июнь	1,63	3,62	0,87	2,04	11,21
Узинский		12,21	11,90	11,08	11,73	
Золотаревский		19,23	20,93	19,45	79,87	
Приплотинный	Июль	9,53	6,22	2,74	6,16	21,20
Узинский		10,43	31,32	30,50	24,08	
Золотаревский		43,81	38,66	17,61	33,36	
Приплотинный	Август	2,21	7,97	38,35	5,09	18,70
Узинский		8,71	15,20	22,70	15,53	
Золотаревский		22,32	36,18	14,60	24,36	
Приплотинный	Сентябрь	5,03	1,90	4,97	3,96	9,55
Узинский		16,68	13,18	9,45	13,10	
Золотаревский		11,22	11,35	12,14	11,57	
Приплотинный	Октябрь	1,27	1,02	0,58	0,46	0,96

ность фитопланктона за вегетационный период составила 18,5 тыс. кл./мл. Самые высокие показатели количества клеток водорослей были на Золотаревском участке и в среднем составили 23,3 тыс. кл./мл. Здесь же отмечалась наибольшая численность клеток фитопланктона за весь сезон – в июле в поверхностном слое воды (43,8 тыс. кл./мл). Самый низкий показатель был в сентябре на Приплотинном участке (1,9 тыс. кл./мл). В 2003 году вертикальное распределение фитопланктона чаще всего было от-

носителем равномерно от поверхности воды до придонного слоя.

В среднем по водохранилищу за вегетационный период численность фитопланктона в 2001 году составила 10,4 тыс. кл./мл, в 2002-м – 23,8 и в 2003-м – 15,3 тыс. кл./мл.

2.5 Первичная продукция фитопланктона и деструкция органического вещества в Пензенском водохранилище

Впервые изучение первичной продукции фитопланктона и деструкции органического вещества в Пензенском водохранилище проведено в 2001 году. В связи с тем, что водохранилище в 2000 году было зарыблено растительноядными рыбами, необходимо было узнать, какую часть биомассы фитопланктона они смогут изъять из общего фонда кормовых запасов, чтобы не привести к структурной перестройке стада аборигенных видов рыб.

Первичная продукция фитопланктона изучалась совместно с деструкцией органического вещества, т. к. процессы первичного продуцирования и поступающие в водохранилище аллохтонные органические вещества составляют материальную и энергетическую основу биоты водоема (Винберг, 1960; Бульон, 1983; Новожилова, 1987).

Изучение процессов образования и деструкции органического вещества можно проводить различными способами. Один из них, наиболее распространенный, основан на учете изменения содержания кислорода в изолированных объемах воды, отобранных с различных горизонтов водной толщи и суточной экспозиции в естественных условиях водоема (Винберг, 1960; Кузнецов, Романенко, 1963).

Суть кислородного метода заключается в изменении количества O_2 в изолированных пробах воды. Выделяют относительное значение первичной продукции, которая подразделяется на валовую и чистую. В понятие валовой продукции входит общее количество органического вещества, образовавшегося в водоеме за определенное время. Под чистой продукцией подразумевают разность между валовой продукцией и затратами на дыхание во-

дорослей, бактерий, зоопланктона. Чистая продукция выражает результат жизнедеятельности всего планктона в целом. Поэтому величина эта может быть как положительной, так и отрицательной в зависимости от интенсивности фотосинтеза водорослей и дыхания планктона (Винберг, 1960).

Наряду с изучением первичной продукции водоема, не менее важно знание процессов деструкции органического вещества, а также соотношение между этими величинами (P/R).

В Пензенском водохранилище в динамике первичной продукции отмечается три максимума: раннелетний, связанный с развитием диатомовых водорослей; позднелетний, определяемый зелеными водорослями; раннеосенний, вызванный вновь сильным развитием диатомовых. То есть динамика фотосинтеза фитопланктона характеризуется следующим образом: в мае интенсивность фотосинтеза фитопланктона невысокая; в июне, июле начинает возрастать и наивысшей отметки достигает в августе (таблица 10).

Таблица 10 – Результаты определения суточного и суммарного фотосинтеза фитопланктона и деструкции органического вещества в Пензенском водохранилище в 2001 году

Месяц	Станция 3							P _м /R _м
	Площадь водохранилища, км ²	P _с	P _о	R _с	R _о	P _м	R _м	
Май	110	0,000	0,00	0,650	71,50	0,0	2145,0	0,00
Июнь	110	0,175	19,25	0,475	52,25	577,5	1567,5	0,36
Июль	110	0,150	16,50	0,200	22,00	495,0	660,0	0,75
Август	110	2,850	313,50	0,450	49,50	9405,0	1485,0	6,30

Обозначения: P_с – среднесуточная продукция (г С/м²);
R_с – среднесуточная деструкция (г С/м²);
P_о – общая суточная продуктивность (т С);
R_о – общая суточная деструкция (т С);
P_м – продуктивность за месяц (т С);
R_м – деструкция за месяц (т С).

Суммарная первичная продукция по всему водоему за вегетационный период (май-август) составила 10477,5 тонн С.

Суммарная деструкция органического вещества по всему водоему за вегетационный период составила 5872,5 тонн С.

Общее отношение суммарной продукции к суммарной деструкции за вегетационный период (P/R) составило 1,8. Необходимо отметить, что по месяцам она несколько различалась. Так, в мае первичная продукция не зарегистрирована, в июне отношение P/R было 0,36, в июле – 0,75 и резко возросло в августе – 6,3. Из этого следует, что в биотическую цепь водохранилища включаются органические вещества как аллохтонного, так и автохтонного происхождения. Причем органика аллохтонного происхождения большей частью включается через бактериальное звено. Об этом свидетельствуют данные, полученные по бактериопланктону и особенно сапрофитной микрофлоре, которая является индикатором на присутствие органических веществ в воде. Высокая численность сапрофитов в 2001 году (в мае – 5,6, июне – 19,3, июле – 11,4 и августе – 4,3 тыс. кл./мл) свидетельствует об избыточном количестве легкоусвояемого органического вещества.

2.6 Фитопланктон р. Суры и прилегающих водоёмов

Река Сура пополняет водные ресурсы Пензенского водохранилища. Для определения видового состава фитопланктона реки Суры в августе 2003 года были отобраны пробы речной воды. Визуально было отмечено «цветение» воды в реке. Исследования показали, что оно было вызвано синезелеными водорослями *Oscillatoria sancta* и *Anabaena constricta*. Кроме названных видов, в воде присутствовали *Anabaena aequalis*, *Aphanizomenon flos-aquae* и *Phormidium foveolarum*. Наибольшее видовое разнообразие наблюдалось у зеленых водорослей (51 вид). Диатомовые занимали второе место и были представлены 18-ю видами (таблица 11). Хотя в видовом составе фитопланктона реки доминируют зеленые водоросли, однако массовое развитие синезеленых водорослей является не исключением, а, скорее всего, закономерностью.

Таблица 11 – Видовой состав фитопланктона реки Суры
(14 августа 2003 года)

Суанорphyta (синезеленые)	
1. <i>Anabaena aequalis</i>	5. <i>Phormidium foveolarum</i>
2. <i>Anabaena constricta</i>	6. <i>Merismopedia glauca</i>
3. <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	7. <i>Merismopedia punctata</i>
4. <i>Oscillatoria sancta</i>	8. <i>Merismopedia tenuissima</i>
Bacillariophyta (диатомовые)	
1. <i>Melosira granulata</i>	10. <i>Navicula radiosa</i>
2. <i>Cyclotella comta</i>	11. <i>Navicula platystoma</i> v. <i>ventricosa</i>
3. <i>Navicula exigua</i>	12. <i>Cymbella tumida</i>
4. <i>Synedra ulna</i>	13. <i>Stephanodiscus astaea</i>
5. <i>Synedra acus</i>	14. <i>Pinnularia gibba</i>
6. <i>Ophephora Martyi</i>	15. <i>Nitzschia sublinearis</i>
7. <i>Navicula dicephala</i>	16. <i>Nitzschia linearis</i>
8. <i>Navicula platistoma</i>	17. <i>Surirella robusta</i> v. <i>splendida</i>
9. <i>Navicula mutica</i>	18. <i>Fragilaria intermedia</i>
Pyrrrophyta (жгутиковые)	
1. <i>Ceratium hirundinella</i>	3. <i>Pyrocystis lunula</i>
2. <i>Phacus longicauda</i>	
Chlorophyta (зеленые)	
1. <i>Coelastrum microporum</i>	14. <i>Actinastrum Hantzschii</i>
2. <i>Coelastrum sphaericum</i>	15. <i>Actinastrum raphidioides</i>
3. <i>Scenedesmus</i> q. f. <i>setosus</i>	16. <i>Ankistrodesmus Braunii</i>
4. <i>Scenedesmus</i> q. f. <i>abundans</i>	17. <i>Ankistrodesmus longissimus</i>
5. <i>Scenedesmus quadricauda</i>	18. <i>Ankistrodesmus falcatus</i>
6. <i>Scenedesmus acuminatus</i>	19. <i>Kirchneriella lunaris</i>
7. <i>Pediastrum boryanum</i>	20. <i>Kirchneriella malmeana</i>
8. <i>Pediastrum clathratum</i>	21. <i>Tetrastrum multisetum</i>
9. <i>Pediastrum duplex</i>	22. <i>Pteromonas aculeata</i>
10. <i>Pediastrum tetras</i>	23. <i>Sorastrum simplex</i>
11. <i>Tetraedron Schmidlei</i>	24. <i>Franceia ovalis</i>
12. <i>Tetraedron trilobatum</i>	25. <i>Chlorococcum infusionum</i>
13. <i>Tetraedron trigonum</i>	26. <i>Eudorina elegans</i>

27. <i>Pandorina morum</i>	40. <i>Golenkinia radiata</i>
28. <i>Dictyococcus varians</i>	41. <i>Lagerheimia genevensis</i>
29. <i>Closterium parvulum</i>	42. <i>Tetracoccus botryoides</i>
30. <i>Closterium acerosum</i>	43. <i>Ulotrix tenerrima</i>
31. <i>Crucigenia rectangularis</i>	44. <i>Trochiscia aspera</i>
32. <i>Crucigenia fenestrata</i>	45. <i>Chodatella ciliata</i>
33. <i>Oocystis natans</i>	46. <i>Collodiction triciliatum</i>
34. <i>Oocystis rupestris</i>	47. <i>Errerella bornhemiensis</i>
35. <i>Palmella hyalina</i>	48. <i>Tetracoccus botryoides</i>
36. <i>Acantospaera Zachariasii</i>	49. <i>Closterium parvulum</i>
37. <i>Dysmorphococcus variabilis</i>	50. <i>Closterium acerosum</i>
38. <i>Richterella botryoides</i>	51. <i>Gigantochloris permaxima</i>
39. <i>Staurastrum gracile</i>	

В 2003 году был исследован видовой состав фитопланктона Золотаревского и Алферовского прудов, из которых вода поступает в Пензенское водохранилище (рисунок 3). Эти водоемы ежегодно «цветут» в весенне-летний период. Распределение видового состава альгофлоры Золотаревского пруда по месяцам вегетационного периода приведено в таблице 12. Ежегодно пруд начинает «цвести» в мае.

В 2003 году «цветение» воды продолжалось с мая по август. При этом в мае наблюдалось массовое развитие *Anabaena aequalis*, в июне – *Anabaena variabilis* и *Oscillatoria sancta*, в июле к последним двум видам прибавилась *Phormidium* sp. В августе и сентябре синезеленые водоросли также присутствовали в фитопланктоне пруда, но преобладали диатомовые и зеленые водоросли.

Распределение видового состава фитопланктона Алферовского пруда по месяцам вегетационного периода приведено в таблице 13. Ежегодно пруд начинает «цвести» в июне. В 2003 году «цветение» воды продолжалось с июня по октябрь. При этом в июне наблюдалось массовое развитие *Oscillatoria sancta*, в июле к ней прибавилась *Anabaena variabilis*, в августе к указанным видам добавились *Anabaena constricta* и *Aphanizomenon flos-aquae*, в сентябре «цветение» воды было вызвано только *Aphanizomenon*

Таблица 12 – Распределение видового состава фитопланктона Золотаревского пруда по месяцам вегетационного периода 2003 года

М Е С Я Ц				
май	июнь	июль	август	сентябрь
<u>Oscillatoria sancta</u> <u>Anabaena aequalis</u> <i>Navicula placentula</i> <i>Navicula laterostrata</i> <i>Opephora Martyi</i> <i>Fragilaria capucina</i> <i>Synedra ulna v. danica</i> <i>Synedra ulna</i> <i>Synedra acus</i> <i>Synedra ulna v. amphyrinchus</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Scenedesmus acuminatus</i> <i>Cystodinium Steinii</i>	<u>Oscillatoria sancta</u> <u>Anabaena aequalis</u> <i>Synedra ulna v. danica</i> <i>Synedra ulna</i> <i>Synedra acus</i> <i>Fragilaria capucina</i> <i>Fragilaria constricta</i> <i>Rhizosolenia longiseta</i> <i>Opephora Martyi</i> <i>Cyclotella comta</i> <i>Stephanodiscus astraeta</i> <i>Melosira granulata</i> <i>Navicula pupula</i> <i>Navicula dicephala</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Scenedesmus q. f. setosus</i> <i>Scenedesmus acuminatus</i> <i>Pediastrum boryanum</i> <i>Tetraedron trilobatum</i> <i>Pandorina morum</i> <i>Palmella hyalina</i> <i>Crucigenia rectangularis</i> <i>Dysmorphococcus variabil</i> <i>Oocystis natans</i> <i>Actidesmium Hookeri</i>	<u>Oscillatoria sancta</u> <u>Anabaena variabilis</u> <u>Phormidium sp.</u> <i>Cyclotella comta</i> <i>Navicula pupula</i> <i>Fragilaria capucina</i> <i>Fragilaria construens var. subsalina</i> <i>Cymbella turgida</i> <i>Scenedesmus q. f. setosus</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Kirchneriella lunaris</i> <i>Cosmarium indulatum</i> <i>Tetraedron trilobatum</i> <i>Tetraedron punctulatum</i> <i>Coelastrum microporum</i> <i>Cystodinium Steinii</i> <i>Phacus sp.</i>	<u>Oscillatoria sancta</u> <u>Anabaena aequalis</u> <i>Cyclotella comta</i> <i>Synedra ulna v. danica</i> <i>Synedra ulna</i> <i>Synedra v. amphyrinchus</i> <i>Synedra acus</i> <i>Fragilaria capucina</i> <i>Fragilaria crotonensis</i> <i>Navicula lanceolata</i> <i>Navicula exigua</i> <i>Cymbella tumida</i> <i>Stephanodiscus astraeta</i> <i>Gomphonema olivaceum</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Scenedesmus q. f. setosus</i> <i>Scenedesmus acuminatus</i> <i>Scenedesmus q. f. abundans</i> <i>Tetraedron trilobatum</i> <i>Tetraedron trigonum</i> <i>Kirchneriella lunaris</i> <i>Kirchneriella malmeana</i> <i>Kirchneriella lunaris</i> <i>Kirchneriella malmeana</i> <i>Dysmorphococcus variabilis</i> <i>Pediastrum duplex</i> <i>Pediastrum tetras</i> <i>Coelastrum microporum</i> <i>Coelastrum sphaericum</i> <i>Golenkinia radiata</i> <i>Actinastrum raphydioides</i> <i>Actinastrum Hantzschii</i> <i>Cosmarium indulatum</i> <i>Palmella hyalina</i> <i>Staurastrum dejectum</i> <i>Chodatella ciliata</i> <u>Trachelomonas verrucosa</u> <u>Phacus sp.</u>	<u>Anabaena constricta</u> <u>Microcystis pulveria</u> <i>Fragilaria capucina</i> <i>Fragilaria contorta</i> <i>Cyclotella comta</i> <i>Synedra acus</i> <i>Synedra ulna</i> <i>Stephanodiscus astraeta</i> <i>Cymbella cymbiformis</i> <i>Cymbella affinis</i> <i>Melosira granulata</i> <i>Navicula exigua</i> <i>Scenedesmus q. f. abundans</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Scenedesmus acuminatus</i> <i>Ulotrix tenerrima</i> <i>Tetraedron trilobatum</i> <i>Tetraedron trigonum</i> <i>Kirchneriella lunaris</i> <i>Kirchneriella malmeana</i> <i>Pediastrum tetras</i> <i>Pediastrum clathratum</i> <i>Staurastrum dejectum</i> <i>Oocystis rupestris</i> <i>Coelastrum microporum</i> <i>Closterium gracile</i> <i>Trachelomonas verrucosa</i>

Таблица 13 – Распределение видового состава фитопланктона Алферовского пруда по месяцам вегетационного периода в 2003 году

М Е С Я Ц			
июнь	июль	август	сентябрь
<u>Oscillatoria sancta</u> <u>Anabaena variabilis</u> <u>Anabaena constricta</u> <u>Anabaena aequalis</u> <u>Aphanizomenon flos-aquae</u> <i>Cyclotella comta</i> <i>Melosira granulata</i> <i>Nitzschia vermicularis</i> <i>Synedra ulna</i> <i>Synedra acus</i> <i>Navicula exigua</i> <i>Navicula pupula v. rostrata</i> <i>Cymbella cymbiformis</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Scenedesmus q. f. setosus</i> <i>Scenedesmus acuminatus</i> <i>Gigantochloris permaxima</i> <i>Oocystis pelagica</i> <i>Tetrastrum multisetum</i> <i>Coelastrum sphaericum</i> <i>Pediastrum boryanum</i> <i>Lagerheimia genevensis</i> <u>Phacus caudata</u>	<u>Oscillatoria sancta</u> <u>Anabaena variabilis</u> <u>Aphanizomenon flos-aquae</u> <u>Phormidium foveolarum</u> <i>Synedra ulna</i> <i>Synedra ulna v. danica</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Pediastrum boryanum</i> <i>Palmella hyalina</i> <i>Actinastrum Hantzschii</i> <i>Kirchneriella lunaris</i> <i>Kirchneriella lunaris</i> <i>Staurastrum gracile</i> <i>Dysmorphococcus variabilis</i> <i>Crucigenia rectangularis</i> <i>Richteriella botryoides</i> <i>Chodatella amphyticha</i> <u>Phacus longicauda</u> <u>Phacus hispidula</u> <u>Phacus sp.</u>	<u>Oscillatoria sancta</u> <u>Anabaena variabilis</u> <u>Anabaena constricta</u> <u>Aphanizomenon flos-aquae</u> <i>Synedra ulna</i> <i>Cyclotella comta</i> <i>Opephora Martyi</i> <i>Stephanodiscus astraea</i> <i>Dysmorphococcus variabilis</i> <i>Kirchneriella lunaris</i> <i>Kirchneriella obesa</i> <i>Chodatella ciliata</i> <i>Pediastrum duplex</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Scenedesmus q. f. setosus</i> <i>Scenedesmus acuminatus</i> <i>Actinastrum Hantzschii</i> <i>Oocystis rupestris</i> <i>Oocystis natans</i> <i>Staurastrum gracile</i> <i>Staurastrum degectum</i> <i>Actinastrum raphydioides</i> <i>Closterium gracile</i> <i>Coelastrum microporum</i> <i>Richteriella botryoides</i> <i>Tetraedron trigonum</i> <i>Asterococcus superbus</i> <i>Golenkinia radiata</i> <i>Cosmarium moniliforme</i> <u>Phacus caudata</u> <u>Phacus longicauda</u>	<u>Oscillatoria sancta</u> <u>Anabaena constricta</u> <u>Anabaena aequalis</u> <u>Aphanizomenon flos-aquae</u> <u>Phormidium foveolarum</u> <u>Merismopedia tenuissima</u> <i>Cyclotella comta</i> <i>Opephora Martyi</i> <i>Stephanodiscus astraea</i> <i>Melosira granulata</i> <i>Synedra ulna</i> <i>Synedra acus</i> <i>Dictyococcus varians</i> <i>Kirchneriella lunaris</i> <i>Kirchneriella obesa</i> <i>Tetraedron trigonum</i> <i>Tetraedron trilobatum</i> <i>Tetraedron punctulatum</i> <i>Scenedesmus q. f. setosus</i> <i>Scenedesmus q. f. abundans</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Scenedesmus acuminatus</i> <i>Ankistrodesmus longissimus</i> <i>Ankistrodesmus falcatus</i> <i>Oocystis rupestris</i> <i>Pandorina morum</i> <i>Tetrastrum multisetum</i> <i>Golenkinia radiata</i> <i>Pediastrum clathratum</i> <i>Actinastrum Hantzschii</i> <i>Coelastrum microporum</i> <i>Ulotrix tenerrima</i> <u>Euglena granulata</u> <u>Euglena limnophila v. Swirenkoi</u> <u>Monomorpha pyrum</u> <u>Lepocinlis fusiformis</u> <u>Trachelomonas planctonica</u>

flos-aquae и *Oscillatoria sancta*. Следует указать, что в планктоне помимо видов, которые развивались в массе, присутствовали также и другие виды синезеленых водорослей (таблица 13).

Видовой состав водорослей в Алферовском и Золотаревском прудах в целом сходен с таковым в водохранилище, но эти пруды отличаются тем, что в них ежегодно в массе развиваются синезеленые водоросли, тогда как в водохранилище этого явления последние семь лет не наблюдалось.

2.7 Синезеленые водоросли, вызывающие «цветение» воды в Пензенском водохранилище

В Пензенском водохранилище в 2003 году зарегистрировано 15 видов из семи родов синезеленых водорослей (Приложение В). Однако «цветение» воды, которое наблюдалось до 2001 г., вызывали представители лишь трех родов: *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Microcystis*. Из них чаще всего водоем «цвел» одним видом – *Aphanizomenon flos-aquae*. На втором месте был род *Anabaena*. Из этого рода «цветение» вызывали три вида: *Anabaena aequalis*, *Anabaena constricta*, *Anabaena variabilis*. Третье место занимал род *Microcystis*. Из этого рода три вида вызывали «цветение» воды: *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis pulveria*, *Microcystis aeruginosa* f. *flos-aquae*. Остальные виды синезеленых водорослей, хотя и часто встречаются в планктоне, однако их массового развития не отмечается. Поэтому основное внимание при дальнейших исследованиях и постановке лабораторных экспериментов было уделено тем видам, которые вызывали «цветение» воды в Пензенском водохранилище.

2.7.1 Синезеленые водоросли, вызывающие «цветение» воды в водоемах

«Цветение» воды синезелеными водорослями отмечается не только в водоемах Поволжского региона и водохранилищах Волжского каскада, но и во многих других, где благоприятные природно-климатические условия способствуют их массовому

развитию. «Цветение» воды вызывают представители трех родов: *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Microcystis*.

Литературные источники (Приложение Е), где приведены виды синезеленых водорослей, вызывающих «цветение» в водоемах различных типов, свидетельствуют о том, что они являются эврибионтными видами и в массе развиваются в водоемах независимо от их размеров, типов или географического положения. Анализ, проведенный только по 30 водоемам, показал, что во всех случаях «цветение» воды вызывают *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena constricta* и другие виды водорослей из этих родов.

Причина накопления перечисленных видов синезеленых водорослей заключается в том, что они не могут использоваться в водоеме. А.Д. Приймаченко (1981) считает, что эти виды представлены крупными колониальными формами, которые не доступны для потребления беспозвоночными. Следует добавить, что рыбам-фитофагам они также недоступны для потребления в качестве пищи. Поэтому применение растительноядных рыб (белый толстолобик, пестрый толстолобик) для борьбы с «цветением» водоемов не всегда оправдывает ожидаемые результаты.

2.7.2 Влияние зеленых водорослей на синезеленых, вызывающих «цветение» воды в Пензенском водохранилище

Эксперименты по влиянию зеленых водорослей на развитие синезеленых, вызывающих «цветение» воды в Пензенском водохранилище, проводились в течение вегетационного периода в лабораторных условиях с использованием воды из водохранилища. Образцы воды отбирались во время полевых экспедиций на водоем.

В пробе определяли видовой состав фитопланктона путем осаждения на фильтрах и последующего микроскопирования. Затем проба воды разливалась в две круглые колбы по 250 мл. Одна из них была опытной, вторая – контрольной. В опытную добавляли питательную среду (Богданов, 1999). Культивирование во-

дорослей, находящихся в образцах воды проводили при освещении лампой ДРИ-250 и температуре 20–24 °С.

Через 6–9 дней в пробах развивались разные виды водорослей, и вода в колбах «зацветала». В обеих колбах определяли видовой состав фитопланктона и сопоставляли его с исходным составом.

Ниже приводятся описания опытов с пробами воды, отобранными на различных участках водоема.

Первый опыт. 16 апреля 2003 года в Приплотинной части водохранилища была отобрана проба воды. При прямом микроскопировании образца воды выявлены следующие виды водорослей:

Cyclotella comta	Melosira granulata
Orephora Martyi	Surirella robusta
Synedra ulna	Nitzschia sublinearis
Navicula pupula	Scenedesmus quadricauda
Navicula pupula	Scenedesmus q. f. setosus
Navicula dicephala	Chlorella vulgaris
Navicula exigua	Gigantochloris permaxima
Gomphonema olivaceum	Oocystis solitaria

Пробу воды разлили в две колбы по 250 мл и культивировали в соответствии с вышеописанной методикой.

На 12-й день культивирования в опытной колбе наблюдалось равномерное зеленое окрашивание. В контрольной колбе появились обрастания синезеленого цвета. При прямом микроскопировании препаратов выявлены следующие виды водорослей:

Опыт	Контроль
Navicula exigua	Anabaena variabilis
Navicula lanceolata	Anabaena constricta
Cocconeis pediculus	Merismopedia glauca
Chlorella vulgaris	Synedra ulna
Scenedesmus quadricauda	Synedra ulna v. danica
Scenedesmus acuminatus	Synedra acus
Scenedesmus q. f. setosus	Synedra amphyrinchus
Oocystis natans	Navicula exigua
Pandorina morum	Navicula lanceolata
Ankistrodesmus falcatus	Navicula placentula

Golenkinia radiata
Cystodinium Steinii

Navicula pupula
Cyclotella comta
Cocconeis placentula
Opephora Martyi
Scenedesmus q. f. setosus
Scenedesmus quadricauda
Scenedesmus acuminatus
Pandorina morum
Kirchneriella lunaris
Chlorella vulgaris
Ankistrodesmus falcatus
Pediastrum tetras

Содержимое контрольной колбы после тщательного перемешивания было разделено в равных количествах на две колбы. В одну из них добавили такое же количество суспензии из опытной колбы. Культивирование было продолжено для объединенной пробы (опыт + контроль) и контроля при тех же условиях освещения и температуры.

На 20-й день культивирования в опытной колбе (опыт + контроль) при визуальном осмотре отмечалось равномерное интенсивное зеленое окрашивание. На дно колбы выпал однородный осадок грязно-зеленого цвета. В контрольной колбе вода была прозрачной с множеством сгустков синезеленого цвета как взвешенных, так и осевших. При прямом микроскопировании препаратов выявлены следующие виды водорослей:

Опыт + контроль	Контроль
Synedra ulna v. danica	Anabaena variabilis
Synedra ulna	Anabaena constricta
Synedra Vaucheriae	Anabaena aequalis
Navicula exigua	Merismopedia punctata
Nitzschia palea	Merismopedia glauca
Rhizosolenia longiseta	Synedra ulna
Golenkinia radiata	Synedra ulna v. danica
Pediastrum tetras	Synedra amphyrinchus
Oocystis natans	Navicula exigua
Pandorina morum	Navicula lanceolata
Chlorella vulgaris	Navicula placentula
Scenedesmus acuminatus	Nitzschia palea

Scenedesmus quadricauda
 Scenedesmus q. f. setosus
 Ankistrodesmus falcatus
 Cystodinium Steinii

Pandorina morum
 Scenedesmus quadricauda
 Scenedesmus acuminatus
 Scenedesmus q. f. setosus
 Cystodinium Steinii

В полученных образцах была определена сырая биомасса путем взвешивания на аналитических весах.

Опыт + контроль

В 237 мл образца сырая биомасса составила 0,092 г, соответственно в 1 л – 0,388 г.

Контроль

В 100 мл образца сырая биомасса составила – 2,384 г, соответственно в 1 л – 23,84 г.

В результате проведенного эксперимента культура синезеленых водорослей в состоянии «цветения» лизировалась под влиянием «цветущих» зеленых водорослей. Таким образом, зеленые водоросли подавили развитие синезеленых, при этом биомасса синезеленых водорослей превышала биомассу зеленых более чем в 50 раз.

Второй опыт. 30 мая 2003 года была отобрана проба воды из Золотаревского пруда. При прямом микроскопировании выявлены следующие виды водорослей:

Anabaena constricta	Opephora Martyi
Synedra ulna	Scenedesmus acuminatus
Synedra ulna v. danica	Cymbella ventricosa
Synedra ulna	Navicula placentula
Synedra acus	Navicula laterostrata
Fragilaria carucina	

По вышеописанной методике проба воды была разделена на две колбы – опытную и контрольную. Культивирование проводилось при тех же условиях. На 6-й день отмечено позеленение в опытной колбе. В контрольной колбе – проба бледно-зеленого цвета, с тяжами нитей и осадком синезеленого цвета. При микроскопировании препаратов обнаружены следующие виды:

Опыт	Контроль
Synedra ulna	Oscillatoria sancta
Synedra ulna v. danica	Anabaena constricta

Scenedesmus quadricauda	Cymbella affinis
Scenedesmus q. f. setosus	Synedra ulna
Oocystis natans	Synedra ulna
Oocystis pelagica	Synedra acus
Chlorella vulgaris	Fragilaria capucina
Tetrastrum multisetum	Fragilaria crotonensis
Golenkinia radiata	Cyclotella comta
Cystodinium Steinii	Navicula exigua

В опытной колбе «цветение» воды было вызвано Scenedesmus quadricauda и Oocystis pelagica. В контрольной колбе тяжи нитей и осадок синезеленого цвета представлены преимущественно Anabaena constricta.

В пробе воды из Золотаревского пруда синезеленые водоросли также не развивались в опытной колбе, где отмечалось «цветение» воды зелеными водорослями.

Третий опыт. 21 июня 2003 года была отобрана проба воды на Приплотинном участке. При прямом микроскопировании выявлены следующие виды водорослей:

Anabaena variabilis	Chlorella vulgaris
Oscillatoria sancta	Scenedesmus quadricauda
Cyclotella comta	Scenedesmus q. f. setosus
Melosira granulata	Scenedesmus acuminatus
Орephora Martyi	Kirchneriella lunaris
Gigantochloris permaxima	Ceratium hirundinella
Coelastrum microporum	Menoidium falcatum
Pandorina morum	Phacus longicauda
Crucigenia rectangularis	

На 9-й день культивирования в опытной колбе отмечено зеленое окрашивание пробы. В контрольной колбе цвет не изменился. При прямом микроскопировании препаратов выявлены следующие виды водорослей:

Опыт	Контроль
Synedra ulna	Anabaena variabilis
Navicula exigua	Synedra ulna
Nitzschia communis	Synedra ulna v. danica
Oocystis pelagica	Rhizosolenia longiseta
Oocystis natans	Pediastrum boryanum
Chlorella vulgaris	Pediastrum sp.

Scenedesmus quadricauda
 Scenedesmus q. f. setosus
 Scenedesmus acuminatus
 Kirchneriella lunaris
 Golenkinia radiata
 Coelastrum microporum
 Tetraedron Schmidlei
 Chlamydomonas sp.

Cymbella tumida
 Nitzschia communis
 Oocystis natans
 Scenedesmus quadricauda
 Scenedesmus acuminatus
 Coelastrum microporum

Как видно из вышеприведенного списка, синезеленая водоросль *Anabaena variabilis* в опытной пробе не развивалась, очевидно, из-за бурного развития зеленых водорослей. В то же время она присутствовала как в контроле, так и в исходном образце воды.

Четвертый опыт. 21 июня 2003 года была отобрана проба воды из Алферовского пруда. Опыт был поставлен по несколько другой схеме. Для определения влияния чистой культуры хлореллы на видовой состав фитопланктона в опытную колбу к пробе воды из пруда было добавлено 10 мл суспензии хлореллы с плотностью клеток 1 млн./мл. Во вторую опытную колбу к пробе воды было добавлено 100 мл из опытной колбы от 11.06.2003 г. Видовой состав водорослей в опытной колбе от 11.06.2003 г. был следующим:

Navicula dicephala	Scenedesmus q. f. setosus
Chlorella vulgaris	Scenedesmus acuminatus
Scenedesmus quadricauda	Oocystis natans
Kirchneriella lunaris	Coelastrum microporum
Lagerheimia genevensis	Cystodinium Steinii
Golenkinia radiata	Ankistrodesmus falcatus

Исходный состав фитопланктона и результаты поставленного эксперимента приведены в таблице 14. Как видно из таблицы, культура хлореллы через 9 дней культивирования подавила рост практически всех водорослей, в том числе трёх видов *Anabaena*. Лишь *Oscillatoria sancta* получила некоторое развитие в «цветущей» культуре хлореллы. В опытной колбе (проба + опыт) синезеленые водоросли не развивались.

Таким образом, штамм хлореллы совместно с зелеными водорослями подавляет развитие синезеленых водорослей, которые были как в исходной, так и в контрольной пробах.

Таблица 14 – Результаты эксперимента по Алферовскому пруду (30.06.2003 г.)

Исходная от 21.06.2003 года	Опыт		
	проба + суспензия хлореллы	проба + опыт от 11.06.03 г.	контроль
<u>Anabaena variabilis</u> <u>Anabaena constricta</u> <u>Anabaena aequalis</u> <u>Oscillatoria sancta</u> <u>Aphanizomenon flos-aquae</u> <i>Cyclotella comta</i> <i>Melosira granulata</i> <i>Synedra ulna</i> <i>Synedra acus</i> <i>Cymbella cymbiformis</i> <i>Navicula exigua</i> <i>Navicula pupula v. rostrata</i> <i>Nitzschia vermicularis</i> <i>Pediastrum boryanum</i> <i>Coelastrum sphaericum</i> <i>Lagerheimia genevensis</i> <i>Tetrastrum multisetum</i> <i>Scenedesmus acuminatus</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Scenedesmus q. f. setosus</i> <i>Gigantochloris permaxima</i> <i>Oocystis pelagica</i> <u>Phacus caudata</u>	<u>Oscillatoria sancta</u> <i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Navicula exigua</i> <i>Navicula dicephala</i> <i>Chlorella vulgaris</i> <i>Scenedesmus acuminatus</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Scenedesmus q. f. setosus</i> <i>Oocystis natans</i> <i>Kirchneriella lunaris</i> <i>Lagerheimia genevensis</i> <i>Coelastrum microporum</i> <i>Golenkinia radiata</i> <i>Ankistrodesmus falcatus</i> <i>Ankistrodesmus Braunii</i> <u>Cystodinium Steinii</u>	<u>Oscillatoria sancta</u> <u>Anabaena variabilis</u> <u>Anabaena constricta</u> <i>Synedra ulna</i> <i>Navicula exigua</i> <i>Cyclotella comta</i>

2.8 Бактериопланктон Пензенского водохранилища

Общая численность бактерий в водной толще за вегетационный период колебалась в пределах от 101 до 2207 тыс. кл./мл (таблица 15). Развитие бактериопланктона в 2003 году шло интенсивней, чем в 2002 году. Средняя численность бактерий за вегетационный период 2003 г. составила 556 тыс. кл./мл, тогда как в 2002 г. аналогичный показатель был равен 325 тыс. кл./мл.

Таблица 15 – Общая численность бактериопланктона (тыс. кл./мл) в водной толще Пензенского водохранилища в 2003 году

Участок водохранилища	Дата отбора проб, месяц	Горизонт водной толщи, м				
		0	1	3	среднее по участку	среднее за месяц
Приплотинный	Март	30,00	46,50	61,60	-	46,03
Приплотинный	Апрель	311,95	185,90	146,00	-	214,62
Приплотинный	Май	1565	2207	1577	1783	1111,84
Узинский		962,90	789,30	685,90	812	
Золотаревский		413,30	936,50	869,70	739	
Приплотинный	Июнь	420,31	678,96	337,27	478	407,52
Узинский		546,46	423,48	401,18	456	
Золотаревский		285,28	351,63	223,15	286	
Приплотинный	Июль	570,76	625,07	626,55	607	471,24
Узинский		550,35	112,36	101,75	254	
Золотаревский		591,09	604,02	459,23	551	
Приплотинный	Август	167,36	597,81	508,42	424	477,72
Узинский		306,83	410,82	474,91	396	
Золотаревский		789,58	469,12	574,67	610	
Приплотинный	Сентябрь	208,57	415,55	266,57	296	315,92
Узинский		223,15	364,12	325,61	304	
Золотаревский		335,36	296,69	407,63	346	
Приплотинный	Октябрь	122,77	135,62	208,17	-	155,52

Динамика развития бактерий характеризовалась вспышкой в мае (в среднем 1,1 млн. кл./мл), затем численность клеток уменьшилась в среднем до 418 тыс. кл./мл.

По акватории водоема общая численность бактерий в среднем за сезон на Приплотинном и Золотаревском участках была

приблизительно одинаковой, соответственно 500 и 506, а на Узинском участке несколько меньше – 444 тыс. кл./мл.

В вертикальном распределении наблюдается увеличение численности бактерий в метровом слое воды по сравнению с поверхностным и трехметровым слоем воды.

Средняя численность сапрофитов (таблица 16) за вегетационный период по всему водохранилищу составила 5,6 тыс. кл./мл, что в два раза превысило уровень сапрофитов в 2002 г. Численность сапрофитов составила 1/100 часть от общей численности бактерий.

Таблица 16 – Численность сапрофитов (тыс. кл./мл) в водной толще Пензенского водохранилища в 2003 году

Участок водохранилища	Дата отбора проб, месяц	Горизонт водной толщи, м				
		0	1	3	среднее по участку	среднее за месяц
Приплотинный	Март	0,056	0,036	0,082	-	0,058
Приплотинный	Апрель	16,08	13,12	10,50	-	13,230
Приплотинный	Май	1,98	3,60	1,98	2,52	7,820
Узинский		14,74	9,45	4,86	9,68	
Золотаревский		0,36	7,09	26,36	11,27	
Приплотинный	Июнь	0,19	0,16	1,90	0,75	2,500
Узинский		1,66	1,73	1,90	1,76	
Золотаревский		4,94	5,24	4,79	4,99	
Приплотинный	Июль	5,98	7,70	4,91	6,19	11,550
Узинский		20,85	15,80	11,17	15,94	
Золотаревский		11,95	11,42	14,21	12,52	
Приплотинный	Август	0,54	1,98	2,52	1,68	1,830
Узинский		2,59	2,70	2,98	2,75	
Золотаревский		1,30	1,02	0,82	1,05	
Приплотинный	Сентябрь	12,1	0,26	0,18	0,22	4,290
Узинский		7,69	5,02	3,35	5,35	
Золотаревский		1,68	1,24	7,07	3,33	
Приплотинный	Октябрь	10,5	8,3	3,5	-	7,430

Учитывая, что сапрофиты являются индикаторами на органическое загрязнение водоема, можно констатировать, что водоем содержит избыток органических веществ.

Несмотря на высокую общую численность бактерий на Приплотинном участке, численность сапрофитов там (2,27 тыс. кл./мл) оказалась в три раза ниже, чем на остальных участках водоема.

Анализ вертикального распределения сапрофитов в водохранилище показал, что больше их содержится на 3-метровом горизонте, чем в поверхностном слое и на глубине 1 м.

2.9 Механизм действия суспензии хлореллы

При альголизации водоёмов особый интерес представляет вопрос механизма воздействия хлореллы на синезеленые водоросли.

В лабораторных опытах было показано, что в присутствии хлореллы клетки синезеленых водорослей, вызывающих «цветение» воды, лизируют. При этом на другие виды синезеленых водорослей хлорелла не оказывает ни литического, ни ингибирующего воздействия, а некоторые из них, например, *Oscillatoria sancta*, развиваются интенсивней в присутствии штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111. Следовательно, хлорелла оказывает избирательное действие и, причем, только на те виды водорослей, которые традиционно вызывают «цветение» воды.

Необходимо указать, что хлорелла выделяет в окружающую среду более 310 наименований химических соединений (Станчев, 1980), среди которых биологически активные полисахариды, например, хлон-А (Мельников, Мананникова, 1991), различные органические кислоты (паринаревая, арахидоновая, линоленовая и др.), обладающие сильным антимикробным действием, амины (26 наименований), повышенная концентрация которых в среде может вызывать ингибирование роста одних водорослей и стимуляцию развития других (Сакевич, 1985). Состав и количество прижизненных выделений очень разнообразны (Fogg et al., 1965; Moore, Tischer, 1965 [Цит. из Горюнова, Ржанова, Орлеанский, 1969]).

Возможно, не следует исключать и то, что хлорелла может реагировать на экзометаболиты, которые выделяют синезеленые водоросли «цветения» воды выработкой абсцизовой кислоты (от-

крытой в 1963 г.), относящейся к наиболее сильным природным ингибиторам роста (Сиренко, Козицкая, 1988).

То есть водоросли, в том числе и хлорелла, располагают большим составом химических соединений, которые могут тем или иным способом регулировать взаимоотношение между видами фитопланктонного сообщества.

Другой особенностью хлореллы является то, что альголигация водоёма в период «цветения» не оказывает на него положительного воздействия. Поэтому заселение водоёма хлореллой должно проводиться в период, когда для всех видов водорослей можно создать одинаковые стартовые условия, т. е. в зимний период. В результате преимущественное развитие получает вид, наделенный большей биологической активностью. Известно, что штаммы хлореллы (*Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 и В1N), которыми альголигируются водоёмы, обладают высокой биологической активностью по сравнению с известными штаммами или видами водорослей рода *Chlorella*.

Следовательно, однозначного решения вопроса о механизме воздействия хлореллы на синезеленые водоросли пока еще не выработано, скорее всего, это комплекс факторов, среди которых основная роль может принадлежать экзометаболитам.

2.10 Ихтиофауна как компонент экосистемы Пензенского водохранилища

Экосистема водоема, находящаяся под влиянием антропогенной нагрузки, реагирует на неё усилением развития растительного сообщества – как фитопланктона, так и высшей водной растительности. Избыток первичной продукции накапливается в водоеме и способствует, в конечном счете, его эвтрофированию.

Рыба – последнее звено трофической цепи водоема, поэтому при проведении работ по биологической мелиорации водоемов ихтиофауне уделяется ведущее значение (Архипов, Горелов, 2000; Вундцеттель и др., 2000). Необходимо отметить, что как видовой состав, так и численность рыбного стада должны быть адекватными уровню кормовой базы, т. е. недоиспользованной пищи в водоеме оставаться не должно (Костицын, 2000).

Рыбное население Пензенского водохранилища раньше было представлено бентофагами и хищниками (Богданов, 1999). Однако наиболее полному использованию кормовых ресурсов соответствует структура рыбного стада, представленная фито-, планкто- и бентофагами.

К основным промысловым видам, согласно ихтиологическим исследованиям Пензенского водохранилища 2000 года относятся лещ и судак. В общих уловах рыбы лещ доминировал во все годы и в среднем составлял 89,3 %. Судак дает до 8 % улова. К массовым видам в водохранилище относятся плотва и густера с долей в улове менее 1 % по весу. Оставшиеся виды играют незначительную роль в промысле (Коркина, Парамонов, 2003).

В результате изучения видового состава ихтиофауны в 1998 году был выявлен новый вид – карась серебряный (*Carassius auratus gibelio*).

В 2000 году водохранилище было зарыблено белым толстолобиком (*Hypophthalmichthys molitrix*), белым амуром (*Ctenopharyngodon idella*), пестрым толстолобиком (*Aristichthys nobilis*) и большеротым буффало (*Ictiobus cyprinellus*).

В настоящее время в Пензенском водохранилище обитает 29 видов рыб, относящихся к восьми семействам (Атлас..., 2002). Наибольшим количеством видов представлено семейство карповых – 18 видов, семейство окуневых и вьюновых насчитывает по три вида и по одному виду в семействах осетровых, щуковых, чукучановых, сомовых, налимовых.

Видовой состав рыб Пензенского водохранилища следующий:

Семейство осетровых (*Acipenseridae*)

1. Стерлядь (*Acipenser ruthenus* L.)

Семейство щуковых (*Esocidae*)

1. Щука обыкновенная (*Esox lucius* L.)

Семейство карповых (*Cyprinidae*)

1. Язь (*Leuciscus idus* L.)
2. Голавль (*Leuciscus cephalus* L.)
3. Плотва (*Rutilus rutilus* L.)
4. Жерех обыкновенный (*Aspius aspius* L.)
5. Верховка (*Leucaspius delineatus* Heckel)

6. Уклейка (*Alburnus alburnus* L.)
7. Белоглазка (*Abramis sapa* Pallas)
8. Лещ (*Abramis brama* L.)
9. Густера (*Blicca bjoerkna* L.)
10. Красноперка (*Scardinius erythrophthalmus* L.)
11. Линь (*Tinca tinca* L.)
12. Пескарь (*Gobio gobio* L.)
13. Карась золотой (*Carassius carassius* L.)
14. Карась серебряный (*Carassius auratus gibelio* L.)
15. Сазан, обыкновенный карп (*Cyprinus carpio* L.)
16. Белый толстолобик (*Hypophthalmichthys molitrix* Valen.)
17. Пестрый толстолобик (*Aristichthys nobilis* Rich.)
18. Белый амур (*Stenopharyngodon idella* Valen.)

Семейство чукучановых (*Catostomidae*)

1. Буффало большеротый (*Ictiobus cyprinellus*)

Семейство вьюновых (*Gobitidae*)

1. Голец обыкновенный (*Nemachilus barbatulus* L.)
2. Щиповка обыкновенная (*Cobitis taenia* L.)
3. Вьюн (*Misgurnus fossilis* L.)

Семейство сомовых (*Siluridae*)

1. Сом обыкновенный (*Silurus glanis* L.)

Семейство налимовых (*Lotidae*)

1. Налим (*Lota lota* L.)

Семейство окуневых (*Percidae*)

1. Окунь речной (*Perca fluviatilis* L.)
2. Ёрш обыкновенный (*Gymnocephalus cernuus* L.)
3. Судак обыкновенный (*Stizostedion lucioperca* L.)

Все акклиматизированные виды рыб прижились в водоеме и вошли в промысловый и любительский лов. Толстолобики в возрасте шестилеток (5+) достигли массы в среднем 3 кг (рисунок 9). Анализ половых продуктов рыб в 2003 году показал, что икра находится в состоянии второй стадии зрелости. Однако вопрос о возможности нереста растительноядных рыб в условиях Пензенского водохранилища пока остается открытым.

При всем этом Пензенское водохранилище нельзя рассматривать как рыбохозяйственный водоем, т.к. приоритетным направлением этого водоема является хозяйственно-питьевое водо-

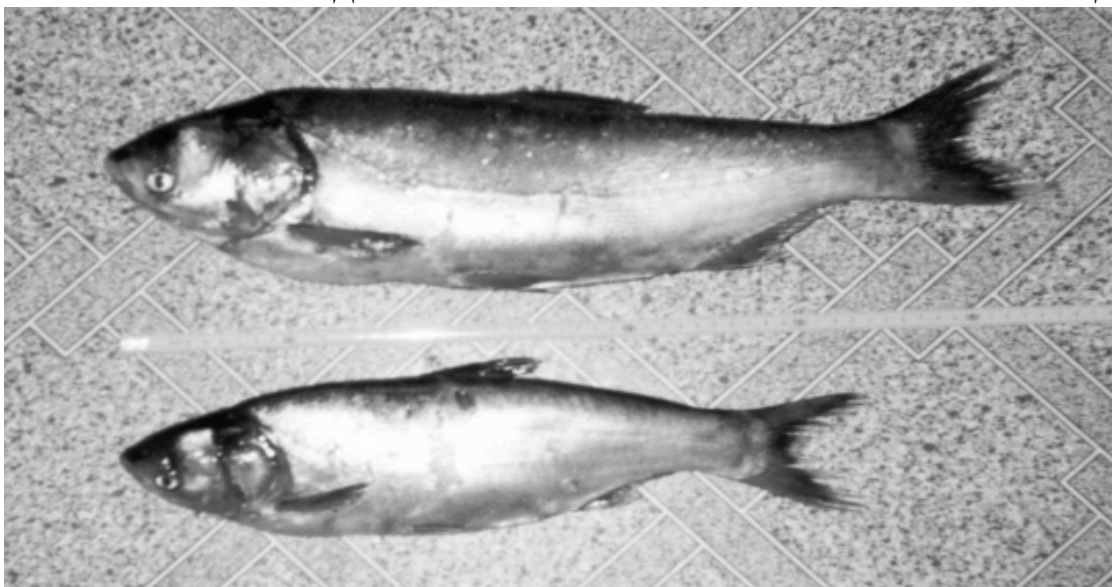


Рисунок 9 – Пёстрые толстолобики из Пензенского водохранилища (сетной улов 2003 г.)

снабжение, но при этом неперемное значение имеет ихтиологическое состояние водоема и полнота использования рыбных запасов.

Выводы

Впервые за 25-летний период существования Пензенского водохранилища, в течение семи последних лет (2001-2007 гг.) водоем не «цвел». Хотя в эти годы, как и в прошлые, природно-климатические условия и химический состав воды были благоприятными для развития синезеленых водорослей. Последние постоянно присутствовали в планктоне, однако их массового развития не наблюдалось.

За три года исследований в составе фитопланктона Пензенского водохранилища был выявлен 201 вид, разновидности и формы водорослей, в том числе 15 видов синезелёных, 71 – диатомовых, 86 – зеленых, 28 – жгутиковых и один вид желтозеленых. Фитопланктон в 2001-2003 годах, по сравнению с 1992 и 1998 годами, претерпел значительные изменения, которые про-

изошли не только в видовом составе водорослей, но и в их соотношении и распределении по акватории водоёма. Доминирующее положение в планктоне заняли зеленые водоросли. Так, в 2003 году видовое разнообразие было следующим: 15 видов синезеленых, 45 – диатомовых, 66 – зеленых и 29 – пиррофитовых.

Структурной перестройке фитопланктонного сообщества способствовали альголизация водоема планктонными штаммами *Chlorella vulgaris* и вселение растительноядных рыб (белый толстолобик, пестрый толстолобик, белый амур).

В Пензенском водохранилище «цветение» воды, как и в других водоемах, вызывали представители трех родов: *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Microcystis*.

Проведенными экспериментами доказано, что в роли антагониста синезеленых водорослей выступают зеленые. Преобладающее развитие последних сдерживает массовый рост синезеленых, тем самым, предохраняя водоем от «цветения». Аборигенные виды зеленых водорослей не могут в достаточной мере защитить водоем от «цветения» синезелеными водорослями. Поэтому нами проводилась альголизация водоема представителем протококковых водорослей из рода *Chlorella*. Обладая хорошо выраженными планктонными свойствами, штаммы *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 и *Chlorella vulgaris* BIN проявляют антагонизм к синезеленым водорослям, а именно к представителям родов: *Aphanizomenon*, *Anabaena*, *Microcystis*. В лабораторных экспериментах достигнут лизис колоний синезеленых водорослей перечисленных родов.

Исследования прилегающих к водохранилищу Золотаревского и Алферовского прудов, а также р. Суры показали, что они «цветут» синезелеными водорослями, в частности, представителями вышеперечисленных родов. Однако синезеленые водоросли, постоянно поступающие в водохранилище, не вызывали в нем «цветения» воды. Следовательно, защитные возможности фитопланктонного сообщества водохранилища способны сдерживать негативное влияние прилегающих водоемов и р. Суры.

Общая численность бактерий в водной толще за вегетационный период 2001-2003 гг. составила в среднем 500 тыс. кл./мл, что соответствует водоемам мезотрофного уровня.

Первичная продукция за вегетационный период составила 10 тыс. т С, а отношение продукции к деструкции (П/Д) было 1,8. По уровню первичной продукции фитопланктона (150 г/м² сырой биомассы за вегетационный период) водоем можно отнести к уровню мезотрофных, хотя в прежние годы исследований (1992-1998 гг.) он был отнесен к разряду высокопродуктивных (эвтрофных).

В Пензенском водохранилище обитает 29 видов рыб, относящихся к восьми семействам, в том числе акклиматизированные три вида растительноядных рыб: белый толстолобик, пестрый толстолобик и белый амур.

Количество белых толстолобиков в водохранилище к 2007 году достигло 20 тыс. экземпляров, при этом они смогут ежегодно изымать 1 тыс. тонн сырой биомассы фитопланктона, что составит 0,5 % от общего количества сырой биомассы микроводорослей за год. Следует полагать, что изъятие такого количества пищи из общего фонда кормовых запасов не сможет подорвать кормовую базу аборигенных видов рыб.

Несмотря на то, что основное назначение Пензенского водохранилища – хозяйственно-питьевое водоснабжение, но при этом большое значение имеет как ихтиологическое состояние водоема, так и рациональное использование его рыбных запасов.

3 БИОЛОГИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ВОДОЁМОВ

Зарастание водоёмов высшей водной растительностью приводит к снижению их эксплуатационных возможностей. Особенно это касается водоёмов-охладителей энергетических станций, так как они являются неотъемлемой частью технологического процесса производства электрической и тепловой энергии. Эти водоёмы постоянно находятся под влиянием повышенных температур, что зачастую определяется как термическое загрязнение водоёма. Специфические условия, которые создаются в водоёмах охладителей, в значительной мере воздействуют на гидробиологическое состояние с одной стороны ускоряя биологические процессы, а с другой создавая элективные условия для выживания определенных групп организмов.

Что касается продукционных процессов, то дисбаланс поступления и выноса органических веществ из водоёма-охладителя приводит к усиленному развитию отдельных представителей гидробионтов (дрейссена) и зарастанию высшей водной растительностью. Зарастание водоёма макрофитами снижает технические возможности энергетической станции и затрудняет использование водоёма-охладителя по его прямому назначению.

Реакторы атомных станций рассчитаны на 30-летний срок работы. Однако уже за первые десять лет использования водоёма-охладителя в его экосистеме происходят значительные изменения из-за эвтрофикации в результате ежегодно увеличивающейся площади зарастания высшей водной растительностью, а так же «цветения» воды представителями синезеленых водорослей, что в значительной мере снижает эксплуатационные возможности реакторов.

Ихтиофауна, населяющая водоём-охладитель, чаще всего, в силу ограниченности видового состава и численности не способна в полной мере утилизировать ежегодно продуцирующееся органическое вещество, излишки которого накапливаются в водоёме, способствуя дальнейшей его эвтрофикации.

Снижение процесса зарастания водоёма-охладителя высшей водной растительностью можно достигнуть путем вселения растительноядных рыб, например, белого амура.

Вопрос использования белого амура для борьбы с излишним зарастанием водоёмов высшей водной растительностью и улучшения гидробиологического режима изучен довольно детально (Руководство по биотехнике разведения и выращивания Дальневосточных растительноядных рыб, 2000). Поэтому, один из наиболее эффективных путей снижения площадей зарастания водоёма-охладителя – это биомелиорация за счет вселения в водоём растительноядных рыб. Растительноядные рыбы относятся к теплолюбивым рыбам, поэтому в водоёмах-охладителях энергетических станций для них создаются оптимальные условия, как в термическом, так и в кормовом отношении. Следует также учитывать ещё один фактор – увеличение срока вегетационного периода, что так же благоприятно влияет на темп роста растительноядных рыб.

Вселение белого амура обусловлено тем, что его кормовой рацион состоит из высших водных растений. Практически все подводные мягкие и прибрежно-водные растения, которые встречаются в водоёмах-охладителях, являются излюбленным кормом белого амура.

Процессу зарыбления водоёма-охладителя растительноядными рыбами должны предшествовать исследования по первичной продукции, так как по биомассе макрофитов производятся расчеты посадок белого амура, а по биомассе фито- и зоопланктона – белого и пестрого толстолобиков.

Таким образом, растительноядные рыбы являются наиболее эффективным биологическим объектом для успешной борьбы с зарастанием и «цветением» водоёмов-охладителей энергетических станций (Богданов, 2003).

Ниже приводятся материалы по биологической мелиорации водоёма-охладителя атомной станции.

3.1 Гидрологическая и физико-химическая характеристика водоёма

Водоём-охладитель Балаковской АЭС располагается на бывшем мелководном участке Саратовского водохранилища. Площадь зеркала водоёма 26 км², объём водоёма 150 млн. м³.

Средняя глубина водоёма – 5,75 м. Имеются мелководные участки с глубинами до 1 м. Карта-схема водоёма-охладителя приведена на рисунке 10.

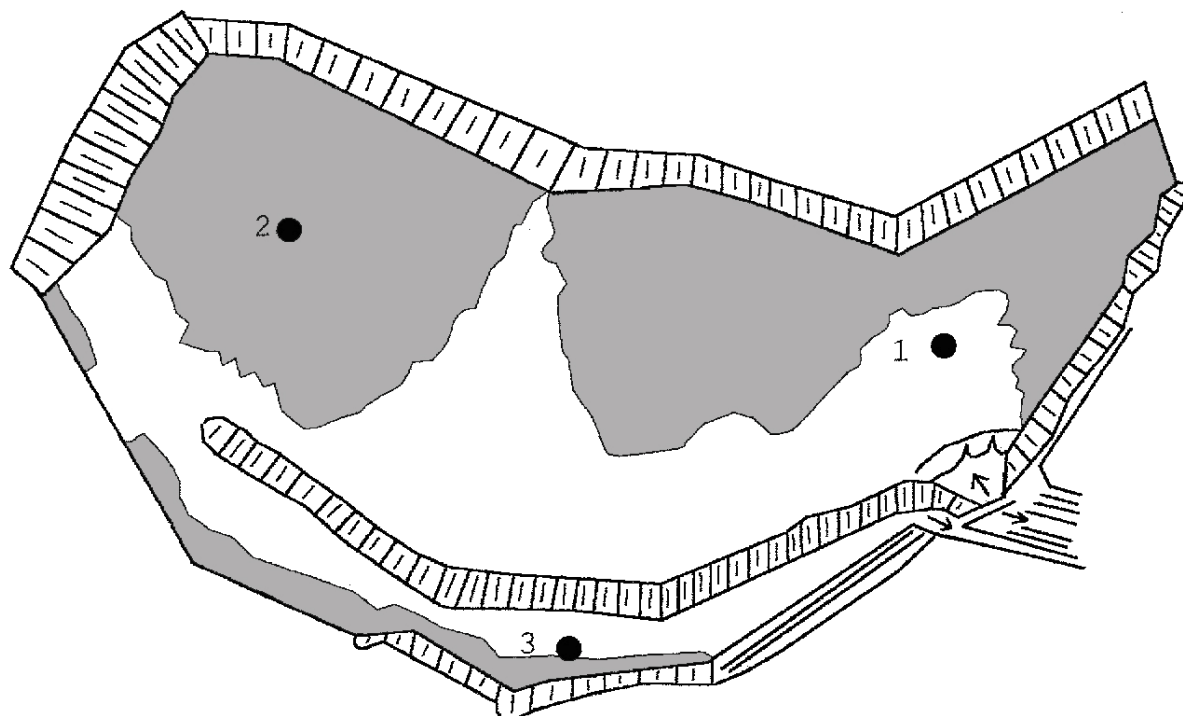


Рисунок 10 – Карта-схема водоёма-охладителя Балаковской АЭС: ■ – площадь зарастания высшей водной растительностью; ● – станция.

Вода забирается насосами из водоёма-охладителя и возвращается в него в среднем на 10 °С выше. Для восполнения потерь за счёт фильтрации и испарения идет подача воды из Саратовского водохранилища со скоростью 3–5 м³/с.

В продольном направлении водоём-охладитель имеет струенаправляющую дамбу, которая разделяет его на две части, что обеспечивает наиболее полное охлаждение воды. В результате зона тёплых вод имеет две подзоны: сильного и умеренного подогрева.

Скорость течения в водоёме-охладителе составляет 0,030–0,015 м/с, в узких местах до 0,40–0,87 м/с.

Дно водоёма у берегов не заилено, состоит из песка и камней. С увеличением глубины дно выстилает ил.

Химический состав воды в водоёме относится к карбонатно-кальциевому типу, что соответствует типу вод водоисточника. По

солевому составу вода соответствует ГОСТ, установленному для рыбохозяйственных водоёмов.

Гидрохимический и физико-химический режим водоёма зависит от растворённых в ней веществ. Совокупность этих веществ и количество во многом определяет условия жизни гидробионтов.

Данные по физико-химическим показателям воды водоёма-охладителя приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Физико-химические показатели воды на станциях водоёма-охладителя АЭС в 2001 г.

№ станции	Дата отбора проб, месяц	Прозрачность, м	Температура, °С			Кислород, О ₂ мг/л			рН		
			пов.	1 м	3 м	пов.	1 м	3 м	пов.	1 м	3 м
2	Май	3,5	22,3	22,3	22,2	4,9	4,9	4,9	7,57	8,23	7,78
3		3,5	27,7	-	27,9	4,5	-	4,5	7,37	-	8,03
1	Июнь	4,0	29,8	30,0	30,1	4,1	4,1	4,1	8,25	8,25	8,25
2		3,0	26,3	26,5	26,6	4,0	4,0	4,0	8,23	8,25	8,25
3		3,5	25,3	25,4	25,4	4,1	4,0	4,1	8,25	8,26	8,25
1	Июль	3,5	35,0	35,0	33,5	3,9	3,9	4,0	9,5	9,5	9,3
2		4,5	30,6	30,5	28,3	3,9	3,9	4,1	9,5	9,5	9,3
3		3,0	29,2	29,2	29,2	4,5	4,5	4,6	9,5	9,5	9,3
1	Август	3,5	32,2	32,2	31,5	4,1	4,2	4,3	8,7	8,7	8,7
2		3,5	28,4	28,4	28,2	3,9	3,9	4,0	8,8	8,7	8,7
3		3,5	27,3	27,4	27,4	4,6	4,6	4,6	8,8	8,8	8,7
2	Сентябрь	2,5	28,5	28,3	25,8	4,4	4,3	4,4	8,23	8,23	8,23
3		4,3	29,7	29,6	29,6	4,3	4,3	4,3	8,58	8,23	8,23
1	Октябрь	3,7	20,4	20,3	20,0	5,3	5,2	5,3	8,58	8,58	8,58
2		3,5	18,1	18,7	17,0	5,8	5,6	5,5	7,9	8,23	8,23

Температура воды водоёма-охладителя зависит от интенсивности работы и количества работающих реакторов АЭС. Она изменяется по сезонам вегетационного периода. Максимальная температура отмечалась в июле на станции 1 – 35 °С, на остальных станциях она также была высокой (29,2 ° и 30,6 °С). Наименьшие показатели были в октябре на станции 2 – 17,9 °С. Ди-

намика изменения температуры воды характеризуется постепенным повышением с мая до июля, в дальнейшем отмечается спад до октября. По акватории водоёма самые высокие абсолютные значения температуры отмечаются на станции 1, далее по направлению к станции 2 они снижаются и, соответственно, самые низкие температуры воды на станции 3 (рисунок 10).

Из различных газов, растворенных в воде, наибольшее значение для гидробионтов имеет кислород. Он образуется в самом водоёме в результате фотосинтетической деятельности растений и поступает из атмосферы, когда вода не насыщена этим газом. Кислород расходуется на дыхание и другие окислительные процессы, протекающие в водоёме, а при наличии высоких концентраций убывает в результате выхода в атмосферу. Кислородный режим водоёма зависит от ряда факторов: температуры воды, фотосинтетической деятельности фитопланктона, ветрового перемешивания, интенсивности окислительных процессов в водоёме, дыхания гидробионтов и др.

В период исследований кислородный режим водоёма находился на сравнительно низком уровне. Среднее содержание растворенного кислорода в течение всего вегетационного периода – 4,4 мг/л O_2 , причем колебания были незначительными – от 3,9 до 5,8 мг/л O_2 . Можно предположить, что стабильность растворенного в воде кислорода – результат обильного развития подводной высшей растительности и «цветения» воды синезелеными водорослями.

Концентрация водородных ионов (рН) в воде определяется интенсивностью протекания окислительно-восстановительных процессов в водоёме. От этого зависят многие стороны жизнедеятельности гидробионтов, особенно микроорганизмов. рН в водоёме-охладителе подвержена значительным изменениям в сезонном аспекте. Наиболее щелочная вода по показателям рН была в июле (9,5), наименьшие показатели отмечались в мае (7,37). Изменения рН, помимо прочих факторов, связаны с фотосинтетической деятельностью населяющих водоём растений. Поэтому наиболее высоким показателям фотосинтеза в июле соответствовали высокие значения рН на всей акватории.

Прозрачность воды зависит от целого ряда факторов, основным из которых является наличие в воде взвешенных веществ (в

том числе и планктона). В среднем за вегетационный период она была достаточно устойчивой – 3,53 м с колебаниями в пределах от 2,5 до 4,5 м.

3.2 Бактериопланктон

Сведения о бактериопланктоне водоёма-охладителя приводятся впервые. Одновременно с определением общей численности бактерий приводятся материалы и по сапрофитной микрофлоре.

Общая численность бактерий в водной толще за вегетационный период (таблица 18) колебалась в пределах от 110 до 1770 тыс. кл./мл. Рассматривая динамику развития бактерий в сезонном аспекте, необходимо отметить, что средняя численность бактерий находится в прямой корреляции с изменениями температуры воды по месяцам.

Таблица 18 – Численность бактериопланктона (тыс. кл./мл) в водоёме-охладителе АЭС в 2001 г.

Номер станции	Горизонт водной толщи, м	Месяц					
		май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
1	Поверхность	260	110	700	450	370	190
	1	-	270	1770	530	310	120
	3	-	280	580	490	340	190
	6	-	150	-	-	-	-
	7	300	-	380	-	-	-
2	Поверхность	220	265	430	880	380	110
	1	200	250	290	460	350	125
	3	330	290	330	210	240	250
	7	-	-	470	-	-	-
3	Поверхность	-	200	840	380	-	-
	1	-	330	800	320	-	-
	3	-	250	720	260	-	-
	5	-	-	830	-	-	-
	6	-	350	-	-	-	-
Среднее		262	249	678	416	328	164

Наибольшая средняя численность бактерий по водоёму в июле составила 678 тыс. кл./мл и соответствовала самой высокой температуре за сезон – 31,1°C.

В октябре температура воды в среднем по водоёму снизилась до 19 °С, что соответствовало самой низкой плотности бактерий в воде за вегетационный период – 164 тыс. кл./мл.

Средняя численность бактерий по всему водоёму за вегетационный период находилась на уровне 349 тыс. кл./мл.

Так как состояние водоёма-охладителя находится под влиянием теплых вод, он условно был разделен на три части (рисунок 10). Первая часть, куда попадали теплые воды (станция 1), центральная часть (станция 2) и участок, расположенный за разделительной дамбой (станция 3). Анализ средней численности бактерий по станциям также показал, что наивысшим средним температурам за сезон на каждом из участков соответствует самая большая численность бактерий, а самой низкой температуре, соответственно, самое низкое число бактерий (таблица 19). Это свидетельствует о том, что развитие бактериопланктона теснейшим образом связано с термическим режимом водоёма.

Таблица 19 – Зависимость численности бактерий от температурного режима водоёма-охладителя АЭС в 2001 г.

Станция	Температура воды, °С	Общая численность бактерий, тыс. кл./мл
1	29,3	410
2	26,6	313
3	24,0	300

По общей численности бактерий водоём-охладитель АЭС относится к водоёмам олиготрофного типа. Сопоставляя динамику численности бактерий и фитопланктона, следует отметить, что в периоды интенсивного развития микроскопических водорослей численность бактерий имела тенденцию к снижению (рисунок 11). Это свидетельствует об антагонистическом отношении между фито- и бактериопланктоном (Разумов, 1962).

Количество сапрофитов в водной толще водоёма-охладителя АЭС приведено в таблице 20.

Таблица 20 – Численность сапрофитов (тыс. кл./мл) в водной толще водоёма-охладителя АЭС в 2001 г.

Номер станции	Горизонт водной толщи, м	Месяц					
		май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
1	Поверхность	0,16	1,5	0,3	8,0	0,7	4,7
	1	-	11,8	0,4	4,1	0,5	2,5
	3	-	11,9	1,0	4,2	0,4	6,5
	6	-	14,9	-	-	-	-
	7	0,22	-	3,1	-	-	-
2	Поверхность	0,08	8,5	0,3	5,7	4,6	3,5
	1	0,29	21,4	0,2	6,5	6,8	8,9
	3	0,44	15,6	0,06	4,6	4,5	9,3
	7	-	-	0,15	-	-	-
3	Поверхность	-	3,5	0,7	6,9	-	-
	1	-	3,4	0,8	2,1	-	-
	3	-	9,9	1,4	2,8	-	-
	5	-	-	0,7	-	-	-
	6	-	18,6	-	-	-	-
Среднее		0,24	11,0	0,8	5,0	2,9	5,9

В среднем количество сапрофитов за вегетационный период составило 4300 кл./мл, что более 1/100 части от общей численности бактерий водоёма-охладителя АЭС. Учитывая то, что сапрофиты являются индикаторами на органическое загрязнение водоёма, следует отметить, что по их численности и соотношению с общей численностью бактерий, водоём содержит избыток органических веществ.

Четкой закономерности в сезонном распределении сапрофитов не отмечено. Корреляции между колебаниями численности сапрофитов и общей численностью бактерий не обнаружено.

Изучение вертикального распределения сапрофитов в водоёме-охладителе показало, что они неравномерно распределяются в водной толще. Концентрация их происходит, видимо, в тех горизонтах, где накапливается легкодоступное органическое вещество. Существенное влияние на сапрофитные бактерии оказывает фитопланктон. На горизонтах скопления планктонных водорос-

лей количество сапрофитов значительно ниже, чем на других участках водной толщи (таблицы 20 и 22).

По акватории водоёма-охладителя сапрофиты распределены неравномерно (таблица 21). Наибольшее количество их отмечено на центральном участке (станция 2), меньше было сапрофитов на участке, находящемся под влиянием подогретых вод (станция 1) и минимальное количество – на участке за разделительной дамбой (станция 3).

Таблица 21 – Средняя численность (тыс. кл./мл) сапрофитов по участкам водоёма-охладителя АЭС в 2001 г.

Номер станции	Месяц					
	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
1	0,19	10,02	1,20	5,43	0,53	4,56
2	0,27	15,16	0,18	5,60	5,30	7,23
3	-	8,85	0,90	3,39	-	-

3.3 Фитопланктон

Гидробиологический режим водоёма-охладителя Балаковской АЭС впервые детально изучался Саратовским отделением ГосНИОРХ в 1991 г. По материалам отчета видовой состав фитопланктона был представлен 102 видами, разновидностями и формами, из них 47 видов было отнесено к диатомовым, 28 – к зеленым, 17 – к синезеленым, пять – к эвгленовым и три – к желтозеленым водорослям. Следует отметить, что из общего числа видов лишь половина (45) присутствовала в планктоне водоёма в течение всего вегетационного периода, остальные отмечались спорадически. Отсутствие списка видового состава не позволяет сделать полный анализ, однако если судить по доминирующим видам, которые были встречены в 1991 г., то имеется существенная разница с видовым составом доминантов 2001 г. Так, доминирующими видами в 1991 г. были *Melosira italica*, *Stephanodiscus Hantzschii* и *Cyclotella meneghiniana*, наиболее многочисленными представителями зеленых водорослей были виды из родов: *Chlamidomonas*, *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus* и *Ulotrix*, из синезе-

ленных *Anabaena*, *Phormidium*, *Oscillatoria* и *Microcystis*. Тогда как в 2001 г. доминировали: из диатомовых – представители родов *Synedra*, *Navicula*, *Cocconeis*, из зеленых – *Scenedesmus*, *Ankistrodesmus*, *Pandorina*, из синезеленых – *Microcystis*, *Merismopedia*, *Aphanizomenon*.

За прошедший десятилетний период в жизни водоёма произошли значительные изменения как в видовом составе фитопланктона, так и в доминирующих видах.

Распределение видового состава водорослей в течение вегетационного периода характеризуется следующим образом: наименьшее количество видов отмечено в мае – 13 (из них – зеленых пять, диатомовых – пять, синезеленых – три). Доминантами были *Scenedesmus quadricauda* (зеленые) и *Synedra ulna* (диатомовые). Максимальное количество видов было отмечено в сентябре – 33 (из них – зеленых 13, диатомовых – 13, синезеленых – 4 и пиррофитовых – 3). Доминировали *Ankistrodesmus falcatus*, *Pediastrum duplex* (зеленые), *Navicula exigua* (диатомовые), *Merismopedia tenuissima* (синезеленые).

В остальные месяцы в среднем было отмечено по 24 вида водорослей. Однако соотношение между зелеными и диатомовыми только в августе было равным (по восемь видов), в июне и июле видовой состав зеленых водорослей был богаче, тогда как в октябре в шесть раз преобладали диатомовые. Максимальное количество синезеленых, семь видов, было отмечено в августе, тогда как в остальные месяцы они были представлены тремя-пятью видами.

Видовой состав фитопланктона водоёма-охладителя в 2001 г. состоял из 72 видов, форм и разновидностей водорослей, из них 34 вида относились к диатомовым, 24 – к зеленым, 10 – к синезеленым, три – к пиррофитовым и один – к желто-зеленым (Приложение Ж). Уменьшение количества видов фитопланктона по сравнению с 1991 г. связано со стабилизацией гидробиологического режима водоёма и значительным увеличением площади, занятой подводной мягкой растительностью. Дальнейшее зарастание водоёма может привести к сокращению количества видов, которые смогут выжить в условиях доминирования в водоёме высшей водной растительности.

Немаловажным фактором, определяющим гидробиологическое состояние водоёма, является и то, что водоём используется для всех четырёх энергоблоков по полной технической программе. Планируемое увеличение нагрузки на водоём непременно приведет к дальнейшему сокращению видового состава фитопланктона.

Численность фитопланктона в водной толще водоёма охладителя в 2001 г. сильно варьирует (таблица 22). Количественные показатели на станциях по участкам водоёма колеблются в пределах от 0,72 до 5,71 тыс. кл./мл. Средние значения находятся в более узких пределах: от 1,59 до 30,54 тыс. кл./мл. В развитии водорослей в водоёме прослеживается четкая сезонная динамика. Весной и осенью их численность минимальна и составляет 2,44 и 1,60 тыс. кл./мл соответственно. Максимальная численность была в июне (51,7 тыс. кл./мл), а в остальные месяцы она находится приблизительно на одном уровне: от 14,37 до 18,0 тыс. кл./мл.

Таблица 22 – Численность фитопланктона (тыс. кл./мл) в водной толще водоёма-охладителя Балаковской АЭС в 2001 г.

Номер станции	Горизонт водной толщи, м	Месяц					
		май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь
1	Поверхность	-	31,58	6,97	30,29	-	-
	1	-	27,92	10,63	20,53	-	-
	3	-	38,50	15,34	13,86	-	-
	6	-	-	11,23	-	-	-
	7	-	27,60	-	-	-	-
2	Поверхность	2,23	51,70	5,93	13,49	21,46	1,94
	1	1,86	23,83	9,91	22,27	17,91	0,72
	3	2,98	21,62	13,49	18,61	10,06	2,50
	7	-	-	7,21	-	-	-
3	Поверхность	2,66	39,20	48,88	11,41	11,26	0,94
	1	-	44,65	13,00	14,72	17,37	1,54
	3	-	16,08	11,10	16,78	9,19	1,90
	5	-	13,30	-	-	-	-
	6	2,46	-	18,77	-	-	-
Среднее		2,44	30,54	14,37	18,00	14,54	1,59

В сезонной динамике развития водорослей в 2001 г. отмечалось два пика: первый и максимальный был в июле, второй – в августе (рисунок 11). Первый пик был исключительно за счёт развития зеленых, а второй – синезеленых водорослей.

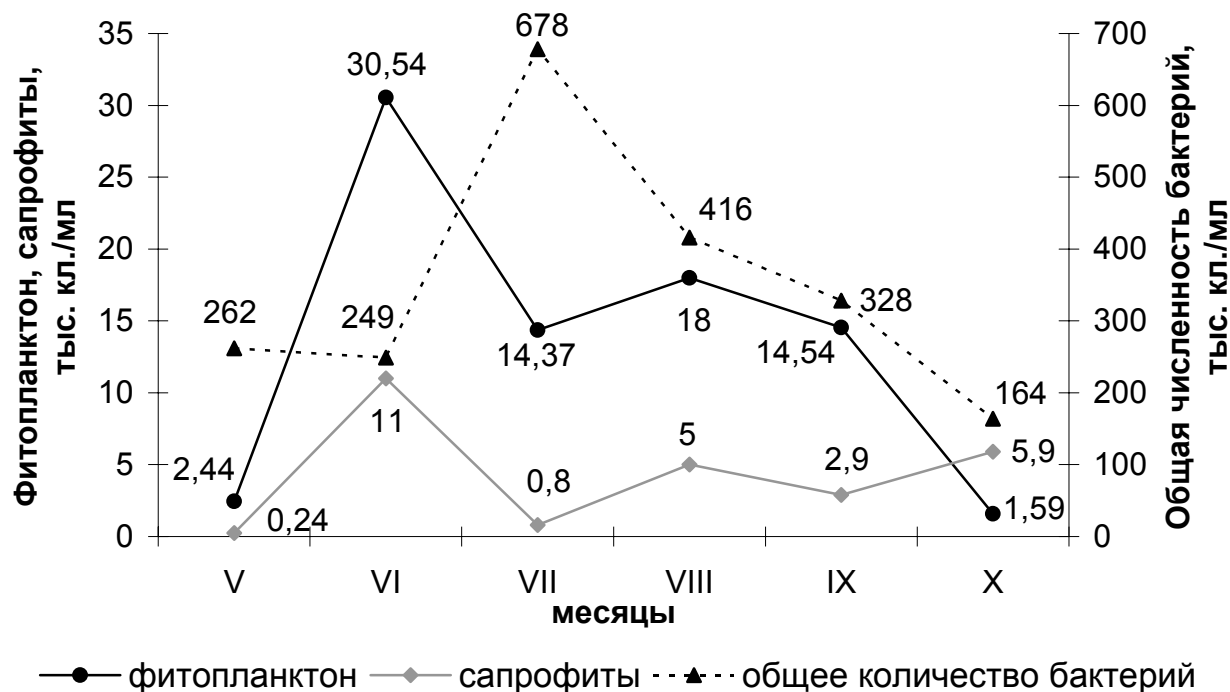


Рисунок 11 – Сезонная динамика численности фито- и бактерио планктона в водоёме-охладителе Балаковской АЭС в 2001 г.

В вертикальном распределении фитопланктона по станциям преобладало снижение количества клеток от поверхности к придонному слою воды. Однако в некоторые месяцы наблюдалась обратная картина, например, в августе на станциях 2 и 3 (таблица 22).

Определенной закономерности в развитии фитопланктона по акватории водоёма установить не удалось. Хотя нельзя исключить влияние подогретых вод не только на видовой состав водорослей, но и на их численность.

3.4 Первичная продукция фитопланктона и макрофитов

Первичная продукция водоёма-охладителя Балаковской АЭС включает продукцию фитопланктона и макрофитов – выс-

ших водных растений (ВВР), состоящих из продукции погруженной и воздушно-водной растительности.

Результаты определения суточного фотосинтеза фитопланктона и деструкции органического вещества приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Результаты определения суточного фотосинтеза фитопланктона и деструкции органического вещества в водоёме-охладителе Балаковской АЭС

Месяц	Продукция		Деструкция	
	г/м ² O ₂	Весь водоём, т O ₂	г/м ² O ₂	Весь водоём, т O ₂
Май	0,70	18,25	0,23	6,0
Июнь	1,18	30,70	0,43	11,2
Июль	1,85	48,10	0,60	15,6
Август	0,75	19,50	0,17	3,1
Сентябрь	0,80	20,80	0,14	3,6

В динамике продукции фитопланктона отмечается три максимума: раннелетний, связанный с развитием диатомовых водорослей; позднелетний, определяемый синезелеными водорослями; раннеосенний, вызванный вновь развитием диатомовых. То есть динамика фотосинтеза фитопланктона характеризуется следующим образом: в мае интенсивность фотосинтеза фитопланктона низкая, в июне возрастает и в июле достигает максимума, в августе начинается спад, а в сентябре вновь отмечается небольшое повышение. Определение первичной продукции фитопланктона проводилось ежемесячно. Валовая продукция фитопланктона за вегетационный период представлена на рисунке 12.

Суммарная продукция водоёма за вегетационный период (май-сентябрь) равна:

$$547,5 + 916,5 + 1443 + 582 + 620 = 4109 \text{ т O}_2.$$

Валовая продукция органического вещества составила:

$$509,2 + 852,3 + 1342 + 541,3 + 576 = 3821,4 \text{ т.}$$

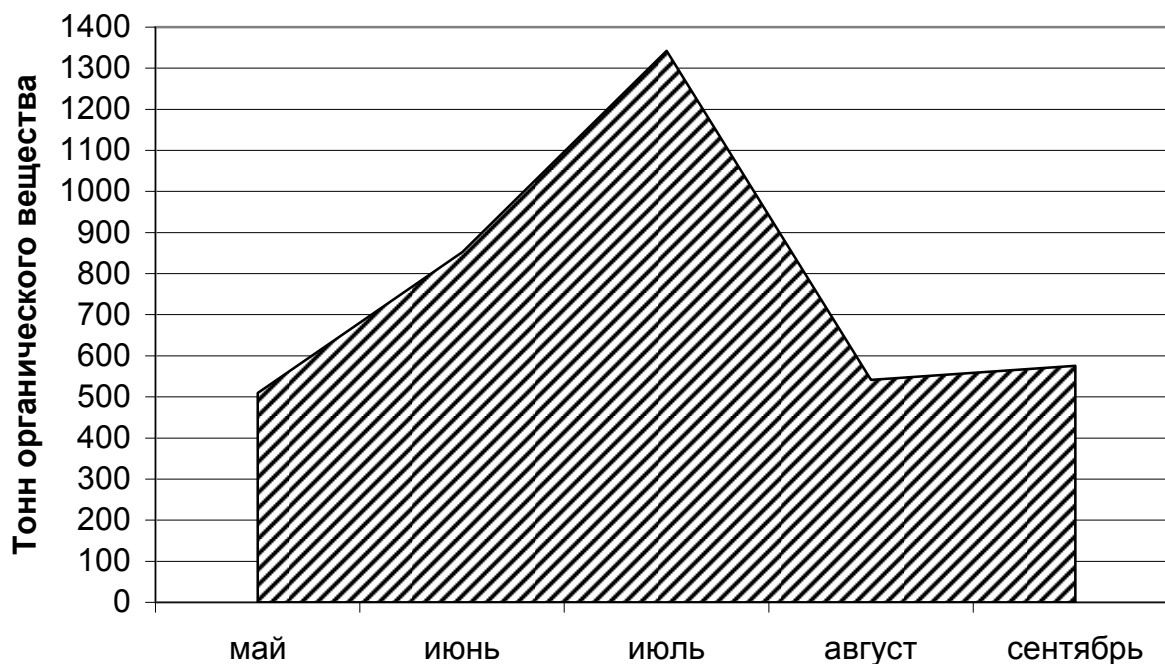


Рисунок 12 – Ход накопления органического вещества в 2001 г. в водоёме-охладителе Балаковской АЭС за счёт фотосинтеза фитопланктона

Макрофиты водоёма-охладителя представлены двумя группами формаций: воздушно-водной и мягкой погруженной растительностью.

Воздушно-водная формация состоит из двух видов: тростник обыкновенный и камыш озёрный (рисунок 13), причём в процентном отношении превалирует тростник.

Мягкая погружённая растительность представлена, в основном, следующими видами водорослей: хара, элодея, роголистник. Наибольшее распространение имеет формация мягкой погруженной растительности (рисунок 14). Все группировки растений просты по структуре и бедны по флористическому составу.

Продукцию макрофитов определяли по занимаемой ими площади. Расчет продукции производился во время цветения, когда количество сырой биомассы максимально (Катанская, 1981). Общая площадь зарастания прибрежной зоны воздушно-водной растительности определялась умножением общей протяженности зарастания, 15,36 км, на ширину зарастания от берега до уреза воды, которая колебалась от 50 до 350 м. При расчёте общая площадь зарастания составила – 2,54 км² (рисунок 10).



Рисунок 13 – Воздушно-водная растительность водоёма-охладителя АЭС



Рисунок 14 – Зарастание мягкой погруженной растительностью водоёма-охладителя Балаковской АЭС (2001 г.)

Продукция прибрежной воздушно-водной растительности определялась путем скашивания и взвешивания её на площади по 1 м² в трёх повторностях. Результаты приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Масса (кг) растительности различных формаций в водоёме-охладителе Балаковской АЭС в 2001 г.

Промер	Растительность, кг	
	воздушно-водная	мягкая погружённая
1	6,00	18,2
2	1,25	10,0
3	2,35	11,6
Среднее	3,20	13,3

Среднее значение биомассы 1 м² составило 3,2 кг (3200 т на 1 км²), на всей площади зарастания 2,54 км² × 3200 т = 8128 т сырой биомассы. Она соответствует годичной продукции воздушно-водной растительности.

Аналогично определялась продукция мягкой погруженной растительности.

Площадь зарастания составила 50 % площади водоёма не занятой прибрежной воздушно-водной растительностью – по расчётам 11,73 км². Биомасса под 1 м² определялась также скашиванием и взвешиванием растительности на площади 1 м² в трёх повторностях (таблица 25).

Среднее значение биомассы на 1 м² составило 13,3 кг (13300 т/км²), на всей площади зарастания 11,73 км² × 13300 т = 156009 т. Она соответствует годичной продукции мягкой погруженной растительности.

Годичная продукция на 1 м² водоёма составила:

- воздушно-водная растительность – 8128 т : 26 км² = 0,3 кг/м²;
- мягкая погруженная растительность – 156009 т : 26 км² = 6,0 кг/м²;
- первичная продукция фитопланктона за 5 месяцев (150 дней)
 $0,982 \text{ г/м}^2 \times 150 \text{ дней} = 147,3 \text{ г/м}^2$.

Общая годичная продукция (ВВР + фитопланктон) под 1 м² площади водоёма:

$$0,3 \text{ кг/м}^2 + 6,0 \text{ кг/м}^2 + 0,147 \text{ кг/м}^2 = 6,447 \text{ кг/м}^2 \text{ сырой биомассы.}$$

Общая первичная продукция на весь водоём (ВВР + фитопланктон) составила:

$$156000 \text{ т} + 7800 \text{ т} + 3822 \text{ т} = 167622 \text{ т сырой биомассы.}$$

Первичная продукция фитопланктона составляет 2,28 %, продукция воздушно-водной растительности – 4,65 % и на долю мягкой погруженной растительности пришлось 93,06 % общей сырой биомассы.

3.5 Деструкция органического вещества

Сравнение величин первичной продукции (146,6 г органического вещества) и деструкции (47,1 г органического вещества) под 1 м² водной поверхности за вегетационный период (таблица 23) показало, что первичная продукция в водоёме-охладителе Балаковской АЭС в 3,11 раза превышает деструкцию органического вещества.

Это свидетельствует о том, что низкому уровню деструкции соответствует слабое развитие бактерий. Помимо продукции фитопланктона, которая составляет 2,28 % от общей продукции растений, населяющих водоём, в значительном количестве накопление органического вещества идет за счёт высшей водной растительности.

Слабое развитие бактериопланктона в вегетационный период и, соответственно, процесс деструкции органического вещества, скорее всего, лимитируется интенсивным развитием высшей водной растительности в водоёме-охладителе.

Можно допустить, что наиболее интенсивно процессы деструкции в водоёме-охладителе протекают с ноября по апрель, так как, в конечном счете, вся первичная продукция вовлекается в биотический круговорот водоёма и трансформируется в ихтиомассу.

Сопоставляя соотношение первичной продукции и деструкции органического вещества водоёма-охладителя, следует отметить, что роль аллохтонного органического вещества по сравнению с автохтонным, совершенно незначительна и это связано с тем, что водоём-охладитель Балаковской АЭС является замкнутым. Пополнение его водой из Саратовского водохранилища не оказывает существенного влияния на изменение баланса органического вещества.

Сезонный ход динамики деструкции органического вещества в водоёме-охладителе (рисунок 15) повторяет кривую графика динамики накопления органического вещества за счёт фотосинтеза фитопланктона (рисунок 12). В связи с этим можно полагать, что деструкции подвергается легкодоступное органическое вещество, которым могут быть внеклеточные выделения фитопланктона (Винберг, 1960).

3.6 Первичная продукция и вылов рыбы из водоёма-охладителя

Соотношение между первичной и конечной продукцией водоёма представляет актуальность не только в теоретическом, но и в практическом плане, так как «изучение первичной продукции

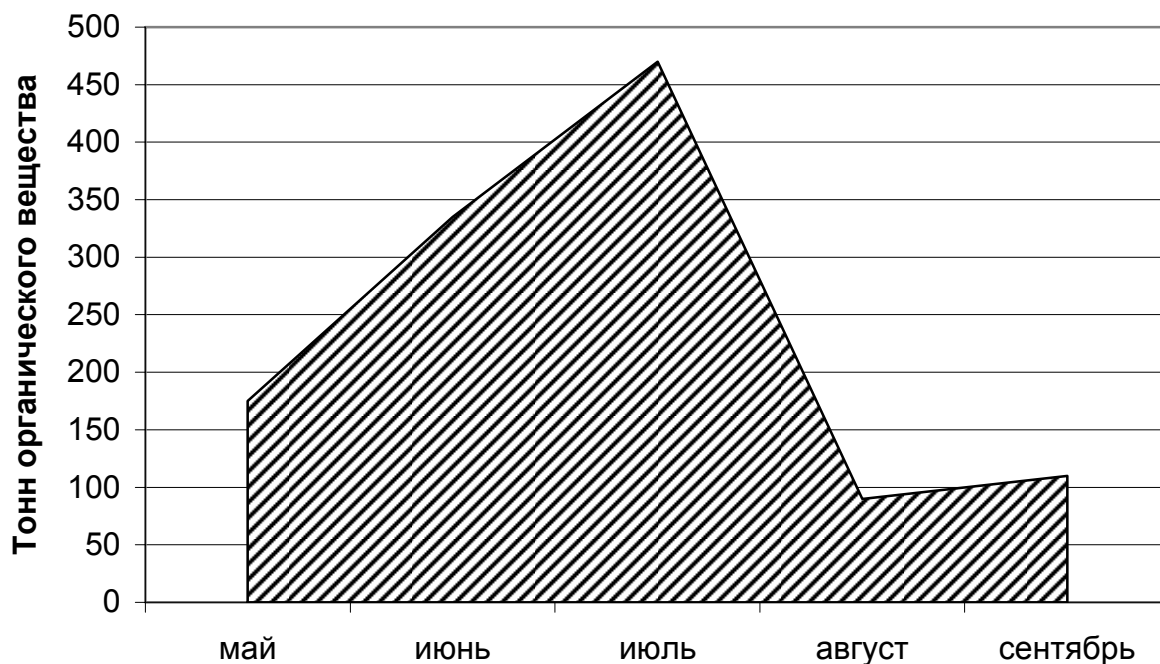


Рисунок 15 – Динамика деструкции органического вещества в водоёме-охладителе Балаковской АЭС в 2001 г.

планктона создаёт предпосылки прогнозирования продукционных процессов в водоёмах, управление ими и, в конечном счете, регуляция рыбопродуктивности» (Винберг, 1960).

Обобщены данные по различным водоёмам, из которых следует, что существует прямая корреляция между первичной продукцией и рыбопродуктивностью, рассматриваемой в виде вылова или продукции рыбы. Соотношение относительного вылова к первичной продукции в водоёмах с различным уровнем трофности составляет от 0,02 до 0,40 % (Бульон, 1983).

Годичный вылов рыбы из водоёма-охладителя составляет 150,0 тонн. Суммарная первичная продукция за вегетационный период равнялась 167,6 тыс. тонн сырой биомассы, при этом процент относительного вылова составил 0,09. Если принять во внимание, что из водоёма ежегодно изымается 15 тонн раков, то относительный процент вылова можно принять за 0,1. Эти данные вполне укладываются в градацию процентов по различным водоёмам и в уровень трофности водоёма-охладителя Балаковской АЭС.

Относительный вылов по Саратовскому водохранилищу составляет 0,05 % (Яковлева, 1978), то есть в два раза меньше, чем в водоёме-охладителе Балаковской АЭС. Необходимо отметить,

что в водоёме-охладителе за счёт благоприятного термического режима условия образования первичной продукции значительно лучше, чем в Саратовском водохранилище (Снижение количества биозагрязнителей..., 1991).

С целью мелиорации водоём-охладитель зарыблен белым амуром и в дальнейшем предусмотрено зарыбление белым толстолобиком и черным амуром. Поэтому в ближайшей перспективе ихтиомасса в водоёме-охладителе может возрасти. Рациональное рыбохозяйственное использование водоёма позволит наиболее полно изымать растительную продукцию, что создаст оптимальные условия для использования водоёма-охладителя по прямому назначению.

Выводы

Определение производительности водоёма по растительной массе показало, что абсолютное большинство биомассы приходится на долю мягкой погруженной растительности (92,73 %). В видовом отношении среди нее преобладают харовые водоросли, местами встречаются элодея и роголистник. Биомасса воздушно-водной растительности составляет около 5 % от валовой продукции, и на долю первичной продукции фитопланктона приходится 2,44 %.

Особенно быстрыми темпами в водоёме развивается погружённая растительность, чему способствует высокая прозрачность и температура воды.

Повышенный термический режим водоёма в значительной мере стимулирует биопродукционные процессы и зарастание водоёма высшей водной растительностью. При высоких температурах снижается растворимость кислорода в воде, поэтому в летний период содержание растворенного кислорода опускалось до нижних пределов для некоторых видов рыб (судак, щука), населяющих водоём-охладитель.

Первичная продукция фитопланктона в 3,1 раза превышает деструкцию органического вещества. Можно предположить, что трансформация большей части органического вещества идет через зоопланктонное звено.

Годичный вылов рыбы и раков (165 тонн) из водоёма-охладителя составляет 0,1 % от суммарной первичной продукции за год (168 тыс. тонн), поэтому необходимо предусмотреть ежегодный вылов аборигенных видов рыб в пределах 150–170 тонн.

Для достижения биологического равновесия в экосистеме водоёма необходимо вселение в водоём растительноядных рыб: белого амура и толстолобиков (белого и пёстрого).

Зарыбление водоёма растительноядными рыбами приведет к стабилизации гидробиологического состояния и в последующем – к биологическому равновесию в водоёме.

4 РОЛЬ РАСТИТЕЛЬНОВАДНЫХ РЫБ В БИОЛОГИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ПЕНЗЕНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Известно, что водоемы, в которых создаются условия для массового развития водорослей, становятся малопригодными для водопользования. Технические меры воздействия на водоем, «цветущий» синезелеными водорослями, малоэффективны и не оправдывают ожидаемых результатов.

Задачи экологической мелиорации внутренних водоемов отчасти решаются с помощью зарыбления растительноядными рыбами: белым и пестрым толстолобиками, белым амуром (Руководство ..., 2000 г.). Но «несмотря на неоднократно высказывающиеся рекомендации и положительные результаты, полученные в некоторых водоемах, использование растительноядных рыб в мелиоративных целях пока не получило должного развития» (Кудерский, 2000), так как рыбы-биомелиораторы не могут повлиять на причины «цветения», или создать условия, препятствующие ему. Они также не могут эффективно утилизировать виды синезеленых водорослей, вызывающие «цветение», из-за больших размеров колоний этих видов. В водоемах, как правило, развиваются такие колониальные формы, как: *Aphanizomenon flos-aquae*, виды родов *Anabaena* и *Microcystis* (Богданов, 2003). Определенную роль в их использовании растительноядные рыбы могут играть в момент начала «цветения» водоема (Богданов, 2003).

Мы попытались оценить роль растительноядных рыб в биологической мелиорации Пензенского водохранилища. Следует отметить, что до 2001 года на протяжении последних 22 лет ежегодно в летне-осенний период в нем отмечалось «цветение» воды синезелеными водорослями. Массовое развитие последних, достигающих колоссальной биомассы, вызывали технические трудности при подаче воды в городскую водопроводную сеть, ухудшали химический состав и санитарные показатели воды.

В Пензенское водохранилище в 2000, 2002 и 2003 годах были вселены растительноядные рыбы и проведена альголизация водоема хлореллой. Высокая пищевая пластичность белого толстолобика дала ему возможность приспособиться как к условиям избыточного развития синезеленых (Кох и др., 1980), так и зеле-

ных водорослей. Это свойство позволило ему прижиться в водохранилище, набрать хорошие навески и иметь высокую упитанность.

Сетные уловы рыб на Приплотинном участке водохранилища показали, что пестрые толстолобики имеют навески от 1,8 до 2,0 кг. При вскрытии и микроскопировании содержимого кишечника выявлено, что они питаются крупными формами фитопланктона (*Ceratium hirundinella*, *Melosira varians*, *Staurastrum* sp. и др.) и зоопланктоном.

В сравнении с первоначальным весом при зарыблении в 2000 году (375 г) двухлетки (1+) пестрого толстолобика в 2002 году в возрасте четырехлеток (3+) увеличили массу тела в 3–4 раза (рисунок 16).



Рисунок 16 – Сотрудники лаборатории гидробиологии с экземплярами белого толстолобика из Пензенского водохранилища (сетной улов 2003 г.)

По содержанию биогенов в воде все три последних года (2001-2003 гг.) были благоприятными для «цветения» воды синезелеными водорослями. Однако массового и затяжного развития синезеленых водорослей, вызывающих «цветение», не наблюдалось. Полагаем, что определённая роль в снижении численности водорослей в водохранилище принадлежит растительноядным рыбам: белому и пестрому толстолобикам. Поэтому дальнейшее вселение растительноядных рыб в Пензенское водохранилище, направленное на биомелиорацию, является важным мероприятием для оздоровления экосистемы водоема (Богданов, Парамонов, 2003).

4.1 Ихтиофауна и биологическая мелиорация водоёма-охладителя Балаковской АЭС

Снижение процесса зарастания водоёма высшей водной растительностью можно достигнуть путем реконструкции ихтиофауны за счёт вселения фитофага – белого амура.

Вопрос использования белого амура для борьбы с излишним зарастанием водоёмов высшей водной растительностью изучен довольно детально (Руководство..., 2000). Поэтому один из наиболее эффективных путей снижения площадей зарастания водоёма-охладителя – это биомелиорация за счет вселения в водоём растительноядных рыб. Такое же мнение было высказано ранее специалистами Саратовского ГосНИОРХ: «Чтобы сдержать происходящие процессы, необходимо провести ряд мероприятий и, прежде всего, зарыбление водоёма-охладителя растительноядными рыбами, являющимися мелиораторами» (Снижение количества биозагрязнителей..., 1991).

Еще десять лет назад, когда проблема с зарастанием водоёма высшей водной растительностью не стояла настолько остро, как сейчас, уже был рекомендован видовой состав рыб, необходимый для зарыбления водоёма-охладителя. В качестве посадочного материала рекомендовалось использовать двухлеток средней массой 100-150 г гибрида белого и пёстрого толстолобиков, белого и черного амура (Снижение количества биозагрязнителей..., 1991).

Серьёзное внимание необходимо уделять белому и пёстрому толстолобикам для того, чтобы сдерживать «цветение» воды синезелеными водорослями и использовать зоопланктон. Хотя известно, проблему «цветения» воды синезелеными водорослями только вселением растительноядных рыб решить невозможно (Богданов, 2007).

Вселение белого амура обусловлено тем, что его кормовой рацион состоит из высших водных растений. Практически все воздушно-водные и мягкие погруженные растения, отмеченные в водоёме-охладителе Балаковской АЭС, являются излюбленным кормом белого амура. Поэтому один из объектов вселения в водоём-охладитель в 2001 г. был белый амур (рисунок 17), при этом средняя навеска рыб составила 658,7 г (Рыбоводно-биологические нормативы..., 1985).

По данным сетных уловов 2001 г. был составлен список видового состава ихтиофауны водоёма-охладителя Балаковской АЭС:

I. Семейство Карповых *Cyprinidae*

1. Карась серебряный *Carassius auratus gibelio* (Bloch)
2. Красноперка *Scardinius erythrophthalmus* (L.)
3. Лещ *Abramis brama* (L.)
4. Голавль *Leuciscus cephalus* (L.)
5. Линь *Tinca tinca* (L.)
6. Плотва *Rutilus rutilus* (L.)
7. Карп *Cyprinus carpio* (L.)

II. Семейство Щуковых *Esocidae*

1. Щука обыкновенная *Esox lucius* (L.)

III. Семейство Сомовых *Siluridae*

1. Сом обыкновенный *Silurus glanis* (L.)

IV. Семейство Окунёвых *Percidae*

1. Окунь *Perca fluviatilis* (L.)
2. Судак *Lucioperca lucioperca*

Приведенный видовой состав свидетельствует о том, что водоём населяют бентофаги и хищники. Поэтому вселение растительноядных рыб является необходимым мероприятием для уменьшения площади зарастания водной растительностью водоёма-охладителя Балаковской АЭС.



Рисунок 17 – Специалист Балаковской АЭС с белыми амурами, предназначенного для зарыбления водоёма-охладителя

Следует учесть, что виды, которыми был зарыблен водоём-охладитель в 2001 г. не подлежат вылову в течение десяти лет, тогда как изъятие аборигенных видов рыб должно поддерживаться на ежегодном уровне 150–170 тонн. Дальнейшая регуляция численности растительноядных рыб будет зависеть от конкретно складывающихся гидробиологических условий водоёма-охладителя.

В 2003 году АЭП провела комплексную гидрологическую съёмку водоёма-охладителя Балаковской АЭС. Было установлено, что площадь акватории мелководий, подверженная зарастанию, составляет 33 % от общей площади зеркала водоёма. Площадь, занятая воздушно-водной растительностью (тростник, камыш), составила 10 %. Следовательно, за два года после вселения растительноядных рыб уменьшилась только площадь, занятая мягкой погруженной растительностью. Если в 2001 году она занимала 45 %, то в 2003-м – 23 %, то есть уменьшилась почти в два раза. Это объясняется тем, что белый амур в возрасте двух-трёх лет в первую очередь выедает именно мягкую погружённую растительность и лишь в четырех- и пятилетнем возрасте и старше начинает выедать воздушно-водную жёсткую растительность.

4.2 Использование растительноядных рыб для биологической мелиорации водоёмов-охладителей энергетических станций

Водоёмы-охладители энергетических станций являются неотъемлемой частью технологического процесса производства электрической и тепловой энергии. Они постоянно находятся под влиянием повышенных температур, что зачастую определяется как термическое загрязнение водоёма. Специфические условия, которые создаются в водоёмах-охладителях, в значительной мере воздействуют на гидробиологическое состояние с одной стороны, ускоряя биологические процессы, а с другой – создавая элективные условия для выживания определенных групп организмов.

Что касается продукционных процессов, то дисбаланс поступления и выноса органических веществ из водоёма-охладителя приводит к усиленному развитию отдельных представителей гидробионтов (дрейссена) и зарастанию высшей водной растительностью. Зарастание водоёма макрофитами снижает технические возможности энергетической станции и затрудняет использование водоёма-охладителя по его прямому назначению.

Атомные станции рассчитаны на 30-летний срок работы реакторов, тогда как уже за первые десять лет использования водоёма-охладителя в его экосистеме происходят значительные изменения из-за эвтрофикации в результате ежегодно увеличивающейся площади зарастания высшей водной растительностью, а также «цветения» воды представителями синезеленых водорослей, что в значительной мере снижает эксплуатационные возможности реакторов.

Ихтиофауна, населяющая водоём-охладитель, в силу ограниченности видового состава и численности не способна в полной мере утилизировать ежегодно продуцирующееся органическое вещество, излишки которого накапливаются в водоёме, способствуя дальнейшей его эвтрофикации.

Снижение процесса зарастания водоёма-охладителя высшей водной растительностью можно достигнуть путем вселения представителя растительноядных рыб – белого амура.

Вопрос использования белого амура для борьбы с излишним зарастанием водоёмов высшей водной растительностью и улуч-

шения гидробиологического режима изучен довольно детально (Руководство по биотехнике разведения и выращивания дальневосточных растительноядных рыб, 2000). Поэтому один из наиболее эффективных путей, которые позволят снизить площади зарастания водоёма-охладителя – это биомелиорация за счёт вселения в водоём растительноядных рыб.

Растительноядные рыбы относятся к теплолюбивым рыбам, поэтому в водоёмах-охладителях энергетических станций для них создаются оптимальные условия, как в термическом, так и в кормовом отношении.

Вселение белого амура обусловлено тем, что его рацион состоит из высших водных растений. Практически все высшие водные растения, которые встречаются в водоёмах-охладителях, являются излюбленным кормом белого амура.

Одновременно необходимо вселять белого и пестрого толстолобиков для того, чтобы уменьшить «цветение» воды синезелеными водорослями и использовать зоопланктон.

Таким образом, растительноядные рыбы являются наиболее эффективным биологическим объектом для успешной борьбы с зарастанием и «цветением» воды водоёмов-охладителей энергетических станций.

Выводы

При решении проблемы предотвращения «цветения» водоемов ихтиофауне отводится большое внимание, так как видовой состав и численность рыбного стада должны быть адекватными уровню кормовой базы водоема. Для наиболее полного использования кормовых ресурсов Пензенского водохранилища рыбное стадо было сформировано из представителей фито-, планкто- и бентофагов.

Безусловно, основное назначение Пензенского водохранилища – хозяйственно-питьевое водоснабжение, большое значение имеют также ихтиологическое состояние водоема и рациональное использование его рыбных запасов.

По содержанию биогенов в воде все восемь последних лет (2001-2008 гг.) были благоприятными для «цветения» воды синезелеными водорослями.

зелеными водорослями. Однако массового и затяжного развития синезеленых водорослей, вызывающих «цветение», не наблюдалось. Полагаем, что определённая роль в снижении численности водорослей в водохранилище в этот период принадлежит растительноядным рыбам: белому и пестрому толстолобикам. Поэтому дальнейшее вселение растительноядных рыб в Пензенское водохранилище, направленное на биомелиорацию, является важным мероприятием для оздоровления экосистемы водоема (Богданов, Парамонов, 2003).

Ихтиофауна, населяющая водоём-охладитель, в силу ограниченности видового состава и численности не способна в полной мере утилизировать ежегодно продуцирующееся органическое вещество, излишки которого накапливаются в водоёме, способствуя дальнейшей его эвтрофикации.

Снижение процесса зарастания водоёма-охладителя высшей водной растительностью можно достигнуть путем вселения представителя растительноядных рыб – белого амура.

Через два года после вселения белого амура в водоём-охладитель площадь зарастаний высшей водной растительности снизилась в два раза.

Растительноядные рыбы относятся к теплолюбивым рыбам, поэтому в водоёмах-охладителях энергетических станций для них создаются оптимальные условия, как в термическом, так и в кормовом отношении.

Рациональное рыбохозяйственное использование водоёмов будет способствовать стабилизации гидробиологического режима и, в конечном счете, его биологической реабилитации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Загрязнение водоёмов является одной из важнейших проблемой XXI века. Хотя прилагаются значительные усилия для решения этой проблемы, но трудно найти водоём, который по чистоте своих вод отвечал бы условиям естественного состояния.

На водоёмах основное внимание уделялось борьбе с «цветением» воды химическими способами (Гусева, 1952; Приймаченко, 1981).

В 60-х и 80-х годах прошлого века проводились работы по биологической очистке сточных вод с использованием различных видов водорослей, среди которых в обязательном порядке присутствовала хлорелла (Винберг, 1956, 1961; Таубаев, 1976). Однако ни в 60-х, ни позже в 80-х гг. эти эксперименты с микроводорослями не вошли в широкую практику очистки сточных вод, так как не было подобрано ни одного вида (монокультуры) или комплекса (поликультуры) видов для использования в системе очистных сооружений. Суть заключается в том, чтобы в водоёмы сбрасывалась не просто очищенная вода, соответствующая нормативным требованиям, а вода, прошедшая биологическую реабилитацию. Биологическая реабилитация – это восстановление экосистемы водоёма до естественного уровня.

Исследования по биологической реабилитации бытовых сточных вод, вод загрязненных водоёмов, сточных вод сельскохозяйственного производства и химкомбината альголизацией их штаммом *Ch. vulgaris* BIN показали возможность восстановления загрязненных вод независимо от их категории. В сравнении с естественным самоочищением, биологическая реабилитация протекает намного интенсивней, хотя в процессе самоочищения принимает участие широкий спектр микроорганизмов, растений и животных, населяющих водоём.

Развитие хлореллы в сточных водах и загрязненных водоёмах приводит к улучшению их санитарного состояния (Эргашев, 1980). Хлорелла подавляет рост болезнетворных бактерий, что даёт возможность использовать эти водоёмы для хозяйственно-питьевого водоснабжения и целей рекреации.

Использование суспензии хлореллы для предотвращения «цветения» воды синезелеными водорослями показало, что впервые за 25-летний период существования Пензенского водохранилища в течение семи последних лет (2001-2007 гг.) водоём не «цвел». Хотя в эти годы, как и в прошлые, климатические условия и химический состав воды были благоприятными для развития синезеленых водорослей. Последние постоянно присутствовали в планктоне, однако их массового развития не наблюдалось.

За эти годы в водоёме произошла структурная перестройка фитопланктонного сообщества. Доминирующее положение в планктоне заняли зеленые водоросли. Преобладающее развитие последних сдерживает массовый рост синезеленых, тем самым, предохраняя водоём от «цветения».

Водоёмы-охладители энергетических станций являются неотъемлемой частью технологического процесса производства электрической и тепловой энергии. Заращение водоёма макрофитами снижает технические возможности энергетических станций и затрудняет использование водоёма-охладителя по его прямому назначению.

Для достижения биологического равновесия в экосистеме произведено вселение в водоём растительноядных рыб. За два года площадь зарастания макрофитами снизилась в два раза, что свидетельствует о высокой эффективности биологической мелиорации водоёма-охладителя.

В результате биологической реабилитации загрязнённых водоёмов и сточных вод улучшаются гидробиологические условия и возрастает кормность водоёма, создаются благоприятные условия для обитания рыб.

Рыба – последнее звено трофической цепи водоёма, поэтому при проведении работ по биологической мелиорации водоёмов ихтиофауне придаётся ведущее значение (Архипов и др., 2000; Вундцеттель и др., 2000). Необходимо отметить, что и видовой состав, и численность рыбного стада должны быть адекватными уровню кормовой базы, т. е. недоиспользованной пищи в водоёме оставаться не должно (Костицын, 2000).

Наиболее полному использованию кормовых ресурсов соответствует структура рыбного стада, представленная фито-, планкто- и бентофагами. С этой целью необходимо предусмотреть, на-

ряду с аборигенными видами, заселение водоёма рыбами растительноядного комплекса и планктофагами (Богданов, 2007).

Мы не рассматриваем рыбное население водоёма с позиции промыслового или любительского лова. Рыба, как компонент экосистемы предназначена для выноса из водоёма первичной продукции, которая трансформируется в рыбную продукцию в виде ихтиомассы. На этом положении акцентировал внимание Г.Г. Винберг (1977): «...стационарное состояние системы может сохраняться только в том случае, когда из экосистемы или из её активной части удаляется конечная продукция, строго эквивалентная количеству поступающих ОВ и биогенов. Реально это может осуществляться путем захоронения в иловых отложениях, вылета насекомых, имеющих водных личинок, биостока, вылова рыбы. Если же удаление конечной продукции не компенсирует поступление ОВ, происходит евтрофирование водоёма».

Использование штамма *Chlorella vulgaris* BIN с заложенными в нем принципиально новыми возможностями биологической реабилитации загрязненных водоемов и сточных вод позволяет изменить экологическую обстановку и создать надежную систему оздоровления окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алимов, А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию / А.Ф. Алимов. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 152 с.
2. Алдакимова, А.Я. О некоторых закономерностях внутри-годовой динамики фитопланктона Азовского моря / А.Я. Алдакимова // Биологические ресурсы Азовского бассейна: сб. мат. – Ростов-на-Дону, 1976. – С. 7-8.
3. Андреева, В.М. Род *Chlorella*. Морфология, систематика, принципы классификации / В.М. Андреева. – Л.: Наука, Ленингр. отд., 1975. – 110 с.
4. Архипов, Е.М. Зарыбление Цимлянского водохранилища белым амуром с целью биологической мелиорации водоема / Е.М. Архипов, В.П. Горелов // Проблемы воспроизводства растительноядных рыб, их роль в аквакультуре: материалы конф. – Адлер, 2000. – С. 56-58.
5. Атлас пресноводных рыб России: в 2-х т. / под ред. Ю.С. Решетникова. – М.: Наука, 2002. – 633 с.
6. Баженова, О.П. Сезонное развитие фитопланктона Бухтарминского водохранилища / О.П. Баженова // Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана: материалы конф. – Фрунзе: Илим, 1978. – С. 23-25.
7. Бильмес, Б.И. Сравнительное изучение развития бактерий и протококковых водорослей в сточной воде животноводческого комплекса совхоза «50 лет ВЛКСМ» / Б.И. Бильмес // Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве: мат. респ. конф. – Ташкент: Фан. 1984. – С. 68-70.
8. Богданов, Н.И. Биологические основы рационального рыбохозяйственного использования биоресурсов Сурского водохранилища / Н.И. Богданов // Вопросы интенсификации сельскохозяйственного производства в исследованиях ПензНИИСХ: сборник научных трудов. – Пенза, 1999. – С. 255-275.
9. Богданов, Н.И. Культивирование и использование хлореллы в животноводстве / Н.И. Богданов // Вопросы интенсификации сельскохозяйственного производства в исследованиях ПензНИИСХ: сборник научных трудов. – Пенза, 1999. – С. 295-303.

10. Богданов, Н.И. Штамм микроводоросли *Chlorella vulgaris* – продуцент биомассы: пат. Рос. Федерации № 1751981 / Н.И. Богданов; Бюл. № 4. – 1997.

11. Богданов, Н.И. Концепция очистки сточных вод / Н.И. Богданов // Окружающая природная среда и медицинская экология: сб. мат. – Пенза, 2001. – С. 109-110.

12. Богданов, Н.И. Штамм микроводоросли *Chlorella vulgaris* ВІN для получения биомассы и очистки сточных вод: пат. Рос. Федерации № 2192459 / Н.И. Богданов. – Бюл. № 31. – 2002.

13. Богданов, Н.И. Растительные рыбы как объект биологической мелиорации водоёмов-охладителей энергетических станций / Н.И. Богданов // Химическое загрязнение среды обитания и проблемы экологической реабилитации нарушенных экосистем: сборник. – Пенза, 2003. – С. 24-25.

14. Богданов, Н.И. Биологические аспекты улучшения качества воды Пензенского водохранилища / Н.И. Богданов // Химическое загрязнение среды обитания и проблемы экологической реабилитации нарушенных экосистем: материалы конф. – Пенза, 2003. – С. 22-23.

15. Богданов, Н.И. Роль растительных рыб в биологической мелиорации Пензенского водохранилища / Н.И. Богданов, В.К. Парамонов // Химическое загрязнение среды обитания и проблемы экологической реабилитации нарушенных экосистем: материалы конф. – Пенза, 2003 – С. 21-22.

16. Богданов, Н.И. Биологические аспекты борьбы с «цветением» воды синезелеными водорослями в Пензенском водохранилище / Н.И. Богданов // Водохозяйственный комплекс России: состояние, проблемы, перспективы: материалы конф. – Пенза, 2003. – С.23-24.

17. Богданов, Н.И. Биологические основы предотвращения «цветения» Пензенского водохранилища синезелеными водорослями / Н.И. Богданов. – 2 изд. перераб. и доп. – Пенза: РИО ПГСХА, 2007. – 76 с.

18. Богданов, Н.И. Биологическая мелиорация водоёмов Волгоградской области / Н.И. Богданов, В.В. Мелихов, И.П. Кружилин и др. // Мат. III Международной научн. конф. «Озёрные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды». – Минск-Нарочь, 2007. – С. 85-86.

18. Бульон, В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов / В.В. Бульон. – Л.: Наука, 1983. – 127 с.

19. Бульон, В.В. Зависимость рыбопродуктивности водоемов от первичной продукции / В.В. Бульон // Сб. науч. тр. Гос НИОРХ, вып. 196. – 1983. – С. 3-11.

20. Буриев, С. Культивирование протококковых водорослей на сточных водах животноводческих комплексов / С. Буриев, Х. Хакимжанов // Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве: мат. респ. конф. – Ташкент: Фан, 1980. – С. 121-123.

21. Буриев, С. Интенсивная биологическая очистка сточных вод с помощью микроводорослей / С. Буриев // Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве: мат. респ. конф. – Ташкент: Фан, 1984. – С. 13-15.

22. Буторина, Л.Г. Фитопланктон Угличского водохранилища в 1954-1956 гг. / Л.Г. Буторина // Растительность Волжских водохранилищ: сборник материалов. – М.-Л.: Наука, 1966. – С. 36-42.

23. Вагисов, Т.В. Вопросы охраны водоемов от загрязнения / Т.В. Вагисов // Культивирование и применение водорослей в народном хозяйстве: мат. респ. конф. – Ташкент: Фан, 1984. – С. 11-12.

24. Винберг, Г.Г. Первичная продукция водоемов / Г.Г. Винберг. – Минск: Изд-во АН СССР, 1960. – 329 с.

25. Винберг, Г.Г. Культивирование зеленых планктонных водорослей на сточных водах / Г.Г. Винберг // Всесоюзное совещание по культивированию одноклеточных водорослей: тез. докл. – Л., 1961. – С. 20.

26. Винберг, Г.Г. Евтрофирование озер и первые итоги гидробиологических исследований на р. Тюп и Тюпском заливе оз. Иссык-Куль / Г.Г. Винберг // Гидробиологические исследования на р. Тюп и Тюпском заливе озера Искандер-Куль, Зоологический институт АН СССР. – Л., 1977. – С. 132-139.

27. Владимирова, М.Г. Интенсивная культура одноклеточных водорослей / М.Г. Владимирова, В.Е. Семенов. – М.: АН СССР, 1962. – 59 с.

28. Вундцеттель, М.Ф. Использование рыб – представителей китайского равнинного фаунистического комплекса, как мелио-

раторов в водоемах различного назначения / М.Ф. Вундцеттель, Е.А. Мельченков, Д.А. Панов // Проблемы воспроизводства растительноядных рыб, их роль в аквакультуре: материалы конф. – Адлер, 2000. – С. 67-68.

29. Герасимова, Н.А. Фитопланктон и первичная продукция Волгоградского водохранилища в 1968-1971 гг. / Н.А. Герасимова // Волгоградское водохранилище: сборник трудов Саратовского ГосНИОРХ. Т. XIV. – Саратов, 1976. – С. 32-54.

30. Герасимова, Н.А. Динамика продукции фитопланктона Саратовского и Волгоградского водохранилищ по многолетним данным / Н.А. Герасимова // Рыбное хозяйство на водоемах Нижнего Поволжья: сборник. – Вып. 168. – Л., 1981. – С. 65-81.

31. Гулая, Н.А. Формирование микробиологического режима водохранилищ Верхнего Иртыша / Н.А. Гулая. – Алма-Ата: Наука, 1975. – 161 с.

32. Гусева, К.А. «Цветение» воды, его причины, прогноз и меры борьбы с ним / К.А. Гусева // Тр. ВГБО. – М., 1952. – С. 3-92.

32. Загоренко, Г.Ф. Об изменении фитопланктона Истокского и Посольского соров озера Байкал / Г.Ф. Загоренко, Г.В. Помазкина // Новые материалы по фауне и флоре Байкала: сборник материалов. – Иркутск, 1976. – С. 64-66.

33. Имшенецкий, А.А. Микробиология целлюлозы / А.А. Имшенецкий. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1953. – 438 с.

34. Катанская, В.М. Высшая водная растительность континентальных водоёмов СССР: методы изучения / В.М. Катанская. – Л.: Наука, 1981. – 187 с.

35. Коган, Ш.И. Водоросли водоемов Туркменской ССР / Ш.И. Коган. – Кн. 1, 2. – Ашхабад: Ылым, 1972. – 250 с.

36. Коркина, С.А. Влияние органических и минеральных веществ на формирование качества воды Пензенского водохранилища / С.А. Коркина, В.К. Парамонов // Химическое загрязнение среды обитания и проблемы ее реабилитации: материалы конф. – Пенза, 2003. – С. 80-84.

37. Коркина, С.А. Состояние ихтиофауны Пензенского водохранилища / С.А. Коркина, В.К. Парамонов // Химическое загрязнение среды обитания и проблемы её реабилитации: материалы конф. – Пенза, 2003. – С. 21-25.

38. Костицын, В.Г. О возможностях вселения растительноядных рыб в Камское и Воткинское водохранилища / В.Г. Костицын // Проблемы воспроизводства растительноядных рыб, их роль в аквакультуре: материалы конф. – Адлер, 2000. – С. 87-88.

39. Кох, В. Рыбоводство / В. Кох, О. Банк, Г. Йенс. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 215 с.

40. Кружилин, И.П. Биотехнологические методы решения проблемы «цветения» водоёмов Южных регионов России / И.П. Кружилин, В.В. Мелихов, Н.И. Богданов // 7-й Международный конгресс «Вода: экология и технология»: сб. докл. Часть I. – М., 2006. – С. 20-21.

41. Кудерский, Л.А. Растительноядные рыбы как объект товарного выращивания в озерах и водохранилищах / Л.А. Кудерский // Проблемы воспроизводства растительноядных рыб, их роль в аквакультуре: материалы конф. – Адлер, 2000. – С. 91-93.

42. Кузнецов, С.И. Микробиологическое изучение внутренних водоемов: лабораторное руководство / С.И. Кузнецов, В.И. Романенко. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – 129 с.

43. Кузнецов, С.И. Определение интенсивности процесса самоочищения воды в водохранилищах / С.И. Кузнецов, Н.М. Казаровец, Г.Л. Марголина // Материалы по биологии и гидрологии Волжских водохранилищ: сборник. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 3-6.

44. Курицын, И.И. География Пензенской области / И.И. Курицын, Н.А. Марденский. – Саратов, 1991. – 125 с.

45. Левина, Р.И. Антибактериальные свойства протококковых водорослей в отношении кишечной микрофлоры / Р.И. Левина // Всесоюзное совещание по культивированию одноклеточных водорослей: тез. докл. – Л., 1961. – С. 22-23.

46. Мельников, Г.Б. Гидробиологический режим Днепровского водохранилища после его восстановления / Г.Б. Мельников // Вест. НИИ Гидробиол. Днепровского ун-та. Т. 11. – Днепропетровск, 1955. – С. 21-27.

47. Мельников, С.С. Хлорелла: Физиологически активные вещества и их использование / С.С. Мельников, Е.Е. Мананкина. – Минск: Навука і тэхніка, 1991. – 79 с.

48. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей. – Киев: Наукова думка, 1975. – 247 с.

49. Минибаев, Р.Г. Культивирование водорослей на фенольных сточных водах химических заводов / Р.Г. Минибаев, Р.Г. Кузяхметов, З.А. Байбулатова // Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве: мат. респ. конф. – Ташкент: Фан, 1980. – С. 109-111.

50. Митропольская, И.В. Фитопланктон Рыбинского водохранилища в современных условиях / И.В. Митропольская // Озерные экосистемы: Биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: мат. Ш Медунар. научн. конф. – Минск – Нарочь, 2007. – С. 160-161.

51. Музафаров, А.М. Культивирование и применение микроводорослей / А.М.Музафаров, Т.Т. Таубаев.– Ташкент: Фан, 1984.–133 с.

52. Новожилова, М.И. Микрофлора и удобрение прудов аридной зоны СССР / М.И. Новожилова, А.Ф. Сокольский, К.В. Горбунов. – Алма-Ата: Наука. Каз. ССР, 1987. – 152 с.

53. Озеро Кагул / под ред. М.Ф. Ярошенко. – Кишинев: Штиница, 1979. –115 с.

54. О результатах исследований качества проб воды по микробиологическим показателям в период летней межени на водохранилищах Вожско-Донского судоходного канала и Цимлянско-го водохранилища: отчет по теме. – Волгоград: Фонд Волгоградского отд. ГосНИОРХ, 2007.

55. Первичная продукция в Братском водохранилище / под ред. О.М. Кожовой. – М.: Наука, 1983. – С. 105-123.

56. Покровская, Т.Н. Первичная продукция фитопланктона озер Кольского полуострова / Т.Н. Покровская // Тр. ВГБО. – 1962. – Т. 12. М. – С. 359-374.

57. Приймаченко, А.Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ / А.Д. Приймаченко. – Киев: Наукова думка, 1981. – 278 с.

58. Разумов, А.С. Водная микробиология / А.С. Разумов // Тр. ВГБО, 12. – М., 1962. – С. 60-90.

59. Руководство по биотехнике разведения и выращивания дальневосточных растительноядных рыб. – М., 2000. – 211 с.

60. Рыбоводно-биологические нормативы для эксплуатации прудовых хозяйств. – М., 1985. – 54 с.

61. Сакевич, И.А. Экзометаболиты пресноводных водорослей / И.А. Сакевич. – Киев: Наукова думка, 1985. – 98 с.

62. Сивко, Т.Н. Массовое развитие планктонных водорослей при самоочищении сточных вод в биологических прудах / Т.Н. Сивко, Т.А. Соколова // Всесоюзное совещание по культивированию одноклеточных водорослей: тез. докл. – Л., 1961. – С. 21.

63. Снижение количества биозагрязнителей в пруду-охладителе Балаковской АЭС: отчет по теме. Фонды Саратовского отд. ГосНИОРХ. – Саратов, 1991.

64. Сиренко, Л.А. Физиологические основы размножения синезеленых водорослей в водохранилищах / Л.А. Сиренко. – Киев: Наукова думка, 1972. – 203 с.

65. Сиренко, Л.А. Биологически активные вещества водорослей и качество воды / Л.А. Сиренко, В.Н. Козицкая. – Киев: Наукова думка, 1988. – 328 с.

66. Станчев, П.И. Экзометаболиты водорослей и их биологически активные вещества / П.И. Станчев // Гидробиология. – 1980. – № 10. – С. 70-77.

67. Стриженова, Т.А. Современные гидробиологические исследования рек Верхнего Амура / Т.А. Стриженова, З.П. Оглы, Е.П. Горлачёва и др. // Сб. мат. VI Съезда ВГБО. – Мурманск. – Т. II. – 1991. – С. 210-212.

68. Стуге, Т.С. Гидробиология и гидрохимия водохранилища-охладителя Экибазстуской ГРЭС-1 в начальный период эксплуатации / Т.С. Стуге, В.А. Тэн, М.Д. Линчевская и др. // Влияние хозяйственной деятельности на биологические ресурсы водоемов Казахстана: сборник материалов. – Алма-Ата: Наука. Каз. ССР, 1987. – С. 16-42.

69. Сусллова, В.В. Материалы гидробиологических и ихтиологических исследований на аккумулирующих водохранилищах Саратовской области / В.В. Сусллова, Л.П. Гвоздева, О.Ф. Нестерова и др. // Рыбное хозяйство на водоемах Нижнего Поволжья: сборник трудов. – Вып. 168. – Л., 1981. – С. 162-179.

70. Таубаев, Т.Т. Культивирование протококковых водорослей на сточных водах / Т.Т. Таубаев, С. Буриев // Физиолого-биохимические аспекты культивирования водорослей и высших

водных растений в Узбекистане: сборник. – Ташкент: Фан, 1976. – С. 3-23.

71. Таубаев, Т.Т. Система биологической очистки сточных вод при помощи протококковых водорослей, ряски и других гидробионтов / Т.Т. Таубаев, С. Буриев // Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве: мат. респ. конф. – Ташкент: Фан, 1980. – С. 113-115.

72. Топачевский, А.В. Гидробиологическая характеристика каналов юга Украины / А.В. Топачевский // Тр. ВГБО, Т. 14. – 1963. – С. 41-52.

73. ТУ 9291-003-12001826-05. Суспензия хлореллы – альголизант водоёмов. Технические условия. – Пенза, 2005.

74. Тургенева, О.Г. Видовой состав фитопланктона Пензенского водохранилища в первые годы биологической мелиорации водоема / О.Г. Тургенева, Н.И. Богданов, О.В. Косова // Химическое загрязнение среды обитания и проблемы экологической реабилитации нарушенных экосистем: материалы конф. – Пенза, 2003. – С. 163-165.

75. Уделис, А.Л. Применение метода альголизации для обеззараживания и дезодорации жидкой фазы свиностокков / А.Л. Уделис, Л.Б. Долино-Добровольский, А.Н. Терешина и др. // Культивирование и применение микроводорослей в народном хозяйстве: мат. респ. конф. – Ташкент: Фан, 1980. – С. 142-143.

76. Щербаков, А.П. Озеро Глубокое / А.П. Щербаков. – М.: Наука, 1967. – 378 с.

77. Эргашев, А.Э. Значение биологического метода очистки сточных вод с применением водорослей / А.Э. Эргашев // Культивирование и применение водорослей в народном хозяйстве: мат. респ. конф. – Ташкент: Фан, 1980. – С. 125-127.

78. Яковлева, А.Н. Кормовые ресурсы и рыбопродуктивность Волжских водохранилищ / А.Н. Яковлева // Изв. Гос НИИ-ОРХ, Л., 1978. – 138 с.

79. Fogg G.E., Nalewajko C., Watt W.D. 1965. Extracellular products of phytoplankton photosynthesis. Proc. Roy. Soc. B, **162**, 989, 517.

80. Moore B.G., Tischer R.G. 1965. Biosynthesis of extracellular polysaccharides by the blue-green alga *Anabaena flos-aquae*. Canad. J. Microbiol., **11**, 6, 877.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Физико-химические показатели воды на участках Пензенского водохранилища в 2001 году

Участок водохранилища	Дата отбора проб, месяц	Прозрачность, м	Температура, °С			Кислород, О ₂ мг/л			рН		
			0	1 м	3 м	0	1 м	3 м	0	1 м	3 м
Приплотинный	май	0,8	16,8	16,6	16,0	5,4	5,5	5,6	7,2	7,8	7,6
Золотаревский	июнь	0,9	23,7	23,5	21,7	5,7	6,1	5,2	8,4	8,4	7,8
Приплотинный		0,6	19,0	18,6	18,2	5,2	5,3	5,6	8,3	8,2	8,2
Узинский	июль	0,5	26,3	25,7	25,5	5,2	4,9	4,7	8,4	8,4	8,4
Золотаревский		0,7	24,5	24,1	23,7	5,3	5,4	5,3	8,3	8,3	8,2
Приплотинный		1,0	23,9	23,8	23,5	5,2	5,3	5,3	8,2	8,2	8,2
Узинский	август	0,7	21,6	21,5	21,5	4,3	4,1	4,0	8,5	8,5	8,5
Золотаревский		0,7	22,3	22,2	21,8	4,8	4,5	3,9	8,3	8,3	7,8
Приплотинный		0,7	23,1	23,1	23,0	5,1	5,2	5,0	8,8	8,8	8,8
Узинский	сентябрь	0,8	16,3	16,1	16,0	5,4	5,4	5,3	8,5	8,5	8,6
Золотаревский		0,9	16,2	15,9	15,7	5,5	5,4	5,4	8,3	8,3	8,3
Приплотинный		0,9	15,3	15,1	14,9	5,8	5,8	5,7	8,6	8,6	8,6
Приплотинный	октябрь	0,9	4,5	4,4	4,4	7,2	7,1	7,0	7,59	7,59	7,59

Примечание (здесь и далее): 0 – поверхностный горизонт.

Приложение Б

Физико-химические показатели воды на участках Пензенского водохранилища в 2002 году

Участок водохранилища	Дата отбора проб, месяц	Прозрачность, м	Температура, °С			Кислород, О ₂ мг/л			рН		
			0	1 м	3 м	0	1 м	3 м	0	1 м	3 м
Приплотинный	май	0,8	14,1	-	-	4,8	-	-	8,8	8,8	8,8
Золотаревский	июнь	0,5	13,6	13,4	12,6	-	-	-	8,8	8,8	8,6
Приплотинный		1,5	18,6	18,5	16,5	4,8	4,8	4,8	7,8	7,8	7,8
Узинский	июль	1,7	28,0	28,2	27,5	5,5	5,5	5,5	7,6	7,6	7,6
Золотаревский		-	24,0	-	-	4,0	-	-	8,7	8,7	8,7
Приплотинный		0,8	25,0	25,1	20,0	4,2	4,2	4,2	8,6	8,6	8,6
Узинский	август	1,5	28,0	26,0	25,0	5,2	5,2	5,2	8,6	8,6	8,6
Золотаревский		-	18,9	-	18,2	9,0	-	8,7	8,7	-	8,7
Приплотинный		0,8	24,0	23,0	21,0	6,2	6,2	6,2	7,6	7,6	7,6
Узинский	сентябрь	1,2	17,1	18,3	17,3	8,5	9,2	7,8	8,4	8,8	8,8
Золотаревский		0,8	8,8	-	-	7,7	-	-	7,6	-	-
Приплотинный		0,8	14,1	-	-	4,8	-	-	8,8	8,8	8,8
Приплотинный	октябрь	0,5	13,6	13,4	12,6	-	-	-	8,8	8,8	8,6

Приложение В

Видовой состав фитопланктона Пензенского водохранилища в 2001-2003 гг.

1. Синезеленые водоросли (Cyanophyta)

1. *Anabaena aequalis* Borge
2. *Anabaena constricta* (Szaf.) Geitl.
3. *Anabaena variabilis* Kutz.
4. *Anabaena contorta* Bachm.
5. *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs.
6. *Microcystis aeruginosa* Kutz. emend. Elenk.
7. *Microcystis pulveria* (Wood.) Forti. emend. Elenk.
8. *Microcystis aeruginosa* f. *flos-aquae* (Wittr.) Elenk.
9. *Merismopedia glauca* (Ehr.) Nag.
10. *Merismopedia punctata* Meyen
11. *Merismopedia tenuissima* Lemm.
12. *Marsoniella elegans* (G. M. Smith)
13. *Phormidium frigidum* F. E. Frutsch.
14. *Phormidium foveolarum* (Mont.) Gom
15. *Oscillatoria sancta* (Kutz.) Gom.

2. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta)

1. *Asterionella formosa* Hass.
2. *Cyclotella comta* (Ehr.) Kutz.
3. *Cymbella affinis* Kutz.
4. *Cymbella aequalis* W. Sm.
5. *Cymbella cuspidata* Kutz.
6. *Cymbella cymbiformis* (Ag. Kutz.)
7. *Cymbella tumida* (Breb.) V. N.
8. *Cymbella turgida* (Greg.) Cl.
9. *Cymbella ventricosa* Kutz.
10. *Cymbella ventricosa* var. *ovata* Grun.
11. *Cocconeis pediculus* Ehr.
12. *Cocconeis placentula* Ehr.
13. *Cocconeis placentula* var. *lineata* (Ehr.) Cl.
14. *Cymatopleura solea* (Breb.) W.Sm.
15. *Diatoma vulgare* Bory.
16. *Eunotia lunaris* var. *capitata* Grun.
17. *Fragilaria capucina* Desm.
18. *Fragilaria constricta* Ehr.
19. *Fragilaria construens* var. *subsalina* Hust.
20. *Fragilaria crotonensis* Kitt.
21. *Fragilaria virescens* Ralfs.
22. *Gomphonema acuminatum* var. *turris* (Ehr.) Cl.
23. *Gomphonema olivaceum* (Lyngb.) Kutz.
24. *Gyrosigma attenuatum* (Kutz.)
25. *Melosira granulata* (Ehr.) Ralfs.
26. *Melosira granulata* var. *angustissima* (O.Mull) Hust.
27. *Melosira varians* Ag.
28. *Melosira italica* (Ehr.) Kutz.
29. *Navicula costulata* Grun.
30. *Navicula costulata* var. *capitata* Cl.
31. *Navicula cuspidata* Kutz.
32. *Navicula cryptocephala* Kutz.
33. *Navicula dicephala* (Ehr.) W. Sm.
34. *Navicula exigua* (Greg.) O. Mull.
35. *Navicula lanceolata* (Ag.) Kutz.
36. *Navicula lanceolata* var. *tenuirostris* Skv.
37. *Navicula laterostrata* Hust.
38. *Navicula longirostris* Hust.
39. *Navicula mutica* var. *ventricosa* Kutz. Cl.
40. *Navicula placentula* (Ehr.) Grun.
41. *Navicula placentula* var. *rostrata* A. Mayer
42. *Navicula platystoma* var. *Pantoczekii* Wisl. et Koble
43. *Navicula pupula* Kutz.
44. *Navicula pupula* var. *rostrata* Hust.
45. *Navicula radiosa* Kutz.
46. *Nitzschia communis* Rabenh.
47. *Nitzschia linearis* W. Sm.
48. *Nitzschia sublinearis* Hust.
49. *Nitzschia palea* (Kutz.) W. Sm.
50. *Nitzschia palea* var. *tenuirostris* Grun.

- | | |
|--|--|
| 51. <i>Nitzschia vermicularis</i> (Kutz.) Grun. | 62. <i>Synedra ulna</i> (Nitzsch.) Ehr. |
| 52. <i>Opephora Martyi</i> Herib. | 63. <i>Synedra ulna</i> var. <i>amphyrinchus</i> (Ehr.) Grun |
| 53. <i>Pinnularia gibba</i> Ehr. | 64. <i>Synedra ulna</i> var. <i>contracta</i> Ostr. |
| 54. <i>Pinnularia gibba</i> var. <i>mesogongyla</i> (Ehr.) Hust. | 65. <i>Synedra ulna</i> var. <i>danica</i> Kutz. |
| 55. <i>Pinnularia gracillima</i> Greg. | 66. <i>Synedra pulchella</i> (Ralfs) Kutz. |
| 56. <i>Rhizosolenia longiseta</i> Zacharias. | 67. <i>Synedra pulchella</i> var. <i>lanceolata</i> O. Meara |
| 57. <i>Rhoicosphenia curvata</i> (Kutz.) | 68. <i>Synedra Vaucheriae</i> Kutz. |
| 58. <i>Surirella robusta</i> var. <i>splendida</i> Ehr. | 69. <i>Stephanodiscus astraea</i> (Ehr.) Grun. |
| 59. <i>Synedra acus</i> Kutz. | 70. <i>Stephanodiscus dubius</i> (Fricke) Hust. |
| 60. <i>Synedra acus</i> var. <i>angustissima</i> Grun. | |
| 61. <i>Synedra acus</i> var. <i>radians</i> Kutz. | |

3. Желтозеленые водоросли (*Xanthophyta*)

1. *Goniochloris mutica* Cl.

4. Пиррофитовые водоросли (*Pyrophyta*)

- | | |
|---|---|
| 1. <i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.M.) Bergh. | 15. <i>Menodium falcatum</i> Zach. |
| 2. <i>Cryptomonas erosa</i> Ehrenb. | 16. <i>Nephroselmis olivacea</i> |
| 3. <i>Cryptomonas nasuta</i> | 17. <i>Phacus caudata</i> Hubn. |
| 4. <i>Cystodinium Stenii</i> Klebs. | 18. <i>Phacus longicauda</i> Duj. |
| 5. <i>Euglena deses</i> Ehrenb. | 19. <i>Phacus parvula</i> Klebs. |
| 6. <i>Euglena oxyuris</i> Schmarda | 20. <i>Phacus</i> sp. Duj. |
| 7. <i>Euglena tripteris</i> Klebs. | 21. <i>Peridinium Willei</i> Huitf.-Kaas. |
| 8. <i>Glenodinium quadridens</i> (Stein) Schiller | 22. <i>Peridinium palatinum</i> |
| 9. <i>Gymnodinium aeruginosum</i> Stein | 23. <i>Peridinium</i> sp. |
| 10. <i>Gymnodinium fuscum</i> (Ehr.) Stein | 24. <i>Protochrysis phaeophycearum</i> |
| 11. <i>Gymnodinium palustre</i> Schilling | 25. <i>Pyrocystis lunula</i> Schutt. |
| 12. <i>Lagenoeca ovata</i> Lemm. | 26. <i>Strombomonas acuminata</i> var. <i>venucosa</i> Teod |
| 13. <i>Lepocinclis fusiformis</i> (Carter) Lemm. | 27. <i>Trachelomonas verrucosa</i> Stokes |
| 14. <i>Lepocinclis ovum</i> Lemm. | 28. <i>Trachelomonas volvocina</i> Ehr. |

5. Зеленые водоросли (*Chlorophyta*)

- | | |
|---|---|
| 1. <i>Acantospaera Zachariasii</i> Lemm. | 12. <i>Chlamydomonas debaryana</i> Gorosch. |
| 2. <i>Actidesmium Hookeri</i> Reinsch. | 13. <i>Chlamydomonas elliptica</i> Korsch. |
| 3. <i>Actinastrum Hantzschii</i> Lagerh. | 14. <i>Chlamydomonas Pertyi</i> Gorosch. |
| 4. <i>Actinastrum raphidioides</i> Brunnth. | 15. <i>Chlamydomonas</i> sp. Ehrenb. |
| 5. <i>Ankisrodesmus Braunii</i> Brunnth. | 16. <i>Chlorosarcina minor</i> Gerneck. |
| 6. <i>Ankisrodesmus falcatus</i> Ralfs. | 17. <i>Chodatella amphitricha</i> Lemm. |
| 7. <i>Ankisrodesmus longissimus</i> Wille | 18. <i>Chodatella ciliata</i> Lemm. |
| 8. <i>Asterococcus superbus</i> Scherif. | 19. <i>Cladophora</i> sp. |
| 9. <i>Chlorella vulgaris</i> Beyer. | 20. <i>Closterium acerosum</i> (Schr.) |
| 10. <i>Chlorella ellipsoidea</i> Gern. | 21. <i>Closterium gracile</i> Breb. |
| 11. <i>Chlorococcum infusionum</i> Menegh. | 22. <i>Closterium moniliferum</i> Bory |

23. *Closterium parvulum* Nag.
24. *Closterium intermedium* Ralfs
25. *Coelastrum microporum* Nag.
26. *Coelastrum sphaericum* Naeg.
27. *Cosmarium cyclicum* Lund
28. *Cosmarium laeve* Rabench.
29. *Cosmarium margaritifera* Menegh.
30. *Cosmarium moniliforme* (Turp.) Ralfs
31. *Cosmarium* sp. Corda
32. *Crucigenia fenestrata* Schmidle
33. *Crucigenia rectangularis* Gay
34. *Crucigenia tetrapedia* W.G.S. et West
35. *Dictiococcus varians* Gerneck.
36. *Dysmorphococcus variabilis* Taceda
37. *Errerella raphidioides* Conr.
38. *Eudorina elegans* Ehrenb.
39. *Franceia ovalis* Lemm.
40. *Gigantochloris permaxima* Pasch.
41. *Golenkinia radiata* Chodat.
42. *Kirchneriella lunaris* Mob.
43. *Kirchneriella malmeana* Wille
44. *Kirchneriella obesa* Schmidle
45. *Lagerheimia genevensis* Chodat.
46. *Oocystis natans* Willei
47. *Oocystis pelagica* Lemm.
48. *Oocystis rupestris* Kirchn.
49. *Oocystis solitaria* Wittr.
50. *Palmella hyalina* Rab.
51. *Pandorina morum* Bory
52. *Pediastrum boryanum* Menegh.
53. *Pediastrum clathratum* Lemm.
54. *Pediastrum duplex* Meyen
55. *Pediastrum tetras* Ralfs
56. *Pleurococcus vulgaris* Naeg.
57. *Pleurococcus* sp. Menegh.
58. *Pteromonas aculeata* Lemm.
59. *Pteromonas angulosa* Lemm.
60. *Pteromonas Chodati* Lemm.
61. *Rhichteriella botryoides* Lemm.
62. *Scenedesmus acuminatus* (Lagerh.)
63. *Scenedesmus quadricauda* Breb
64. *Sc. quadricauda* f. *abundans* Kirhn.
65. *Sc. quadricauda* f. *setosus* Kirhn.
66. *Scenedesmus* sp. Meyen
67. *Selenastrum bibraianum* Rensh
68. *Sorastrum simplex* Wille
69. *Spirotaenia truncata* Archer.
70. *Staurastrum apiculatum* Breb.
71. *Staurastrum controversis* var. *Zachariasii* (Schroder)
72. *Staurastrum dejectum* Breb.
73. *Staurastrum gracile* Ralfs
74. *Staurastrum* sp. Meyen.
75. *Tetrastrum multisetum* Chodat.
76. *Tetracoccus botryoides* West
77. *Tetraedron lunula*
78. *Tetraedron punctulatum* Hansg.
79. *Tetraedron trilobatum* Hansg.
80. *Tetraedron trigonum* Hansg.
81. *Tetraedron Schmidlei* Lemm
82. *Trochiscia aspera* Hansg.
83. *Ulothrix tenerrima* Kutz.
84. *Ulothrix zonata* Kutz.
85. *Volvox aureus* Ehrenb.
86. *Volvox globator* Ehrenb.

Приложение Г

Распределение видового состава фитопланктона Пензенского водохранилища в 2001 г.

М Е С Я Ц				
март	май	июнь	июль	август
<i>Cyclotella comta</i> <i>Asterionella formosa</i> <i>Chlorella vulgaris</i> <i>Kirchneriella lunaris</i> <i>Kirchneriella obesa</i>	<u><i>Anabaena constricta</i></u> <u><i>Microcystis aeruginosa</i></u> <i>Cyclotella comta</i> <i>Stephanodiscus dubius</i> <i>Melosira granulata</i> <i>Cymbella ventricosa</i> <i>Cocconeis placentula</i> <i>Synedra ulna</i> <i>Chlorella vulgaris</i> <i>Tetraedron lunula</i> <i>Protococcus</i> sp. <i>Golenkinia radiata</i>	<u><i>Aphanizomenon flos-aquae</i></u> <u><i>Anabaena variabilis</i></u> <u><i>Microcystis aeruginosa</i></u> <u><i>Microcystis pulveria</i></u> <i>Asterionella formosa</i> <i>Cyclotella comta</i> <i>Cymbella ventricosa</i> <i>Melosira granulata</i> <i>Navicula lanceolata</i> var. <i>pulchella</i> <i>Synedra lanceolata</i> <i>Synedra ulna</i> <i>Actinastrum Hantzshii</i> <i>Golenkinia radiata</i> <i>Tetraedron Schmidlei</i> <i>Tetraedron trigonum</i> <i>Pediastrum duplex</i> <i>Pediastrum tetras</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <u><i>Euglena deses</i></u>	<u><i>Aphanizomenon flos-aquae</i></u> <u><i>Anabaena variabilis</i></u> <u><i>Merismopedia tenuissima</i></u> <u><i>Anabaena constricta</i></u> <u><i>Oscillatoria sancta</i></u> <u><i>Merismopedia punctata</i></u> <i>Melosira granulata</i> <i>Navicula laterostrata</i> <i>Asterionella formosa</i> <i>Cyclotella comta</i> <i>Pediastrum duplex</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Sc. quadricauda</i> f. <i>setosus</i> <i>Staurastrum apiculatum</i> <i>Staurastrum gracile</i> <i>Crucigenia rectangularis</i> <u><i>Ceratium hirundinella</i></u> <u><i>Ceratium gracile</i></u>	<u><i>Anabaena variabilis</i></u> <u><i>Anabaena constricta</i></u> <u><i>Oscillatoria sancta</i></u> <u><i>Merismopedia tenuissima</i></u> <u><i>Microcystis aeruginosa</i></u> <i>Cyclotella comta</i> <i>Cocconeis placentula</i> <i>Navicula exigua</i> <i>Melosira granulata</i> <i>Fragilaria construens</i> <i>Ankistrodesmus longissimus</i> <i>Tetraedron Schmidlei</i> <i>Staurastrum gracile</i> <i>Pediastrum duplex</i> <i>Pediastrum clathratum</i> <i>Scenedesmus quadricauda</i> <i>Closterium parvulum</i> <i>Closterium intermedium</i> <i>Closterium gracile</i> <i>Cosmarium cyclicum</i> <i>Cosmarium margaritifera</i> <i>Ulothrix tenerrima</i> <i>Staurastrum apiculatum</i> <i>Staurastrum gracile</i> <u><i>Glenodinium quadridens</i></u> <u><i>Euglena oxyuris</i></u> <u><i>Ceratium gracile</i></u> <u><i>Ceratium hirundinella</i></u>

Приложение Д

Видовой состав фитопланктона Пензенского водохранилища по месяцам 2002 года

М Е С Я Ц				
май	июнь	июль	август	сентябрь
2	3	4	5	6
<u>Anabaena constricta</u>	<u>Microcystis aeruginosa</u>	<u>Aphanizomenon flos-aquae</u>	<u>Aphanizomenon flos-aquae</u>	<i>Melosira granulata</i>
<u>Microcystis aeruginosa</u>	<i>Opephora Martyi</i>	<u>Anabaena aequalis</u>	<u>Anabaena constricta</u>	<i>Opephora Martyi</i>
<u>Anabaena aequalis</u>	<i>Asterionella formosa</i>	<u>Anabaena constricta</u>	<u>Merismopedia tenuissima</u>	<i>Cyclotella comta</i>
<i>Navicula mutica var. ventricosa</i>	<i>Cymbella cymbiformis</i>	<u>Merismopedia tenuissima</u>	<i>Melosira granulata</i>	<i>Navicula exigua</i>
<i>Asterionella formosa</i>	<i>Melosira granulata</i>	<u>Merismopedia glauca</u>	<i>Cyclotella comta</i>	<i>Stephanodiscus dubius</i>
<i>Gyrosigma attenuatum</i>	<i>Synedra acus</i>	<u>Microcystis aeruginosa</u>	<i>Synedra ulna</i>	<i>Cocconeis pediculus</i>
<i>Nitzschia vermicularis</i>	<i>Navicula exigua</i>	<i>Melosira granulata</i>	<i>Pinnularia gibba</i>	<i>Cymbella ventricosa var. ovata</i>
<i>Pinnularia gracillima</i>	<i>Cyclotella comta</i>	<i>Navicula exigua</i>	<i>Gyrosigma attenuatum</i>	<i>Rhoicosphenia curvata</i>
<i>Fragilaria capucina</i>	<i>Synedra ulna</i>	<i>Cyclotella comta</i>	<i>Navicula dicephala</i>	<i>Pinnularia gibba</i>
<i>Navicula costulata var. capitata</i>	<i>Tetracoccus botryoides</i>	<i>Synedra ulna</i>	<i>Cymbella cymbiformis</i>	<i>var. mesogongyla</i>
<i>Navicula platystoma var. Pantoczekii</i>	<i>Staurastrum sp.</i>	<i>Synedra acus</i>	<i>Navicula radiosa</i>	<i>Golenkinia radiata</i>
<i>Navicula placentula</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Asterionella formosa</i>	<i>Navicula platystoma var. Pantoczekii</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>
<i>Synedra pulchella var. lanceolata</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	<i>Navicula dicephala</i>	<i>Coelastrum microporum</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
<i>Synedra acus var. angustissima</i>	<i>Sc. quadricauda f. setosus</i>	<i>Synedra ulna var. danica</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Kirchneriella lunaris</i>
<i>Navicula radiosa</i>	<i>Pediastrum clathratum</i>	<i>Surirella robusta</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Staurastrum sp.</i>
<i>Navicula longirostris</i>	<i>Coelastrum microporum</i>	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Pediastrum duplex</i>	<i>Pediastrum boryanum</i>
<i>Rhizosolenia longiseta</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Chlorella vulgaris</i>	<i>Golenkinia radiata</i>	<i>Pediastrum tetras</i>
<i>Nitzschia palea var. tenuirostris</i>	<u><i>Cystodinium Steinii</i></u>	<i>Staurastrum sp.</i>	<i>Actinastrum Hantzschii</i>	<u><i>Ceratium hirundinella</i></u>
<i>Stephanodiscus dubius</i>	<u><i>Ceratium hirundinella</i></u>	<i>Coelastrum microporum</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	
<i>Navicula pupula var. rostrata</i>		<i>Pleurococcus sp.</i>	<i>Sc. quadricauda f. setosus</i>	
<i>Surirella linearis</i>		<i>Cosmarium sp</i>	<i>Closterium intermedium</i>	
<i>Surirellarobusta v. splendida</i>		<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Cosmarium margaritifera</i>	
<i>Synedra acus</i>		<i>Scenedesmus acuminatus</i>	<i>Staurastrum sp.</i>	

Окончание приложения Д

2	3	4	5	6
<p>Synedra ulna <i>Cyclotella comta</i> <i>Cymbella affinis</i> <i>Cymbella cymbiformis</i> <i>Cymbella tumida</i> <i>Cymbella cuspidata</i> <i>Pinnularia gibba var. mesogongyla</i> <i>Cocconeis placentula</i> <i>Navicula dicephala</i> <i>Melosira granulata</i> <i>Opephora Martyi</i> <i>Navicula laterostrata</i> Tetracoccus botryoides Scenedesmus quadricauda Sc. quadricauda f. setosus Pediastrum clathratum Scenedesmus acuminatus Pandorina morum Chlorella vulgaris Chlorella elipsoidea Kirchneriella lunaris Tetrastrum multisetum Richteriella botryoides Coelastrum microporum Actinastrum Hantzschii <u><i>Pyrocystis lunula</i></u> <u><i>Lepocinclis ovum</i></u> <u><i>Ceratium hirundinella</i></u> <u><i>Chlamydomonas sp.</i></u></p>		<p>Scenedesmus sp. Pediastrum duplex Pediastrum boryanum Pediastrum tetras Ankistrodesmus falcatus Closterium parvulum Golenkinia radiata Actinastrum Hantzschii Senastrum bibraianum <u><i>Cystodinium Steinii</i></u> <u><i>Ceratium hirundinella</i></u> <u><i>Pyrocystis lunula</i></u> <u><i>Phacus caudata</i></u> <u><i>Menoidium falcatum</i></u></p>	<p>Pediastrum clathratum Tetraedron trilobatum <u><i>Ceratium hirundinella</i></u> <u><i>Phacus longicauda</i></u> <u><i>Peridinium Willei</i></u></p>	

Приложение Е

Виды синезеленых водорослей, вызывающих «цветение» в водоемах

Водоем	Виды, вызывающие «цветение» воды	Годы исследований	Автор
1	2	3	4
Волгоградское водохранилище	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Anabaena flos-aquae</i>	1968-1971	Герасимова Н.А., 1976
Саратовское водохранилище	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i>	1970, 1972, 1973	Герасимова Н.А., 1981
Лебедевское водохранилище (Саратовская область)	<i>Anabaena flos-aquae</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	1978	Сулова В.В., Гвоздева Л.П., Нестерова О.Ф. и др., 1981
Сулакское водохранилище (Саратовская область)	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	1978	Сулова В.В., Гвоздева Л.П., Нестерова О.Ф. и др., 1981
Озеро Глубокое (Московская область)	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Anabaena spiroides</i>	1947-1961	Щербаков А.П., 1967
Бухтарминское водохранилище (р. Иртыш)	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i>	1974	Гулая Н.К., 1975 Баженова О.П., 1978
Киевское водохранилище (Украина)	<i>Anabaena flos-aquae</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i>	1966	Приймаченко А.А., 1981
Кременчугское водохранилище (Украина)	<i>Anabaena flos-aquae</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i>	1967-1973	Приймаченко А.А., 1981
Днепродзержинское водохранилище (Украина)	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i>	1963-1964, 1966, 1968-1969	Приймаченко А.А., 1981
Запорожское водохранилище (Украина)	<i>Anabaena flos-aquae</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i>	1961	Приймаченко А.А., 1981
Каховское водохранилище (Украина)	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i>	1956-1969	Приймаченко А.А., 1981
Истокский сор озеро Байкал	<i>Anabaena flos-aquae</i>	1958-1959	Загоренко Г.Ф., Помазкина Г.Ф., 1976

Окончание приложения Е

1	2	3	4
Водохранилище-охладитель Экибастузской ГРЭС-1 (Казахстан)	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Anabaena circinalis</i>	1984	Стуге Т.С., Тэн В.А. и др., 1988
Азовское море	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Microcystis pulveria</i> , <i>Anabaena flos-aquae</i>	1952-1972	Алдакимова А.Я., 1976
Реки – истоки Амура	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i>	1989-1990	Стрижова Т.А. и др., 1991
Ташкепринское водохранилище (Туркмения)	<i>Oscillatoria mougeotia</i> , <i>Anabaena scheremetievi</i>	1953	Коган Ш.И., 1972
Сарыязинское водохранилище (Туркмения)	<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Anabaena scheremetievi</i> f. <i>rotundospora</i>	1960	Коган Ш.И., 1972
3-е Гиндукушское водохранилище (Туркмения)	<i>Anabaena scheremetievi</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i>	1951	Коган Ш.И., 1972
Озеро Мордовкино Туркмения	<i>Anabaenopsis raciborskii</i>	1953-1955	Коган Ш.И., 1972
Озеро Керимхановское (Туркмения)	<i>Microcystis aeruginosa</i>	1955	Коган Ш.И., 1972
Озеро Ясхан (Туркмения)	<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Microcystis grevillei</i>	1952	Коган Ш.И., 1972
Озеро Верхний Топиатан (Туркмения)	<i>Microcystis grevillei</i>	1952-1953	Коган Ш.И., 1972
Днепровское водохранилище (Украина)	<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Anabaena flos-aquae</i> , <i>Anabaena spiroides</i>	1951-1953	Мельников Г.Б., 1955
Канал Днепр-Кривой Рог (Украина)	<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	1955-1957	Топачевский А.В. и др., 1963
Угличское водохранилище	<i>Microcystis aeruginosa</i> , <i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Anabaena flos-aquae</i> , <i>Anabaena scheremetievi</i>	1954	Буторина Л.Г., 1966
Братское водохранилище (залив Одисса)	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	1976	Под ред. Кожова О.М., 1983
Озеро Сычуль Кольский п-ов	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	1960	Покровская Т.Н., 1962
Рыбинское водохранилище	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i>	2007	Митропольская И.В.
Озеро Кагул (Молдовия)	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Aphanizomenon elenkinii</i> , <i>Microcystis aeruginosa</i>	1974	Под ред. Ярошенко М.Ф., 1979
Пензенское водохранилище	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> , <i>Anabaena variabilis</i> , <i>Microcystis pulveria</i>	1998	Богданов Н.И., 1999

Автор выражает искреннюю признательность коллегам, которые оказали неоценимую помощь при выполнении данной работы: директору ПензНИИСХ, доктору с.-х. наук, профессору **А.А. Смирнову**, директору «Сурского гидроузла» **В.К. Парамонову**, научным сотрудникам лаборатории гидробиологии и прудового рыбоводства ПензНИИСХ **О.Г. Тургеневой** и **О.В. Косовой**.

Автор благодарен Заместителю председателя правительства – начальнику Управления природных ресурсов и охраны окружающей среды Пензенской области **Г.Е. Толченову** за понимание и неоценимую помощь при издании данной работы.

Автором с благодарностью будут приняты и не оставлены без внимания отзывы, замечания и пожелания, отправленные по адресу:

E-mail: chlorella-v@yandex.ru

www.chlorella-v.narod.ru

Для заметок

Научное издание

Николай Иванович Богданов

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ
РЕАБИЛИТАЦИЯ ВОДОЁМОВ**

Компьютерная верстка Н.В. Трошина

Корректор Л.А. Артамонова

Подписано в печать 20.11.2008

Бумага Гознак Print

Усл. печ. л. 5

Тираж 300 экз.

Формат 60×84 1/16

Отпечатано на ризографе

Заказ № 20/11

РИО ПГСХА

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая 30

Отпечатано с готового оригинал-макета

в типографии ИП Тугушева С.Ю.

440600, г. Пенза, ул. Московская, 74, ком. 220, тел. (841-2) 56-37-16.