

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ОЗЕРОВЕДЕНИЯ

На правах рукописи

ПАВЛОВА Оксана Александровна

**СТРУКТУРА ФИТОПЛАНКТОНА МАЛЫХ ОЗЕР
В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОГО ЛАНДШАФТА
(на примере Суздальских озер г. Санкт-Петербурга)**

03.00.16 — Экология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2 0 0 4

Работа выполнена в Институте озерадения Российской Академии наук

Научный руководитель: доктор биологических наук
И.С. Трифонова

Официальные оппоненты: доктор биологических наук
Г.М. Лаврентьева

доктор биологических наук
Н.А. Петрова

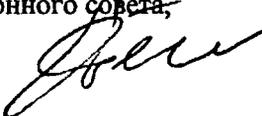
Ведущая организация: Зоологический институт РАН

Защита состоялась 12 » апреля 2004г. в 10 часов на заседании специализированного совета Д 002.064.01 Института озерадения РАН, по адресу: 196105, г. Санкт-Петербург, ул. Севастьянова, 9.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института озерадения РАН

Автореферат разослан 22 » марта 2004г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук

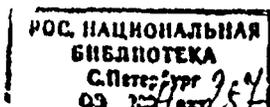
 В.П. Беляков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема контроля состояния водоемов, расположенных в черте крупных городов и мегаполисов с середины прошлого столетия приобрела большую актуальность во многих странах Европы и Америки (Россолимо, 1977; Edmondson, Lehman, 1981; Chorus, Wessler, 1988; Edmondson, 1988; Limnological and engineering analysis 1996; Olding et al, 2000; Anneville et al., 2002 и др.). Влияние урбанизированных территорий — одна из наиболее глубоких, активных и комплексных форм антропогенного воздействия на природные объекты, в том числе на водные экосистемы (Стравинская, 1984). В свою очередь ответная реакция водоемов зависит от сочетания, интенсивности и длительности различных видов воздействия и их исходного состояния. В России экологические исследования городских водоемов до сих пор весьма малочисленны (Сохранение природной экосистемы..., 1984; Водные объекты..., 2002; Охупкин и др., 2002; Старцева и др., 2002 и др.). В то же время, как показывают последние данные (Региональные проблемы..., 1998; Кондратьев и др., 2001; Водные объекты ..., 2002), только 2% городских водных объектов могут быть отнесены к условно чистым, тогда как 80% классифицируются как грязные, при этом многие из них находятся на уровне эвтрофных или гиперэвтрофных водоемов.

В системе экологического мониторинга водоемов важная роль принадлежит фитопланктону, структура и функциональные особенности которого во многом определяют состояние водных экосистем в целом. Все изменения в водоемах в первую очередь отражаются на сообществах автотрофных организмов. Развитие фитопланктона оказывает непосредственное воздействие на качество воды, а показатели его количественного развития широко используются для характеристики трофического статуса водоемов. Прямая зависимость между содержанием фосфора, стимулирующего развитие водорослей, и их обилием позволяет прогнозировать процесс эвтрофирования (Трифенова, 1990).

Система трех Суздальских озер, самых крупных естественных водоемов г. Санкт-Петербурга, испытывает постоянный антропогенный пресс со стороны урбанизированного ландшафта (Кондратьев и др., 1998, 2002). До последнего времени эти водоемы, в том числе их фитопланктон, были изучены слабо, а имеющиеся данные носят отрывочный характер. В статье А.А. Еленкина (1924) приводится список массовых видов фитопланктона Среднего озера и обсуждается их сезонная сукцессия по данным за 1921г. Фитопланктон Верхнего и Нижнего Суздальских озер исследовался в начале 70-х гг. Б.Л. Гутельмахером и В.Н. Никулиной (Гутельмахер, 1973, 1974, 1986; Гутельмахер, Никулина, 1974). Были определены состав, числен-



ность, биомасса и продукция массовых видов водорослей, а также некоторые гидрохимические показатели. Наши исследования фитопланктона Суздальских озер проводятся с 1995г.

Цель и задачи работы. Основная цель работы - выявить структурные особенности фитопланктонных сообществ трех Суздальских озер, расположенных в черте г. Санкт-Петербурга в связи с некоторыми абиотическими факторами среды.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Определить таксономический состав и провести эколого-географический анализ водорослей планктона Суздальских озер.

2. Выявить состав и сукцессию структурообразующих видов фитопланктона.

3. Изучить сезонную и межгодовую динамику биомассы фитопланктона, и содержания хлорофилла «а» в связи с абиотическими факторами среды.

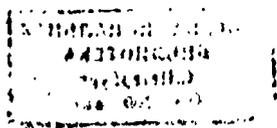
4. Оценить качество воды и уровень сапробности по фитопланктону.

5. Оценить трофический статус Суздальских озер по уровню биомассы фитопланктона и содержанию хлорофилла «а».

6. Провести экспериментальное исследование реакции фитопланктона двух озер разного трофического статуса на возможное поступление дополнительных количеств биогенных элементов.

Научная новизна. Впервые проведены многолетние исследования фитопланктона трех крупнейших естественных водоемов г. С.-Петербурга. Впервые изучен видовой состав, приведен таксономический список водорослей фитопланктона и проведен их эколого-географический анализ. Впервые изучены сезонная динамика биомассы фитопланктона и содержания хлорофилла «а», прослежена межгодовая сукцессия доминирующих видов, обусловленная увеличением антропогенного воздействия со стороны урбанизированных территорий. Оценен трофический статус озер и уровень их сапробности по фитопланктону. Экспериментально определены факторы, лимитирующие развитие фитопланктона малых разнотипных водоемов урбанизированного ландшафта при увеличении биогенной нагрузки.

Практическое значение. Работа является частью комплексных исследований на водоемах г. Санкт-Петербурга в рамках тематического плана ИНОЗ РАН (Водные объекты..., 2002), гранта РФФИ (96-05-64166), гранта Администрации Санкт-Петербурга, МО РФ и РАН для молодых специалистов (2002), ряда хозяйственных работ. Результаты работы использованы при организации экологического мониторинга состояния городских водных объектов, при разработке методов ранней диагностики кризисных состояний водоемов урбанизированного ландшафта. Полученные материалы могут применяться как научная основа для моделирования процессов антро-



погснного эвтрофирования, проведения восстановительных мероприятий на водоемах и оптимизации их режима.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 работ, 1 находится в печати.

Апробация результатов исследований. Материалы диссертации представлены на конференции «Эколого-физиологические исследования водорослей ...» (Борок, 1996); VI, VII Молодежных конференциях ботаников (С.-Петербург, 1997, 2000); II Научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов РАН и высшей школы (С.-Петербург, 1999); V Всероссийской конференции по водным растениям «Гидробиотаника 2000» (Борок, 2000); VIII съезде Гидробиологического общества (Калининград, 2001); XII Международной конференции молодых ученых «Биология внутренних вод: проблемы экологии и биоразнообразия» (Борок, 2002); VIII школе диатомологов России и стран СНГ "Морфология, экология и биогеография диатомовых водорослей» (Борок, 2002); XI Съезде РБО (Новосибирск-Барнаул, 2003); обсуждались на заседаниях Лаборатории гидробиологии Института озераедения РАН, Отчетной сессии ИНОЗ РАН, на заседаниях альгологической секции РБО в БИН РАН (1998,2003).

Структура и объем диссертации. Работа изложена на **197** страницах, состоит из введения, 7 глав, выводов, списка литературы и приложения, содержит **36** рисунков и **14** таблицы. Список цитированной литературы включает **212** источников, в том числе **57** иностранных.

Глава 1. Материал и методика

Фитопланктон Верхнего и Среднего Суздальских озер изучался в 1995-1997 гг.. Нижнего Суздальского озера — в 1995-1999 гг. Кроме того, были проведены дополнительные исследования в 2003 г. Пробы фитопланктона отбирались в апреле подо льдом и с мая по октябрь (в 1996 г. — по декабрь) 1-2 раза в месяц на станциях, расположенных в наиболее глубоких участках озер. Всего собрано и обработано около 500 количественных проб фитопланктона. Количественные пробы объемом 0,5 л отбирались батометром Руттнера, фиксировались раствором Люголя или 40 % формалином и обрабатывались осадочным методом. Подсчет организмов фитопланктона, идентификацию видов и учет их размеров проводили в камере Накотта объемом 0,05 мл (Гусева, 1959; Руководство по методам ..., 1983) с использованием микроскопов МБИ-3, МБИ-15 и "Эргавал". Биомассу определяли общепринятым способом по объемам клеток водорослей путем приравнивания их к наиболее близкому геометрическому телу (Гусева, 1959; Кумсаре, 1963; Макарова, Пичкнылы, 1970). Качественные пробы для более полной характеристики видового состава фитопланктона отбирались инте-

грально из всего слоя воды планктонной сетью с газом № 73. Обработку диатомовых водорослей проводили методом холодного сжигания (Балонов, 1976). Уточнение таксономической принадлежности центрических диатомей проводилось на электронном микроскопе JSM-25 (Институт биологии внутренних вод РАН, Борок), за что автор выражает искреннюю благодарность д.б.н. СИ. Генкалу.

Для идентификации водорослей использовались: "Определитель пресноводных водорослей СССР" (1951, 1953-1955, 1959, 1962, 1982), «Визначник пркноводних водоростей Украши» (1953, 1965, 1975, 1977, 1978, 1990), а также другие определители и номенклатурные разработки (Киселев, 1950; Косинская, 1960; Starmach, 1966; Komarek, Fott, 1983; Krammer, Lange-Bertalot, 1988, 1991; Komarek, Anagnostidis, 1986; Anagnostidis, Komarek, 1988; Диатомовые водоросли СССР, 1988, 1992).

Содержание хлорофилла "а" в планктоне определяли стандартным спектрофотометрическим методом в смешанном ацетоновом экстракте (Vollenweider et al., 1969). Содержание хлорофилла "а" рассчитывали по формуле Толлинга (Tailing, 1974).

Для оценки разнообразия фитопланктонных сообществ использовали индексы Шешюна-Уивера (Одум, 1975). Степень сходства таксономического состава водорослей исследованных озер оценивали по коэффициентам Серенсена (Константинов, 1986). Сапробиологическое состояние озер определяли на основании индексов сапробности по Пантле и Буку в модификации Сладечека (Sladecek, 1973). Индикаторная значимость отдельных видов оценивалась по спискам сапробных организмов (Унифицированные методы исследования ..., 1975; Sladkovodne Riasy, 1978; Водоросли, 1989; Баринова, Медведева, 1996). Статистическая обработка материалов проводилась с помощью пакетов программ Excel и Statistica.

Глава 2. Общая характеристика исследованных водоемов

Суздальские озера — Верхнее, Среднее, Нижнее, находятся в северо-западной части г. Санкт-Петербурга, на юге Карельского перешейка, входят в систему водосбора оз. Лахтинский разлив и имеют сток через р. Каменку в Невскую губу Финского залива. Озера расположены каскадом (цепочкой) в направлении с юга на север и соединены между собой протоками, заключенными в нижнем течении в трубы (рис. 1). Большие уклоны местности в верхней части водосборного бассейна Лахты способствуют интенсивному выносу веществ, аккумулятором которых служит Нижнее Суздальское озеро (Кондратьев и др., 1998). Район относится к среднетаежной (бореальной) зоне (Исаченко, 1985). Климат атлантико-континентальный, обусловленный близостью моря, наличием крупных водных бас-

сейнов и избыточным увлажнением. Вегетационный период продолжается около 180 дней. Замерзание водоемов обычно начинается в первой половине ноября, вскрытие происходит в конце апреля-первой половине мая.

Озера испытывают постоянный антропогенный пресс. На прилегающих территориях расположены промышленные предприятия, крупные автомагистрали, свалки, пригородные животноводческие комплексы, сельскохозяйственные угодья. В последнее десятилетие в связи с расширением границ города на восточных берегах Суздальских озер ведется интенсивное строительство жилых массивов. Большинство частных жилых домов вокруг исследованных водоемов не имеют канализации, и бытовые стоки поступают непосредственно в озера. Кроме того, озера традиционно используются как зоны массового отдыха.

По площади Суздальские озера относятся к ряду малых — площадь зеркала менее 1 км² (табл. 1). Водоемы имеют простые очертания с незначительной изрезанностью.

Два первых озера по величине внешнего водообмена относятся к аккумулятивным водоемам с замедленной проточностью, а Нижнее Суздальское — к аккумулятивно-транзитным среднепроточным, где водная масса обновляется 5-6 раз в год (Богословский, 1960).

Верхнее — самое глубокое из исследованных водоемов и Среднее Суздальские озера являются димиктическими, хотя термическая стратификация в них неустойчива и может нарушаться в летний период. В наиболее крупном и мелководном из трех озер Нижнем за 5 лет наблюдений стратификация не отмечалась. При близких значениях общей минерализации вода Суздальских озер различна по химическому составу. Для Верхнего и Среднего озер характерно преобладание вод карбонатно-хлоридного класса

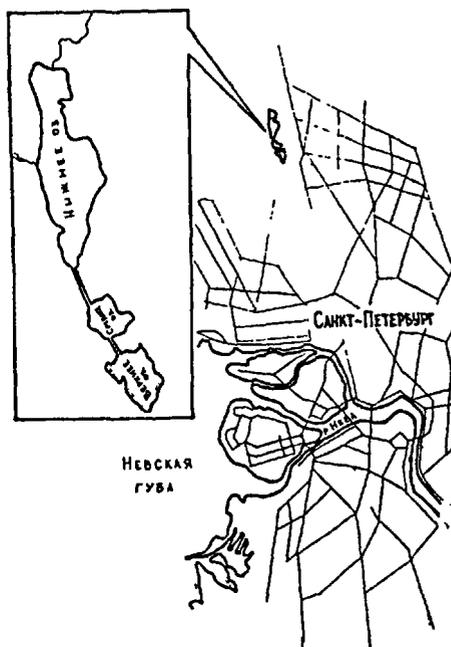


Рис. 1. Карта-схема Суздальских озер.

кальциево-натриевой группы, для Нижнего озера доминирующими анионами являются сульфаты, поступающие в озеро с водами р. Старожиловки (Водные объекты..., 2002). Активная реакция воды в Суздальских озерах близка к нейтральной, но в Нижнем озере в результате постепенного заболачивания значения рН обычно несколько ниже.

Верхнее и Среднее озера близки по величинам содержания общего фосфора ($P_{\text{общ}}$) (табл.1). Концентрации $P_{\text{общ}}$ в воде Нижнего озера высоки в течение всего года и изменяются в пределах 0,07-0,21 мг/л. Содержание минерального фосфора ($P_{\text{мин}}$) в озерах, как правило, незначительно, органический фосфор постоянно преобладает над минеральным (Региональные проблемы..., 1999). Содержание $P_{\text{общ}}$ в Верхнем и Среднем озерах за период исследований изменялось незначительно, в Нижнем озере оно возросло почти в два раза.

Таблица 1

Лимнологическая характеристика Суздальских озер

Характеристика	Водоём		
	Верхнее	Среднее	Нижнее
Площадь зеркала, км ²	0,22	0,15	0,97
Объём водной массы, млн м ³	1,20	0,65	2,95
Условный водообмен	0,21	1,12	5,0
Глубина, м — средняя	5,5	4,4	3,0
— максимальная	13,0	6,5	5,2
Площадь водосбора, км ²	0,46	0,86	35,9
Прозрачность, м — пределы	1,2—2,6	0,9—2,3	0,7—1,8
- средняя	1,7	1,7	0,9
Температура °С (V-X)	6,0—22,1	5,5—23,0	5,5—22,0
рН (V-X), поверхность	7,7—9,7	7,5—9,6	7,1—9,1
дно	6,8—8,2	6,4—8,2	5,8—8,1
Σ ионов, мг л ⁻¹ (V-X)	215—237	274—297	202—248
$P_{\text{общ}}$, мг/л (среднесезон. 1995—2003 гг.)	0,021—0,027	0,017—0,038	0,039—0,084
$P_{\text{мин}}$, мг/л (V-X)	0—0,1	0—0,007	0—0,021
$N_{\text{общ}}$, мг/л (V-X)	0,62—1,32	0,96—1,52	0,80—1,86
N:P	27—52	33—75	9—41

По содержанию $P_{\text{общ}}$ Верхнее и Среднее Суздальские озера можно отнести к мезотрофным, Нижнее Суздальское — к эвтрофным (OECD, 1982). Для всех трех озер характерны высокие концентрации общего азота (табл. 1), основная часть которого находится в составе органических соединений. Из неорганических форм в поверхностном слое Верхнего и Среднего озер доминируют нитраты (Региональные проблемы ..., 1999). Отношение N:P в Верхнем Суздальском озере изменялось от 27 до 52, в Среднем и Нижнем — соответственно от 33 до 75 и от 9 до 41. Считается,

что азот становится лимитирующим фактором при соотношении N:P < 10—17 (Sakamoto, 1966; Smith, 1982; цит. по Трифонова, 1990). Исходя из этого можно предположить, что только в Нижнем Суздальском озере развитие фитопланктона в отдельные периоды лимитирует азот, в других озерах оно лимитируется фосфором.

Глава 3. Видовой состав, эколого-географическая характеристика водорослей и сукцессия массовых видов фитопланктона

3.1. Видовой состав фитопланктона. За период исследований в фитопланктоне Суздальских озер обнаружено 312 таксонов водорослей, принадлежащих к 8 отделам, 23 порядкам и 111 родам (табл. 2). Максимальное количество таксонов отмечено в мелководном эвтрофном Нижнем Суздальском озере — 279. В Верхнем и Среднем озерах обнаружено 184 и 182 таксона соответственно. Во всех трех озерах по числу видов доминируют зеленые (41 %), диатомовые (21 %) и синезеленые (11 %) водоросли, что характерно для водоемов умеренных широт (Михеева, 1971, 1999; Трифонова, 1979, 1990; Лаврентьева, 1986; Охупкин, 1994; и др.). Отличительной особенностью является большое разнообразие эвгленовых, особенно в Нижнем озере. По коэффициентам флористической общности Сёрренсена по составу фитопланктона Суздальские озера близки, степень сходства составляет 70-71 %.

Таблица 2

Количество таксонов рангом ниже рода (N) и соотношение (%) основных отделов водорослей в фитопланктоне Суздальских озер

Отделы, классы и порядки	Верхнее Суздальское		Среднее Суздальское		Нижнее Суздальское		Общее число таксонов	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Cyanophyta	22	11,9	18	9,9	32	11,5	34	10,9
Euglenophyta	8	4,3	17	9,3	33	11,8	35	11,2
Dinophyta	11	6,0	8	4,4	13	4,7	13	4,2
Cryptophyta	6	3,3	5	2,8	7	2,5	7	2,2
Chrysophyta	12	6,5	18	9,9	16	5,7	21	6,7
Bacillariophyta	43	23,4	39	21,4	58	20,8	66	21,1
<i>Centrophyceae</i>	10	5,4	8	4,4	14	5,0	16	5,1
<i>Pennatophyceae</i>	33	18,0	31	17,0	44	15,8	50	16,0
Xanthophyta	2	1,1	4	2,2	8	2,9	8	2,6
Chlorophyta	80	43,5	73	40,1	112	40,1	128	41,0
<i>Chlorococcales</i>	58	31,5	57	31,3	81	29,0	91	29,2
<i>Desmidiiales</i>	18	9,8	10	5,5	22	7,9	27	8,7
ВСЕГО	184		182		279		312	

Наиболее разнообразны порядки *Chlorococcales* — 91 таксон (29% общего числа форм), *Raphales* и *Euglenales* — по 35 (11%), *Desmidiiales* — 27 (9%) и *Chroococcales* — 19 (6%). К основным по флористическому богатству родам относятся 6 родов из 3 отделов, включающие 24 % всех обнаруженных таксонов. Среди зеленых водорослей ведущими являются представители родов *Scenedesmus* (21 таксон), широко распространенные во всех трех водоемах, *Cosmarium* (11), отмечаемые главным образом в Верхнем и Нижнем озерах, и *Pediastrum* (9), наиболее обильные в Верхнем озере. Значительного разнообразия достигают эвгленовые *Trachelomonas* (15), большинство которых встречены в эвтрофном Нижнем озере, и *Euglena* (9), характерные для Среднего и Нижнего озер. Из диатомовых по числу видов во всех водоемах преобладал род *Fragilaria* — 10 форм (включая бывших представителей рода *Synedra*). Более 20 % всех обнаруженных форм принадлежат к группе родов, представленных 5-6 таксонами. К ним относятся виды родов *Peridinium*, *Oocystis*, *Staurastrum*, встреченные нами во всех водоемах. Для Среднего озера характерны также золотистые из родов *Dinobryon*, *Kephyrion* и *Mallomonas*, в Нижнем озере обильны десмидиевые из рода *Closterium*, диатомовые *Aulacosira*, *Cyclotella* и эвгленовые *Phacus* и *Strombomonas*.

3.2. Эколого-географическая характеристика водорослей. Сведения о географическом распространении имеются для 226 таксонов водорослей. Планктонная альгофлора Суздальских озер представлена в основном космополитными видами (83 % общего количества), аркто-альпийские формы составляют около 4 %. Большинство обнаруженных водорослей (76 % общего числа таксонов) являются истинно-планктонными организмами. В мелководном нестратифицированном Нижнем озере более высока роль литоральных и бентосных форм, включающих помимо пеннатных диатомей зеленые нитчатые водоросли из родов *Ulothrix*, *Oedogonium* и др. По отношению к солености воды (Прошкина-Лавренко, 1953; Давыдова, 1985) все обнаруженные водоросли являются пресноводными, олигогалобами, большую часть которых составляют индифференты — до 75 % общего числа таксонов. Из 112 видов и разновидностей водорослей, являющихся индикаторами активной реакции среды, 2 — ацидофилы, 68 — индифференты, 42 — алкалофилы. В Верхнем озере, где рН, как правило, несколько выше, чем в остальных водоемах, отмечено наибольшее количество алкалофилов (40 % общего числа форм с известной характеристикой). Виды-индикаторы сапробности составляют 63 % от общего числа таксонов, большинство из них относятся к (3-мезосапробам и Р-мезо-олигосапробам (64 %), характеризующим условия средней степени загрязнения. Обитатели зон высокого загрязнения — а-мезо-, а-мезо-р- сапробы составляют около

9 %, роль ксеносапробов — показателей чистых вод, не превышает 2 %. Больше всего видов-индикаторов загрязнения обнаружено в эвтрофном Нижнем озере, где часто встречаются а-мезосапробы *Nitzschia acicularis*, *Euglenapolymorpha*, *Oscillatoria princeps*, *Chlorogonium maximum* и др.

3.3. Массовые виды фитопланктона и их сукцессия. По роли в биомассе фитопланктона (более 10 %) в Суздальских озерах к массовым можно отнести около 35 видов водорослей из 7 отделов. Основу планктонных фитоценозов в Суздальских озерах составляют зеленые (12 таксонов), диатомовые (7), синезеленые (5) и динофитовые (3) водоросли. Эвгленовые, золотистые и криптомонады входят в группу доминантов реже и обычно являются сопутствующими формами. Зеленые водоросли наибольшее значение имеют в планктоне Верхнего озера, где преобладают *Tetraedron minimum*, *Oocystis lacustris*, *Coelastrum reticulatum*, *Cosmarium bioculatum*, *Staurastrum paradoxum* и др., при этом комплекс доминантов менялся от года к году. Заметное развитие зеленых в Среднем озере отмечалось только в 1995 г., роль *Chlorophyta* в планктоне Нижнего озера незначительна. Диатомовые водоросли играют важную роль в планктоне Верхнего и Среднего озер. Наиболее массовыми являются *Cyclotella bodanica*, *C. pseudostelligera*, *Stephanodiscus minutulus*, *Asterionella formosa*, виды рода *Fragilaria*. В Нижнем озере в первые годы исследований доминировали в основном центрические диатомеи — *Aulacosira ambigua*, *Stephanodiscus subtranssylvanicus*, *Cyclotella meneghiniana*. Динофитовые водоросли — *Ceratium hirundinella*, *Peridinium cinctum*, *Peridiniopsis elpatiewskyi* и др. — характерны для летнего планктона озер и нередко определяют годовые максимумы биомассы. Значение видов *Cyanophyta* в первые годы исследований во всех трех озерах было низким. В настоящее время синезеленые водоросли существенную роль играют только в Нижнем озере, где преобладают *Planktothrix agardhii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, виды рода *Anabaena* и др.

Отмечено существенное изменение состава доминирующих видов и основных групп водорослей в фитопланктоне Суздальских озер по сравнению с данными предыдущих исследователей (Еленкин, 1924; Гутельмахер, 1973, 1974, 1986 и др.; Гутельмахер, Никулина, 1974; Петрова, неопубликованные данные). Доминирующая роль *Chlorophyta* сохранилась в Верхнем Суздальском озере, однако, состав массовых форм практически полностью сменился. В Среднем озере резко снизилось значение массовых видов зеленых и синезеленых водорослей, доминировавших в начале 20-х годов (Еленкин, 1924). В Нижнем озере увеличилась роль диатомовых и, в частности, синезеленых водорослей.

Усиление биогенной нагрузки в результате увеличения количества бытовых стоков с урбанизированного водосбора определило смену структу-

рообразующих видов и групп водорослей в исследованных водоемах. В целом, за период наблюдений выявлено снижение значения зеленых водорослей в планктоне Среднего озера и замена их диатомовыми, динофитовыми и криптомонадами. В Нижнем Суздальском озере с 1998г. диатомовые были вытеснены синезелеными водорослями, в первую очередь *P. agardhii*, ранее для водоема не указанной и определяющей сейчас общую биомассу фитопланктона на уровне высокоэвтрофного водоема. Для всех озер прослеживалась тенденция постепенной смены центрических диатомей пеннатными — видами рода *Fragilana* и др., а также заметное увеличение численности эвгленовых, зеленых десмидиевых и, особенно, криптомонад, ранее здесь не отмеченных.

Глава 4. Структура и динамика биомассы фитопланктона исследованных озер

4.1. Верхнее Суздальское озеро. В течение периода наблюдений 1995—1997 гг. биомасса фитопланктона в Верхнем Суздальском озере колебалась от 0,01 до 5,51 мг/л (рис. 2.), составляя в среднем за сезон 2,01—2,80 мг/л. Весенние пики в эти годы были слабо выражены, биомасса не превышала 2,28 мг/л. В планктоне преобладали диатомовые (виды родов *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Fragilana*), золотистые (*Chrysococcus rufescens*) и

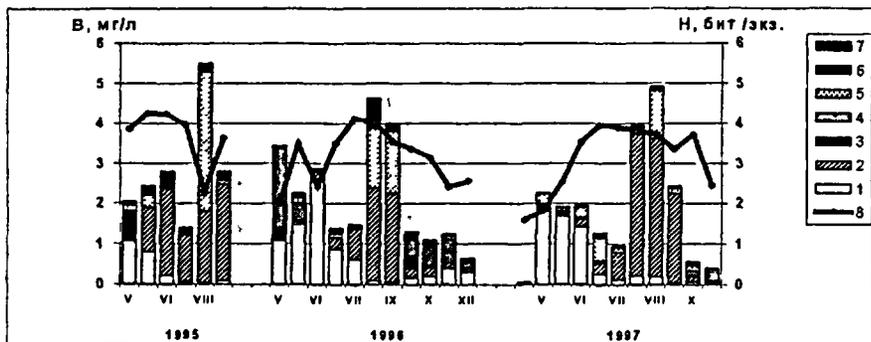


Рис 2. Сезонная динамика биомассы фитопланктона (В) и индекса разнообразия Шеннона-Уивера (H) в Верхнем Суздальском озере

1—*Baillanophyta*, 2—*Chlorophyta*, 3—*Chrysophyta*, 4—*Cryptophyta*, 5—*Dinophyta*, 6—*Euglenophyta*, 7—*Cyanophyta*, 8— индекс Шеннона

криптофитовые водоросли. Наибольшее развитие фитопланктона в озере отмечалось во второй половине лета, в августе-начале сентября. Во всех случаях доминировали динофитовые (до 40 %) и/или зеленые (до 90 %)

водоросли *Peridiniopsis elpatiewskyi*, *Ceratium hirundinella*, *Coelastrum reticulatum*, *Tetraedron minimum*, десмидиевые из родов *Cosmarium* и *Staurastrum*. Существенный вклад в формирование фитоценоза (до 40% общей биомассы) вносили мелкоклеточные десмидиевые. В осеннем планктоне основную роль играли диатомовые и криптофитовые (виды рода *Cryptomonas*) водоросли. Индексы разнообразия Шеннона изменялись в пределах 1,84—4,28 бит/экз. при среднем >3. Четкой зависимости между разнообразием фитопланктона и уровнем его биомассы не наблюдалось. Как правило, высокие величины индекса отмечались летом, в периоды массовой вегетации *Chlorophyta*, весной и осенью они снижались (рис. 2).

4.2. Среднее Суздальское озеро. Биомасса фитопланктона в Среднем Суздальском озере изменялась в пределах 0,01—6,75 мг/л, составляя в среднем за сезон 1,73—3,31 мг/л (рис. 3). Как и для Верхнего озера, в сезонной динамике биомассы фитопланктона отмечается 2-3 пика развития,

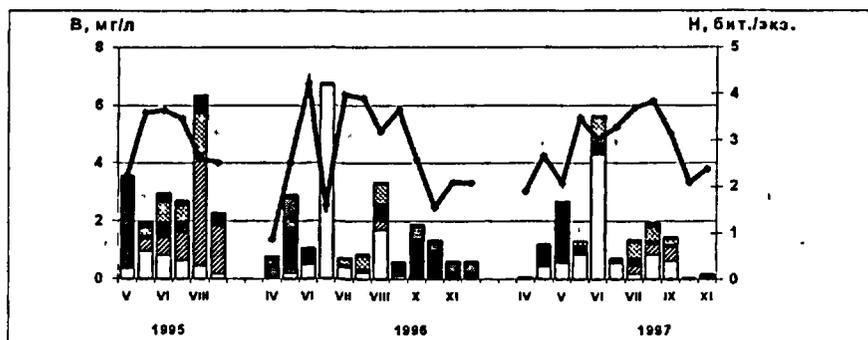


Рис. 3. Сезонная динамика биомассы фитопланктона в Среднем Суздальском озере. Обозначения те же, что на рис. 2

что характерно для мезотрофных озер (Трифенова, 1990). Весенний максимум в водоеме регистрируется обычно в мае-начале июня, когда доминируют золотистые — *Chrysococcus rufescens*, *Dinobryon divergens*, *Uroglena gracillis*, диатомовые — *Asterionella formosa*, виды родов *Cyclotella* и *Fragilaria* и криптомонады. Ранне-летний максимум отмечается во второй половине июня, а летний — в августе. В 1995г. максимальные величины биомассы наблюдались в августе, в дальнейшем наиболее интенсивное развитие фитопланктона было приурочено к началу лета. Сезонная сукцессия основных таксономических групп и доминирующих видов заметно отличалась год от года (рис. 3). В 1995г. в планктоне преобладали зеленые водоросли (до 74 % общей биомассы), следующий год характеризовался массо-

вым развитием диатомей — видов рода *Cyclotella* и сменившей их *A. formosa*, а также криптомонад и золотистых в холодное время года.

В 1997г. доминировали в основном виды рода *Fragilaria*, в конце лета им сопутствовали динофитовые (*Ceratium hirundinella*, виды рода *Peridinium*). Индекс разнообразия фитопланктона в течение периода открытой воды 1995–97 гг. изменялся от 1,20 до 3,83 бит/экз. и в среднем был немного ниже, чем в Верхнем озере. В большинстве случаев снижение индекса совпадало с интенсивной вегетацией монодоминантных сообществ водорослей.

4.3. Нижнее Суздальское озеро. В целом уровень биомассы фитопланктона в Нижнем озере был заметно выше, чем в двух других озерах. В течение периода наблюдений биомасса колебалась от 1,2 до 31,9 мг/л, составляя в среднем 6,4–11,1 мг/л (рис. 4). В сезонной динамике фитопланктона отмечались два–три пика биомассы — весенний в конце мая–начале

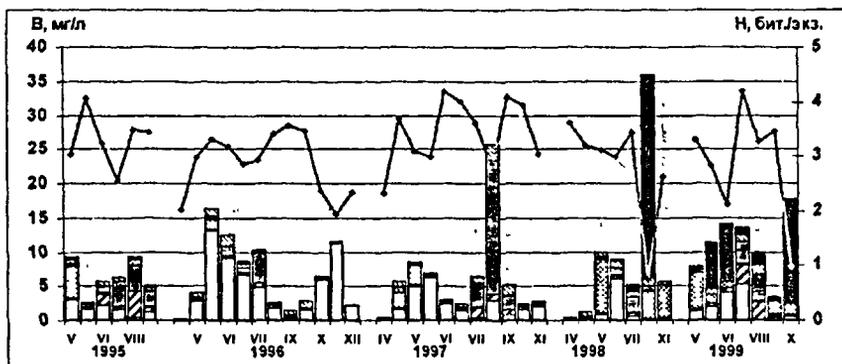


Рис. 4. Сезонная динамика биомассы фитопланктона в Нижнем Суздальском озере. Обозначения те же, что рис. 2

июня, летний на протяжении конца июля–первой половины августа и осенний — в октябре. В первые годы наблюдений (1995–97 гг.) в фитопланктоне доминировали диатомовые, динофитовые и криптомонады. Весенний максимум определялся массовой вегетацией *Aulacosira ambigua* и видов из родов *Stephanodiscus* и *Cyclotella*. В летнем планктоне развивались пенистые формы, осенью доминировали центрические *Stephanodiscus subtranssylvanicus* и *A. ambigua*. Наибольшее значение в фитопланктоне озера (76 % среднесезонной биомассы) диатомовые имели в 1996г. на фоне наименьших за период наблюдения величин общего фосфора в воде. Интенсивная вегетация криптомонад (*Chroomonas acuta* и виды рода *Cryptomonas*), как и диатомовых, наблюдалась в основном весной и осенью (до 16 % биомассы). Заметное развитие криптофитовых водорослей в озере

отмечается с 1997г. Летние пики фитопланктона были обусловлены развитием крупных динофлагеллят — *Ceratium hirundinella*, *Peridinium cinctum*, *Peridiniopsis elpatiewskiy* (до 63 % общей биомассы).

Усиление антропогенной нагрузки и связанное с этим повышение концентрации фосфора, в первую очередь минерального (Алябина, Сорокин, 1999; Кондратьев и др., 2002) в Нижнем Суздальском озере вызвало увеличение уровня биомассы фитопланктона и смену доминирующих групп и видов водорослей. Значительный рост биомассы в 1998-99 гг. был обусловлен массовым развитием синезеленых водорослей и, в первую очередь, *Planktothrix agardhii*. Наибольшие величины (до 32 мг/л), определяющие годовой максимум биомассы, отмечались осенью — в сентябре-октябре, а синезеленые в среднем за сезон составляли до 50 % биомассы. Величины индекса Шеннона на протяжении периода наблюдений изменялись в пределах 0,8-4,2 бит./экз. В 1998-1999 гг. в связи с преобладанием *Planktothrix* отмечалось снижение индекса, особенно при массовом развитии вида.

Глава 5. Содержание хлорофилла «а» в планктоне Суздальских озер

Изучение содержания хлорофилла «а» (Хл а) и его динамики в воде Суздальских озер проводили в 1997г. раз в месяц с мая по октябрь параллельно с определением биомассы фитопланктона. По концентрации Хл а, его сезонной динамике и относительному содержанию в единице сырой биомассы (Хл а/В) исследованные озера значительно отличались. За период исследования содержание хлорофилла «а» в Верхнем озере изменялось от 2,53 до 6,90, Среднем — от 0,97 до 19,16, Нижнем — от 12,27 до 48,98 мкг/л, составляя в среднем 4,98, 6,35 и 25,14 мкг/л соответственно (рис. 5). Сезонная динамика хлорофилла в целом совпадала с изменением биомассы фитопланктона. Наибольшее содержание Хл а в озерах соответствовало максимумам биомассы, обусловленным развитием зеленых водорослей в Верхнем озере, центрических диатомей из родов *Cyclotella* и *Stephanodiscus* — в Среднем и динофлагеллят — в Нижнем озере.

Отношение Хл а/В в исследованных озерах колебалось от 0,14 до 0,97 %, составляя в среднем 0,26, 0,43 и 0,41 % соответственно. Отмечалось снижение величин Хл а/В по мере возрастания обилия водорослей. Наименьшие соотношения наблюдались при максимальных величинах биомассы и хлорофилла, что соответствует представлениям о снижении процентного содержания Хл а при увеличении биомассы фитопланктона (Елизарова, 1975, 1993; Трифонова, Десортова, 1983). Четкой закономерности в сезонной динамике удельного содержания Хл а от таксономического состава фитопланктона в озерах не прослеживалось. Но, в целом, для Верхнего Суздальского озера, где в основном доминировали зеленые водоросли, среднее соотношение Хл а/В было существенно ниже, чем для двух других озер (рис. 5), несмотря на то, что *Chlorophyta* считаются наиболее богатой

хлорофиллом группой» водорослей (Пырина, Елизарова, 1971). По-видимому, это • объяснялось значительным развитием десмидиевых водорослей из родов *Staurastrum* и *Cosmarium*.

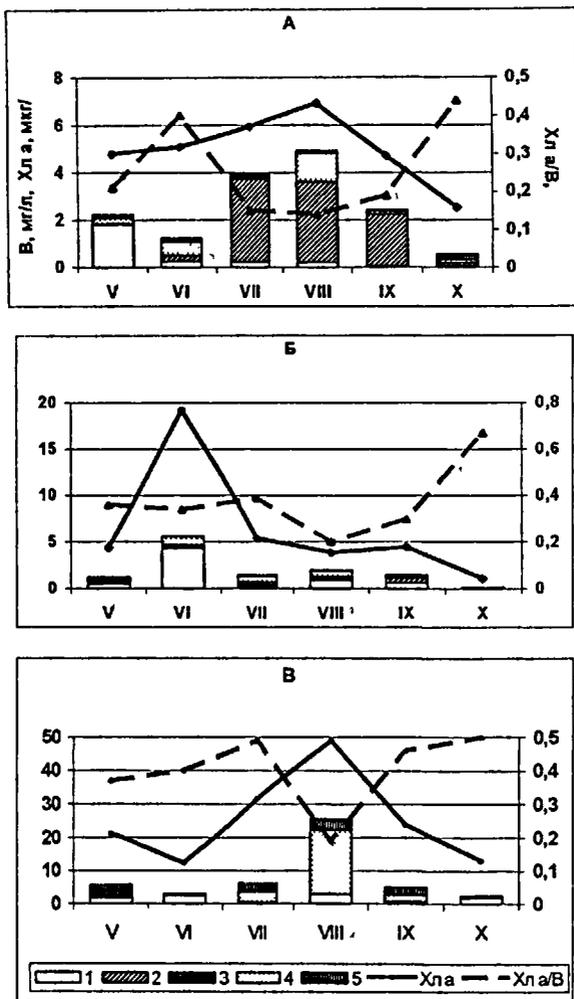


Рис. 5. Биомасса (В) фитопланктона, содержание хлорофилла «а» (Хл а, мкг/л) и отношение хлорофилла к биомассе (Хл а/В, %) в воде Суздальских озер в 1997г. А — Верхнее, Б — Среднее, В — Нижнее озера. 1 — *Baillanophyta*, 2 — *Chlorophyta*, 3 — *Chrysophyta*, 4 — *Dinophyta*, 5 — прочие

Глава 6. Оценка сапробности и трофического статуса исследованных водоемов

6.1. Сапробиологическая характеристика. Впервые были изучены многолетние колебания уровня сапробности Суздальских озер, его сезонные изменения и структура индикаторных сообществ фитопланктона. В различные годы средние за сезон (V-X) значения индекса сапробности в Верхнем озере составляли 1,84-1,94, в Среднем — 1,57-1,83, в Нижнем — 1,61-2,09. Показатели зон повышенной сапробности наибольшее значение имели в Нижнем озере. Во время весенних пиков фитопланктона в озерах, как правило, преобладали олиго-, олиго- β - и β -олигомезосапробные виды — *Chrysococcus rufescens*, *Cryptomonas marssonii*, *Aulacosira ambigua*, *Asterionella formosa* и др. (рис. 6).

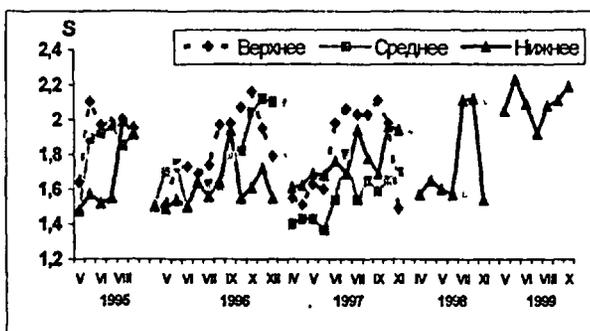


Рис. 6. Сезонная и межгодовая динамика индексов сапробности (S) в Суздальских озерах

Максимальные величины индекса в водоемах отмечались летом и в первую половину осени. Массовое развитие на протяжении основной части вегетационного сезона β -мезосапробов определяло общую сапробность Верхнего Суздальского озера как среднюю для β -мезосапробной зоны. Уровень сапробности в Среднем озере в течение 1995-1997 гг. понизился с β -мезо- до β -олигомезосапробного, что было связано с изменением комплекса доминантов — преобладанием пеннатных диатомовых и криптонад. В начале исследований Нижнее озеро характеризовалось как β -олигомезосапробное из-за массового развития диатомей. По мере изменения состава доминантов и усиления роли синезеленых, в первую очередь *Planktothrix*, а также увеличения численности хлорококковых и эвгленовых, общий уровень сапробности в водоеме повысился и в настоящее время соответствует верхним значениям β -мезосапробной зоны (рис. 6). Уровень

сапробности по фитопланктону исследованных озер соответствует III классу качества — умеренно загрязненные воды (Баринава, Медведева, 1996).

6.2. Оценка трофического статуса исследованных водоемов. По величинам средней за сезон биомассы (табл. 3), типу сезонной динамики биомассы, составу доминирующих видов фитопланктона и средней концентрации хлорофилла «а» Верхнее и Среднее Суздальские озера можно считать мезотрофными, а Нижнее Суздальское озеро эвтрофным (Трифопова, 1986,1990).

При анализе многолетних данных выявлена прямая зависимость содержания хлорофилла «а» и биомассы водорослей от концентрации фосфора, причем содержание Хл а более тесно связано с количеством $P_{\text{общ}}$ а биомасса — $P_{\text{мин}}$. Связь этих показателей с концентрацией общего азота и нитратов не установлена. Прослежена обратная связь прозрачности воды от биомассы фитопланктона в Суздальских озерах.

Таблица 3

Среднесезонная биомасса фитопланктона (В, мг/л) и соотношение (%) основных групп водорослей Суздальских озер

Год	Bacillariophyta		Chlorophyta		Cryptophyta		Dinophyta		Cyanophyta		Прочие		Общая биомасса
	В	%	В	%	В	%	В	%	В	%	В	%	
Верхнее Суздальское озеро													
1995	0,38	13	1,43	51	<0,01	<1	0,68	24	0,07	2	0,26	9	2,83
1996	0,71	32	0,59	27	0,36	16	0,32	15	0,09	4	0,14	6	2,21
1997	0,58	28	1,05	51	0,05	2	0,28	14	0,02	1	0,08	4	2,06
2003	1,34	32	2,15	51	0,31	7	0,17	4	0,10	2	0,15	4	4,22
Среднее Суздальское озеро													
1995	0,58	17	1,27	38	<0,01	<1	0,48	14	0,13	4	0,84	25	3,31
1996	0,93	49	0,07	4	0,23	12	0,14	7	<0,01	<1	0,51	27	1,89
1997	0,84	50	0,13	8	0,01	<1	0,25	15	<0,01	<1	0,43	26	1,67
2003	1,08	27	0,10	3	1,30	32	1,15	29	0,01	<1	0,35	8	3,99
Нижнее Суздальское озеро													
1995	1,70	27	1,17	18	0,06	1	1,79	28	0,18	3	1,47	23	6,37
1996	5,44	76	0,18	2	0,03	<1	0,68	9	0,06	1	0,81	11	7,20
1997	2,47	36	0,40	6	0,17	2	2,57	37	0,10	1	1,20	18	6,91
1998	1,37	13	0,15	1	2,17	21	0,79	7	5,11	49	0,89	9	10,48
1999	2,00	18	0,89	8	1,22	11	1,02	9	4,87	44	1,12	10	11,12
2003	1,97	8	0,10	<1	1,37	5	0,73	3	19,89	80	0,89	3	24,95

Дополнительные наблюдения, проведенные в 2003г., показали, что в настоящее время биомасса фитопланктона во всех озерах возросла в 2 раза (табл. 3). Верхнее и Среднее озера остаются мезотрофными, при этом очевидна тенденция повышения их трофического статуса. Нижнее Суздаль-

ское озеро перешло в разряд высокоэвтрофных водоемов с полным доминированием синезеленых водорослей, преимущественно *Planktothrix agardhii*.

Глава 7. Влияние добавок биогенных элементов на озерный фитопланктон

Известно, что уровень развития фитопланктона определяется поступлением в водоем биогенных элементов, в первую очередь фосфора и азота, а также их соотношением в водной толще (Гусева, 1952, 1975; Lund, 1965, 1969; Трифонова, 1979, 1990; Михеева, 1983; Reynolds, 1984 и др.). Водоемы, находящиеся в черте крупных городов и подверженные интенсивному антропогенному воздействию, получают значительные количества биогенов с бытовыми и промышленными стоками, преимущественно в минеральной форме (Стравинская и др., 1984). Для изучения реакции водорослей на поступление дополнительных количеств биогенов широко используется метод биологических испытаний, позволяющий определить факторы, лимитирующие развитие фитопланктона, и прогнозировать возможные негативные изменения водных объектов (Гусева, 1952; Федоров и др., 1972; Schelske et al., 1975; White, Payne, 1977; Петрова, 1978; Tilman et al., 1986; Никулина, 1988; Takano et al., 2001, и др.). Эксперименты по влиянию добавок минеральных форм азота и фосфора на фитопланктонные сообщества двух Суздальских озер — мезотрофного Верхнего и эвтрофного Нижнего проводились в мае, августе и октябре 1999г. Вода для опытов отбиралась в пелагиали озер, определялись исходные величины хлорофилла «а», видовой состав и биомасса водорослей, а также содержание биогенных элементов. Остальная вода разливалась в пластиковые 2-х литровые бутылки, в которые вносили в определенных концентрациях фосфор в виде KH_2PO_4 и азот в виде $Ca(KO_3)_2$ отдельно и в комплексе. Емкости экспонировали 5 суток при естественном освещении.

7.1. Изменение видового состава и биомассы фитопланктона в Верхнем Суздальском озере в экспериментах с добавками биогенных элементов.

Весна. В исходной пробе было определено 37 таксонов водорослей. Биомасса фитопланктона составляла 1,81 мг/л, концентрация хлорофилла «а» — 4,64 мкг/л (рис. 7). В планктоне преобладали криптозоаны (29 %) *Cryptomonas marssonii* и *Chroomonas acuta*, диатомовые (виды рода *Cyclotella*), и зеленые (39%) — *Tetraedron minimum*, *Coelastrum reticulatum*, *Cosmarium bioculatum*, виды *Scenedesmus*, и дшпофлагелляты (*Peridinium cinctum*). После экспозиции в опытах определено 25-36 таксонов. Биомасса фитопланктона в контроле возросла на 39 %, концентрация Хл *a* при этом сократилась на 23 %. Доминантами как по видовому разнообразию, так и

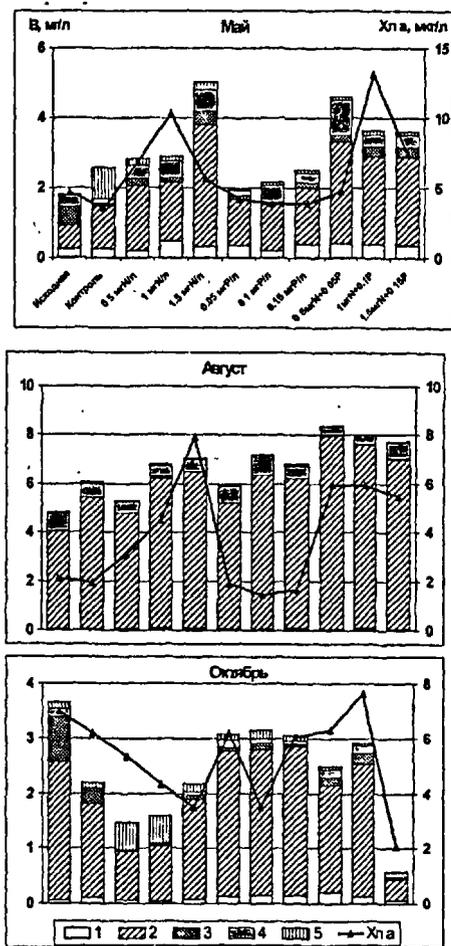


Рис. 7. Изменение биомассы фитопланктона (В) и концентрации хлорофилла «а» (Хл а) в воде Верхнего Суздальского озера по результатам экспериментов. 1 — *Bacillariophyta*, 2 — *Chlorophyta*, 3 — *Cryptophyta*, 4 — *Dinophyta*, 5 — прочие

(рис. 7). По биомассе преобладали хлорококковые *Oocystis lacustris*, *Tetradron minimum*, *Coelastrum reticulatum*, *Chlorella spp.* и десмидиевые

по биомассе (57-70%) во всех вариантах эксперимента были зеленые водоросли. Наиболее отчетливый положительный эффект наблюдался при совместном внесении азота и фосфора — прирост биомассы составил 44-84% (в среднем 58%), Хл а — 33-269% (в среднем 137%). Добавление одного фосфора оказало слабое отрицательное влияние на фитопланктон, уровень биомассы снизился на 14-21%, а концентрация Хл а возросла на 8-17% (рис. 7). Реакция основных групп водорослей на добавки биогенов была неоднозначной. Так, большинство хлорококковых интенсивно развивалось при добавлении 1,5 мгN/л и обоих биогенов (N+P) одновременно. Десмидиевые (*S. Biloculatum* и др.) лучше всего развивались при внесении азота.

Лето. В исходной пробе было 34 таксона водорослей. Основу сообщества составляли зеленые водоросли (58%), им сопутствовали синезеленые (13%). Общая биомасса достигала 4,85 мг/л, при этом концентрация хлорофилла «а» была очень низкой и не превышала 2,14 мкг/л

Cosmarium quadratum и др., составлявшие до 83 % общей биомассы. Уровень биомассы в контроле увеличился на 26 %.

В большинстве опытов по сравнению с контролем наблюдался положительный эффект — незначительно возрастало таксономическое разнообразие за счет хлорококковых и диатомовых водорослей из родов *Scenedesmus*, *Pediastrum*, *Fragilaria*, биомасса увеличивалась на 4–38%. Максимальный отклик фитопланктона отмечался при совместном внесении биогенных элементов, прирост биомассы составил 27–38 %, Хл а — 181–205 % (рис. 7). Во всех вариантах полностью преобладали зеленые водоросли, составлявшие 86–94 %. Состав доминирующего комплекса практически не изменился.

Осень. В исходной пробе было обнаружено 42 таксона. По сравнению с августом, состав доминирующих видов практически не изменился. Биомасса фитопланктона в начале октября достигала 3,66 мг/л, концентрация Хл а — 6,98 мкг/л (рис. 7). Преобладали зеленые водоросли (69 %) *Cosmarium bioculatum*, *Oocystis lacustris*, *Tetraedron minimum*, и криптомонады (29 %) — *Cryptomonas marssonii*. После эксперимента количественные показатели фитопланктона в контроле и во всех вариантах с добавками уменьшились по сравнению с исходной пробой. В контроле наблюдалось снижение биомассы на 40 %, содержания Хл а — на 11 % за счет ослабления вегетации криптомонад и практически всех доминантов. По сравнению с контролем в 5 вариантах эксперимента из 9 наблюдался положительный эффект, особенно в присутствии фосфора. При добавлении фосфора биомасса водорослей возросла на 39–44 % (рис. 7). Добавление одного азота или больших доз N+P угнетающе действовало на развитие водорослей. Одновременно уменьшалось таксономическое разнообразие фитопланктона за счет выпадения ряда зеленых водорослей (*Coehstrum reticulatum*, виды рода *Scenedesmus*).

7.2. Изменение видового состава и биомассы фитопланктона в Нижнем Суздальском озере в экспериментах с добавками биогенных элементов

Весна. В исходной пробе определили 61 таксон водорослей. Биомасса фитопланктона в конце мая составляла 11,33 мг/л, концентрация хлорофилла «а» — 14,99 мкг/л (рис. 8). Доминировали синезеленые (60 %), в первую очередь *Planktothrix agardhii* Субдоминантами были *Aphanizomenon flos-aquae*, *Aulacosira ambigua*, *Fragilaria crotonensis*, *Cryptomonas marssonii*, виды родов (*Ulothella* и *Stephanodiscus*). После внесения добавок количество таксонов в контроле и во всех опытах сократилось, особенно при внесении больших доз азота, в результате выпадения золотистых и криптомонад, а также некоторых диатомей и хлорококковых. Биомасса в

контроле возрсла на 58 % (рис. 8), в основном за счет развития диатомо-

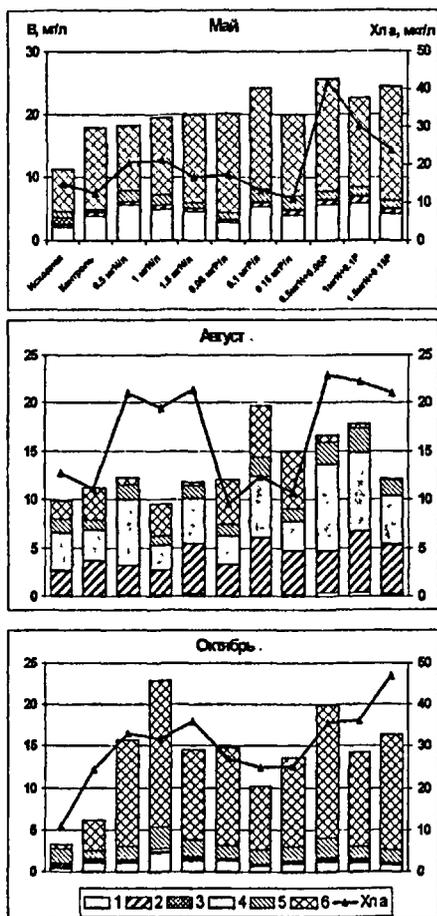


Рис. 8. Изменение биомассы фитопланктона (B) и концентрации хлорофилла «а» (Хл а) в воде Нижнего Суздальского озера по результатам эксперимента. 1 — *Bacillariophyta*, 2 — *Chlorophyta*, 3 — *Cryptophyta*, 4 — *Dinophyta*, 5 — *Euglenophyta*, 6 — *Cyanophyta*

вых и *P. agardhii*, численность которых увеличилась в среднем в 2 раза. Биомасса водорослей по сравнению с контролем возрсла на 27–44 %, содержание Хл а — на 90–233 %. Результат внесения одного фосфора был ниже, чем при N+P, прирост биомассы составил в среднем 20 %, Хл а — 11 %. Во всех вариантах опытов доминировали синезеленые водоросли, их роль в планктоне достигала 56–74 %, наибольший отклик наблюдался при совместном внесении добавок. Диатомовые составляли до 31 % общей биомассы (рис. 8).

Лето. В исходной пробе обнаружено 52 таксона водорослей. Биомасса фитопланктона в авгу-

сте составляла 9,89 мг/л, концентрация Хл а — 12,69 мкг/л (рис. 8). Биомасса определялась массовой вегетацией *Ceratium hirundinella*, *Peridiniopsis elpatiewskyi* и др. Внесение биогенов вызвало заметное увеличение видового разнообразия фитопланктона, в основном хлорококковых из родов *Scenedesmus*, *Coelastrum*, *Pediastrum* и др., особенно при добавках азота отдельно и в комплексе. Биомасса водорослей в контроле возрсла на 14 %, концентрация Хл а снизилась на 10% (рис. 8). В планктоне преобладали в равных количествах зеленые, синезеленые и динофитовые водоросли. Наибольший отклик фитопланктона

(в среднем на 37 %) был получен при внесении фосфора отдельно и в сочетании с азотом. Максимальная биомасса — 19,20 мг/л отмечалась при добавлении 0,1 мг фосфора. Внесение азота практически не вызвало эффекта. Прирост концентрации Хл я, наоборот, был наибольшим в присутствии азота отдельно и в комплексе, а добавление фосфора практически не оказывало влияния (рис. 8). Наибольший отклик отмечался для синезеленых, а роль *Cyanophyta* в целом достигала 39 %. Максимальное увеличение количества *P. agardhii* наблюдалось при добавлении фосфора. Внесение нитратов, напротив, угнетающе действовало на синезеленые водоросли.

Осень. В исходной пробе и контроле было обнаружено по 37 таксонов водорослей. Биомасса в начале октября составляла 3,35 мг/л, концентрация Хл *a* — 11,11 мкг/л. В планктоне доминировали эвгленовые водоросли (57 %), в основном *Trachelomonas volvocina*, им сопутствовали синезеленые, диатомовые и криптомонады (рис. 8). Внесение биогенов вызвало небольшое увеличение видового богатства фитопланктона — в среднем на 10-15 %. После проведения эксперимента биомасса водорослей в контроле возросла на 82 %, концентрация Хл *a* — на 120 % (рис. 8). Основным доминантом выступали синезеленые водоросли (58%), в первую очередь *P. agardhii*. Наибольший положительный эффект наблюдался в присутствии азота. Биомасса фитопланктона при добавлении азота и N+P возросла в среднем на 190% и на 176% соответственно. Концентрация хлорофилла наиболее активно увеличивалась при добавлении N+P (в среднем на 62 %). Внесение отдельно фосфора вызвало рост биомассы водорослей на 67-142 %. Во всех вариантах эксперимента полностью доминировали синезеленые водоросли (до 84 %), прежде всего *P. agardhii*. Добавление фосфора отдельно и в комплексе стимулировало вегетацию некоторых хлорококковых (*Dictyosphaerium pulchellum* и др.).

Результаты эксперимента показали, что развитие фитопланктона в мезотрофном Верхнем Суздальском озере, где доминируют зеленые водоросли, весной и летом лимитируется в основном азотом, в эвтрофном Нижнем озере — фосфором. В осенних экспериментах для Верхнего озера выявлено угнетающее действие дополнительных количеств азота на фитопланктон, добавление отдельно фосфатов практически не оказывало воздействия. В Нижнем озере осенью внесение азота вызвало значительное (до 5 раз) увеличение биомассы синезеленых, прежде всего *Planktothrix agardhii*. Можно предположить, что развитие этого вида будет увеличиваться по мере усиления биогенной нагрузки за счет бытовых стоков, как это наблюдалось в других урбанизированных водоемах, в том числе таких крупных озерах Европы, как Женевское, Цюрихское и Боденское (Россолимо, 1977), американском оз. Вашингтон (Edmondson, 1981) и озерах Берлина (Chorus, Wessler, 1988). Полное преобладание *Planktothrix* по нашим данным на-

блюдается в гиперэвтрофном водохранилище Сестрорецкий Разлив, расположенном в черте г. С.-Петербурга, в результате существенного увеличения биогенной нагрузки на водоем (Трифонова и др., 2003; Павлова, Трифонова, 2003).

Выводы

1. В фитопланктоне Суздальских озер обнаружено 312 таксонов водорослей из 111 родов, 23 порядков и 8 отделов. В Верхнем, Среднем и Нижнем озерах отмечено 184, 182 и 279 таксонов соответственно. По числу видов доминируют зеленые (41 %), диатомовые (21 %), синезеленые (11 %) водоросли. Отличительной особенностью является большое разнообразие эвгленовых, особенно в Нижнем озере. По коэффициентам флористической общности СёренСена Суздальские озера близки по составу фитопланктона, степень сходства составляет 70-71 %. Основу планктонной альгофлоры озер составляют широко распространенные космополитные (83 % общего числа форм с известной характеристикой), истинно-планктонные (76 %), р-мезосапробные (64 %) виды водорослей, индифферентные к солености (75 %) и активной реакции воды (61 %).

2. К структурообразующим относятся около 35 видов диатомовых, зеленых, динофитовых и синезеленых водорослей. Представители эвгленовых и криптоноад обычно являются субдоминантами. За период исследований отмечено увеличение численности диатомовых в планктоне Верхнего и Среднего озер, снижение роли зеленых в Среднем озере и резкая смена доминиантов в Нижнем озере, связанная с массовым развитием синезеленых водорослей в последние годы.

3. В течение периода наблюдений 1995-97 гг. биомасса фитопланктона в Верхнем Суздальском озере колебалась от 0,4 до 5,5 мг/л, в разные годы составляя в среднем за сезон 2,0-2,8 мг/л, в Среднем — соответственно 0,6-6,8 мг/л и 1,7-3,3 мг/л. Уровень биомассы фитопланктона в Нижнем озере был заметно выше — от 1,2 до 31,9 мг/л, в среднем за сезон — 6,4-11,1 мг/л. Усиление биогенной нагрузки в результате увеличения количества бытовых стоков с урбанизированного водосбора определило СМейу структурообразующих видов и групп водорослей и значительное возрастание биомассы фитопланктона в водоеме. В настоящее время основными доминантами являются синезеленые и, -в первую очередь, *Planktothrix agardhii*, составляющие до 80 % среднесезонной биомассы.

4. Индексы разнообразия Шеннона в исследованных водоемах изменялись в пределах 0,77-4,28 бит/экз. В сезонном ходе снижение индекса обычно совпадало с интенсивной вегетацией монодоминантных сообществ водорослей.

5. Содержание хлорофилла «а» в Верхнем озере изменялось в пределах 2,5-6,9, Среднем — 0,9-19,2, Нижнем — 12,3-48,9 мкг/л, составляя в среднем 4,9, 6,4 и 25,1 мкг/л соответственно. Отношение Хл а/В колебалось от 0,14 до 0,97 % (в среднем 0,26, 0,43 и 0,41 % соответственно). Отмечалось снижение отношения Хл а/В по мере возрастания обилия водорослей. Четкой закономерности в сезонной динамике удельного содержания хлорофилла от таксономического состава фитопланктона не прослеживалась.

6. Выявлена прямая зависимость содержания хлорофилла «а» и биомассы водорослей от концентрации фосфора, причем содержание Хл а более тесно связана с количеством общего фосфора, а биомасса — минерального. Четкой связи этих показателей с концентрацией общего азота и нитратов не установлено. Показана отрицательная зависимость прозрачности воды от биомассы фитопланктона в озерах.

7. Уровень сапробности по фитопланктону Верхнего Суздальского озера определен как средний для β-мезосапробной зоны, Среднего озера — β-олигомезосапробной; в Нижнем озере за период наблюдений он постепенно повышался от β-олигомезосапробного до ' верхних границ β-мезосапробного. В целом, для всех озер уровень сапробности соответствует III классу качества — умеренно загрязненные воды.

8. По уровню средних за сезон величин биомассы фитопланктона, типу ее сезонной динамики, составу доминирующих видов и средней концентрации хлорофилла «а» Верхнее и Среднее Суздальские озера следует отнести к мезотрофным, а Нижнее Суздальское озеро — к эвтрофным. Результаты 2003 г. свидетельствуют о постепенном повышении трофического статуса исследованных озер, связанном с усилением антропогенного воздействия со стороны урбанизированного ландшафта. Нижнее озеро в настоящее время можно характеризовать как высокоэвтрофное.

9. Экспериментально показано, что в мезотрофном Верхнем Суздальском озере развитие фитопланктона, представленного в основном зелеными водорослями, весной и летом лимитировалось азотом, а осенью — фосфором. Состав доминирующих видов при этом практически не изменялся. В эвтрофном Нижнем Суздальском озере биомасса водорослей весной и летом лимитируется в основном содержанием фосфора. Осенью внесение азота вызывало значительное (до 5 раз) увеличение биомассы синезеленых, прежде всего *Planktothrixagardhii*.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Павлова О.А. Современное состояние фитопланктона Суздальских озер г. С.-Петербурга // Эколого-физиологические исследования водорослей и их значение для оценки состояния природных вод. Ярославль. 1996. С. 79-81.

2. Павлова О.А. Десмидиевые и хлорококковые водоросли в планктоне Суздальских озер г. С-Петербурга // Тез. докл. VI молодежной конференции ботаников. СПб. 1997. С. 30.

3. Павлова О.А. Состав и сезонная динамика фитопланктона оз. Нижнее Суздальское // Проблемы рыбного хозяйства на внутренних водоемах. Тез. докл. совещания молодых ученых. СПб. 1999. С. 23-24.

4. Павлова О.А. Состояние фитопланктона малых водоемов г. С-Петербурга под влиянием урбанизированного ландшафта // Региональная экология. СПб. 1999. № 4. С. 70-74.

5. Павлова О.А. Видовой состав фитопланктона и оценка сапробности трех озер урбанизированного ландшафта // «Гидробиотика 2000». Тез. докл. V Всероссийской конф. по водным растениям. Борок. 2000. С. 65-66.

6. Павлова О.А. Таксономический состав фитопланктона Суздальских озер // Тез. докл. VII молодежной конференции ботаников. СПб. 2000. С. 39.

7. Павлова О.А. Влияние добавок минеральных солей азота и фосфора на фитопланктон озер с различным трофическим статусом // Тез. докл. VIII Съезда Гидробиологического общества. Калининград. 2001. С. 199.

8. Pavlova O., Trifonova I. Composition and abundance of green algae in phytoplankton of urbanized lakes (St.-Petersburg, Russia) // Abstracts of IV International Symposium Biology and Taxonomy of Green Algae, Smolenice, Slovakia. 2002.

9. Павлова О.А. Изучение влияния добавок биогенных элементов на фитопланктон эвтрофного озера // Тез. докл. XII Международной конференции молодых ученых. Борок. 2002. С. 45-46.

Ю. Павлова О. Л. Экспериментальное изучение влияния добавок биогенных элементов на фитопланктон эвтрофного загрязняемого озера // Биология внутренних вод: проблемы экологии и биоразнообразия. Борок. 2002. С. 166-172.

И. Трифонова И.С., Павлова О.А. Диатомовые водоросли в планктоне урбанизированных водоемов г. Санкт-Петербурга // Морфология, экология и биогеография диатомовых водорослей. Тез. докл. VIII школы диатомологов России и стран СНГ. Борок. 2002. С. 31-32.

12. Павлова О.Л. Фитопланктон // Водные объекты Санкт-Петербурга. СПб.: Символ. 2002. С. 131-136.

13. Павлова О.А., Трифонова И.С. Сукцессия массовых видов фитопланктона городских водоемов Санкт-Петербурга // Ботанические исследования в Азиатской России. Мат. XI съезда Русского ботанического об-ва. Барнаул: Азбука. 2003. Т. 1. С. 136-137.

14. Трифонова И.С., Генкал С.И., Павлова О.А. Состав и сукцессия диатомовых водорослей в планктоне городских водоемов Санкт-Петербурга // Ботанический журнал. 2003. Т. 88. № 11. С. 43-53.

15. Павлова О.А., Трифонова И.С. Таксономический состав фитопланктона городских водоемов Санкт-Петербурга // Новости сист. низших растений. 2004. Т. 48. (В печати).

Размножено с авторского экземпляра

Сдано в набор 03.03.2004 г.

Подписано к печати 03.03.2004 г.

Формат бумаги 30 х 44.

Печ. л. 1,5.

Усл. печ. л. 1,39.

Уч. изд. печ. л. 1,03.

Заказ 27.

Тираж 100 экз.

2004 г.

Типография ВМА

J-2 6415