

На правах рукописи



КРИВИНА ЕЛЕНА СЕРГЕЕВНА

**ТРАНСФОРМАЦИЯ ФИТОПЛАНКТОНА МАЛЫХ ВОДОЕМОВ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ
АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ**

Специальность:
03.02.08 – экология (биология)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

**Тольятти
2018**

Работа выполнена в лаборатории экологии простейших и микроорганизмов Института экологии Волжского бассейна РАН (г. Тольятти)

Научный руководитель: **Тарасова Наталья Геннадьевна,**
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии простейших и микроорганизмов Института экологии Волжского бассейна Российской академии наук (г. Тольятти)

Официальные оппоненты: **Яценко-Степанова Татьяна Николаевна,**
доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института клеточного и внутриклеточного симбиоза Уральского отделения Российской академии наук (г. Оренбург)

Палагушкина Ольга Викторовна,
кандидат биологических наук, доцент кафедры природообустройства и водопользования Института управления, экономики и финансов Казанского (Приволжского) федерального университета (г. Казань)

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «**Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского**» (г. Нижний Новгород)

Защита диссертации состоится **16 ноября 2018 г. в 13³⁰ ч.** на заседании диссертационного совета Д 002.251.02 при Институте экологии Волжского бассейна РАН по адресу: 445003, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Комзина, 10; тел.: 8(8482) 489977, E-mail: ievbras2005@mail.ru

Диссертационный совет Д 002.251.02 при ИЭВБ РАН:
тел: 8 (8482) 48-91-69, E-mail: dissovetievb@mail.ru

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ИЭВБ РАН, на сайте ИЭВБ РАН по адресу <http://www.ievbras.ru> и на сайте ВАК <http://www.vak.ed.gov.ru>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.Л. Маленев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Малые водоемы урбанизированных территорий имеют большое экологическое значение и эстетическую ценность. При этом они испытывают антропогенную нагрузку, в результате чего нарушаются циклы их естественного функционирования (Россолимо, 1977; Gopal, 1999; Kleeberg, 2003; и др.).

В XX веке в ряде водоемов Европы было отмечено массовое развитие нитчатых безгетероцистных форм синезеленых водорослей, ранее относимых к роду *Oscillatoria* (плактотрихетовый или S₁-тип). Такое состояние озер называют «осцилляториевой» болезнью, развитие которой связывают с нарастающим антропогенным эвтрофированием. Трансформация фитопланктона антропогенно нагруженных водоемов характеризуется переходом от преобладания в его составе синезеленых водорослей M-типа (*Microcystis*) и H₁-типа (*Anabaena*, *Aphanizomenon*) к S₁-типу. Несмотря на прогрессивную экспансию синезеленых водорослей S₁-типа в водоемах умеренной зоны, данных по развитию фитопланктона в озерах плактотрихетового типа, особенно в переходный период, немного (Лященко, 2001; Reynolds et al., 2002; Kleeberg, 2003; Сиделев, Бабаназарова, 2011).

Одной из наиболее уязвимых групп малых водоемов являются те, которые подвергались техногенной эксплуатации (Спиридонов, 2002). Некоторые из них уже перестали быть необходимы промышленным предприятиям, и на отдельных водоемах ведутся работы по сохранению и восстановлению (Мингазова, 1998; Birch S., McCaskie J., 1999; Anneville O. et al., 2002; Протисты и бактерии..., 2009). При этом отмечается недостаточное количество данных о процессах, происходящих в период их самоочищения, в т.ч. при прогнозировании развития «нулевого» сценария рекультивации – без вмешательства человека в процессы самовосстановления нарушенных экосистем (Спиридонов, 2006).

На землях г.о. Тольятти расположена система малых водоемов, различающихся по происхождению, характеру и уровню антропогенной нагрузки, – Васильевские озера. Изучение их экосистем проводилось сотрудниками ИЭВБ РАН в конце XX в. (Выхристюк, 1993; Бычек и др., 2000; Номоконова и др., 2001; Розенберг и др., 2001; Тарасова, 2006). С 2013 г. сотрудники лаборатории экологии простейших и микроорганизмов ИЭВБ РАН возобновили исследование этой системы водоемов, в связи с мероприятиями по «биологической реабилитации», проводящимися на оз. Б. Васильевское.

Цель работы – анализ многолетних изменений состава и структуры фитопланктона ряда Васильевских озер и выявление особенностей его развития в зависимости от степени и характера антропогенной нагрузки.

Задачи работы:

1. Определить таксономический состав альгофлоры планктона пяти водоемов, входящих в систему Васильевских озер, и отметить произошедшие в ней изменения за более чем 20-летний период.

2. Провести флористический и эколого-географический анализ альгофлоры планктона исследуемых водоемов и установить многолетние изменения с учетом степени антропогенной нагрузки.
3. Оценить изменение показателей количественного развития фитопланктона и характер его сезонной динамики в различные периоды исследования в зависимости от антропогенной нагрузки.
4. Установить особенности структурной организации сообщества фитопланктона и выявить произошедшие в ней изменения за указанный выше период времени с учетом показателей видового разнообразия и выравненности.
5. Оценить эффективность альголизации как метода биологической реабилитации применительно к сообществу водорослей оз. Б. Васильевское.

Научная новизна работы.

Впервые для пяти водоемов из системы Васильевских озер, различающихся по происхождению, характеру и уровню антропогенной нагрузки, проведен сравнительный анализ таксономического состава и показателей количественного развития фитопланктона с учетом изменений, произошедших за более чем 20-летний период.

Установлено, что за это время в фитопланктоне «природных» водоемов существенно возросла роль нитчатых безгетероцистных форм синезеленых водорослей S₁-типа. Показано, что основными факторами, определяющими состав преобладающих форм синезеленых водорослей, являются концентрация азота (особенно его аммонийной формы) и соотношение общего азота и фосфора.

На примере «техногенных» озер выявлены особенности самовосстановления водоемов после прекращения промышленной эксплуатации, но без проведения работ по рекультивации («нулевой вариант»).

Теоретическая значимость работы. Полученные данные расширяют представления об особенностях развития фитопланктона малых водоемов урбанизированных территорий в зависимости от степени и характера антропогенной нагрузки. Проведенная работа позволила научно обосновать несостоятельность мероприятий биологической реабилитации водоемов по методике Богданова Н. И. с использованием зеленой водоросли *Chlorella vulgaris* (штамм запатентован как *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 ARW).

Практическая значимость работы. Результаты работы использовались при разработке природоохранных мероприятий предприятием ООО «БМПО», ООО «СтройПроектИзыскания», при организации экологического мониторинга состояния водных экосистем и кормовой базы рыб ФГБУ «Главрыбвод». Материалы исследований могут быть использованы при чтении учебных курсов по дисциплинам «Прикладная экология» и «Биоиндикация».

Полученные результаты могут быть применены для оптимизации мер по сохранению и восстановлению экосистем водных объектов, подвергшихся техногенному воздействию, в т. ч. при разработке так называемого «нулевого сценария».

Связь с научно-исследовательскими программами и темами. Работа проведена в рамках плана научно-исследовательских работ ИЭВБ РАН по теме «Биологическое разнообразие» Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Структура и показатели количественного развития фитопланктона малых водоемов урбанизированных территорий умеренной зоны в значительной степени зависят от степени и характера антропогенной нагрузки.
2. Определяющая роль в формировании общей численности и биомассы фитопланктона малых водоемов урбанизированных территорий умеренной зоны принадлежит синезеленым водорослям практически весь вегетационный период. Основными факторами, определяющими состав преобладающих форм синезеленых водорослей, являются концентрация азота (особенно его аммонийной формы) и соотношение общего азота и фосфора.
3. В условиях возрастающей антропогенной нагрузки в малых водоемах урбанизированных территорий умеренной зоны происходит увеличение роли нитчатых безгетероцистных форм синезеленых водорослей S_1 -типа (r-стратегии).
4. В водоемах, подвергшихся техногенной эксплуатации, по мере их самоочищения, отмечалось усложнение таксономической структуры и усиление позиции динофлагеллят (k-стратегии) в формировании общей биомассы фитопланктона. После прекращения промышленной эксплуатации таксономическая структура и видовой состав альгофлоры «техногенных» водоемов сближаются с «природными».
5. Альголизация, как метод биологической реабилитации водоемов, является неэффективной.

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались и обсуждались на: XI и XIII Междунар. науч. - практ. конф. «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики» (Тольятти, 2014; 2016); III Междунар. научн. конф. «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге» (Борок, 2014); Всерос. (с междунар. участием) науч. конф. «Биологические аспекты распространения, адаптации и устойчивости растений» (Саранск, 2014; 2016); V и VI Междунар. науч. конф. «Актуальные проблемы экологии Волжского бассейна» (Тольятти, 2015; 2017); Междунар. научн. конф. «История ботаники в России», посвященная 100-летию Русского ботанического общества (Тольятти, 2015); III (XI) Междунар. Ботаническая конф. молодых ученых (Санкт-Петербург, 2015); X Всерос. научн.-практич. конф. молодых ученых по проблемам водных экосистем «PontusEuxinus 2017» (Севастополь, 2017).

Публикации результатов исследований. По теме диссертации была опубликована 21 работа, в том числе 8 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, из которых 1 входит в международную базу данных научного цитирования «Scopus».

Декларация личного участия автора. Автор принимал личное участие в полевых наблюдениях 2013–2014 гг. Обработка проб, включая те, что хранились в

альготекте лаборатории экологии простейших и микроорганизмов ИЭВБ РАН, обобщение и анализ данных, в т. ч. статистическая обработка, проведены автором лично. Формулировка основных положений и написание текста диссертации осуществлялась автором по плану, который был согласован с научным руководителем.

Объем и структура диссертации. Работа изложена на 186 страницах, состоит из введения, 8 глав, выводов, списка литературы (229 источников, из которых 58 на иностранных языках), одного приложения. Содержит 27 таблиц, включая приложение, и 29 рисунков.

Благодарности. За помощь в сборе материалов и всестороннюю поддержку автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю к.б.н. Тарасовой Наталье Геннадьевне и всему коллективу лаборатории экологии простейших и микроорганизмов ИЭВБ РАН.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА МАЛЫХ ВОДОЕМОВ УРБАНИЗИРОВАННОГО ЛАНДШАФТА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Проведен анализ публикаций по изучению фитопланктона малых водоемов урбанизированного ландшафта Европейской части России. Несмотря на распространение так называемой «осцилляториевой» болезни в водоемах, данных об особенностях многолетних изменений структуры и функционирования фитопланктона таких водоемов немного.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для работы послужили результаты исследований фитопланктона ряда Васильевских озер, расположенных на землях г. Тольятти: оз. Б. Васильевское, оз. Прудовиков, оз. Восьмерка, оз. Отстойник, оз. Шламонакопительное (рис. 1). С мая по октябрь в 1991-92 гг. и 2001 г. отбор проб осуществляли ежедекадно. В 2013 г. пробы отбирали ежемесячно, с июня по октябрь, в 2014 г. – в феврале и с апреля по ноябрь. Всего было отобрано и обработано около 500 альгологических проб.

Пробы отбирали батометром Руттнера, концентрировали методом прямой фильтрации, фиксировали 40-процентным раствором формалина (Методика изучения..., 1975).

Подсчет клеток водорослей осуществляли в камере Учинской. Расчет биомассы проводили по методу приведенных геометрических фигур (Кузьмин, 1975). Таксономическую принадлежность водорослей определяли по определителям серий: «Определитель пресноводных водорослей СССР» (1951, 1953, 1954, 1954, 1955, 1962, 1980, 1982, 1986), «Флора споровых растений СССР» (1952, 1960, 1966, 1976), «Визначник прісноводних водоростей Української РСР» (1948, 1953, 1975, 1977, 1978, 1979, 1986а, 1986б, 1990), «Диатомовые водоросли СССР» (1988, 1992), «Susswasserflora von Mitteleuropa» (1983, 1985, 1986, 1988, 1990, 1991а, 1991б, 2000).

При проведении флористического анализа были применены геоботанические методы (Толмачев, 1970, 1974; Шмидт, 1980, 1984).

Степень общности видового состава альгофлор водоемов оценивали с использованием коэффициента Серенсена (K_s). Уровень ценотического разнообразия и степень выравненности сообщества оценивали с помощью индексов Шеннона (H) и Пиелу (E) соответственно. Для оценивания степени доминирования отдельных видов использовали индекс доминирования Симпсона (S) (Мэгарран, 1992). Уровень трофности озер определяли по показателю общей биомассы фитопланктона (Трифонов, 1990).

Графический анализ проводили по установленной методике, адаптированной для водных экосистем (Оствальд, 1987; Колмар, 2006; Разумовский, 2009; 2012). Статистическую обработку материала проводили в пакете программ MS Excel 2010, Statistica (v. 8.0).

ГЛАВА 3. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВАСИЛЬЕВСКИХ ОЗЕР

Васильевские озера расположены на северо-восточной границе г. о. Тольятти. Происхождение озер различно. За исключением оз. Б. Васильевское, все они возникли в 50-60-е годы XX в. Их происхождение в основном связано со строительством автодорог и/или затоплением естественных понижений рельефа грунтовыми водами после заполнения Куйбышевского водохранилища. Оз. Отстойник – искусственный водоем с бетонированным ложем и склонами.

На экологическое состояние водоемов оказывают влияние деятельность предприятий северного промышленного узла г. Тольятти, садоводческих кооперативов и дач, поставляющих в них биогенные элементы. Два водоема подвергались техногенной эксплуатации: оз. Шламонакопительное использовалось как приемник золы и шлаков Тольяттинской ТЭЦ, оз. Отстойник – жидких отходов азотно-тукового производства ОАО «КуйбышевАзот». Однако с 1996 г. поступление отходов в во-

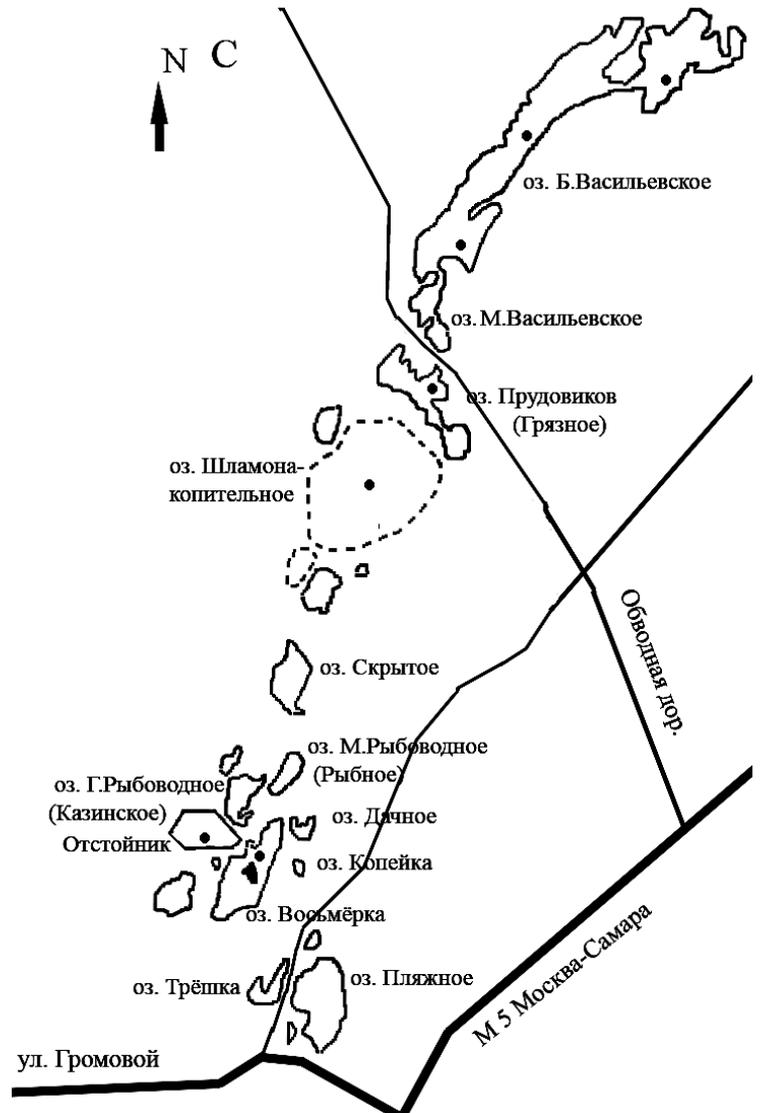


Рис. 1. Схема расположения Васильевских озер (Цит. по: Протисты и бактерии..., 2009)

- – станции комплексного отбора проб;
- - пересохший водоем.

доемы прекращается (Материалы..., 2012). До 1987 г. на территории водосбора озер находилась городская свалка. Все водоемы соединены единым водоносным горизонтом, что способствовало их загрязнению и деградации экосистем данных озер (Номоконова и др., 2001; Протисты и бактерии..., 2009).

В соответствии с классификацией антропогенно трансформированных водоемов, предложенной Оствальдом (1987), исследованные озера можно условно разделить на 2 группы: «природные» (оз. Б. Васильевское, оз. Прудовиков, оз. Восьмерка), в которых антропогенный фактор оказывал существенное влияние на формирование условий в экосистеме, но действовал вкуче с абиотическими и биотическими факторами среды; и «техногенные» (оз. Отстойник, оз. Шламонакопительное), в которых развитие экосистемы длительное время определялось интенсивностью промышленной эксплуатации.

Все исследованные водоемы по морфометрическим параметрам относятся к категории малых и очень малых водоемов (табл. 1) (Китаев, 1984).

Таблица 1

Морфометрические характеристика Васильевских озер
(Цит. по: Протисты и бактерии..., 2009; Номоконова и др., 2001)

Название	Происхождение	Площадь, м ²	Длина, м	Объем, м ³	Макс. глубина, м	Средняя глубина, м
оз. Б. Васильевское	Естественное	665000	2260	1064	3,3	1,6
оз. Восьмерка	Естественное	128750	700	395000	8,0	3,1
оз. Прудовиков(Грязное)	Естественное	22400	344	38702	6,5	1,7
оз. Шламонакопительное 1991-92 гг.	Естественное	205024	596	307536	1,8	1,5
оз. Шламонакопительное 2001 г.		101232	244	50616	1	0,5
оз. Отстойник	Искусственное	96559	446	135183	1,6	1,4

Существенные изменения от 1991 г. к 2014 г. отмечались в химическом составе воды и уровне минерализации. В группе «природных» водоемов минерализация возросла в 1,75 раза (в среднем с 254 мг/л до 445 мг/л), а класс гидрохимического состава воды изменился от кальций-гидрокарбонатного класса в 1991-92 гг. к натрий-гидрокарбонатному (содовому) в оз. Б. Васильевское и оз. Прудовиков и натрий-сульфатному в оз. Восьмерка в 2013-14 гг.

В «техногенных» водоемах уровень минерализации, напротив, уменьшился в 0,7 раза (в среднем с 7000 мг/л до 5200 мг/л). Класс гидрохимического состава вод в оз. Отстойник от 1991 г. к 2014 г. изменился с кальций-сульфатного на натрий-сульфатный. Это, вероятнее всего, связано с прекращением технической эксплуатации и изменением профиля антропогенной нагрузки на аграрно-рекреационный (Номоконова и др., 2001; Пименов, 2012; Горбунов, 2014; Огуречника, 2015).

Общеизвестно, что уровень количественного развития фитопланктона в естественных условиях лимитируется, прежде всего, содержанием фосфора и азота и их соотношением (Трифенова, 1990). В группе «природных» водоемов отмечалось

увеличение содержания азота, особенно его аммонийной формы. В результате этого роль лимитирующего фактора перешла к фосфору. В группе «техногенных» водоемов фосфор сохранил роль основного лимитирующего фактора, при этом его значимость с течением времени усилилась.

ГЛАВА 4. ТАКСОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГО-ФЛОРИСТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛЬГОФЛОРЫ ПЛАНКТОНА ВАСИЛЬЕВСКИХ ОЗЕР

4.1. Таксономическая структура альгофлоры планктона Васильевских озер в различные периоды исследования

Таксономический состав альгофлоры планктона Васильевских озер достаточно разнообразен: был зарегистрирован 451 таксон водорослей рангом ниже рода, которые относились к 15 классам, 23 порядкам, 59 семействам, 136 родам (табл. 1).

Таблица 1

Таксономическая структура альгофлоры планктона Васильевских озер

Отдел	Число				Число таксонов		
	Классов	порядков	семейств	родов	видовых	внутри-видовых	Всего
Cyanophyta	2	3	9	27	66	1	67
Chrysophyta	1	2	5	7	12	0	12
Bacillariophyta	2	6	16	24	85	16	101
Xanthophyta	1	1	2	3	8	0	8
Cryptophyta	1	1	1	3	16	0	16
Dinophyta	1	3	5	10	19	0	19
Raphidophyta	1	1	1	1	1	0	1
Euglenophyta	1	1	1	5	43	9	52
Chlorophyta	4	5	17	53	143	5	148
Streptophyta	1	1	2	3	23	4	27
Итого	15	24	59	136	416	31	451

Как и в значительной части пресноводных водоемов умеренной зоны, наибольшим видовым богатством отличались зеленые водоросли, затем следовали диатомовые, синезеленые и эвгленовые (Паутова и др., 1994; Герасимова, 1996; Конабеева и др., 1997; Охалкин, 1994, 1997; Попченко, 2001; и др.).

Наибольшим видовым богатством отличалась альгофлора «природных» водоемов, наименьшим – «техногенных» (рис. 2). В группе «природных» водоемов во все периоды исследования таксономическая структура альгофлоры планктона на уровне отделов и порядков оставалась постоянной. В группе «техногенных» водоемов она значительно изменилась.

Состав спектров «ведущих» по числу видовых и внутривидовых таксонов порядков, семейств и родов в группе «природных» водоемов был устойчив во времени. Изменения касались лишь ранговой значимости отдельных таксонов.

В группе «техногенных» водоемов после прекращения техногенной эксплуатации отмечалось расширение состава комплекса наиболее значимых таксонов различного ранга и изменение характера таксономической структуры в сторону политипичности, что свидетельствовало об улучшении их экологического состояния.

Вместе с тем, в водоемах существенно увеличилось число видов криптофитовых, динофитовых и эвгленовых водорослей, которые способны к миксотрофному типу питания. Возможно, что с прекращением жесткого техногенного воздействия на водоемы, в озерах начали активно протекать деструктивные процессы, в результате которых стало появляться доступное для питания миксотрофов органическое вещество, а также увеличилось число бактерий, которые являются пищей для них (Балашова, 1989; Копылов, 2011).

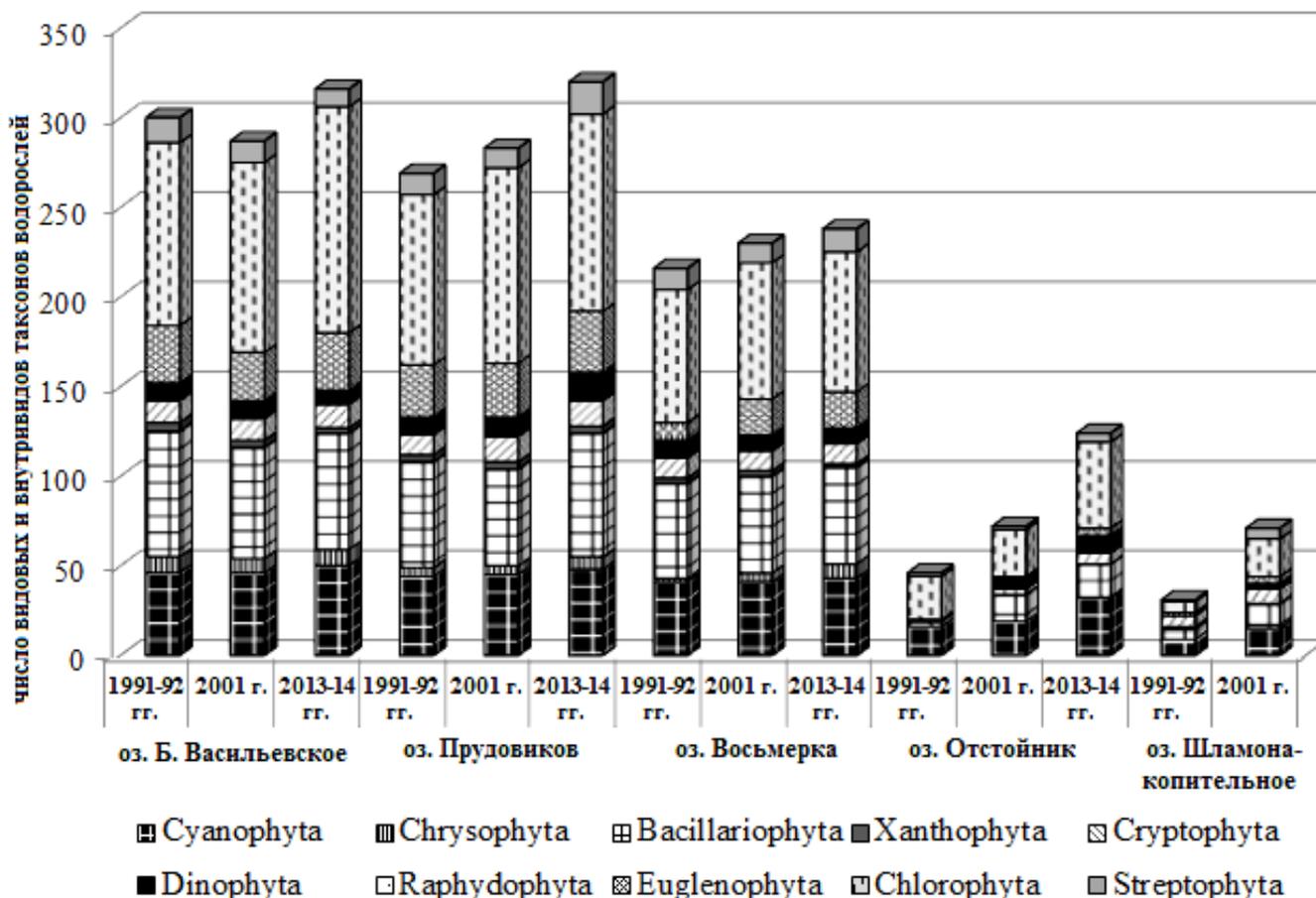


Рис. 2. Таксономическая структура Васильевских озер с 1991–2014 гг.

Стабильно невысокие коэффициенты родовой и видовой насыщенности и видовой состав спектров «ведущих» семейств и родов в исследуемых водоемах указывают на высокую антропогенную нагрузку и отсутствие биогенного лимитирования (Охапкин, 1997; Старцева, 2003; 2005). Уровень родовой насыщенности в группе «природных» водоемов (2,18–2,90) в каждый период исследования был выше, чем в «техногенных» (1,48–1,92).

4.2. Кластерный анализ таксономического состава альгофлоры планктона изучаемых водоемов на различных этапах исследования

Уровень сходства видового состава альгофлор отдельных водоемов в различные периоды исследования, варьировал в широком диапазоне ($K_s=22-84\%$).

При кластерном анализе данных видового состава альгофлоры отдельных водоемов было выявлено 2 группы озер: I – «природные водоемы» (оз. Б. Васильевское, оз. Прудовиков, оз. Восьмерка); II – «техногенные» водоемы (оз. Отстойник,

оз. Шламонакопительное) (рис. 3), что подтверждает правильность выбранной нами классификации. В кластере «природные» водоемы изменения, произошедшие в таксономическом составе альгофлор, были наименьшими ($K_s > 70\%$). Кластер «техногенные» озера достаточно разнороден ($K_s = 22-71\%$). Примечательно, что внутри этого кластера водоемы разделяются на группы, соответствующие временным рамкам «до» и «после» прекращения техногенной эксплуатации.

Исходя из значений K_s , можно сказать, что таксономический состав альгофлоры планктона «техногенных» водоемов после прекращения промышленной эксплуатации стал ближе к «природным»:

степень видового сходства возросла с 25% в 1991-92 гг. до 56% в 2014 г.

4.3. Эколого-географический анализ альгофлоры планктона исследуемых водоемов

Эколого-географический анализ альгофлоры планктона исследуемых водоемов показал, что зарегистрированные во всех озерах водоросли по отношению к местообитанию во все периоды исследования были представлены в основном планктонными организмами (56% от числа видовых и внутривидовых таксонов водорослей, для которых известно их распространение), с заметным участием бентосных (14%), планктонно-бентосных (14%) и литоральных форм (12%). По распространению преобладали космополиты (от 93%); по отношению к солености воды – индифференты (более 75%); по отношению к кислотности среды (pH) стабильно превалировали индифферентные формы (от 54%), при этом достаточно высока была доля обитателей щелочных вод – алкалифилов и алкалибионтов (около 38%).

Среди встреченных видов-сапробионтов основная часть – индикаторы низкой степени органического загрязнения (от χ -о до α -мезосапробной зон) – 49–53% от общего числа видов водорослей-сапробионтов. Водоросли – показатели средней степени органической нагрузки (β -мезосапробы) – составили соответственно 36–39%, и высокой (от β - α до ρ -сапробной зон) – 13–17%. Однако основной вклад в формирование показателей количественного развития фитопланктона вносили представители средней (36–42% по численности фитопланктона; 36–41% по биомассе) и высокой степени органического загрязнения (32–38% и 27–32% по численности и биомассе фитопланктона соответственно).

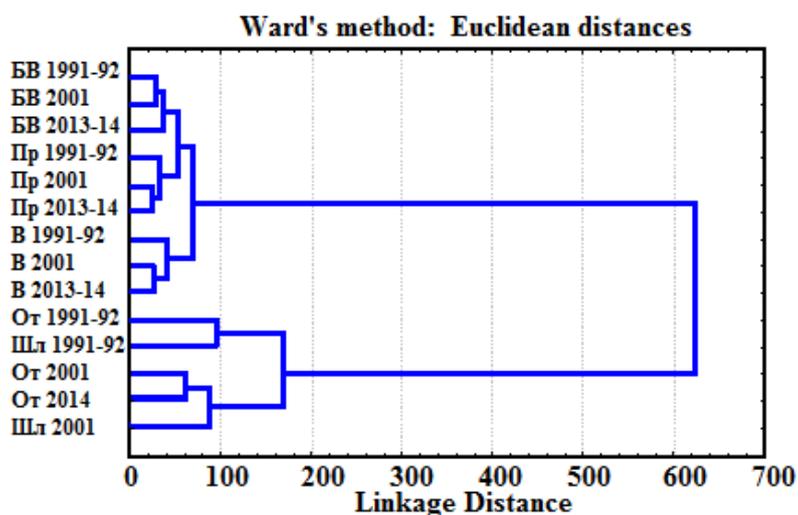


Рис 2. Дендрограмма флористического сходства альгофлоры водоемов: БВ – оз. Б. Васильевское, Пр. – оз. Прудовиков, В – оз. Восьмерка, Отс. – оз. Отстойник, Шл – оз. Шламонакопительное

ГЛАВА 5. СЕЗОННАЯ И МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОЛИЧЕСТВЕННОГО РАЗВИТИЯ ФИТОПЛАНКТОНА ИССЛЕДОВАННЫХ ВОДОЕМОВ

Многолетняя динамика показателей количественного развития водорослей представлена на рис. 3. Во всех исследованных водоемах с течением времени произошло увеличение численности и биомассы фитопланктона. Уровень органического загрязнения озер, рассчитанный по биомассе фитопланктона, также возрос от 1990-х к 2014 г.

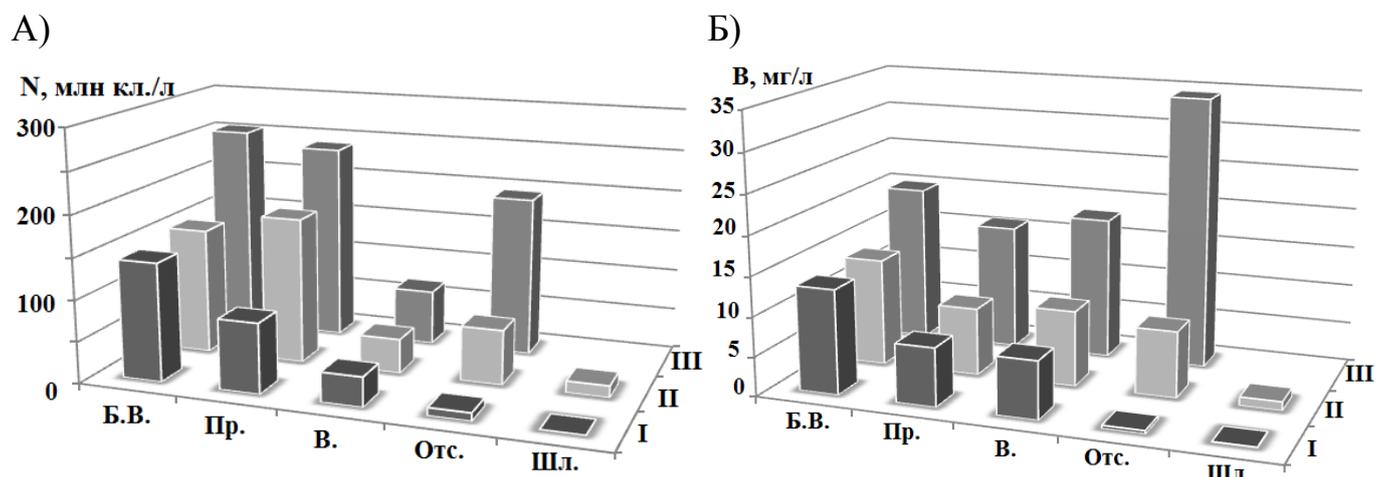


Рис 3. Многолетняя динамика средних значений численности (А) и биомассы (Б) фитопланктона Васильевских озер в 1991-2014 гг.

Обозначения: Б.В. – оз. Б. Васильевское; Пр. – оз. Прудовиков; В. – оз. Восьмерка; Отс. – оз. Отстойник; Шл. – оз. Шламонакопительное; I – 1991-92 гг.; II – 2001 г.; III – 2013-14 гг.

Анализ сезонной и многолетней динамики численности и биомассы фитопланктона «природных» водоемов показал, что от 1991 г. к 2014 г. по мере роста уровня трофности вод, увеличивалась относительная доля синезеленых водорослей в их формировании. Активная вегетация представителей этого отдела водорослей становится все более растянута во времени. При этом в формировании численности и биомассы синезеленых водорослей увеличивается роль представителей, относимых ранее к р. *Oscillatoria* (S_1 -тип). Их вклад в показатели общей численности фитопланктона к 2014 г. возрос в среднем с 22% до 61%, биомассы – с 3 до 29%. Доля представителей родов *Microcystis* (M-тип) и *Anabaena*, *Aphanizomenon* (H_1 -тип) снизилась, соответственно, с 52% до 22% от общей численности и с 30% до 18% от общей биомассы. Эта закономерность проявляется на фоне увеличения концентрации азота (особенно его аммонийной формы) ($R_s=0,77-0,92$) и соотношения общего азота и фосфора ($R_s=0,79-0,95$).

В группе «техногенных» водоемов вегетация синезеленых водорослей определяла характер сезонной динамики численности фитопланктона в каждый из периодов наблюдения. К 2014 г. вклад представителей S_1 -типа в формировании общей численности возрос с 44% до 53%, доля представителей M-типа и H_1 -типа снизилась с 41 до 14%. После прекращения техногенной эксплуатации сезонная динамика биомассы фитопланктона в этих водоемах была связана преимущественно с раз-

витиём динофитовых водорослей. Их вклад в формирование общей биомассы возрос от 1991 к 2014 г. с 2 до 50%. Доля же синезеленых водорослей в формировании биомассы снизилась: для представителей S₁-типа с 33% до 8%, для представителей M-типа и H₁-типа с 24 до 7%.

Вариабельность биомассы фитопланктона в «природных» водоемах (4–12 раз) была ниже, чем в «техногенных» (31–194 раз). В «природных» водоемах снижение variability биомассы от 1991 к 2014 г. происходит за счет все более продолжительного и интенсивного развития мелкоклеточных форм синезеленых водорослей (r-стратегов). Это свидетельствует о снижении устойчивости фитопланктонного сообщества от 1990-х к 2014 г. вследствие загрязнения и антропогенного эвтрофирования (Алимов, 2000; Никулина, 2003; Ивантер, 2010; Сиделев, 2012). Изменение variability биомассы в «техногенных» водоемах было связано с развитием крупноклеточных динофитовых водорослей (k-стратегов).

ГЛАВА 6. ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ФИТОПЛАНКТОНА ИССЛЕДУЕМЫХ ВОДОЕМОВ

Многолетняя динамика средних показателей ценотического разнообразия фитопланктона, а именно индексов Шеннона (H_N и H_B по численности и биомассе соответственно) и Пиелу (E_N – по численности; E_B – по биомассе) Васильевских озер представлена на рис. 4.

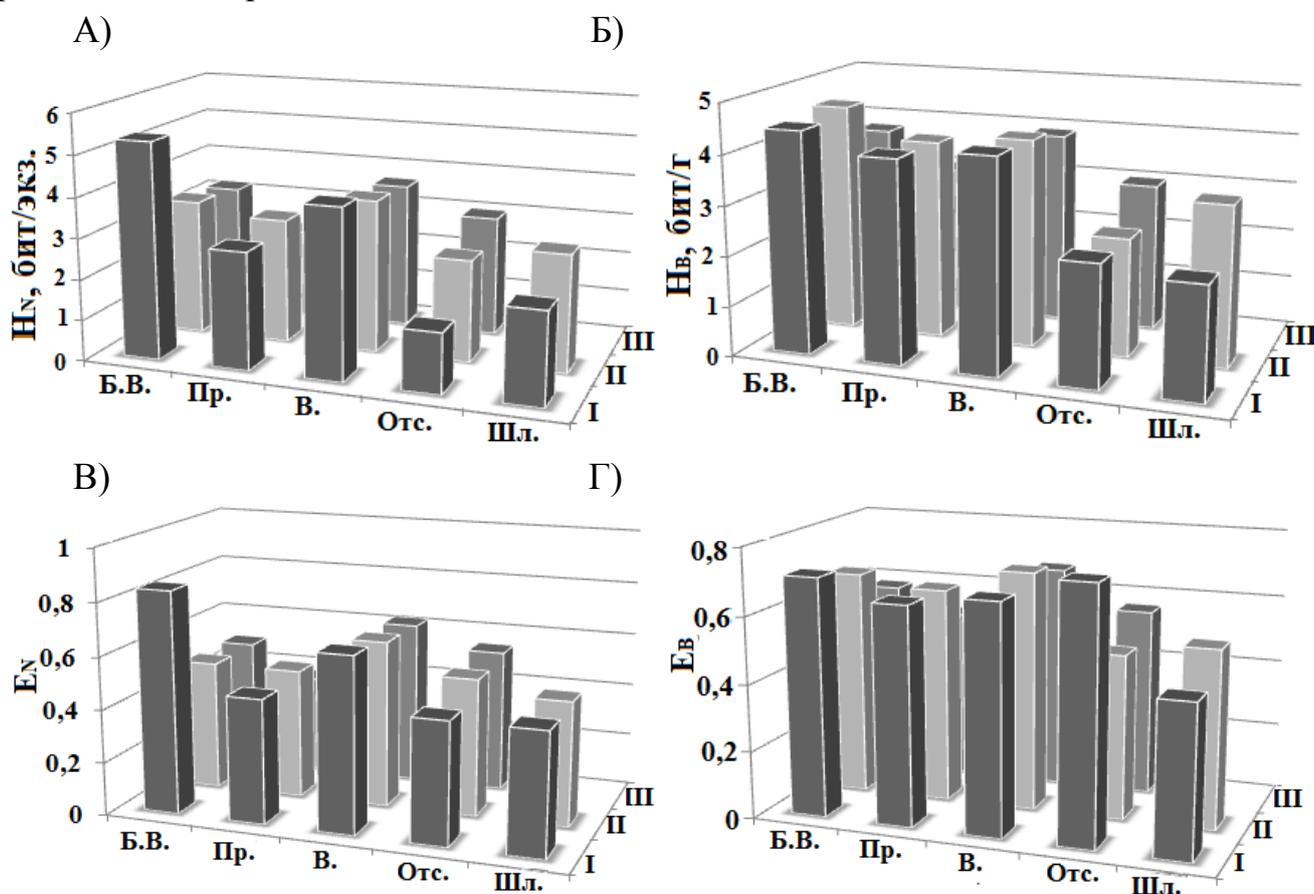


Рис. 4. Многолетняя динамика средних значений индексов ценотического разнообразия (А, Б) и выравненности (В, Г) фитопланктона Васильевских озер в 1991-2014 гг. Обозначения те же, что на рис. 3.

В группе «природных» водоемов, отмечалось устойчивое снижение показателей видового разнообразия и выравненности сообщества, рассчитанных по численности и биомассе водорослей, от 1991 г. к 2014 г. на фоне увеличения общей численности и биомассы фитопланктона. Такая тенденция характерна для экосистем с жесткими условиями существования и отмечается обычно при увеличении трофности вод (Охапкин, 1998, Романенко, 2004).

Экосистемы «техногенных» водоемов в период интенсивной антропогенной нагрузки характеризовались невысоким биотическим разнообразием и низкими показателями количественного развития фитопланктона, что, скорее всего, было связано с воздействием на водоросли токсичных веществ. После прекращения техногенной эксплуатации отмечалась тенденция к увеличению показателей видового разнообразия и выравненности сообществ альгофлоры.

Анализ сводных данных по всем исследуемым водоемам системы Васильевских озер выявил параболическую (квадратичную) зависимость уровня видового разнообразия от биомассы фитопланктона (рис.5). Рост видового разнообразия отмечался до перехода водоема к высокоэвтрофному типу, после чего отмечается его снижение.

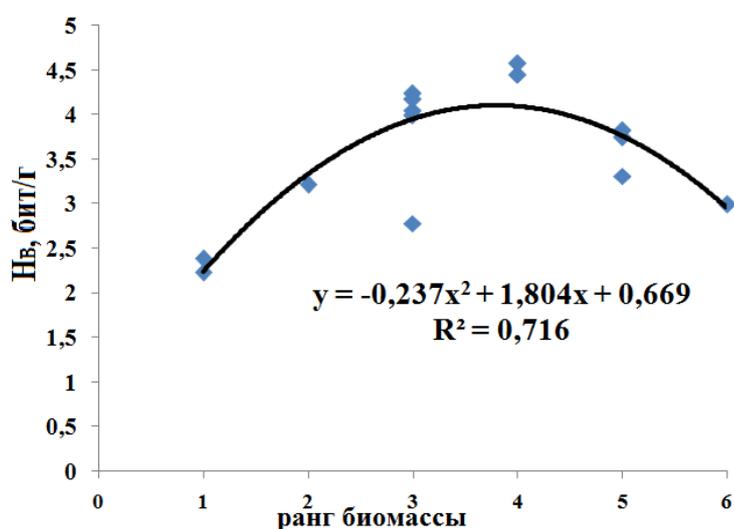


Рис 5. Связь средних за период исследования индексов разнообразия H_B с биомассой фитопланктона, ранжированной по значениям, соответствующим различному уровню трофности вод: 1—<1 мг/л; 2 — 2–5 мг/л; 3 — 5–10 мг/л; 4 — 10–15мг/л; 5— 15–20 мг/л; 6 — > 20 мг/л.

ГЛАВА 7. ДОМИНИРУЮЩИЕ ВИДЫ ВОДОРΟΣЛЕЙ ИССЛЕДОВАННЫХ ВОДОЕМОВ

7.1 Сезонная и многолетняя динамика комплекса доминирующих видов водорослей изучаемых водоемов в различные периоды исследования

В группе «природных» водоемов отмечалась тенденция к росту уровня доминирования от 1991 г. к 2014 г.: значения индексов доминирования по Симпсону за этот период увеличились в 1,2–1,4 раза относительно численности и 1,2–2,3 раза относительно биомассы фитопланктона (рис. 6). Рост S_N был связан с усилением преобладания синезеленых водорослей. В оз. Б. Васильевское и в оз. Прудовиков эта же группа водорослей господствовала и по биомассе. В оз. Восьмерка рост S_B был связан, преимущественно, с активным развитием динофитовой водоросли *Ceratium hirundinella* и ряда диатомовых водорослей, которые даже при небольшой численности показывают высокие значения биомассы.

В группе так называемых «техногенных» водоемов, напротив, отмечалось снижение среднесезонного уровня доминирования: значения индексов S_N уменьшились от 1991 г. к 2014 г. в 1,7–2,2 раз, S_B – 1,6–1,8 раза. Вероятно, эти изменения были связаны с перестройкой в составе доминирующих комплексов после прекращения техногенной нагрузки на водоемы.

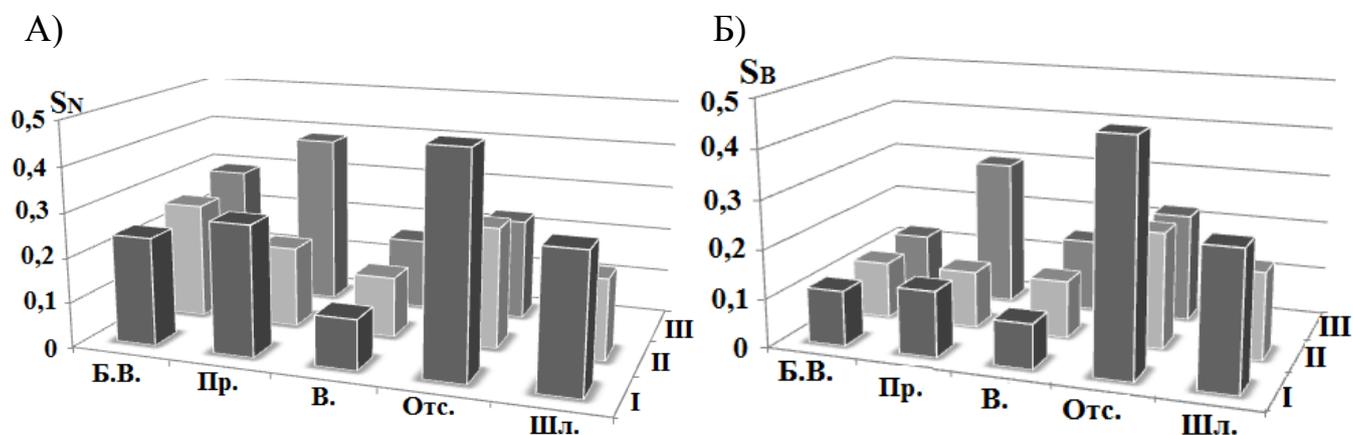


Рис. 6. Многолетняя динамика средних значений индексов доминирования фитопланктона Васильевских озер в 1991-2014 гг.: S_N и S_B – индекс доминирования Симпсона по численности и биомассе фитопланктона соответственно. Обозначения те же, что на рис. 3.

Видовой состав комплекса доминирующих видов водорослей в группе «природных» водоемов претерпел существенные изменения во времени. В отношении показателей численности они были связаны с усилением позиций синезеленых водорослей. В оз. Б. Васильевское соотношение N:P к 2014 г. возросло до 14, и лидерами по-прежнему остались виды р. *Microcystis*. Изменения произошли в составе совместно доминирующих с ним видов: нитчатые безгетероцистные формы синезеленых водорослей S_1 -типа вытеснили нитчатых гетероцистных азотфиксаторов H_1 -типа. В оз. Прудовиков и оз. Восьмерка, где соотношение N:P было выше (16-35), к 2013-14 гг. стали стабильно преобладать нитчатые безгетероцистные формы синезеленых водорослей S_1 -типа.

В «техногенных» озерах, где соотношение N:P было изначально высоко (44-49), на протяжении всего периода исследования в ранг доминант по численности стабильно входили именно нитчатые безгетероцистные формы синезеленых водорослей S_1 -типа, при этом, к 2014 г. состав доминирующих по численности видов водорослей из других отделов существенно сократился. Комплекс доминирующих по биомассе видов водорослей после прекращения техногенного воздействия стал менее разнороден, к 2014 г. его основу стали составлять динофитовые водоросли.

7.2. Экология доминирующих видов водорослей

В разделе описаны экологические особенности тех видов водорослей, средняя частота встречаемости в составе доминирующего комплекса которых в каком-либо водоеме за отдельно взятый период исследования превышала 50%, либо тех, уровень доминирования которых в отдельные периоды исследования был выше 50%.

ГЛАВА 8. О ПРАКТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА «АЛЬГОЛИЗАЦИИ» ВОДОЕМОВ НА ПРИМЕРЕ ОЗ. Б. ВАСИЛЬЕВСКОЕ

В мае 2013 года компания ООО НПО «Альгобиотехнология» провела интродукцию хлореллы с целью уменьшения «цветения» воды в оз. Б. Васильевское. В связи с этим с июня 2013 г. сотрудники лаборатории экологии простейших и микроорганизмов ИЭВБ РАН начали независимые наблюдения за гидрохимическими и гидробиологическими показателями воды.

Как показали наши исследования, трофическое состояние озера Б. Васильевское в 2013–2014 гг. оценивалось как гиперэвтрофное. При этом средняя концентрация хлорофилла по сравнению с 1991–92 гг. была выше в 3 раза, прозрачность воды снизилась практически вдвое, а в период наиболее активной фазы «цветения» – до 10 см и менее (Горбунов, 2014б).

На основе анализа сезонной и многолетней динамики показателей количественного развития фитопланктона установлено, что к 2013–14 гг. в водоеме его средняя численность возросла практически в 2 раза, средняя биомасса – в 1,5 раза по сравнению с 1991–92 гг., причем преимущественно именно за счет усиления вегетации синезеленых водорослей.

Комплекс доминант, как по численности, так и по биомассе, состоял преимущественно из синезеленых водорослей. Уровень доминирования синезеленых водорослей возрастал от 1991 г. к 2014 г. *Chlorella vulgaris* ни в один из периодов исследования не только не входила в ранг доминант, но даже не могла быть отнесена к группе массовых видов.

Таблица 2

Средняя частота встречаемости *Chlorella vulgaris* и ее вклад в формирование показателей количественного развития в оз. Б. Васильевское с 1991 по 2014 гг.

	Ср. частота встречаемости, %	Ср. доля от общей численности	Ср. доля от общей биомассы
1991-92 гг.	38	0,01	0,009
2013-2014 г.	32	0,005	0,004

К моменту окончания наблюдений качество воды в озере не соответствовало требованиям санитарных и экологических норм. Из всех «природных» водоемов уровень «цветения» в оз. Б. Васильевское был наиболее интенсивным. Даже в ближайшем водоеме (оз. Прудовиков) оно было меньше.

Все вышеперечисленное свидетельствует о том, что цели эксперимента не были достигнуты.

В постановлении III Международной конференции «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге» (п. Борок, 24-29 августа 2014 г.) на основании доклада сотрудников лаборатории экологии простейших и микроорганизмов ИЭВБ РАН «Состояние озера Большое Васильевское в первый год ин-

продукции хлореллы» сказано, что метод альголизации, как способ избавления водоемов от «цветения» воды синезелеными водорослями, следует признать не имеющим научной основы и не подтвержденным убедительными положительными научными результатами (Корнева, 2014). Впоследствии это также было отражено в решении XI Съезда Гидробиологического общества при РАН от 22–26 сентября 2014 г. (Решение XI Съезда..., 2014).

ВЫВОДЫ

1. Альгофлора планктона Васильевских озер характеризовалась достаточно высоким видовым богатством. Всего был зарегистрирован 451 таксон водорослей рангом ниже рода из 136 родов, 59 семейств 24 порядков и 15 классов. Как и в большинстве пресноводных водоемов умеренной зоны, ее основу формировали зеленые, диатомовые, синезеленые и эвгленовые водоросли.
2. В группе «природных» водоемов во все периоды исследования таксономическая структура альгофлоры планктона имела высокое флористическое богатство и оставалась постоянной на уровне практически всех таксономических единиц. В группе «техногенных» водоемов она значительно изменилась после прекращения промышленной эксплуатации в сторону усложнения, при этом таксономический состав альгофлоры планктона этих водоемов стал приближаться к типу, характерному для данного региона.
3. С течением времени во всех озерах произошло увеличение показателей количественного развития фитопланктона и уровня трофности. При этом в «природных» водоемах отмечалось возрастание доли синезеленых водорослей S_1 -типа (r-стратегов) в формировании общей численности и биомассы фитопланктона по мере увеличения концентрации азота, особенно его аммонийной формы, и соотношения азота и фосфора. В «техногенных» водоемах значения общей численности фитопланктона также были связаны с развитием синезеленых водорослей S_1 -типа, показатели биомассы в период самоочищения водоемов определялись активной вегетацией крупноклеточных динофитовых водорослей (k-стратегов).
4. В «природных» водоемах отмечено устойчивое снижение показателей видовой разнообразия и выравненности сообщества от 1991 г. к 2014 г. В «техногенных» выявлена тенденция к увеличению показателей видовой разнообразия и выравненности сообществ альгофлоры.
5. Метод «альголизации» на оз. Б. Васильевское не дал положительных результатов и оказался неэффективным.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Кривина Е. С., Тарасова Н. Г. Фитопланктон урбанизированного водоема (на примере оз. Восьмерка, г. Тольятти, Самарская область) I. Флористический анализ и эколого-географическая характеристика // Изв. Самар. НЦ РАН. 2014. Т. 16 № 5 (5). С. 1758-1764.

2. Кривина Е. С. Общая характеристика качественного состава и показателей количественного развития летнего фитопланктона малых урбанизированных водоемов самарской области (на примере оз. Прудовиков, г. Тольятти) / Журнал «Рыбное хозяйство», 2015. – № 4. – С. 101-103.
3. Кривина Е. С., Тарасова Н. Г. Фитопланктон урбанизированного водоема (на примере оз. Восьмерка, г. Тольятти, Самарская область) II. Количественное развитие, доминирующие виды оценка качества воды // Изв. Самар. НЦ РАН. 2015. Т. 17 № 4. С. 203-209.
4. Мухортова О.В., Болотов С.Э., Тарасова Н.Г., Быкова С.В., Уманская М.В., Горбунов М.Ю., Краснова Е.С., Кривина Е.С., Буркова Т.Н. Зоопланктон урбанизированного водоёма и факторы, определяющие его развитие (на примере озера Большое Васильевское, г. Тольятти, Самарская область) // Поволжский экологический журнал. 2015. № 4. С. 409-421.
5. Кривина Е. С. Общая характеристика зимнего фитопланктона оз. Восьмерка в феврале 2014 года (Самарская область) воды // Изв. Самар. НЦ РАН. 2015. Т. 17 № 4 (5). С. 919-924.
6. Кривина Е. С., Тарасова Н. Г. Особенности распределения планктонных водорослей в стратифицированном водоеме (на примере оз. Прудовиков, г.о. Тольятти) // Вода: химия и экология. 2017, №9. С. 55-63.
7. Кривина Е.С., Тарасова Н. Г. Трансформация альгофлоры техногенных озер (на примере г. Тольятти) // Вода и экология: проблемы и решения. СПб: СПбГАСУ, 2017. №3 (71). С. 13-34. («*Scopus*»)
8. Кривина Е. С., Тарасова Н. Г. Особенности таксономической структуры техногенного водоема в период угасания // Изв. Самар. НЦ РАН. 2018. Т. 20 №2 (5). С. 20-26.

Работы, опубликованные в прочих изданиях:

9. Кривина Е. С., Тарасова Н.Г. Фитопланктон оз. Восьмерка (Самарская область) в июне 2013 года / Материалы XI Междунар. науч. - практ. конф. «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики» // Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды. – Тольятти: ВУиТ, 2014. С. 67-74.
10. Горбунов М. Ю., Тарасова Н. Г., Уманская М. В., Краснова Е. С., Кривина Е. С. Состояние озера Большое Васильевское в первый год интродукции хлореллы/ Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге. Сборник материалов докладов III Междунар. научн. Конф., 24–29 августа 2014 года //Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина. – Ярославль: Филигрань, 2014. С. 216-217.
11. Кривина Е. С. Летний фитопланктон оз. Восьмерка (Самарская область) в 2013 г. / Биологические аспекты распространения, адаптации и устойчивости растений: материалы Всерос. (с междунар. участием) науч. конф., Саранск, 20-22 нояб. 2014 г. / ред-кол.: П. В. Сенин [и др.]. – Саранск: Изд-во Мордов. Ун-та, 2014. С. 119-122.
12. Кривина Е. С. Летний фитопланктон в различных экотопах оз. Прудовиков (Самарская область) в 2013 г. // Экологический сборник 5: Труды молодых ученых

Поволжья. Международная научная конференция / Под ред. к. б. н. С. А. Сенатора, О. В. Мухортовой и проф. С. В. Саксонова. Тольятти: ИЭВБ РАН, «Кассандра», 2015. С. 199-202.

13. Кривина Е.С. Проблема изучения фитопланктона малых водоемов урбанизированных территорий и культурных ландшафтов России // История ботаники в России. К 100-летию юбилею РБО. Сборник статей Международной научной конференции. Тольятти, 14-17 сентября 2015 г. Т. 3. Современное развитие ботаники в России (штрихи). Тольятти: Кассандра, 2015. С. 88-92.

14. Кривина Е. С. Фитопланктон как индикатор современного состояния экосистемы оз. Восьмерка (Самарская область) // Тезисы докладов III (XI) Международной Ботанической конференции молодых ученых в Санкт-Петербурге 4-9 октября 2015 года. СПб.: БИН РАН, 2015. С. 52.

15. Кривина Е. С., Тарасова Н. Г. Изменения таксономической структуры альгофлоры техногенного водоема более чем за 20-летний период // Актуальные проблемы экологии и охраны окружающей среды. Материалы XIII Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики»: В 5 томах. В авторской редакции. 2016. С. 71-77.

16. Кривина Е. С. Таксономическая структура фитопланктона техногенного водоема (на примере оз. Отстойник, г. Тольятти, Самарская область) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2016 г. Т. 25. № 2. С. 161–171.

17. Кривина Е. С. Развитие альгофлоры оз. Отстойник при изменении степени техногенного воздействия с 1991 по 2014 гг. (Самарская область) // Биологические аспекты распространения, адаптации и устойчивости растений : материалы Всерос. (с междунар. участием) науч. конф. (Саранск, 15-18 мая, 2016 г.). Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2016. С. 162-164.

18. Кривина Е. С. Таксономический состав фитопланктона оз. Прудовиков // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2016 г. Т. 25. № 4. С. 177–190.

19. Кривина Е. С. Таксономический состав фитопланктона оз. Восьмерка (г. Тольятти, Самарская область) // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2017 г. Т. 26. № 1. С. 41–54.

20. Кривина Е. С., Тарасова Н. Г. К вопросу о вертикальном распределении планктонных водорослей в стратифицированном водоеме (на примере оз. Прудовиков системы Васильевских озер г. о. Тольятти) // Экологический сборник 6: труды молодых ученых Поволжья. Междунар. молодежная науч. конф. / Под ред. С. А. Сенатора, О. В. Мухортовой и С. В. Саксонова. Тольятти: ИЭВБ РАН, «Кассандра», 2017. С. 215-218.

21. Кривина Е. С., Тарасова Н. Г. Изменение структуры альгофлоры планктона малых водоемов урбанизированного ландшафта под влиянием антропогенной нагрузки // «PontusEuxinus 2017. Севастополь: DigitPrint, 2017. С. 105-109.