

На правах рукописи

Дмитриева

ДМИТРИЕВА
Ольга Александровна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННО-
ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СТРУКТУРНЫХ И
КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИТОПЛАНКТОНА В
РАЗЛИЧНЫХ РАЙОНАХ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

03.02.10 – Гидробиология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Калининград - 2017

Работа выполнена в лаборатории гидробиологии, гидрохимии и оценки антропогенного воздействия Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Атлантический научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «АтланТИРО»), г. Калининград

Научный руководитель: **Корнева Людмила Генриховна**
доктор биологических наук, доцент,
заведующая лабораторией альгологии ФГБНУ
Института биологии внутренних вод им. И.Д.
Папанина РАН, Ярославская обл., п. Борок

Официальные оппоненты: **Трифорова Ирина Сергеевна**
доктор биологических наук, профессор,
главный научный сотрудник лаборатории
гидробиологии ФГБНУ Института
озероведения РАН, г. Санкт-Петербург

Сажин Андрей Федорович
кандидат биологических наук, старший
научный сотрудник лаборатории экологии
планктона ФГБНУ Института океанологии
им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

Ведущая организация: Зоологический институт Российской
Академии наук (ФГБНУ «ЗИН РАН»),
г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится «06» октября 2017 г. в 11⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 307.004.01 при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО») по адресу: 107140, г. Москва, ул. Верхняя Красносельская, дом 17. Телефон: +7(499) 264-91-76, электронный адрес: sedova@vniro.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБНУ «ВНИРО» - http://www.vniro.ru/files/disser/2017/Dmitrieva_disser.pdf

Автореферат разослан «05» 07 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук

Марина

Марина Александровна Седова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Глобальное изменение качества вод под влиянием загрязнения и эвтрофирования вызывает необходимость прогнозирования возможных изменений в водных экосистемах (Трифорова и др., 2003). Балтийское море считается одним из наиболее чувствительных к загрязнению, поскольку в него поступают воды 250 рек с водосборов, расположенных на территории нескольких промышленно развитых и густонаселенных стран (Цыбань и др., 1985). Куршский и Вислинский заливы, расположенные на восточном побережье Балтийского моря, – мелководные прибрежные лагуны, в которых с максимальной интенсивностью происходит круговорот вещества и энергии – как морского, так и континентального происхождения. Постоянный вынос загрязняющих веществ с речным стоком из Литвы, Польши и Калининградской области приводит к ухудшению качества воды трансграничных экосистем лагун, территориального моря и внутренних морских вод. К настоящему времени в составе биоценозов Балтийского моря, в том числе и планктонных сообществах, произошли существенные изменения. Известно, что биологическое разнообразие в Балтийском море низкое. Это связано не только с естественными гидрологическими условиями в море, но также и с антропогенным воздействием на водную среду. Эвтрофирование моря и заливов в последние десятилетия привело к увеличению биомассы фитопланктона, «цветению» воды синезелеными водорослями, росту первичной продукции и мутности воды в эвфотической зоне моря, дефициту кислорода в глубоких слоях воды (Elmgren, Larsson, 2001; Rönnerberg, Bonsdorff, 2004). Ведущее положение в биогеохимических процессах, присущих этим экосистемам, занимает фитопланктон. Он является основным производителем органических веществ в данном биотопе и ключевым звеном, который определяет скорости их обмена и трансформации, и в конечном итоге – продуктивность водоема в целом (Макаревич, 2007). Поэтому актуальным для решения ряда теоретических и практических задач представляется изучение сообществ фитопланктона различных районов Балтийского моря и его прибрежных мелководных лагун.

Цель работы – определение закономерностей пространственно-временных изменений структурных показателей фитопланктона в различных районах Балтийского моря под влиянием абиотических и биотических факторов и оценка экологического состояния районов исследования по показателям фитопланктона.

Задачи исследования:

- провести анализ таксономической структуры и показателей видового разнообразия фитопланктона Куршского, Вислинского заливов и различных районов Балтийского моря;

- сравнить сезонную, межгодовую динамику и пространственное распределение фитопланктона Балтийского моря, Куршского и Вислинского заливов;
- оценить зависимость структурных характеристик фитопланктона от различных абиотических параметров водной среды;
- выявить потенциально-токсичные виды фитопланктона Куршского залива, оценить их сезонную и межгодовую динамику;
- оценить размерные характеристики фитопланктона исследуемых водоемов;
- оценить трофические взаимоотношения фито- и зоопланктона в Куршском, Вислинском заливах и Балтийском море;
- провести оценку экологического качества вод заливов различными методами и выявить из них наиболее информативный для оценки гипертрофного водоема.

Научная новизна. Впервые на основе электронно-микроскопических исследований проведено систематическое описание центральных диатомовых водорослей структурообразующего комплекса фитопланктона Куршского залива и выявлено 12 новых видов для флоры Куршского залива, Балтийского моря и Калининградской области. Впервые в Куршском заливе выделены штаммы цианобактерий, которые способны синтезировать микроцистины. Впервые выделены функциональные группы фитопланктона заливов, описана их сезонная динамика. Исследованы трофические взаимоотношения фито- и зоопланктона Куршского залива, Вислинского залива и Балтийского моря на современном этапе. Показано, что Венгерский *Q*-индекс сообществ – более точный для оценки качества вод гипертрофных экосистем.

Практическая значимость работы. Результаты работы использованы для оценки условий обитания гидробионтов Куршского и Вислинского заливов при ежегодной разработке общих допустимых уловов рыбы (ОДУ) в рамках федеральных и областных программ. Материалы исследования по межгодовой динамике и пространственной изменчивости фитопланктона, биомассе токсичных видов служат важной частью программы гидробиологического мониторинга крупных рыбопромысловых водоемов Калининградской области. Результаты исследований были реализованы: в рамках программы госзаказа комитета по Росрыболовству; при выполнении ОВОС в результате строительства трассы Северо-Европейского газопровода (СЕГ); при выполнении экологического мониторинга в районе Кравцовского нефтяного месторождения (Д-6) в Балтийском море; составлении кадастров, атласов и определителей водорослей региона; в учебных курсах по специальности «гидробиология».

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Степень сезонной вариабельности биомассы фитопланктона увеличивается по мере роста трофии исследованных водоемов, что сходно с таковым озер,

рек и водохранилищ. Изменения структурных и количественных характеристик фитопланктона обусловлены совместным влиянием абиотических факторов, а также уровнем трофии и солёности воды.

2. Характер трофических взаимоотношений фито- и зоопланктона с учетом влияния молоди рыб отражает пути трансформации вещества и энергии в Куршском заливе, по дельте Вислинском заливе и Балтийском море по пастбищной пищевой цепи.

Апробация работы.

Результаты работы представлены на VIII, IX, X съездах Гидробиологического общества РАН (Калининград, 2001; Тольятти, 2006; Владивосток 2009); на II, III Международной научной конференции «Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды» (Нарочь, 2003; 2006); на Международной конференции «Трофические связи в водных сообществах и экосистемах» (Борок, 2003); на Международном семинаре «Problems and prospects of coastal lagoon modeling by example of the Vistula and Curonian Lagoons, the Baltic Sea» (Светлогорск, 2004); 2th International Conference on Coastal Lagoons «European Lagoons and their Watersheds: Function and Biodiversity» (Klaipeda, 2005); Conference «Baltic Sea and European Marine Strategy – Linking Science and Policy» (Хельсинки, Финляндия, 2006); ICES Annual Science Conference Gdansk (Aberdin, 2005; Helsinki, 2007; Gdansk 2011; Copenhagen, Denmark 2015); «The Baltic Sea Science Congress (BSSC)» (Sopot, 2005; Rostock, 2007; Tallin, 2009; St.-Peterburg, 2011); Third Bilateral Conference Between the United States and Russia: Aquatic Animal Health (West Virginia, U.S.A. 2009); на международной конференции «Современные проблемы гидроэкологии» (Санкт-Петербург 2010); на международной конференции, посвященной 100-летию Ф.Д. Мордухай-Болтовского (Борок, 2010); на II Международной конференции «Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем» (Санкт-Петербург, 2011); на International Symposium «Research and Management of Transitional waters» (Klaipeda, Lithuania 2012); на международной конференции «Dynamics and functioning of aquatic ecosystems under the impact of climate change and anthropogenic stress» (St.-Petersburg, Russia, 2015); на международной конференции «Актуальные проблемы планктонологии», (г. Светлогорск, Калининградская область, 2012, 2015).

Публикации. Основные результаты проведенных научных исследований отражены в 82 опубликованных работах, 9 из них в журналах, рекомендованных перечнем ВАК РФ.

Объем и структура диссертации.

Диссертация изложена на 309 страницах, включает 23 таблицы, 122 рисунка. Состоит из введения, 9 глав и выводов. Список литературы включает 404 наименования, в том числе 196 на иностранных языках. Приложение содержит 91 страницу.

Личный вклад автора

Автор лично осуществлял сбор и обработку материалов, полученных в ходе экспедиционных работ в Куршском и Вислинском заливах и Балтийском море. Выполнял камеральную обработку 1118 проб фитопланктона, провел статистический анализ полученных данных.

Благодарности

Автор выражает искреннюю признательность за консультации и критические замечания, постоянную помощь и поддержку научному руководителю д.б.н. Людмиле Генриховне Корневой. За научные консультации по вопросам определения видов фитопланктона к.б.н. Р.Н. Беяковой, д.б.н. С.И. Генкалу, д.б.н. И.А. Олениной, к.б.н. В.Н. Никулиной, д.б.н. Т.М. Михеевой. За выполнение видовой идентификации токсичных штаммов цианобактерий методом молекулярно-генетического анализа д.б.н. О.И. Белых, к.б.н. Е.А. Сороковиковой, к.б.н. А.С. Гладких. За научные консультации к.ф.-м.н. К.А. Подгорному, д.б.н. С.И. Оленину, д.б.н. А. Швагждису, Ч.М. Нигматуллину, д.б.н. Р.Н. Буруковскому, к.б.н. М.М. Хлопникову, д.б.н. А.Г. Архипову, А.А. Гусеву, к.б.н. В.В. Лидванову, д.б.н. А.В. Крылову. Выражаю благодарность сотрудникам АтлантНИРО: к.б.н. А.С. Семенову и к.б.н. Н.В. Чукаловой за предоставленные данные по зоопланктону и патологиям леща, плодотворную совместную работу и дружескую поддержку. За предоставление данных по гидрохимии В.А. Смыслову, к.б.н. С.В. Александрову. За техническую помощь в обработке материалов Т.А. Костиковой, Т.Г. Корольковой, Н.А. Дюшкову, за помощь в проведении экспедиционных работ к.б.н. В.А. Сушину, к.б.н. Г.Е. Маслянкину, М.А. Мониту, Л.А. Федяевой, В.С. Семенову, к.б.н. В.К. Старовойтову, Т.А. Симоновой. За терпение и понимание – моим родным и близким.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Литературный обзор

В литературном обзоре содержится краткая характеристика изученности фитопланктона в районе исследования и описание последствий влияния процесса антропогенного эвтрофирования на экосистему Балтийского моря и его заливов. Представлено описание основных подходов и методов, используемых при изучении пространственно-временных особенностей распределения фитопланктона, таких как схема сезонной сукцессии в озерах разных трофических типов; классификация функциональных групп фитопланктона; характеристика размерной структуры сообществ; описание трофических отношений фито- и зоопланктона; оценка показателей биоразнообразия как основы стабильности видового состава и функционирования биоценозов. Охарактеризована связь продуктивности (биомассы фитопланктона) и видового разнообразия водных экосистемах с гидрологическими и гидрохимическими особенностями водоемов как основа для понимания механизмов изменений в водных экосистемах под влиянием

антропогенного загрязнения и эвтрофирования. Приведено описание приемов, используемых для экологического мониторинга водных экосистем с целью оценки качества водной среды.

Краткая физико-географическая характеристика районов исследования

В данном разделе главы представлена краткая физико-географическая характеристика районов исследования: центральной части Балтийского моря, его гидрохимического режима в 2005–2006 гг., а также пресноводного (0,2 %) Куршского и солонатоводного (3–5 %) Вислинского залива – мелководных (3,7 и 2,7 м соответственно) прибрежных лагун, расположенных в юго-восточной части Балтийского моря. Анализ гидрохимических и гидрофизических параметров воды Куршского залива с начала девяностых годов (за период 1991–2010 гг.) выявил увеличение средней за вегетационный сезон температуры воды и понижение уровня воды в заливе, снижение содержания аммонийного азота в среднем в 1,4 раза. Значительных изменений содержания общего азота и азота нитратов не выявлено. Отмечено двукратное снижение концентраций минерального и общего фосфора. Отношение минеральных форм азота к фосфору показало тенденцию к увеличению в 2 раза. В Вислинском заливе отмечалось небольшое увеличение температуры воды и повышение ее уровня. Заметным было снижение концентрации аммиачного и общего азота. Отмечено снижение концентрации минерального и общего фосфора в 2000-х по сравнению с 1990-ми примерно в 1,4 раза, а также рост отношения минерального азота к минеральному фосфору в 1,3 раза в двухтысячных годах по сравнению с девяностыми годами. В обоих заливах содержание азота нитратов осталось практически неизменным, в то время как концентрация фосфора фосфатов уменьшилась. В таких условиях возможны изменения в составе сообществ фитопланктона.

Глава 2. Материал и методы исследования

Изучение фитопланктона российской части Куршского и Вислинского заливов проводилось в 2002–2010 гг. с апреля по ноябрь ежемесячно в течение безледного периода на 5–6 стандартных станциях, а также еженедельно – на прибрежной мониторинговой станции в районе НЭБ АтлантНИРО в 2007–2009 гг. с марта по сентябрь. В прибрежной зоне Балтийского моря в 2009–2012 гг. фитопланктон исследовали ежемесячно с апреля по ноябрь на 7 стандартных станциях (рис. 1 А, Б, В). Фитопланктон центральной части Балтийского моря изучали в ноябре 2005 г. апреле–мае и июле–августе 2006 г. (рис 2). Всего за период исследования было собрано и проанализировано 1127 проб фитопланктона. Для получения 0,5–1 литровой интегральной пробы воду, отобранную на пяти горизонтах, в равных количествах сливали в одну емкость. Консервировали фиксатором, составной частью которого является раствор Люголя. Ступение проб

выполнялось седиментационным методом И.П. Усачева до 5–40 мл в зависимости от количества фитопланктона (Усачев, 1961). Количественная обработка проб осадочного планктона проводилась по общепринятой методике в камере "Учинская", объемом 0,01 мл, с помощью светового микроскопа «Микромед-2». К доминирующим видам были отнесены виды, биомасса которых превышала 10 % суммарной биомассы фитопланктона (Методика изучения, 1978; Киселев, 1969). Вычисления биомассы и численности фитопланктона, стандартной ошибки, ошибки средней, корреляционный анализ данных и построение диаграмм проводились с помощью компьютерной программы Excel.

Для идентификации водорослей использовали определители: Голлербах с соавт., 1953; Komarek, Anagnostidis, 1998, 2005; Starmach, 1985; Забелина с соавт., 1951; Kramer, Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991; Intercalibration, 1993, 1994, 1995; Ettl et al., 1978; Матвиенко, Догадина, 1975; Popovsky, Pfister, 1990; Асаул, 1975; Попова, 1955; Ветрова, 2004, Царенко, 1990; Komarek, Fott, 1983; Ettl, 1983, 1988; Tikkanen, 1986; Pankov, 1990; Thomsen, 1992; Коновалова с соавт., 1989. Принадлежность видов к потенциально-токсичным видам уточнялась по списку потенциально-токсичных видов фитопланктона Балтийского моря (Checklist, 2004) и определителю Рябушко, 2003. Уточнение видовой принадлежности синонимичных видов проводилось по Checklist of Baltic Sea (Hallfors, 2004). Уточнение таксономической принадлежности центральных диатомовых водорослей Куршского залива проводилась методом холодного сжигания (Балонов, 1975). Препараты водорослей исследовали в сканирующем электронном микроскопе JSM-25S.

Для оценки сапробности использовали метод Пантле и Бук (Pantle, Buck, 1955) в модификации Сладечка (Сладечек, 1967). Для оценки величин значимости вида использовали списки Вегла (Wegle, 1983).

Для оценки качества вод в соответствии с рекомендациями Водной рамочной директивы (Directive, 2000) использовали Венгерский индекс сообществ Q (Padisak et al., 2006). На основании расчета Q -индекса по пятибалльной системе оценки результаты оценки качества воды интерпретировались следующим образом: 0–1: плохое качество; 1–2: удовлетворительное; 2–3: среднее; 3–4: хорошее и 4–5: превосходное. Экологическое состояние водных объектов по шкале Мишке (Mishke, 2002), основанной на биомассе фитопланктона, оценивалось следующим образом: 0–1 г/м³ – отличное; 1–4 г/м³ – хорошее; 4–8 г/м³ – среднее; 8–16 г/м³ – удовлетворительное; > 16 г/м³ – плохое.

Для оценки видового разнообразия фитопланктона использовали индекс Шеннона (H') (Шитиков и др., 2005). Степень выравненности сообщества оценивали с помощью индекса, Э. Пиелу (Алимов, 1989; Бурковский, 2006). Для оценки степени доминирования рассчитывали индекс Симпсона (Песенко, 1982).

Для изучения трофических взаимоотношений фито- и зоопланктона биомассу зоопланктона рассчитывали по размерной структуре и численности видов, рацион – как сумму продукции, трат на обмен и неусвоенной пищи для каждой размерной группы (Методические ..., 1984; Сущенко, 1972). При расчете рационов принимали, что усвояемость пищи растительным зоопланктоном составляет 60 %, хищным – 80 %; для всеядных видов копепоид на стадиях IV–VI вклад растительной и животной пищи был равным, а рацион науплиальных и копепоидных стадий I–III состоял только из растительной пищи (Методические..., 1984; Монаков, 1998). При расчетах продукции зоопланктона для ветвистоусых ракообразных (Cladocera) использовали $K_2 = 0,68$ (Науменко, 2006), для веслоногих (Copepoda) $K_2 = 0,2$ (Иванова, 1985). При вычислении трат на обмен окислительный коэффициент принимали равным 20,3 Дж/мл O₂ (Методические ..., 1984). При пересчете рациона в весовые единицы принималось, что 1 мг ВОВ = 0,33 кал (Алимов, 1989). Пресс рыб на планктонное сообщество в Куршском заливе был оценен по показателю, предложенному И.В. Телеш, как размах колебаний отношения биомассы коловраток к биомассе дафний (BR/BD) (Telesh, 1993).

Для изучения токсигенных цианобактерий Куршского залива с применением молекулярно-генетических исследований пробы отбирали в августе 2008 г. на станции №3 сетью Апштейна с размером ячеи 70 мкм и фиксировали 80%-ым этанолом. Для амплификации последовательности аминотрансферазы (АМТ) использовали праймеры HerF и HerR (Jungblut, Neilan, 2006). Выделение ДНК, ПЦР, клонирование и секвенирование проводили согласно методике (Belykh et al., 2011). Расшифрованные в ходе работы последовательности зарегистрированы в мировой базе GenBank под номерами HM543074–HM543079.

Филогенетические реконструкции проводили методами объединения ближайших соседей (NJ), максимального правдоподобия (ML) и максимальной экономии (MP). Для построения NJ филогенетического дерева использовали пакет программ MEGA, v.4.0.2. (Tamura et al., 2007). Эволюционные расстояния подсчитывали с помощью двухпараметрической модели Кимуры. Для ML и MP анализов применяли программу RAUPb v.4.0b10 (Swofford, 2002). Модель нуклеотидных замен для ML анализа подбирали с помощью программы ModelTest v.2.06 (Posada, Crandall, 1998).

Для оценки пространственной структуры фитопланктона Балтийского моря и выделения временных фитоценологических группировок использованы два метода многомерной статистики – кластерный анализ и непараметрическое многомерное шкалирование данных (MDS-анализ) при помощи программы PRIMER, v.6 (Clarke, Gorley, 2006). Для определения сходства фитопланктонных комплексов между станциями использовали меру Брея-Кертиса (Clarke, Gorley, 2006). Для выполнения статистического анализа между отдельными абиотическими и

биотическими компонентами экосистем Куршского и Вислинского заливов использовали пакет программ *Statistica*, v.8.

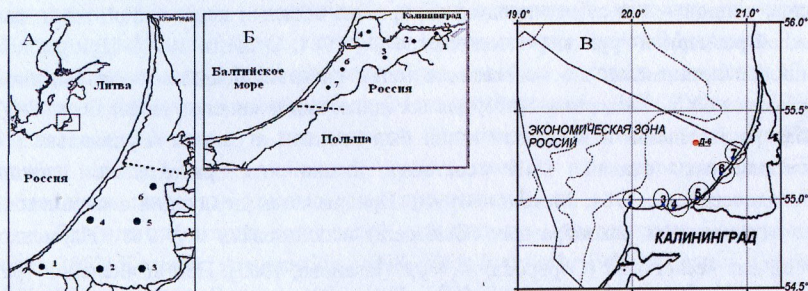


Рис. 1. Станции отбора проб фитопланктона в Куршском (А), Вислинском заливе (Б) в 2002–2010 гг. и в прибрежной зоне Балтийского моря (В) в 2008–2010 гг.

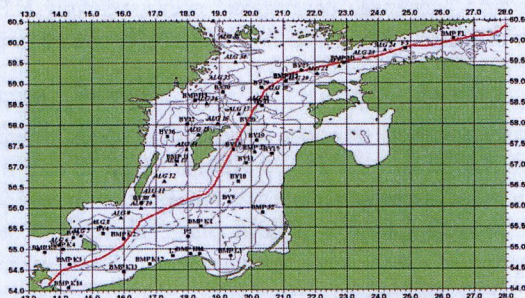


Рис. 2. Станции отбора проб фитопланктона в различных районах центральной части Балтийского моря в 2005–2006 гг.

Глава 3. Флористическая характеристика и сравнительный анализ фитопланктона разных районов Балтийского моря

Всего в фитопланктоне Балтийского моря и его заливах было обнаружено 662 вида. Наибольшим числом видов были представлены отделы Chlorophyta – 279, Dinophyta – 77, Bacillariophyta – 134, Cyanophyta – 113, Cryptophyta – 27, меньшим – Chrysophyta – 14 и Euglenophyta – 14. Остальные таксоны насчитывали 1–2 вида. Наибольшим богатством альгофлоры характеризовался планктон Куршского залива – 462 вида, наименьшим – Балтийского моря – 194 вида в прибрежье и 206 видов в его центральной части. В Вислинском заливе было выявлено 311 видов фитопланктона. Установлено, что район исследования в целом представляет собой обширную флористическую группировку с характерными для каждого района особенностями флор, существование которых обусловлено градиентом гидрохимических и гидрофизических параметров водной

среды (рис. 3 А). Основным фактором, определяющим своеобразие альгофлор исследуемых водоемов, по-видимому, была соленость воды.

Влияние солености сказывалось также и на удельном богатстве (среднем числе таксонов в пробе), которое было наибольшим в пресноводной гипертрофной экосистеме Куршского залива и меньшим – в центральной части Балтийского моря (рис. 3 Б).

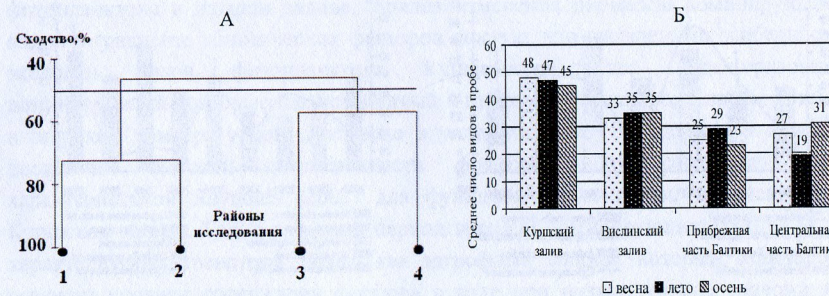


Рис. 3. Дендрограмма сходства флористического состава района исследования (1 – прибрежная часть Балтийского моря, 2 – центральная часть акватории Балтийского моря, 3 – Куршский залив, 4 – Вислинский залив) (А) и удельное (среднее) число таксонов в пробах (Б).

При ревизии состава центральных диатомовых южной части Куршского залива с помощью электронного микроскопирования было обнаружено 12 новых видов для флоры Куршского залива, Балтийского моря и Калининградской области (из родов *Aulacoseira* – 3, *Cyclotella* – 1, *Stephanodiscus* – 8) (Генкал, Дмитриева, 2006).

Для центральной и прибрежной зон Балтийского моря было отмечено наибольшее число доминирующих таксонов: 34–36. Вторым по числу выявленных структурообразующих таксонов был Вислинский залив – 16. Самое низкое число доминирующих видов было выявлено в Куршском заливе – 12. Таким образом, тенденция к монодоминированию была более выражена в мелководной гипертрофной пресноводной экосистеме.

Основными доминирующими видами в фитопланктоне Куршского залива были: *Actinocyclus normanii*, *Stephanodiscus neoastreae*, *S. hantzschii*, *Aulacoseira islandica*, *Cyclotella meneghiniana*, *Asterionella formosa*, *Anabaena* sp., *Aphanizomenon flos-aquae*, *Planktothrix agardhii*, *Microcystis aeruginosa*, *M. viridis*, *M. wessenbergii*. Основными доминирующими видами в фитопланктоне Вислинского залива были: *Diatoma elongatum*, *Cyclotella meneghiniana*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Cryptomonas* sp., *Peridiniella catenata*, *Planctonema lauterbornii*, *Tetrastrum glabrum*, *Monoraphidium contortum*, *Oocystis lacustris*, *Anabaena spiroides*, *A. minderi*, *Anabaena* sp., *Lyngbya contorta*, *Woronichinia compacta*, *Actinocyclus normanii*, *Teleaulax acuta*. Динамика доминирующего

комплекса видов в заливах характеризовалась значительной межгодовой изменчивостью и определяла изменения суммарной биомассы. Наибольшее варьирование биомассы отмечалось весной и осенью, более сглаженная динамика биомассы была характерна для лета (рис. 4).

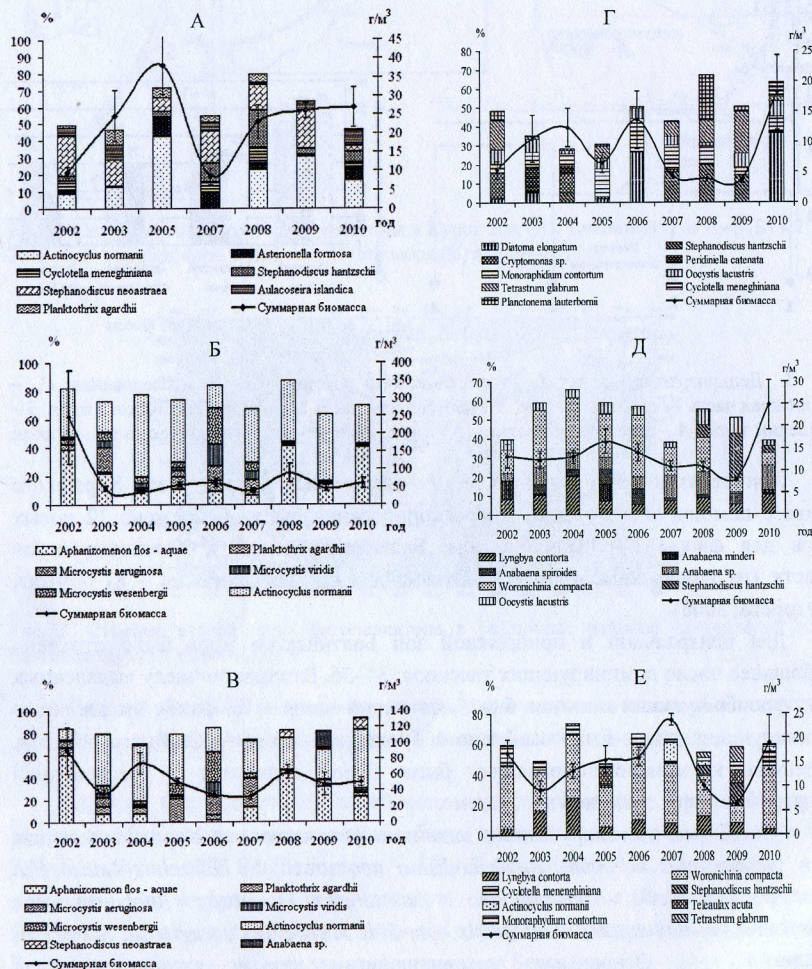


Рис. 4. Многолетняя динамика средней относительной биомассы доминирующих видов и средней суммарной биомассы фитопланктона Куршского (А – весной, Б – летом, В – осенью) и Вислинского залива (Г – весной, Д – летом, Е – осенью) в 2002–2010 гг. Биомасса фитопланктона (по правой оси), доля доминирующих видов в составе сообществ (по левой оси).

В Куршском заливе согласно классификации Reynolds (2002) структура сообществ характеризовалась доминированием H_1 , M , S_1 , D , C функциональных групп. Структура сообществ Вислинского залива характеризовалась доминированием групп L_0 , X_1 , D и F , J , S_1 . В течение вегетационного сезона функциональные группы вместе составляли не менее 80 % общей биомассы фитопланктона в каждом заливе. Анализ изменения биомассы доминирующих видов в градиенте абиотических факторов показал, что выявленные особенности экологии видов фитопланктона Куршского залива характеризовали доминирующий комплекс как устойчивый к низкому освещению, развивающийся в широком температурном диапазоне в условиях низкого содержания азота и достаточно высокой обеспеченности фосфором. Это совпадает и с характеристикой Reynolds (2002) для функциональных групп, выявленных в Куршском заливе. Так, в весенний период времени доминирующие группы D , C характеризуют экосистему залива как эвтрофный водоем, который отличается высоким уровнем содержания фосфора в воде при низком уровне содержания азота. В летние месяцы доминировали группы H_1 , M , S_1 , что позволяет характеризовать экологический статус экосистемы Куршского залива как водоем гипертрофного типа.

Анализ изменения биомассы доминирующих видов в градиенте абиотических факторов показал, что выявленные особенности экологии видов фитопланктона Вислинского залива характеризовали представителей доминирующего комплекса как алкалофилы, адаптированные к повышенной мутности воды. Специфические гидрохимические и гидрологические условия Вислинского залива препятствовали развитию и длительной вегетации в составе сообществ фитопланктона обычных форм «цветения» воды. Группы L_0 , X_1 , D , F , J , S_1 фитопланктона типичны для небольших водоемов, с высоким содержанием органических веществ, загрязненных промышленными стоками и отходами животноводческих предприятий, выбросами вод канализационных коллекторов.

Комплекс доминирующих видов фитопланктона центральной и прибрежной части Балтийского моря характеризовал сезонные изменения фитопланктона исследуемых районов, отражая основные тенденции, которые отмечаются в фитопланктоне Балтики в последние десятилетия. В весенний период времени в составе сообществ доминировали диатомеи и динофлагелляты, в летний – синезеленые водоросли, а к осени в составе сообществ развивались диатомеи и криптозоаны.

Глава 4. Пространственно-временное распределение и сезонная динамика фитопланктона района исследования

Сезонная динамика фитопланктона Балтийского моря и его заливов отражала трофический статус их экосистем.

В Куршском заливе она характеризовалась одновершинным максимумом развития в летний период времени, обусловленным массовым развитием диатомовых и синезеленых водорослей. Средняя за сезон биомасса составила 51 г/м^3 , что характеризует трофический статус водоема как гипертрофный. Сезонная динамика фитопланктона Вислинского залива характеризовалась двумя максимумами – весенним, обусловленным развитием диатомовых и зеленых водорослей, и обширным летним, обусловленным развитием синезеленых и зеленых водорослей. Среднее за сезон значение биомассы составило $11,8 \text{ г/м}^3$, что характеризует трофический статус этого водоема как эвтрофный. Сезонная динамика фитопланктона прибрежной зоны Балтийского моря характеризовалась двумя максимумами развития – весенним, обусловленным развитием диатомовых водорослей, и обширным летним, обусловленным развитием синезеленых и диатомовых водорослей. Средняя за сезон биомасса составила $2,7 \text{ г/м}^3$, что характеризует трофический статус водоема как мезотрофный. Сезонная динамика фитопланктона центральной части Балтийского моря характеризовалась доминированием диатомовых и динофитовых водорослей весной, синезеленых и динофитовых – летом и диатомовых – осенью. Среднее за сезон значение биомассы фитопланктона составило $1,7 \text{ г/м}^3$. В центральной части Балтийского моря в каждый из сезонов на достаточно высоком уровне сходства (50–60 %), выделялось 3–4 флористических фитопланктонных группировки. Границы группировок, также как и набор доминирующих в них видов, весной, летом и осенью изменялись в зависимости от воздействия гидрологических и гидрохимических факторов среды.

Глава 5. Размерные характеристики фитопланктона Куршского и Вислинского заливов

В результате проведенных исследований было установлено, что наибольшие величины среднечасовых объемов клеток были свойственны альгоценозам Балтийского моря – от 1800 до 6200 мкм^3 и составляли в среднем $4212 \pm 2883 \text{ мкм}^3$, а наименьшие – фитопланктону Вислинского залива – от 63 до 1977 мкм^3 , составляя в среднем $315 \pm 304 \text{ мкм}^3$. Размерные характеристики фитопланктона Куршского залива варьировали от 336 до 5468 мкм^3 , составляя в среднем $2173 \pm 1123 \text{ мкм}^3$. Возможно, такие различия в размерах связаны с тем, что воды этих акваторий характеризовались различной соленостью. Наибольшая сезонная изменчивость рассматриваемого показателя была свойственна фитопланктону Балтийского моря и Куршского залива, а наиболее сглаженная сезонная динамика – Вислинскому заливу. Для Вислинского залива в среднем минимальные значения были отмечены летом и осенью, а максимальные – весной (рис. 5).

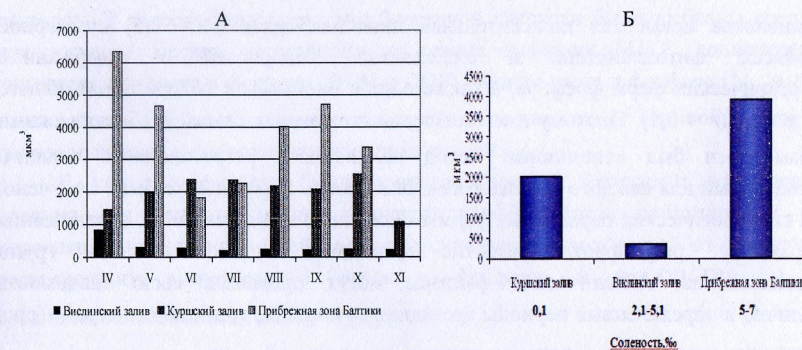


Рис. 5. Сезонная динамика размерных характеристик фитопланктона исследованных водоемов (А) и среднечасовые объемы клеток фитопланктона и соленость воды (Б).

Размерная структура альгоценозов сказывалась на изменчивости величины биомассы фитопланктона исследуемых акваторий. В Куршском заливе по сравнению с Вислинским степень изменчивости среднесезонных значений биомассы фитопланктона была в 2–3 раза выше (рис. 6).

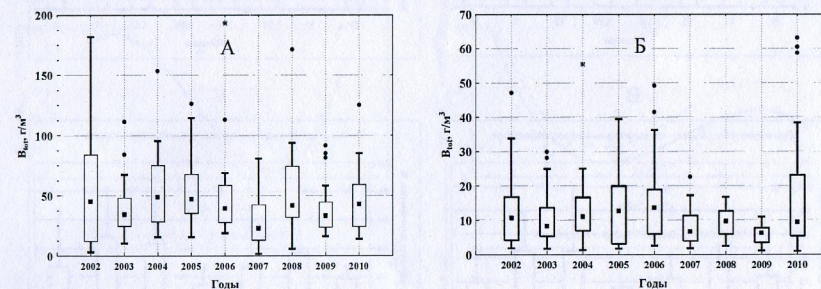


Рис. 6. Межгодовая динамика биомассы фитопланктона Куршского (А) и Вислинского (Б) заливов в 2002–2010 гг.

Глава 6. Влияние абиотических факторов среды и процесса эвтрофирования на характеристики фитопланктона Куршского и Вислинского заливов

При анализе влияния абиотических факторов водной среды на биомассу фитопланктона Куршского залива с использованием всего массива данных, было установлено наличие высокой положительной линейной связи ($r = 0,9$) между содержанием P_{tot} , N_{tot} и биомассой синезеленых водорослей, а также с общей биомассой фитопланктона. При анализе статистических связей биомассы фитопланктона Вислинского залива с гидрохимическими параметрами была

установлена невысокая положительная линейная связь ($r = 0,5$) суммарной биомассы фитопланктона и синезеленых водорослей с содержанием неорганических форм фосфора, а также общей биомассы с содержанием общего азота N_{tot} ($r = 0,5$). Поэтому для выявления возможных связей с абиотическими параметрами был использован метод нелинейного регрессионного анализа, проведенный для каждого месяца и каждого залива. В результате было получено, что гидрологические параметры, формы биогенных элементов и их соотношения по-разному регулируют развитие различных систематических групп фитопланктона. Абиотические факторы могут проявлять свою значимость различно в определенные периоды времени в течение вегетационного сезона (рис. 7).

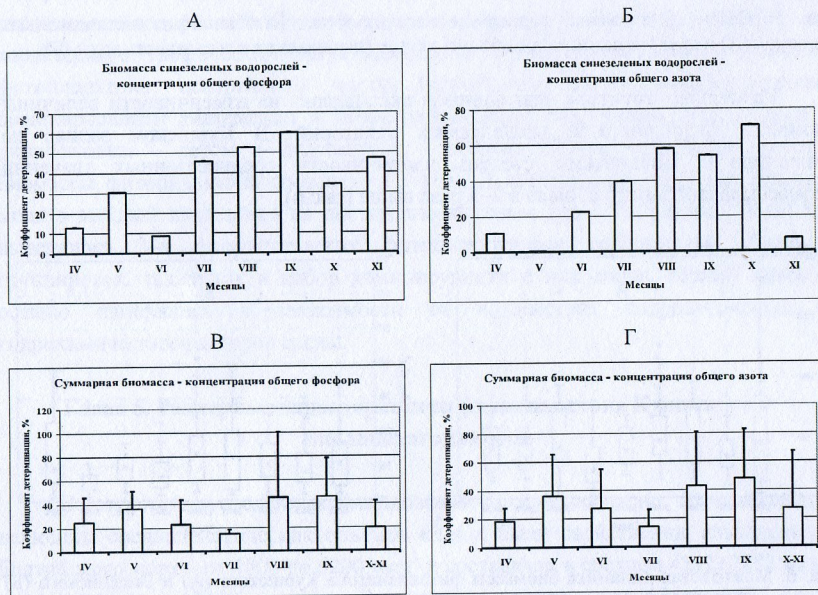


Рис.7. Результаты нелинейного регрессионного анализа статистических взаимосвязей между значениями суммарной биомассы синезеленых водорослей и гидрохимическими параметрами водной среды в Куршском заливе (А, В) и суммарной биомассы фитопланктона и гидрохимическими параметрами водной среды в Вислинском заливе (В, Г).

При анализе временной динамики изменений коэффициента детерминации R^2 (который рассматривался как показатель силы нелинейной корреляционной связи), было проведено исследование того, в силу каких причин R^2 меняется или, наоборот, не меняется. Для этого было рассмотрено, как в Вислинском и Куршском заливах значение R^2 может меняться, в частности, от уровня биогенной

нагрузки. В качестве характеристик биогенной нагрузки были выбраны средние для каждого месяца вегетационного сезона значения БПК₅, концентрация органического азота и фосфора (DON и DOP), общего азота и фосфора (N_{tot} и P_{tot}). Аналогичным образом можно рассмотреть влияние на R^2 и любых других гидрологических и гидрохимических показателей.

В качестве примера были проанализированы возможные взаимосвязи средних для каждого месяца значений коэффициентов детерминации для корреляционных зависимостей биомассы синезеленых водорослей от отношения растворенного минерального азота к фосфору $B_{cyan} = f(DIN/DIP)$ и от среднемесячных величин БПК₅, N_{tot} (рис. 8).

Установлено, что в большинстве случаев изменения силы связи зависят от уровня биогенной нагрузки. Это, в свою очередь, в количественной и качественной форме свидетельствует о направленности происходящих функциональных изменений в экосистемах заливов. Влияние рассматриваемых показателей биогенной нагрузки на величину R^2 может проявляться по-разному. В некоторых случаях эти изменения близки к линейным зависимостям. Однако в большинстве случаев они нелинейные.

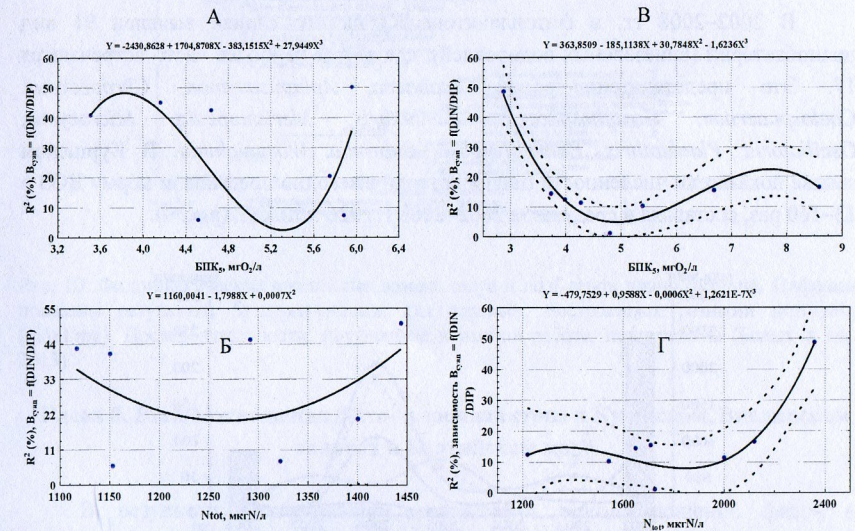


Рис. 8. Изменения коэффициентов детерминации для зависимости биомассы синезеленых водорослей от соотношения минеральных форм азота и фосфора в зависимости от уровня биогенной нагрузки (БПК₅, N_{tot}) в 2002–2010 гг. (А, Б – Вислинский залив; В, Г – Куршский залив).

На основе этого можно сделать следующие заключения: 1. при протекании различных процессов в экосистемах может иметь место так называемый

«компенсационный эффект», когда одни факторы на определенных диапазонах своего изменения приводят к увеличению значений R^2 , а другие, в то же самое время, – к его уменьшению; 2. разные показатели биогенной нагрузки на тех или иных участках своего изменения могут приводить либо к согласованному повышению, либо, наоборот, к уменьшению значений R^2 для тех или иных корреляционных зависимостей. Причем на разных диапазонах изменений уровня биогенной нагрузки эти процессы могут проявляться по-разному, с разной степенью выраженности и интенсивности.

По-видимому, аналогичные выводы можно сделать и по другим факторам, и по другим зависимостям и соответствующим им коэффициентам детерминации. Таким образом, анализ показывает наличие в системах заливов множества связей, в результате чего экосистемы по-разному реагируют на внешние воздействия (в частности, как в приведенных примерах, – на разные уровни и сочетания разных компонентов, характеризующих биогенную нагрузку).

Глава 7. Динамика потенциально-токсичных видов фитопланктона и их влияние на экосистему Куршского залива

В 2002–2008 гг. в фитопланктоне Куршского залива выявлен 91 вид цианобактерий (синезеленых водорослей), среди них наиболее часто встречаются 17. Это представители родов *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Chroococcus*, *Coelosphaerium*, *Gomphosphaeria*, *Limnothrix*, *Merismopedia*, *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Planktothrix*, *Planktoolyngbya*, *Snowella*, *Woronichinia*. В Куршском заливе показатели численности цианобактерий ежегодно превышали норму ВОЗ в 13–160 раз, составляя в среднем за 2002–2008 гг. 926 млн.кл/л (рис. 9).

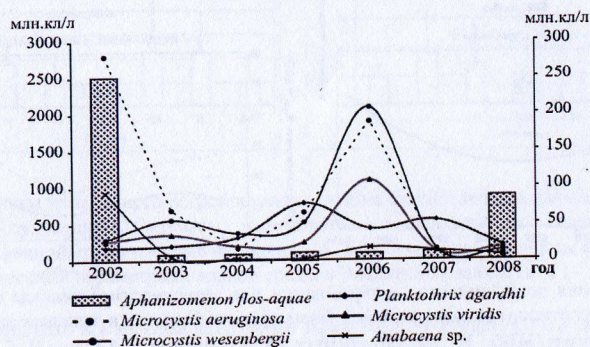


Рис. 9. Средние за вегетационный сезон (апрель–ноябрь) 2002–2008 гг. значения суммарной биомассы фитопланктона (СБФ), биомассы цианобактерий и доли цианобактерий в СБФ. (*Aph. flos-aquae* – по левой оси; *P. agardhii*, *M. aeruginosa*, *M. viridis*, *M. wesenbergii*, *Anabaena* sp. – по правой оси).

В Куршском заливе в годы «гиперцветений» воды синезелеными водорослями (2002 и 2006 гг.) наблюдали аномалии в зоопланктоне (увеличение доли мертвых особей в составе сообществ) и патологии рыб (морфопатологические изменения кожи, глаз, жабр и внутренних органов, гематологических показателей, дистрофические изменения в гепатоцитах, отек жаберной ткани, потеря респираторного эпителия). Отмечено, что за последние 10 лет в Куршском заливе показатели заболеваемости популяции основного промыслового объекта – леща (*Abramis brama* (L.)) увеличились с 21 до 43 %. Очевидно негативные изменения были связаны с воздействием цианобактериальных токсинов на гидробионтов (Chukalova, Dmitrieva, 2011; Семенова, Дмитриева, 2010).

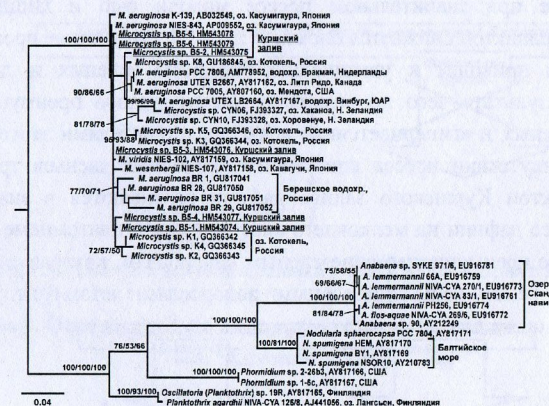


Рис. 10. Филогенетический анализ амт домена rbcL и ndaf генов цианобактерий. Цифрами показаны результаты бутстреп-анализа для деревьев, построенных разными методами (nj/ml/mp). Последовательности, полученные в данной работе, подчеркнуты (Белых и др., 2013).

Глава 8. Взаимоотношения фито- и зоопланктона в Куршском, Вислинском заливах и Балтийском море

В результате исследования трофических взаимоотношений фито- и зоопланктона было установлено, что в Куршском заливе низкое потребление водорослей (до 12–14 % в среднем за вегетационный период) свидетельствовало о накоплении биомассы фитопланктона и передаче большей части энергии через детритную пищевую сеть. Соотношение биомасс фито- и зоопланктона в среднем за исследованный период было 0,08:1, что характерно для гипертрофных вод. В Вислинском заливе высокая степень утилизации фитопланктона зоопланктоном

(до 49 % в среднем за сезон) способствовала снижению его биомассы и продукции и передаче энергии в основном по пастбищному пути. Соотношение биомассы фито- и зоопланктона в среднем за исследованный период было 0,21, что характерно для мезотрофных вод. В центральной части Балтийского моря в среднем за исследуемый период 2005–2006 гг. зоопланктоном могло потребляться до 40 % биомассы фитопланктона, что свидетельствовало о передаче энергии по пастбищному пути. Отношение B_z/B_{ph} в летний период времени составило 1,58 и было характерно для олиго-мезотрофных вод.

«Цветение» воды синезелеными водорослями в Куршском заливе имеет разную интенсивность. Возможные причины межгодовой динамики этого явления состоят в особенностях трофических взаимоотношений фито- и зоопланктона. В Куршском заливе при значительном прессе молоди рыб и хищного рачка лептодоры на зоопланктон снижается биомасса дафний. Отсутствие прессы дафний на фитопланктон приводит к увеличению биомассы зеленых и диатомовых водорослей, в результате чего не возникает конкурентного преимущества для развития синезеленых и «гиперцветения» воды представителями этого отдела не происходит. В отсутствие прессы консументов конечных звеньев трофической сети на зоопланктон Куршского залива дафнии развиваются в значительных количествах. Пресс дафнии на мелкоклеточные зеленые и диатомовые водоросли дает конкурентное преимущество синезеленым водорослям, которые в результате вызывают «гиперцветение» воды синезелеными водорослями летом (рис. 11).

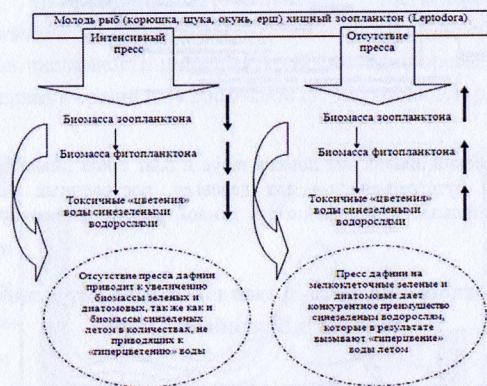


Рис. 11. Схема трофических взаимоотношений фито- и зоопланктона в Куршском заливе.

В Вислинском заливе «цветение» воды синезелеными водорослями имеет невысокую интенсивность и продолжительность. Трофические взаимоотношения фито- и зоопланктона осуществляются по одной схеме. Ежегодно молодь балтийской сельди, успешно потребляющая зоопланктон, заходит в Вислинский

залив на нерест. В процессе утилизации растительного зоопланктона велика также и доля хищного вида-вселенца в зоопланктон *Cercopagis pengoi*, которым потребляется большая часть биомассы зоопланктона. Оставшаяся часть видов зоопланктона может снижать биомассу фитопланктона, сформированную мелкоклеточными видами, которые доступны для потребления консументами. В результате этого «цветение» воды синезелеными водорослями в Вислинском заливе протекает не столь интенсивно, как в Куршском заливе. Вместе с тем, важным фактором отсутствия гиперцветений может быть и структура сообществ – отсутствие в составе доминирующих видов колониальных видов рода *Microcystis* и нитчатых водорослей рода *Aphanizomenon*. Экологические особенности данных видов не позволяют им развиваться в солоноватоводных условиях Вислинского залива (рис. 12).

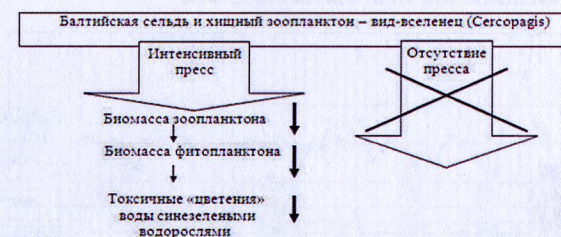


Рис. 12. Схема трофических взаимоотношений фито- и зоопланктона в Вислинском заливе.

Глава 9. Оценка трофического статуса и качества воды заливов по фитопланктону

За последние 20 лет (1990–2010 гг.) по сравнению с периодом 1974–1984 гг. отмечено увеличение биомассы фитопланктона: в Вислинском заливе – в 7 раз, в Куршском – в 10 раз. По средним за вегетационный сезон и средним за летний период времени значениям биомассы фитопланктона трофический статус Куршского залива можно оценить как гипертрофный, Вислинского – как эвтрофный. Было установлено, что средние значения индекса сапробности Куршского и Вислинского заливов отличались незначительно (1,9–2,0). Поэтому применение данного индекса для оценки качества вод в водоемах высокого уровня трофии не вполне показательно. Значения индекса видового разнообразия Шеннона были низкими в весенний и летний период в Куршском заливе и в прибрежной зоне Балтийского моря в течение всех сезонов. Более высокие значения индекса были характерны для Вислинского залива и центральной части Балтики. Индекс доминирования Симпсона был выше в заливах, а также в тех районах моря, где монодоминирование фитопланктона выражено в большей степени. Согласно классификации Mishke (Mishke et al., 2002), экологическое состояние Вислинского залива по биомассе фитопланктона оценивалось как

«среднее», и только в летние месяцы нескольких лет – как «плохое». В то же время, в 2007–2010 гг., несмотря на снижение биомассы, значения Q -индекса указывали на ухудшение экологического качества вод до категории «плохое» для всего вегетационного сезона. В 2002–2010 гг. экологическое состояние Куршского залива на основании значений биомассы и таксономического Q -индекса в течение вегетационного сезона, кроме весенних месяцев, может быть оценено как «плохое» (рис. 13, 14). Степень варьирования индекса сапробности и индекса Шеннона в заливах различного трофического статуса невелика и поэтому в целом малопригодна для оценки качества воды в водоемах гипертрофного типа. Применение Венгерского Q -индекса сообществ и суммарной биомассы фитопланктона для решения подобных задач более показательнее.

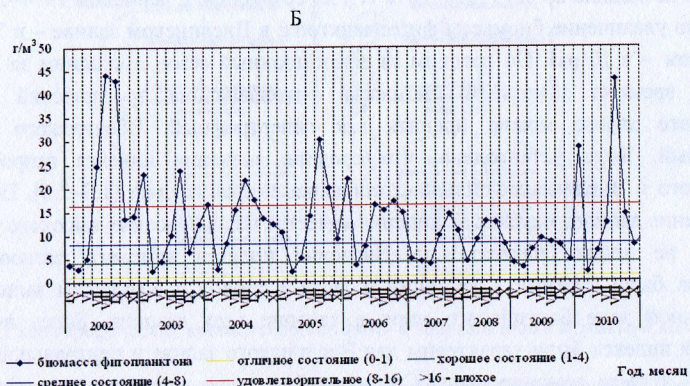
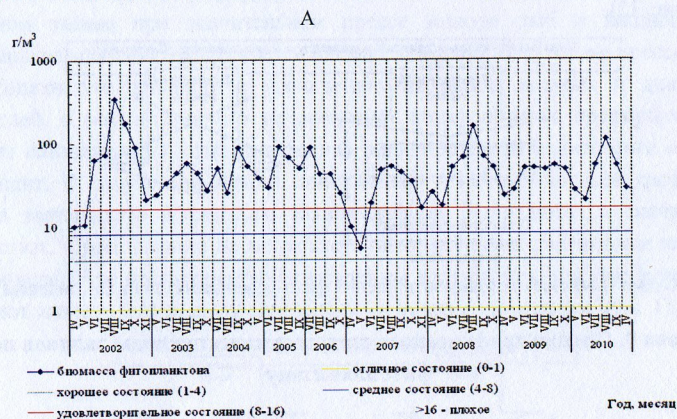


Рис. 13. Многолетние сезонные изменения биомассы фитопланктона в Куршском заливе (А), Вислинском заливе (Б) в 2002–2010 гг., и оценка экологического состояния вод по классификации (Mishke et al., 2002).

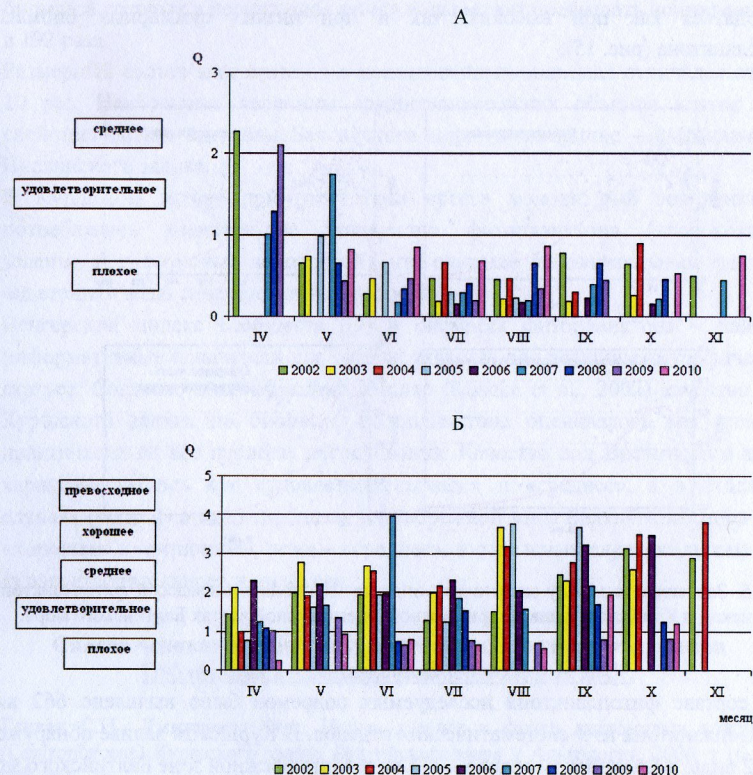


Рис. 14. Многолетняя сезонная динамика Венгерского индекса сообществ Q и классы качества воды в Куршском заливе (А) и Вислинском заливе (Б).

При исследовании зависимости связи биомассы с разнообразием было установлено, что связь между индексом Шеннона и суммарной биомассой фитопланктона (В) была нелинейной. До достижения определенного «критического» уровня биомасс B_{cr} значение индекса Шеннона возрастало по мере роста величин суммарной биомассы. «Критическое» значение биомассы в Вислинском заливе составляло $B_{cr} \approx 8-9$ г/м³; в Куршском – $B_{cr} \approx 30$ г/м³; а в прибрежной и центральной зонах Балтийского моря – $B_{cr} \approx 1,6-1,9$ г/м³. При значениях $B > B_{cr}$ с ростом биомассы фитопланктона значение индекса Шеннона снижалось. Таким образом, использовать индекс Шеннона в целях биоиндикации качества вод по фитопланктону не представляется возможным, поскольку по мере роста трофии минимального значения разнообразие может достигать как в «слабо», так и в высокотрофных водах, а максимум разнообразия может

наблюдаться как при высоких, так и при низких суммарных биомассах фитопланктона (рис. 15).

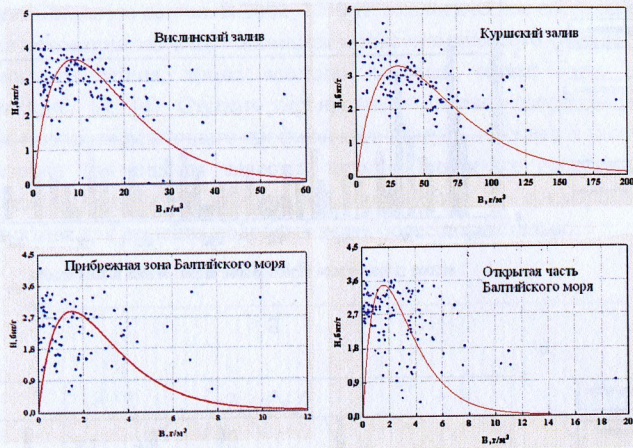


Рис. 15. Зависимость между значениями индекса Шеннона и биомассой фитопланктона в Вислинском и Куршском заливах, прибрежной и центральной частях Балтийского моря.

Выводы:

1. В составе фитопланктона исследуемых водоемов было выявлено 662 вида фитопланктона из 9 систематических отделов. В Куршском заливе обнаружено 462 вида, в Вислинском заливе – 311 видов, прибрежной зоне Балтийского моря – 194 вида, центральной части Балтийского моря – 206 видов фитопланктона, среди которых 12 новых видов центральных диатомовых, ранее не описанных для района исследования.
2. Сезонная динамика биомассы фитопланктона отражала трофический статус водоемов и в Балтийском море характеризовалась весенним максимумом с последующим постепенным ее снижением к осени, в Вислинском заливе – весенним и обширным летним пиками, в Куршском заливе – одним летним максимумом. В центральной части Балтийского моря в 2005–2006 гг. ежегодно выделялись 3–4 альгоценологических комплекса, которые отличались составом доминирующих видов и значениями суммарной биомассы.
3. Характер и сила статистических связей количественных и структурных характеристик фитопланктона с гидрологическими и гидрохимическими показателями водной среды была различной в разные периоды вегетационного сезона и зависела от уровня биогенной нагрузки.
4. В фитопланктоне Куршского залива выявлены токсичные штаммы синезеленых водорослей рода *Microcystis*, способные продуцировать гепатотоксины,

биомасса которых в период «цветения» воды может превышать нормативы ВОЗ в 192 раза.

5. Размерный состав альгоценозов в исследованных водоемах отличался от 2 до 10 раз. Наибольшие величины среднеценотических объемов клеток были свойственны альгоценозам Балтийского моря, наименьшие – фитопланктону Вислинского залива.
6. В Куршском заливе при отсутствии пресса молоди рыб зоопланктоном потреблялось значительное количество фитопланктона (хлорококковых зеленых и диатомовых водорослей), что служило дополнительным фактором «цветения» воды синезелеными водорослями.
7. Венгерский индекс сообществ (Q) и биомасса фитопланктона – наиболее информативные показатели для оценки качества вод различного трофического статуса. Согласно классификации Мишке (Mishke et al., 2002) качество воды Куршского залива по биомассе фитопланктона оценивалось как «плохое» практически во все периоды исследования. Качество вод Вислинского залива характеризовалось как «удовлетворительное» и «среднее», а в отдельных случаях (весной) – как «хорошее», а прибрежной зоны Балтийского моря – как «хорошее» и «отличное», реже – «среднее», в отдельных случаях (летом) – как «удовлетворительное» и «плохое».

Список основных работ, опубликованных по теме диссертации Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Генкал С.И., Дмитриева О.А. Новые данные к флоре диатомовых водорослей (Centrophyceae) Куршского залива Балтийского моря // Альгология, 2006, т. 16 (4), с. 459–466.
2. Александров С.В., Дмитриева О.А. Первичная продукция и уровень развития фитопланктона как показатели эвтрофирования Куршского залива Балтийского моря // Водные ресурсы, 2006, т. 33, №1, с. 104–110.
3. Семенова А.С., Дмитриева О.А. «Цветение» синезеленых водорослей как одна из причин повышения смертности зоопланктона Куршского залива Балтийского моря // Бюллетень МОИП. Отдел биологический, 2010, т. 115, №6, с. 32–38.
4. Dmitrieva O.A., Semenova A.S. Seasonal dynamics of phyto- and zooplankton and their relationships in hypertrophic reservoir // Inland Water Biology, 2011, v. 4, № 3, p. 308–315.
5. Дмитриева О.А., Семенова А.С. Сезонная динамика и трофические взаимоотношения фито- и зоопланктона в Вислинском заливе Балтийского моря // Океанология, 2012, т. 52, №6, с. 851–856.
6. Jūratė Lesutienė, Anna Semenova, Evelina Griniėnė, Zita R. Gasiūnaitė, Viktorija Savickytė and Olga Dmitrieva Abundance dynamics and functional role of predaceous *Leptodora kindtii* in the Curonian lagoon // Central European Journal of Biology, 2012, v. 7, №1, p. 91–100.
7. Бельх О.И., Дмитриева О.А., Гладких А.С., Сороковикова Е.Г. Идентификация токсикогенных цианобактерий рода *Microcystis* в Куршском заливе Балтийского моря // Океанология, 2013, т. 53, №1, с. 78–87.

8. Подгорный К.А., **Дмитриева О.А.**, Семенова А.С., Леонов А.В. Исследование взаимосвязей размеров и продукционных характеристик фито- и зоопланктона в Вислинском и Куршском заливах Балтийского моря. Часть 1. Статистический анализ данных многолетних наблюдений и разработка структуры математической модели трофической цепи планктона // Компьютерные исследования и моделирование, т.9, № 2, 2017 г., с. 211–246.
9. Семенова А.С., Сиделев С.И., **Дмитриева О.А.** Экспериментальное изучение питания природных популяций *Daphnia galeata* потенциально-токсичными цианобактериями // Известия РАН. Серия биологическая, 2017 г., № 5, с. 25–35.

Публикации в других изданиях:

10. **Дмитриева О.А.** Динамика фитопланктона южной части Куршского залива Балтийского моря в 2002 году // Комплексное изучение бассейна Атлантического океана. – Сб. науч. трудов. – Калининград: Изд-во КГУ, 2003, с. 194–197.
11. Александров С.В., **Дмитриева О.А.** Воздействие «цветения» фитопланктона на прибрежную часть Куршского залива Балтийского моря // Экологические проблемы Калининградской области и Балтийского региона: Сб. науч. трудов. – Калининград: Изд-во КГУ, 2005, с. 142–148.
12. **Дмитриева О.А.** Потенциально токсичные виды фитопланктона Российской части Куршского и Вислинского заливов Балтийского моря // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская Коса». – Сборник научных статей. Вып. 5. – Калининград: Изд-во РГУ им. И. Канта, 2007, с. 102–117.
13. **Дмитриева О.А.** Куршский залив. Фитопланктон // Рыбохозяйственный кадастр трансграничных водоемов России (Калининградская область) и Литвы. – Калининград: Изд-во «ИП Мишуткина», 2008, с. 25–27.
14. **Дмитриева О.А.**, Семенова А.С. Трофические взаимоотношения между фито- и зоопланктоном мелководной эвтрофной лагуны Балтийского моря (на примере Куршского залива) // Гидробиология и иктиопатология: сборник научных трудов, посвященный 120-летию со дня рождения Н.С. Гаевской. – Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2009, с. 42–51.
15. **Дмитриева О.А.** Фитопланктон Калининградского морского канала // Промышленно-биологические исследования АтлантНИРО в 2006–2007 годах. Т. 1. Балтийское море и заливы. Калининград: Изд-во АтлантНИРО, 2009, с. 166–176.
16. Natalia N. Chukalova, **Olga A. Dmitrieva** Fish disease monitoring in the Curonian lagoon of the Southeastern Baltic Sea // Breeding America and Russia with shearing perspectives on aquatic animal health / Cipriano R.C., Brucker A.W., Shchelkunov I.S. editors. – Khaled bin Sultan Living Ocean Foundation, Landover, Maryland, USA, 2011, p. 106–112.
17. Семенова А.С., Александров С.В., **Дмитриева О.А.** Оценка экологического состояния прибрежной зоны Куршского залива вдоль национального парка «Куршская коса» (по данным гидрохимического и гидробиологического мониторинга) // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская Коса». – Сборник научных статей. Вып. 7. – Калининград: Изд-во БГУ им. И. Канта, 2011, с.103–117.
18. Александров С.В., Гришанов Г.В., Гусев А.А., **Дмитриева О.А.**, Ежова Е.Е., Жигалова Н.Н., Карасева Е.М., Кудрявцева Е.А., Назаров Н.А., Семенова С.Н. Фельдман В.Н. Биологические сообщества // Нефть и окружающая среда Калининградской области Т. II: Море / Под ред. В.В. Сивкова, Ю.С. Каджояна, О.Е. Пичужкиной, В.Н. Фельдмана. – Калининград: Терра Балтика, 2012, с. 128–152.