

*На правах рукописи*

**Семенова Анна Сергеевна**

**ИНДИКАТОРНАЯ РОЛЬ ЗООПЛАНКТОНА В ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КУРШСКОГО ЗАЛИВА**

Специальность 03.02.08 – экология (биология)

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Научный руководитель:  
доктор биологических наук  
Крылов А.В.

Борок – 2010

Работа выполнена в Атлантическом научно-исследовательском институте  
рыбного хозяйства и океанографии (АтлантНИРО)

Научный руководитель:

доктор биологических наук  
**Крылов Александр Витальевич**

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук  
**Ривьер Ирина Константиновна**

доктор биологических наук  
**Дубовская Ольга Петровна**

Ведущая организация:

Учреждение Российской академии наук  
Институт проблем экологии и эволюции РАН

Защита состоится «25» ноября 2010 года в 10:00 часов на заседании  
диссертационного совета ДМ002.036.01 при Учреждении Российской академии наук  
Институте биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН  
по адресу: 152742, п. Борок, Некоузского р-на, Ярославской обл.

Тел. /факс: (48547) 24042

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Учреждения Российской академии наук Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2010 года.

Учёный секретарь

диссертационного совета,  
доктор биологических наук



Л.Г. Корнева

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследования.** В настоящее время изучение продуктивности сообществ гидробионтов, оценка их роли в самоочищении водоема, а также оценка экологического состояния водоема по структурным и функциональным характеристикам сообществ гидробионтов остаются одними из приоритетных исследований в гидробиологии. Индикаторная роль зоопланктона в изучении процессов загрязнения и эвтрофирования водоемов показана в ряде работ отечественных и зарубежных ученых (Иванова, 1985; Karabin, 1985; Матвеева, 1991; Андроникова, Смельская, 1994; Иванова, Телеш, 1996; Вандыш, 2000; Крылов, 2005; Haberman, Laugaste, 2003; Paturej, 2006; Haberman et al., 2007). К настоящему времени разработана система показателей этого сообщества, которые могут быть использованы при диагностике трофического статуса водоема (Крючкова, 1989; Андроникова, 1996). Однако, если трофическая классификация олиготрофных, мезотрофных и эвтрофных водоемов умеренной зоны по показателям зоопланктона разработана достаточно полно (Андроникова, 1996), то для водоемов крайнего трофического типа (гиперэвтрофных) таких сведений очень немного.

Кроме этого, нельзя не отметить такую проблему, как дифференциация организмов зоопланктона на мертвых и живых (т.е. погибших до и после фиксации). Ряд исследований показал, что в толще воды может находиться значительное количество мертвых беспозвоночных без видимых признаков разложения, определяемых в качестве живых при стандартной обработке проб счетным методом (Дубовская, 1987; Гладышев, 1993; Смельская, 1995; Дубовская и др., 1999). Особенно велика доля мертвой фракции зоопланктона в водах, подверженных антропогенной нагрузке (Сергеева, 1988; Гладышев, 1993; Кожова, 1991; Смельская, 1994, 1995). Таким образом, ошибка определения состояния сообщества, качества среды по индикаторным организмам зоопланктона и способности водоема к самоочищению при помощи зоопланктона увеличивается именно в наиболее важных с санитарно-гидробиологической точки зрения местах отбора проб.

Куршский залив – крупная мелководная (площадь 1584 км<sup>2</sup>, объем 6,2 км<sup>3</sup>, средняя глубина 3,8 м) пресноводная лагуна Балтийского моря, подверженная сильному антропогенному воздействию. Периодически на акватории залива наблюдаются «гиперцветения» воды за счет массового развития синезеленых водорослей, биомасса которых в отдельные годы значительно превышает уровень, обуславливающий вторичное загрязнение водоема (Olenina, 1998; Александров, Дмитриева, 2006; Александров, 2010). В период «гиперцветения» – в июле–сентябре – в фитопланктоне в массе развиваются потенциально токсичные виды, биомасса которых составляет 22–89% суммарной биомассы фитопланктона (Дмитриева, 2007). Рядом исследователей в воде Куршского залива были обнаружены токсины синезеленых водорослей (Кармайкл и др., 1993; Белых и др., 2009; Paldavičiene et al., 2009), представляющие угрозу для гидробионтов и человека, что подтверждает развитие токсичных Cyanophyta в этом водоеме.

Таким образом, в современный период существует необходимость в предложении адекватной системы показателей зоопланктона, которые могут быть использованы при мониторинге гиперэвтрофного Куршского залива для оценки его трофического статуса и экологического состояния.

**Цель и задачи исследования.** Цель работы – изучение видового состава, структуры и показателей смертности зоопланктона российской части Куршского залива и их изменений при разном уровне развития синезеленых водорослей. Для ее достижения были поставлены следующие задачи:

1. Выявить видовой состав и комплекс доминирующих видов зоопланктона российской части Куршского залива.
2. Исследовать сезонную динамику зоопланктона в разных зонах водоема.
3. Выявить виды и таксономические группы зоопланктона, наиболее чувствительные к массовому развитию синезеленых водорослей.
4. Изучить сезонную и межгодовую динамику, а также пространственное распределение показателей относительной смертности зоопланктона Куршского залива и их изменение при разном уровне развития синезеленых водорослей.
5. Оценить трофический статус Куршского залива по показателям зоопланктона и выявить наиболее информативные структурные показатели зоопланктона, отражающие экологическое состояние водоема.

**Научная новизна работы.** Проведена ревизия видового состава зоопланктонных организмов Куршского залива. Впервые отмечены 10 видов зоопланктеров, 3 из которых достигали массового развития. Видовая принадлежность одного из этих видов (*Daphnia galeata*) была подтверждена генетическими исследованиями. Был выявлен комплекс доминирующих по численности и биомассе видов, изучена его сезонная и межгодовая динамика. Были рассчитаны коэффициенты потери массовых видов мелких коловраток и выявлено истинное соотношение таксономических групп в водоеме. На основании методических исследований был выбран наиболее оптимальный метод окрашивания для установления доли мертвых особей в зоопланктоне Куршского залива. Впервые для водоема была изучена доля мертвых особей в зоопланктоне, а также ее вертикальная, пространственная, сезонная и межгодовая изменчивость. Была выявлена неодинаковая чувствительность таксономических групп зоопланктона к массовому развитию синезеленых водорослей. Проведен анализ воздействия факторов среды и характеристик фитопланктона на динамику показателей смертности зоопланктона. Проведена современная оценка трофического статуса Куршского залива по структурным показателям зоопланктона, были выявлены наиболее информативные показатели, характеризующие экологическое состояние водоема.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Полученные данные о доле мертвых особей в зоопланктоне гиперэвтрофного водоема, чувствительности таксономических групп зоопланктона к массовому развитию токсичных синезеленых водорослей и вторичному загрязнению, влиянии факторов среды и характеристик фитопланктона на показатели смертности зоопланктона, изменении структурных показателей зоопланктона в гиперэвтрофном водоеме являются вкладом в теоретическую науку.

Апробированный метод окрашивания зоопланктона анилиновым голубым красителем является чувствительным для установления воздействия токсичного фитопланктона и вторичного загрязнения на экосистему Куршского залива. Представленные материалы имеют ценность для их дальнейшего использования при мониторинге экосистемы водоема как среды обитания рыб.

**Апробация работы.** Материалы диссертации были доложены и обсуждены на ряде всероссийских и международных конференций, в том числе на Всероссийской конференции «Ветвистоусые ракообразные: систематика и биология» (Борок, 2007); на XIII Международной школе-конференции «Биология внутренних вод» (Борок, 2007); на V и VI научно-практических конференциях «Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса» (Калининград, 2007, 2008); на III Всероссийской научной конференции «Принципы и способы сохранения биоразнообразия» (Пушино, 2008); на Международной конференции «Комплексное управление, индикаторы развития, пространственное планирование и мониторинг прибрежных регионов юго-восточной Балтики» (Калининград, 2008); на XV и XVI Международных конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (Москва, 2008, 2009); на III Всероссийской конференции по водной токсикологии «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы» (Борок, 2008); на X Международном экологическом форуме «День Балтийского моря» (Санкт-Петербург, 2009); на VII Международной конференции «Baltic Sea Science Congress» (Таллин, Эстония, 2009); на X Съезде Гидробиологического общества РАН (Владивосток, 2009); а также на расширенных заседаниях лаборатории экологии водных беспозвоночных Института биологии внутренних вод РАН (Борок, 2009, 2010); на расширенных межлабораторных коллоквиумах, Отчетных сессиях Ученого совета Атлантического научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (2007, 2008, 2009), заседании Методического совета АтлантНИРО (2010) и вошли в отчеты о выполнении плана научно-исследовательских работ АтлантНИРО за 2007–09 гг.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1. Изучение доли мертвых зоопланктеров необходимо в исследованиях, целью которых выступает оценка качества воды водоема.
2. Основными факторами, вызывающими значительное увеличение показателей смертности зоопланктона в гиперэвтрофном Куршском заливе, являются степень развития токсичного фитопланктона и вторичное загрязнение водоема.
3. Чувствительность таксономических групп зоопланктона к массовому развитию синезеленых водорослей и вторичному загрязнению увеличивается в ряду Cyclopoidea → Calanoida → Rotifera → Cladocera.
4. Структурные показатели зоопланктона, позволяющие оценить трофический статус водоема, в гиперэвтрофных водах при массовом развитии синезеленых водорослей изменяются нелинейно, что связано с тем, что отдельные виды и группы зоопланктона погибают, и это может приводить к ошибочной оценке трофического статуса и экологического состояния водоема по этим показателям.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 38 работ, в том числе 4 в рецензируемых журналах, входящих в число рекомендованных ВАК.

**Структура и объем диссертации.** Работа изложена на 249 страницах и состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы, включающего 358 источников (в том числе 137 на иностранном языке) и приложений (1–4). Работа иллюстрирована 42 рисунками и 26 таблицами. В приложении приводится около 30 оригинальных фотографий зоопланктона.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю д.б.н. А.В. Крылову за неоценимую помощь и поддержку в процессе работы над диссертацией. Искреннюю благодарность выражаю к.б.н. Н.Г. Шевелевой за всестороннюю помощь при определении гидробионтов, консультации при написании диссертации и постоянную дружескую поддержку. Я глубоко признательна к.б.н. О.П. Полтарухе за поддержку и обсуждение результатов диссертационной работы. Отдельную благодарность хотелось бы выразить н.с. лаборатории гидробиологии О.А. Дмитриевой за любезно предоставленные данные по количественному развитию фитопланктона в период исследований, а также за ценные советы по работе и дружескую поддержку. Также я благодарна зав. сектором гидрохимии В.А. Смыслову за предоставленные сертифицированные данные по гидрохимическим показателям. Хотелось бы выразить большую благодарность д.б.н. Н.Н. Смирнову, д.б.н. Н.М. Коровчинскому, д.б.н. А.А. Котову, к.б.н. А.Ю. Синеву, д.б.н. И.К. Ривьер, к.б.н. В.А. Гусакову, д.б.н. В.И. Лазаревой и к.б.н. С.М. Смирновой за помощь и ценные консультации при установлении видовой принадлежности зоопланктонных организмов. Искренне благодарю к.б.н. Е.И. Зуйкову за проведение генетического анализа особей р. *Daphnia*. Хочу выразить благодарность д.б.н. М.И. Гладышеву за безвозмездно переданный мне стейнер для окрашивания проб зоопланктона. Благодарю всех сотрудников лаборатории гидробиологии АтлантНИРО и, в особенности, заведующего лабораторией, к.б.н. С.В. Александрова за помощь в выполнении данной работы, ценные консультации и поддержку. Автор выражает признательность директору АтлантНИРО, к.б.н. М.М. Хлопникову, зам. директора, к.б.н. В.А. Сушину и зам. директора, д.б.н. А.Г. Архипову за внимание и предоставленную возможность работать по данной теме в рамках научно-исследовательской программы АтлантНИРО. Отдельная благодарность программисту О.Н. Шабаршину за разработку оригинальных программ для расчета показателей зоопланктона и дружескую поддержку. Также хотелось бы поблагодарить заведующего научно-экспериментальной базой, к.б.н. В.К. Старовойтова и сотрудников базы АтлантНИРО, капитана и команду научного судна «Орленок» АтлантНИРО, сотрудников М.В. Фельдмана и М.В. Монита за помощь и содействие в организации экспедиционных работ и сборе проб зоопланктона.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

В главе рассмотрены основные черты гидрологического, гидрохимического режимов, особенности сообществ бактерио- и фитопланктона, макрофитов, бентоса и рыбного населения Куршского залива в современный период и в ретроспективном плане. Показана степень изученности сообщества зоопланктона водоема. Приводится оценка трофического статуса водоема по гидрохимическим и гидробиологическим показателям, согласно которой в современный период залив относится к гиперэвтрофным водоемам, что отражается на структуре и функционировании населяющих его гидробионтов.

### **ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

#### **2.1. Материал и методы сбора проб**

Исследования зоопланктона Куршского залива проводили в марте–ноябре 2007–09 гг. Изучали три участка: литоральную зону, центральную часть и переходную

между ними зону (рис. 1). Отбор проб в центральной зоне водоема проводили в 2007–09 гг. с апреля по ноябрь 1 раз в месяц на 6 стандартных станциях АтлантНИРО, равномерно охватывающих всю российскую часть Куршского залива. В переходной прибрежной зоне в 2007 г. пробы отбирали с марта по сентябрь 4 раза в месяц, в 2008–09 гг. с апреля по октябрь 2 раза в месяц на стандартной станции, расположенной в 500 м от берега в районе научно-исследовательской базы АтлантНИРО. В литоральной зоне исследования были эпизодическими, пробы собирали в 2007–08 гг. 1–2 раза за сезон на 2–4 участках в основном открытого мелководья.



**Рис. 1.** Карта-схема отбора проб в Куршском заливе: 1 – центральная зона, 2 – переходная зона, 3 – литоральная зона (цифрами на карте обозначены номера станций отбора проб в центральной зоне).

В центральной и переходной зоне пробы собирали батометром Ван-Дорна объемом 6 л с трех горизонтов, при этом в 2007 и 2008 гг. пробы с разных горизонтов просматривались отдельно, а в 2009 г. сливались вместе для получения одной интегральной пробы. В литоральной зоне пробы собирали на глубине 0,5–1,5 м с помощью ведра, процеживая 50–100 л воды. Для концентрации зоопланктона использовали планктонную сеть с мельничным газом № 70. Пробы фиксировали 4% формалином с сахарозой (Haney, Hall, 1973).

Кроме стандартных сборов проб в 2007–09 гг. в центральной и переходной прибрежной зонах проводили параллельные сборы проб для окрашивания их анилиновым голубым красителем. Пробы собирались по той же методике с помощью батометра Ван-Дорна. Также в 2007 г. на каждой станции в центральной и в переходной прибрежной зоне в поверхностном горизонте отбирали одну пробу для окрашивания ее нейтральным красным красителем, а также 2 пробы по 1,5 литра для учета потери мелких организмов при фильтрации, одну из них профильтровывали через сачок из газа № 70, вторую отстаивали в течение 10 дней и затем сливали при помощи стеклянного сифона для получения пробы осадочного планктона (Методика ..., 1975).

Кроме этого в 2009 г. было проведено сравнение способа окрашивания зоопланктона анилиновым голубым красителем, который использовался нами (Seepersad, Strippen, 1978) и метода окрашивания этим же красителем, (также по Seepersad, Strippen, 1978), с применением специального прибора для окрашивания – «стейнера», который использует О.П. Дубовская (2008). С этой целью в переходной прибрежной зоне по той же методике, что и для стандартных мониторинговых проб,

ежемесячно с апреля по октябрь отбирали 6 параллельных проб зоопланктона. Всего за период исследования 2007–09 гг. собрано и обработано 876 проб зоопланктона (табл. 1).

**Таблица 1.** Объем собранного материала

Вид пробы	Годы сбора			Всего за 2007-2009 гг.
	2007	2008	2009	
Неокрашенные пробы	162	119	54	335
Пробы, окрашенные анилиновым голубым красителем	154	107	54	315
Пробы, окрашенные нейтральным красным красителем	54	-	-	54
Пробы, профильтрованные через сачок из газа № 70 и осадочные пробы, собранные для учета потери мелких организмов при фильтрации	130	-	-	130
Пробы, собранные для сравнения двух методов окрашивания зоопланктона анилиновым голубым красителем	-	-	42	42
<b>Итого</b>	<b>500</b>	<b>226</b>	<b>150</b>	<b>876</b>

## 2.2. Методы окрашивания проб

**Окрашивание анилиновым голубым красителем.** С целью дифференциации живых и мертвых особей сразу после отбора проб зоопланктон окрашивали 7,5% раствором анилинового голубого красителя (Seepersad, Crippen, 1978, Gladyshev et al., 2003; Dubovskaya et al., 2003; Дубовская, 2008; Bickel et al., 2008). Окрашивание производили в специальных пластиковых трубках с крышечками из газа № 70, в которые проба зоопланктона после отбора выливалась полностью, вода стекала, а зоопланктон оставался в трубке, после чего она помещалась в емкость с красителем, где проба окрашивалась в течение 15 мин. Окрашивание зоопланктона производили сразу же после его отбора, на борту судна, что исключало дополнительную гибель зоопланктеров в результате транспортировки проб. Известно, что данный метод окрашивает мертвых особей зоопланктона, погибших в интервале от 1 часа до 2–3 суток (Дубовская, 2008), таким образом, было исключено завышение доли мертвых особей, которые могли погибнуть в результате травмирования при отборе проб. После окрашивания пробы зоопланктона отмывались от красителя забортной водой и фиксировались по стандартной методике 4% формалином с сахарозой (Haney, Hall, 1973).

При сравнении нашего метода окрашивания (Seepersad, Crippen, 1978) и метода окрашивания анилиновым голубым красителем, который описан в ряде работ (Гладышев, 1993; Дубовская, 2008), использовался такой же специальный стейнер.

**Окрашивание нейтральным красным красителем.** Для прижизненного окрашивания проб зоопланктона нейтральным красным красителем был использован метод, разработанный Флемингом-Кофланом (Fleming, Coughlan, 1978) в его модификации (Crippen, Perrier, 1974). Для окрашивания проб зоопланктона пользовались 0,05% раствором нейтрального красного красителя, который добавляли в пробу воды в расчете 2 мл красителя на 100 мл воды, таким образом, конечная концентрация красителя при окрашивании составляла 1:100000. После добавления красителя пробу зоопланктона выдерживали 1–1,5 ч в емкости, помещенной в забортную воду для прижизненной окраски зоопланктона, затем пробы концентрировали с помощью сачка из газа № 70 и фиксировали по стандартной методике 4% формалином с сахарозой (Haney, Hall, 1973).



### 2.3. Методы обработки проб

Камеральную обработку проб проводили по общепринятой методике (Киселев, 1969; Методические рекомендации, 1984) с использованием бинокля МБС-10 и светового микроскопа Biomed 5. Фотографии зоопланктона были сделаны на световом микроскопе Axion vision 4.7.

Для видовой идентификации зоопланктона были привлечены как определители и монографии (Боруцкий, 1952, 1960; Боруцкий и др., 1991; Коровчинский, 2004; Кутикова, 1970; Кутикова и др., 1995; Кутикова, 2005; Мануйлова, 1964; Монченко, 1974; Мордухай-Болтовской, Ривьер, 1987; Определитель ..., 1977; Определитель ..., 1994; Определитель ..., 1995; Рылов, 1948; Смирнов, 1971, 1976; Benzie, 2005; Ejsmont-Karabin et al., 2004; Flößner, 2000; Orlova-Bienkowskaja, 2001; Rivier, 1998; Smirnov, 1996), так и крупные работы отечественных и зарубежных авторов по отдельным таксономическим группам зоопланктона (Алексеев, Попов, 1986; Синев, 2002; Стойко, Мазей, 2006; Dumont, Pensaert, 1983; Kotov et al., 2009; Orlova-Bienkowskaja, 1995; Telesh, Heerkloss, 2002, 2004; Van Damme, Dumont, 2008; Van Damme et al., 2010).

Для подтверждения видовой принадлежности видов р. *Daphnia*, помимо стандартного определения по морфологическим признакам, был выполнен анализ участков генов 16S и 12S митохондриальной и ITS2 ядерной ДНК (Schwenk et al., 1998).

Если просматривались пробы, окрашенные анилиновым голубым красителем, живых (неокрашенных и частично окрашенных) и мертвых (полностью окрашенных) зоопланктеров учитывали отдельно (Seepersad, Crippen, 1978; Дубовская, 2008; Vickel et al., 2008). При обработке проб, окрашенных нейтральным красным красителем, живые – полностью окрашенные и мертвые – частично окрашенные и неокрашенные организмы – также учитывали отдельно (Crippen, Perrier, 1974; Fleming, Coughlan, 1978; Elliot, Tang, 2009).

### 2.4. Методы анализа полученных данных

Численность зоопланктона рассчитывали с учетом полученных нами для Куршского залива коэффициентов потери коловраток, биомассу – по размерной структуре и численности видов (Ruttner-Kolisko, 1977; Балущкина, Винберг, 1979; Методические ..., 1984; Radwan et al., 2004).

К доминантным относили виды, численность или биомасса которых составляла > 5% суммарной численности или биомассы зоопланктона.

В качестве показателей смертности зоопланктона использовали долю численности или биомассы мертвых особей от суммарной численности или биомассы живых и мертвых, выраженную в процентах (Дубовская, 1987; Дубовская и др., 1999).

Трофический статус водоема оценивали по показателю трофии ( $E/O$ ) (Nakkarí, 1972, 1978), коэффициенту трофии ( $E$ ) (Мяэметс, 1979, 1980, 1983), соотношению числа видов *Brachionus* и *Trichocerca* ( $Q_{B/T}$ ) (Sladecsek, 1983), числу структурообразующих видов по численности и биомассе, численности видов-индикаторов эвтрофных условий (Андроникова, 1996), отношению численности Cladocera к численности Copepoda ( $N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$ ) (Иванова, 1976; Андроникова, 1996), биомассы Cyclopoida к биомассе Calanoida ( $B_{Cycl}/B_{Cal}$ ) (Weglenska et al., 1983), соотношению численности и биомассы таксономических групп ( $N_{Rot:Clad:Cop}$ ;  $B_{Rot:Clad:Cop}$ ) (Крючкова, 1987; Андроникова, 1996), биомассе за летний сезон ( $B_{летн.}$ ) (Китаев,

1984), средней численности ( $N$ ) и биомассе ( $B$ ) за вегетационный период, соотношению максимальной и минимальной биомасс ( $B_{max}/B_{min}$ ) (Андроникова, 1996), средней индивидуальной массе организма ( $w$ ) (Крючкова, 1987; Андроникова, 1996), индексу Шеннона, рассчитанному по численности ( $H_N$ ) и по биомассе ( $H_B$ ) (Shannon, Weaver, 1963; Wilhm, 1968; Гиляров, 1969; Андроникова, 1996). Число структурообразующих видов выделено на основе функции рангового распределения  $g(i)$  (Федоров и др., 1977).

При оценке достоверности различий использовался критерий Стьюдента (Плохинский, 1978).

## 2.5. Характеристика годов исследования

По содержанию биогенов и биомассе фитопланктона Куршский залив во все три года исследований можно охарактеризовать как гиперэвтрофный водоем (Трифонова, 1990; Оксюк и др., 1994; Wasmund, 1990; Nakanson, Boulion, 2002; Nakanson et al., 2003) (табл. 2). Максимальное содержание биогенов, биомасса фитопланктона и доля синезеленых водорослей отмечались в год «гиперцветения» (2008 г.), минимальные величины этих показателей – в 2007 г., когда эти показатели были самыми низкими за период с 2001 по 2009 г., а по содержанию валового фосфора трофический статус Куршского залива можно было оценить как эвтрофный.

**Таблица 2.** Содержание биогенных элементов и показатели фитопланктона в годы исследований

Год	Общий фосфор, мг/л*	Общий азот, мг/л*	Биомасса фитопланктона, мг/л**	Доля синезеленых водорослей, %**
2007	120 (ГЭ)	1150 (Э)	48,0 (ГЭ)	31
2008	197 (ГЭ)	1862 (ГЭ)	97,0 (ГЭ)	67
2009	139 (ГЭ)	1512 (ГЭ)	69,9 (ГЭ)	57

*Примечание.* \* – данные по содержанию биогенных элементов были предоставлены зав. сектором гидрохимии Смысловым В.А., \*\* – данные по количественным показателям фитопланктона были предоставлены н.с. лаборатории гидробиологии Дмитриевой О.А.

## ГЛАВА 3. ВИДОВОЙ СОСТАВ, СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ ЗООПЛАНКТОНА

### 3.1. Видовой состав зоопланктона Куршского залива

Всего за период изучения (в 2007–2009 гг.) в планктоне Куршского залива было обнаружено 90 видов и подвидов беспозвоночных из 52 родов и 25 семейств, среди которых было 45 видов и подвидов Rotifera, 27 – Cladocera, 18 – Copepoda. В литоральной зоне зарегистрировано 59 таксонов, в переходной зоне – 56, в центральной зоне водоема – 67.

Проведенная, помимо стандартных морфологических методов определения зоопланктона, молекулярно-генетическая диагностика части особей р. *Daphnia* доказала их принадлежность к видам *D. galeata* Sars и *D. cucullata* Sars, 54 полученных нуклеотидных последовательности были зафиксированы в GenBank. Было проведено сравнение списка найденных видов с ретроспективными и современными данными по видовому составу зоопланктона Куршского залива (Schmidt-Ries, 1940; Киселите, 1959; Печюлене, 1963; Мажейкайте, 1978; Науменко, 1994, 2008, 2009). В 2007–2009 гг. впервые для Куршского залива было отмечено 10 видов зоопланктона, 3 вида коловраток, 5 видов Cladocera и 2 вида Copepoda. Из видов, отмеченных для водоема впервые, некоторые виды способны массово развиваться в эвтрофных и гиперэвтрофных водоемах: *D. galeata* Sars, *Diaphanosoma mongolianum* Ueno, *Coronatella*

*rectangula* (Sars) и *Cyclops kolensis* Lilljeborg (Андроникова, 1996; Коровчинский, 2004; Müller, Seitz, 1995; Flößner, 2000; Hülsmann, Voigt, 2002; Moustaka-Gouni at al., 2006; Voigt, Hülsmann, 2001).

Среди обнаруженных видов 20 относились к индикаторам эвтрофных условий, 3 – олиготрофных (Андроникова, 1996).

### 3.2. Коэффициенты потери мелких коловраток, полученные при использовании осадочного метода

В результате сравнения двух методов отбора проб – водозачерпывания и осадочного было выяснено, что при фильтрации через сеть из газа № 70 существенно недоучитывается качественный состав и количество коловраток.

Коэффициенты потерь коловраток зависят от формы и размера животных, в соответствии с ними все Rotifera Куршского залива подразделялись на три группы: виды, которые практически не терялись; которые терялись незначительно (25–50%) и те, потери среди которых были велики (до 90%).

При использовании полученных коэффициентов были уточнены соотношение таксономических групп и численность зоопланктона. Выявлено, что достоверные различия этих параметров при разных методах сбора наблюдаются в периоды массового развития коловраток.

Численность и соотношение таксономических групп зоопланктона Куршского залива, определенные при обработке обычных проб, указывают на мезотрофный статус водоема, а данные, полученные с учетом коэффициентов потерь коловраток, – эвтрофный с переходом в гиперэвтрофную стадию.

### 3.3. Структура доминантного комплекса зоопланктона, его сезонная и межгодовая динамика

Был выделен комплекс доминирующих видов, прослежена его сезонная, межгодовая и пространственная динамика, проведено сравнение с ретроспективными данными. Сезонные изменения комплекса доминирующих видов во всех трех районах исследований представлены в таблице 3. Наибольшие различия в составе комплексов, доминирующих по сезонам видов, наблюдались в летний период 2008 г., в этот год в состав комплекса доминирующих видов входили *Keratella cochlearis tecta* и *Pompholyx sulcata* по численности и *Eubosmina coregoni* по биомассе, эти виды в массе развиваются в эвтрофных водоемах (Андроникова, 1996).

**Таблица 3.** Изменение комплекса доминирующих в Куршском заливе видов по сезонам

Ранняя весна (конец марта– апрель)	Конец весны – начало лета (май–июнь)	Летний период (июль, август)	Осенний период (сен- тябрь–ноябрь)
<i>Keratella quadrata</i>	<i>Keratella cochlearis</i>	<i>Asplanchna herricki</i>	<i>K. quadrata</i>
<i>Polyarthra vulgaris</i>	<i>K. quadrata</i>	<i>Pompholyx sulcata</i> *	<i>D. galeata</i>
<i>Mesocyclops</i>	<i>Conochilus unicornis</i>	<i>Keratella cochlearis</i>	<i>M. leuckarti</i>
<i>leuckarti</i>	<i>Daphnia galeata</i>	<i>tecta</i> *	<i>E. graciloides</i>
<i>Cyclops kolensis</i>		<i>Chydorus sphaericus</i>	<i>C. vicinus</i>
<i>Cyclops vicinus</i>		<i>Eubosmina coregoni</i> *	
		<i>Diaphanosoma</i>	
		<i>mongolianum</i>	
		<i>M. leuckarti</i>	
		<i>Eudiaptomus graciloides</i>	

Примечание. \* – вид входил в состав комплекса доминирующих видов только в 2008 г.

### 3.4. Численность и биомасса зоопланктона Куршского залива

Приводятся данные о вертикальном и пространственном распределении, сезонной и межгодовой динамике численности и биомассы как таксономических групп зоопланктона, так и всего зоопланктона в целом, в сравнении с ретроспективными данными.

Зоопланктон центральной зоны Куршского залива был достаточно равномерно распределен по станциям и горизонтам. В сезонной динамике численности и биомассы зоопланктона наблюдался один ярко выраженный максимум в мае–июне. Максимальные величины численности зоопланктона были связаны с массовым развитием коловраток р. *Keratella* (*K. quadrata* и *K. cochlearis*), максимальные величины биомассы – с массовым развитием *Daphnia galeata*.

Как сезонная динамика численности и биомассы отдельных таксономических групп, так и зоопланктона в целом в переходной прибрежной зоне имели и сходные черты, и различия по сравнению с таковыми в центральной зоне. В сезонной динамике численности и биомассы отдельных таксономических групп пики наблюдались примерно в то же время, что и в центральной зоне. В переходной зоне также были отмечены близкие к наблюдаемым в центральной зоне средние за вегетационный период величины численности и биомассы зоопланктона. Отличительными чертами сезонной динамики зоопланктона в этой зоне является наличие не одного, а нескольких ярко выраженных максимумов, большее по сравнению с центральной зоной развитие фитофильных Cladocera в июле–августе, а также более существенные пределы колебаний численности и биомассы, что, по-видимому, свидетельствует о более нестабильном гидрологическом режиме в этой зоне и ее большем трофическом статусе (Андроникова, 1996).

В литоральной зоне водоема максимальные значения численности и биомассы зоопланктона были отмечены в летний период и были связаны с массовым развитием в этой зоне водоема ветвистоусых ракообразных и коловраток.

В целом, видовой состав, комплекс доминирующих видов и сезонная динамика численности и биомассы зоопланктона Куршского залива были характерны для эвтрофных и гиперэвтрофных водоемов умеренной зоны Северо-Запада России и Европы (Пидгайко, 1984; Андроникова, 1996).

## ГЛАВА 4. АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ОКРАШИВАНИЯ ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ ДОЛИ МЕРТВЫХ ОСОБЕЙ В ЗООПЛАНКТОНЕ КУРШСКОГО ЗАЛИВА

В главе приводятся сведения о различиях между живыми и мертвыми особями, наблюдаемыми при их окрашивании анилиновым голубым и нейтральным красным красителями; сравнение метода окрашивания нейтральным красным и метода окрашивания анилиновым голубым красителями; оценка величины потерь организмов при окрашивании проб анилиновым голубым красителем в полевых условиях, а также оценка различий между применяемой в данном исследовании методикой окрашивания анилиновым голубым красителем и методикой с применением стейнера, которую использует О.П. Дубовская (2008).

При окрашивании зоопланктона Куршского залива анилиновым голубым и нейтральным красным красителями не было выявлено существенных различий, по сравнению с наблюдаемыми другими исследователями при окрашивании зоопланктона других водоемов в лабораторных и полевых условиях (Crippen, Perrier, 1974;

Seepersad, Crippen, 1978; Tang et al., 2006; Bickel et al., 2008; Дубовская, 2008; Elliot, Tang, 2009).

Никаких достоверных различий между применяемой в нашем исследовании методикой и методикой с использованием стейнера выявлено не было, что говорит о том, что обе эти методики могут успешно использоваться для установления доли мертвых особей в зоопланктоне.

Исходя из наших наблюдений и методических исследований, а также на основании литературных данных, было проведено сравнение методики окрашивания нейтральным красным красителем и методики окрашивания анилиновым голубым красителем (табл. 4).

**Таблица 4.** Сравнительная характеристика методик окрашивания нейтральным красным и анилиновым голубым красителями

Параметр	Нейтральный красный краситель	Анилиновый голубой краситель
Время окрашивания	1-1,5 ч.	15 мин.
Нужно ли промывать пробы после окраски	Нет	Да
Теряются ли организмы при окрашивании	Практически нет.	Да, особенно мелкие коловратки.
Окрашивает Rotifera	Плохо	Хорошо
Окрашивает Cladocera	Плохо	Хорошо
Окрашивает Copepoda	Хорошо	Хорошо
Можно ли перепутать окраску красителем с естественной окраской организма	Да	Практически нет
Легко ли идентифицировать мертвые организмы при обработке проб	Иногда нет, при большом количестве организмов в пробе, особенно Rotifera и Cladocera	Да

Исходя из результатов этого сравнения, можно сказать, что каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, и выбор одного из них зависит от конкретного водоема, состава обитающего в нем зоопланктона и конкретных задач, которые стоят перед исследователем. В нашем случае, исходя из всех этих условий, наиболее подходящим оказался метод окрашивания анилиновым голубым красителем, так как он непродолжителен по времени, хорошо окрашивает все таксономические группы зоопланктона Куршского залива, и, в особенности, массовые группы – Cladocera и Rotifera, мертвые организмы легко идентифицируются и окраску красителем нельзя перепутать с естественной. Такой недостаток этого метода, как потеря организмов при окрашивании и последующем промывании проб зоопланктона, легко можно скорректировать, отбирая две параллельные пробы, одну из которых оставлять неокрашенной, что и было сделано в наших исследованиях.

## ГЛАВА 5. ДОЛЯ МЕРТВЫХ ОСОБЕЙ В ЗООПЛАНКТОНЕ КУРШСКОГО ЗАЛИВА

В главе приводятся данные о доле мертвых особей в популяциях отдельных видов и таксономических группах зоопланктона, в суммарной численности и биомассе зоопланктона, сведения о вертикальном и пространственном распределении, сезонной и межгодовой динамике доли мертвых особей, чувствительности видов и таксономических групп к массовому развитию синезеленых водорослей и вторичному за-

грязнению, связи показателей смертности с гидрологическими и гидрохимическими факторами и количественными показателями фитопланктона.

### 5.1. Чувствительность отдельных видов и таксономических групп к органическому загрязнению и «цветению» воды

Виды зоопланктона Куршского залива делились нами на 3 группы:

1. не чувствительные к массовому развитию синезеленых водорослей – виды, в популяциях которых доля мертвых особей от численности и биомассы в период «гиперцветения» и сразу после него в 2008–09 гг. достоверно не увеличивалась по сравнению с аналогичным периодом 2007 г.;
2. чувствительные к массовому развитию синезеленых водорослей – виды, в популяциях которых доля мертвых особей от численности и биомассы в период «гиперцветения» и сразу после него в 2008–09 гг. достоверно возрастала по сравнению с 2007 г.:
  - 2.1. в 1,5–3,0 раза – виды с низкой чувствительностью,
  - 2.2. в 5–10 раз – умеренно чувствительные виды,
  - 2.3. в 15–30 раз – виды с высокой чувствительностью;
3. чувствительные к вторичному загрязнению – виды, в популяциях которых доля мертвых особей от численности и биомассы достоверно возрастала в начале вегетационного периода лет, следовавших за годами «гиперцветений» – 2007 и 2009 гг. по сравнению с аналогичным периодом 2008 г.

В соответствии с разработанной классификацией виды зоопланктона были отнесены к вышеназванным группам и подгруппам (табл. 5).

**Таблица 5.** Чувствительность видов зоопланктона Куршского залива к массовому развитию синезеленых водорослей и вторичному загрязнению

Нечувствительные	Чувствительность			Чувствительные ко вторичному загрязнению
	низкая	умеренная	высокая	
<i>Keratella cochlearis tecta</i>	<i>Asplanchna herricki</i>	<i>Keratella quadrata</i>	<i>Brachionus angularis</i>	<i>Polyarthra vulgaris</i>
<i>Pompholyx sulcata</i>	<i>Trichocerca capucina</i>	<i>Bosmina coregoni</i>	<i>Conochilus unicornis</i>	<i>Cyclops vicinus</i>
<i>Eucyclops serrulatus</i>	<i>Mesocyclops leuckarti</i>	<i>Chydorus sphaericus</i>	<i>Filinia longiseta</i>	<i>C. kolensis</i>
<i>Megacyclops viridis</i>		<i>Daphnia cucullata</i>	<i>Kellicottia longispina</i>	
<i>Thermocyclops oithonoides</i>		<i>Diaphanosoma mongolianum</i>	<i>Keratella cochlearis</i>	
		<i>Eudiaptomus graciloides</i>	<i>Daphnia galeata</i>	
		<i>Nauplia</i>	<i>Nauplia</i>	
		<i>Cyclopoida</i>	<i>Calanoida</i>	

Неодинаковой была и чувствительность таксономических групп зоопланктона, которая была исследована по такому же принципу, как и для отдельных видов. В результате было выяснено, что наименее устойчивыми к массовому развитию синезеленых водорослей являются Cladocera, Rotifera и науплии Copepoda доля мертвых особей среди которых достоверно возрастала в 4–14 раз, более устойчивыми Calanoida – доля мертвых особей среди которых достоверно увеличивалась в 2–4 раза,

а самыми устойчивыми Cysteroidea, возрастание доли мертвых особей среди которых (без учета науплиев) было не достоверно.

Чувствительность отдельных видов и таксономических групп Куршского залива к токсическому и, отчасти, органическому загрязнению хорошо соотносится со шкалой таксобности, предложенной Л.П. Брагинским с соавт. (1987). Ими отмечено, что основными факторами, влияющими на чувствительность зоопланктонных организмов к токсикантам, является способ их питания и наличие плотного хитинового покрова. К аналогичным выводам относительно устойчивости вышеописанных таксономических групп зоопланктона к загрязнению и токсическому воздействию пришли и другие авторы (Винберг, 1979; Адрионикова, Распопов, 2007; Hansson et al., 2007).

## 5.2. Вертикальное распределение доли мертвых особей

В целом, за период исследования четких различий доли мертвых особей от валовой численности и биомассы зоопланктона на разных горизонтах в Куршском заливе не обнаружено, что является следствием хорошей перемешиваемости вод залива при его небольшой глубине.

## 5.3. Пространственное распределение доли мертвых особей

Наибольшие средние за сезон доли мертвого зоопланктона от валовой численности и биомассы во все годы исследований отмечались в северо-западной части российской зоны Куршского залива, в которой сильнее, чем на других участках, выражены процессы загрязнения и эвтрофирования, наименьшие – в восточной части залива, подверженной сильному влиянию речного стока, при этом в северо-восточной части водоема наиболее сказывается влияние р. Неман, а в юго-восточной части – р. Дейма (Ferrarin et al., 2008). В центре водоема доли мертвых особей зоопланктона от валовой численности и биомассы варьировали в зависимости от сезона и года исследований. Аналогичная картина распределения доли мертвых особей наблюдалась в период «гиперцветения» и сразу после него (с июля по октябрь), однако в 2008 с июля по октябрь доли мертвых особей от суммарной численности и биомассы зоопланктона распределялись по акватории залива более неравномерно, чем в 2007 и 2009 гг., и в этот период отмечались более высокие максимальные значения этих параметров, что еще раз подчеркивает негативное влияние «гиперцветений» на зоопланктон залива (рис. 2).

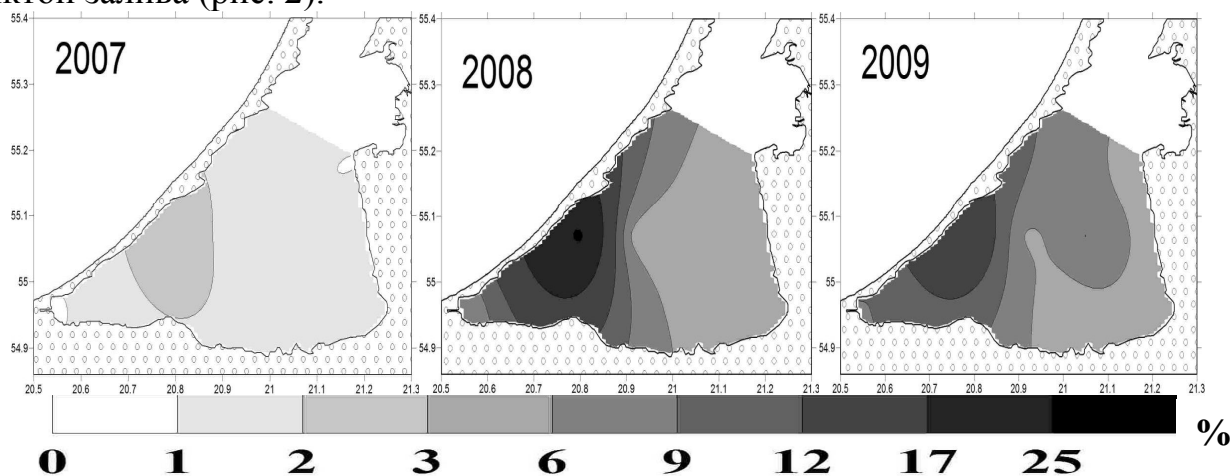
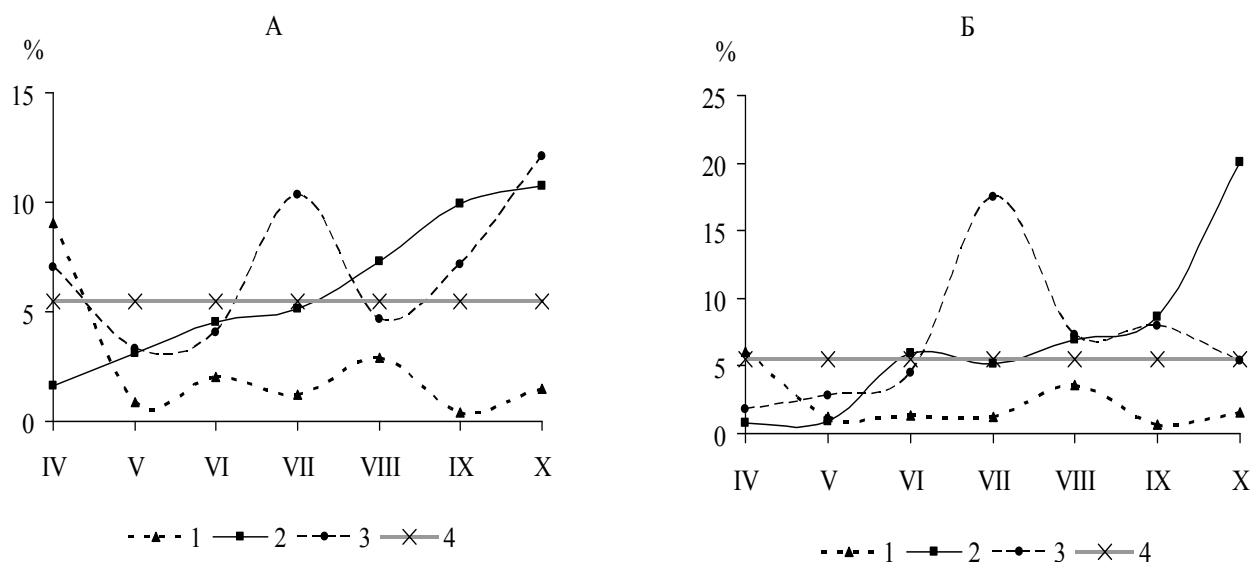


Рис. 2. Карты распределения средней за июль-октябрь доли мертвых особей от валовой численности зоопланктона в 2007–09 гг.

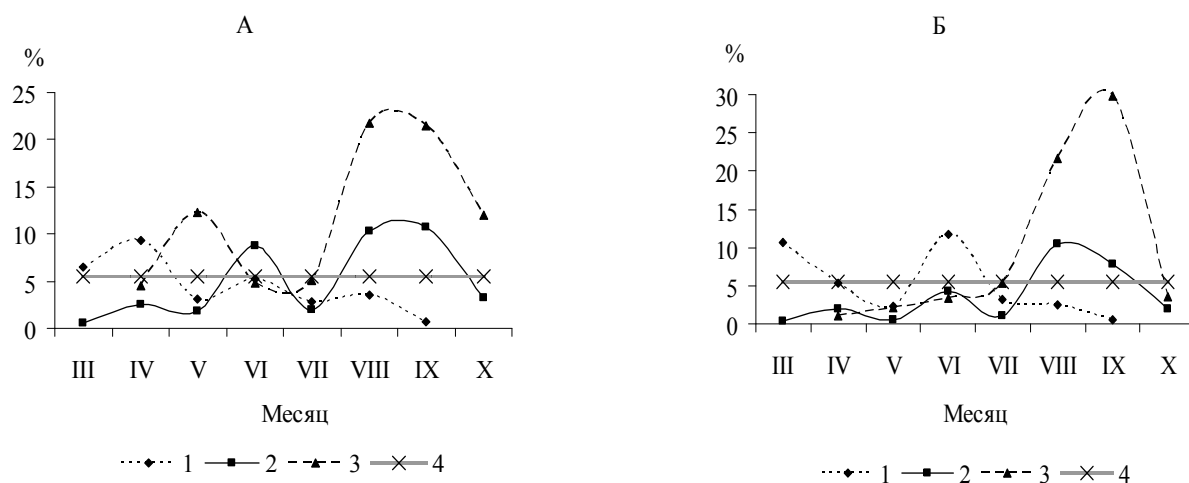
Таким образом, максимальная доля мертвых особей была обнаружена на участке, испытывающем загрязнение и эвтрофирование, минимальная – на участке с повышенным водообменом.

#### 5.4. Сезонная и межгодовая динамика доли мертвых особей

Как в центральной, так и в переходной прибрежной зоне высокие доли мертвых особей от суммарной численности и биомассы зоопланктона, превышающие фоновые, были отмечены в начале вегетационного периода в 2007 и в 2009 гг., а также с июля по октябрь в 2008–09 гг. (рис. 3, 4). Высокая доля мертвых особей в начале вегетационного периода, возможно, связана с гидрологическими факторами, в это время наблюдается активное ветровое перемешивание вод залива, а также может определяться низкой температурой воды, недостатком пищи и сезонной сукцессией зоопланктона. Еще одним фактором, объясняющим высокую долю мертвых особей в весенний период 2007 и в 2009 гг., может быть наличие «гиперцветений» в годы предшествующие им – 2006 и 2008 гг. (Александров, 2010).



**Рис. 3.** Сезонная динамика доли мертвых особей в валовой численности (А) и биомассе (Б) зоопланктона в центральной зоне Куршского залива: 1 – в 2007 г., 2 – в 2008 г., 3 – в 2009 г., 4 – фон.



**Рис. 4.** Сезонная динамика доли мертвых особей в валовой численности (А) и биомассе (Б) зоопланктона в переходной зоне Куршского залива: 1 – в 2007 г., 2 – в 2008 г., 3 – в 2009 г., 4 – фон.



«Гиперцветение», как известно, связано с массовым продуцированием органического вещества, которое после отмирания фитопланктона попадает в водоем и приводит к его вторичному загрязнению (Александров, Дмитриева, 2006), эффект этого вторичного загрязнения, по-видимому, может сказываться и на следующий год. Повышенная доля мертвых особей с июля по октябрь, также превышающая фоновые значения в 2008 и 2009 гг., скорее всего, связана с массовым развитием в этот период токсичного фитопланктона. Влияние токсинов синезеленых водорослей, как одна из причин повышения смертности зоопланктона, рассматривается рядом авторов (Дубовская, 2009). Токсическое воздействие синезеленых водорослей на зоопланктон, а в особенности на *Cladocera* (р. *Daphnia*), известно и подтверждено рядом лабораторных экспериментов и натуральных наблюдений (Lampert, 1981; Nizan et al., 1986; Fulton, Paerl, 1987; Łotocka, 2001; Rohrlack et al., 2001; Moustaka-Gouni et al., 2006; Hansson et al., 2007). С июля по сентябрь в фитопланктоне Куршского залива в массе развиваются потенциально токсичные виды фитопланктона (Дмитриева, 2007). Рядом исследователей в воде Куршского залива были обнаружены токсины синезеленых водорослей (Кармайл и др., 1993; Белых и др., 2009; Paldavičiene et al., 2009), что подтверждает развитие токсичных Cyanophyta в этом водоеме. Негативное влияние «цветений» токсичных водорослей, проявляющееся в увеличении доли мертвых зоопланктеров, было также отмечено в Балтийском море (Щука, 2002).

Следует отметить, что в переходной прибрежной зоне Куршского залива содержание мертвых особей было значительно выше, чем в центральной зоне, что связано как с положением станции отбора проб в районе с илистыми грунтами, где ярко выражены стагнационные процессы (Ferrarin et al., 2008), так и с неустойчивыми условиями в этой зоне водоема. Также стоит отметить, что с июля по сентябрь 2009 г., когда значения доли мертвых особей в переходной зоне были максимальными за весь период исследования, в этой зоне наблюдались как максимальные за период исследования биомассы фитопланктона, так и максимальные доли синезеленых водорослей от суммарной биомассы фитопланктона.

Средние доли мертвых особей от валовой численности и биомассы, полученные нами в год с низкой интенсивностью «цветения» воды (2,1–2,6%) и в годы массового развития синезеленых водорослей (6,1–6,9%), в целом, укладываются в пределы, полученные другими авторами на других водоемах, однако максимальные величины, наблюдаемые в Куршском заливе в период «гиперцветения» и сразу после него в отдельные годы (до 54,9%), ближе к тем, которые были отмечены в неблагополучных и нарушенных экосистемах (Телеш, 1986; Дубовская, 1987; Сергеева и др., 1989; Гладышев, 1993; Смельская, 1994, 1995; Дубовская и др., 2004; Дубовская и др., 2007; Vickel et al., 2008).

### **5.5. Связь показателей смертности зоопланктона Куршского залива с гидрологическими и гидрохимическими факторами и количественными показателями фитопланктона**

При анализе связи показателей смертности Куршского залива с гидрологическими (температура, прозрачность и волнение) и гидрохимическими (рН, содержание кислорода, БПК<sub>5</sub>, минеральный и валовый фосфор, нитритный, нитратный и валовый азот) факторами, а также количественными показателями фитопланктона самые высокие достоверные коэффициенты корреляции были получены с биомассой

*Microcystis* spp. и с БПК<sub>5</sub>, средней степени связь отмечалась с содержанием биогенных элементов, биомассой *Planktothrix* sp., биомассой и долей синезеленых водорослей, суммарной биомассой фитопланктона; связь слабой степени – с температурой и биомассой *Aphanizomenon* sp. Средние и высокие отрицательные коэффициенты корреляции были отмечены между показателями смертности и биомассой диатомовых и зеленых водорослей, а также их долей в суммарной биомассе фитопланктона.

Положительная коррелятивная связь между показателями смертности и БПК<sub>5</sub> объясняется негативным влиянием органического загрязнения, косвенным показателем которого и является БПК<sub>5</sub>. Повышенные доли мертвых особей были отмечены нами либо в те периоды, в которые БПК<sub>5</sub> составляло 8–11 мгО<sub>2</sub>/л, либо сразу после них. При этом такие значения БПК<sub>5</sub>, согласно ряду классификаций, соответствуют показателям для грязных и очень грязных вод (Шитиков и др., 2005).

Положительная связь показателей смертности зоопланктона с биомассой *Microcystis* spp., *Planktothrix* sp. и, в меньшей степени – с биомассой *Aphanizomenon* sp. была связана с их токсичностью, которая доказана рядом лабораторных и натуральных наблюдений (Кармайкл, Чернаенко, 1992; Sivonen, 1996; Aune, Berg, 1986; Eriksson et al., 1988). Так как эти виды являются доминирующими среди синезеленых водорослей Куршского залива (Дмитриева, 2008, 2008), то этими же причинами объясняются и положительные коррелятивные зависимости между показателями смертности зоопланктона и биомассой синезеленых водорослей и их долей в суммарной биомассе фитопланктона. Тогда как зеленые и диатомовые водоросли развиваются как бы в противовес синезеленым, поэтому с количественным развитием этих таксономических групп получены отрицательные корреляционные зависимости. В опытах (Hanazato et al., 1988; Chen, Xie, 2004) показано, что зеленые водоросли также способны снизить негативный эффект синезеленых водорослей, что подтверждает и полученная нами отрицательная зависимость показателей смертности с биомассой и долей зеленых водорослей.

С одной стороны синезеленые водоросли составляют значительную долю от суммарной биомассы фитопланктона, с другой стороны отмирание избыточной массы фитопланктона приводит к вторичному загрязнению, этим объясняются положительные корреляционные зависимости между показателями смертности зоопланктона и суммарной биомассой фитопланктона.

Таким образом, наибольшее влияние на увеличение показателей смертности зоопланктона оказывает массовое развитие токсичного фитопланктона и вторичное загрязнение, меньше сказываются гидрохимические и гидрологические факторы.

## **ГЛАВА 6. ОЦЕНКА ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА КУРШСКОГО ЗАЛИВА ПО СТРУКТУРНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ЗООПЛАНКТОНА**

В главе приводятся основные структурные показатели зоопланктона Куршского залива как в среднем за вегетационный период, так и для периода «гиперцветения» (с июля по сентябрь), а также их межгодовая и пространственная динамика.

В целом, большинство показателей зоопланктона Куршского залива соответствовали величинам, отмечаемым в гиперэвтрофных и эвтрофных водоемах, что подтверждается аналогичными оценками его состояния по содержанию биогенных элементов и показателям развития фитопланктона. Межгодовые отличия состояния

зоопланктона наблюдались в годы более интенсивного развития синезеленых водорослей. В частности, увеличивались показатель и коэффициент трофии, отношение численности Cladocera к численности Copepoda, биомасса за летний период, соотношение максимальной и минимальной биомасс, уменьшался индекс Шеннона. При этом не было отмечено изменений величин соотношения числа видов *Brachionus* и *Trichocerca*, отношения биомассы Cyclopoidea и к биомассе Calanoida, средней индивидуальной массы организма.

Структурные показатели зоопланктона свидетельствовали о большей степени органической и биогенной нагрузки в литоральной зоне водоема, где также наблюдались максимальные межгодовые флуктуации.

В период массового развития синезеленых водорослей (с июля по сентябрь) основные индексы, свидетельствующие о трофическом статусе Куршского залива, изменялись нелинейно, это связано с тем, что отдельные более чувствительные виды и таксономические группы умирали или снижали свою численность и биомассу, тогда как другие, напротив, достигали массового развития, что приводило к нехарактерному изменению структурных показателей зоопланктона.

Наиболее информативными индексами для оценки трофического статуса Куршского залива являются показатель трофии и коэффициент трофии, менее информативны, такие показатели как отношение биомассы Cyclopoidea к биомассе Calanoida ( $B_{Cycl}/B_{Cal}$ ), число структурообразующих видов по численности и биомассе, численность зоопланктона, биомасса зоопланктона за летний период; еще менее информативны и, зачастую, неоднозначны такие показатели, как отношение числа видов р. *Brachionus* к числу видов р. *Trichocerca* ( $Q_{B/T}$ ), отношение численности Cladocera к численности Copepoda ( $N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$ ) и индекс Шеннона по численности и биомассе. Однако они хорошо отражают различия между отдельными участками залива и повышение его трофического статуса при движении от открытой части водоема к литорали. Поэтому при экологическом мониторинге водоема лучше использовать все вышеназванные показатели для наиболее полной и грамотной оценки его состояния.

## ВЫВОДЫ

1. За период изучения (в 2007–2009 гг.) в планктоне российской части Куршского залива обнаружено 90 видов и подвидов беспозвоночных, среди которых массового развития достигали индикаторы эвтрофных вод. Впервые для Куршского залива отмечено 10 видов зоопланктеров.
2. В центральной зоне водоема наблюдается один пик численности и биомассы зоопланктона в мае–июне; в переходной зоне – несколько пиков, наличие которых связано с динамикой гидрологического режима и более высоким трофическим статусом; в литоральной зоне максимальная численность и биомасса зоопланктона отмечены летом.
3. По относительной смертности выявлена чувствительность видов и таксономических групп зоопланктона к «цветению» синезеленых водорослей, увеличивающаяся в ряду: Cyclopoidea → Calanoida → Rotifera → Cladocera
4. Максимальная доля мертвых особей обнаружена на участке залива, характеризующимся стабильными гидродинамическими условиями, на котором происходит интенсивное осадконакопление и илообразование, и, соответственно,

- наиболее выражены процессы эвтрофирования и вторичного загрязнения, минимальная – на участке с повышенным водообменом.
5. Минимальные величины относительной смертности зоопланктона отмечены в вегетационный период, характеризующийся низким развитием фитопланктона, максимальные – в период «гиперцветения». Наибольшее влияние на увеличение показателей смертности зоопланктона оказывает массовое развитие токсичного фитопланктона (в особенности водорослей р. *Microcystis*) и вторичное загрязнение.
  6. Большинство показателей зоопланктона Куршского залива соответствуют величинам, отмечаемым в гиперэвтрофных и эвтрофных водоемах, что наиболее ярко проявляется в литоральной зоне, где также наблюдаются максимальные межгодовые флуктуации. В годы более интенсивного развития синезеленых водорослей увеличивается показатель и коэффициент трофии, отношение численности Cladocera к численности Copepoda, биомасса за летний сезон, соотношение максимальной и минимальной биомасс, уменьшается индекс Шеннона.
  7. Относительная смертность выступает важным критерием оценки экологического состояния гиперэвтрофных водоемов. Широко используемые для анализа показатели зоопланктона в условиях массового развития синезеленых водорослей изменяются нелинейно, что связано с элиминацией отдельных видов и групп животных, и это может привести к ошибочной оценке трофического статуса и экологического состояния водоема.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### В изданиях, рекомендованных ВАК

1. Семенова А.С. Изменение показателей зоопланктона Куршского залива в период «гиперцветения» синезеленых водорослей // Вода: химия и экология. 2009. №9. С. 2–6.
2. Семенова А.С. Изменения зоопланктона Куршского залива в период «гиперцветения» воды // Поволжский экологический журнал. 2010. № 1. С. 86–93.
3. Семенова А.С. Доля мертвых особей в зоопланктоне Куршского залива как показатель качества воды // Вода: химия и экология. 2010. №6. С.2–7.
4. Семенова А.С. Систематическое положение массовых видов Cladocera Куршского залива Балтийского моря на современном этапе // Бюллетень МОИП. Отдел Биологический. 2010. Т. 115. № 3. С. 28–31.

### В прочих изданиях

5. Семенова А.С. Структура и видовое разнообразие зоопланктонного сообщества прибрежной зоны Куршского залива как индикаторы качества среды // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: материалы III Всероссийской научной конференции / Мар. гос. ун-т. – Йошкар-Ола; Пушино, 2008. С. 199–200.
6. Семенова А.С. Структура и функционирование зоопланктонного сообщества прибрежной зоны Куршского залива // Биоразнообразие: проблемы и перспективы сохранения: Материалы Международной научной конференции, посвященной 135-летию со дня рождения И.И. Спрыгина (13 – 16 мая 2008 г.) Пенза, 2008. С. 168–170.
7. Семенова А.С. Структурно-функциональная характеристика зоопланктона прибрежной зоны Куршского залива и его роль в самоочищении // Научные труды Национального парка «Смольный». Вып. 1. Саранск. Смольный, 2008. С. 196–204.
8. Семенова А.С. Использование показателей смертности зоопланктона для оценки состояния Куршского залива // Материалы III Всероссийской конференции по водной токсикологии, посвященной памяти Б.А. Флерова, «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы» (Борок, 11-16 октября 2008 г.). ч.3. Борок, 2008. С. 246–250.

9. Дмитриева О.А., Семенова А.С., Чукалова Н.Н. Влияние «цветения» синезеленых водорослей на экологическую ситуацию в Куршском заливе // Материалы III Всероссийской конференции по водной токсикологии, посвященной памяти Б.А. Флерова, «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы» (Борок, 11-16 октября 2008 г.). ч.3. Борок, 2008. С. 229–233.
10. Жигалова Н.Н., Семенова А.С., Парфенова Я.В. Влияние качества водной среды на содержание в зоопланктоне веслоногих ракообразных с опухолеподобными аномалиями // Материалы III Всероссийской конференции по водной токсикологии, посвященной памяти Б.А. Флерова, «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы» (Борок, 11-16 октября 2008 г.). ч.2. Борок, 2008. С. 31–36.
11. Семенова А.С. Личинки *Dreissena polymorpha* (Pallas) в планктоне Куршского залива Балтийского моря // Дрейссениды: эволюция, систематика, экология. Материалы I-ой Международной школы-конференции. (Борок, 28 октября–1 ноября 2008 г.). С. 124–128.
12. Жигалова Н.Н., Семенова А.С., Уткина Я.В. Встречаемость *Ellobiopsis* sp. (Myzozoa) у копепод юго-восточной части Балтийского моря в 2007 году // Промыслово-биологические исследования АтлантНИРО в 2006-2007 годах. Т.1. Балтийское море и заливы. Калининград, 2009. Труды АтлантНИРО. С. 90–99.
13. Семенова А.С. Оценка состояния водных экосистем по показателям смертности зоопланктона (на примере Куршского залива) // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: Труды международной научно-практической конференции (26-28 мая 2009 г., Пермь). Пермь: Пермский государственный университет, 2009. Т.2. С. 375–380.
14. Семенова А.С. Использование структурных показателей зоопланктона для оценки состояния прибрежной акватории Куршской лагуны // Экологический сборник 2: Труды молодых ученых Поволжья. Тольятти: ИЭВБ РАН, «Кассандра», 2009. С. 172–177.
15. Семенова А.С. Оценка экологического состояния прибрежной акватории Куршского залива вдоль национального парка «Куршская коса» по показателям зоопланктона // Бюллетень Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2009. Т. 18. № 2. С. 31-38.
16. Семенова А.С. Влияние «цветения» синезеленых водорослей на зоопланктон Куршского залива // Материалы докладов V Поволжской гидроэкологической конференции (29-30 октября 2009 г.). Казань: Казанский государственный университет, 2009. С. 129–132.
17. Дмитриева О.А., Семенова А.С. Трофические взаимоотношения между фито - и зоопланктоном мелководной эвтрофной лагуны Балтийского моря (на примере Куршского залива) // Гидробиология и ихтиопатология: сборник научных трудов, посвященный 120-летию со дня рождения Н.С. Гаевской. Калининград: ФГОУ ВПО «КГТУ», 2009. С. 42–51.
18. Семенова А.С. Оценка экологического состояния Куршского залива по показателям зоопланктона // Тезисы докладов X Съезда Гидробиологического общества при РАН (г. Владивосток, 28 сентября - 2 октября 2009 г.). Владивосток: Дальнаука, 2009. С 359–360.
19. Семенова А.С. Использование метода прижизненного окрашивания для оценки соотношения живых и мертвых особей в зоопланктоне Куршского залива // Тезисы VI Международной научно-практической конференции молодых ученых по проблемам водных экосистем. Понт Эвксинский. 21–24 сентября 2009 г., г. Севастополь. Севастополь, 2009. С. 104–106.
20. Семенова А.С. Применение метода прижизненного окрашивания для оценки показателей смертности зоопланктона Куршского залива Балтийского моря // Сборник тезисов X Международного экологического форума «День Балтийского моря». СПб: ООО «Макси-Принт», 2009. С. 200–201.
21. Семенова А.С. Оценка структуры и сезонной динамики зоопланктона Куршского залива при разных способах сгущения проб // Теория ареалов: виды, сообщества, экосистемы. Материалы V Любимцевских чтений. Тольятти, 2010. С. 175–179.
22. Семенова А.С. Видовой состав зоопланктона Куршского залива // Проблемы сохранения биологического разнообразия Волжского бассейна и сопредельных территорий: Сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции, 29 декабря 2009 г., г. Чебоксары. Чебоксары: типография «Новое время», 2010. С. 48–49.