

На правах рукописи

Масюткина Елена Андреевна

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ
ОБЪЕКТОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ
СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И ИНДИКАТОРНЫХ
СВОЙСТВ ЗООБЕНТОСА**

Специальность 03.02.08 – экология
(биология)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Тюмень – 2018

Работа выполнена на кафедре ихтиологии и экологии ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»

Научный руководитель:

кандидат биологических наук, доцент кафедры ихтиологии и экологии ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
Шибаева Мария Николаевна

Официальные оппоненты:

Козлов Олег Владимирович,
 доктор биологических наук, профессор кафедры биологии ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет»

Калайда Марина Львовна,
 доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой водных биоресурсов и аквакультуры ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

Ведущая организация:

ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства им. Л.С. Берга»
 г. Санкт-Петербург

Защита диссертации состоится «22» мая 2018 г. в 13-30 на заседании диссертационного совета Д 999.114.02 при ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья» по адресу: 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7.

Телефон/факс: 8(3452) 29-01-52, e-mail: dissgrausz@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «ГАУ Северного Зауралья» и на сайте университета <http://www.tsaa.ru>

Автореферат разослан «21» марта 2018 г.

Ученый секретарь
 диссертационного совета
 доктор с.-х. наук

Турсумбекова Галина Шалкаровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Расположение Калининградской области в зоне избыточного увлажнения способствует формированию на ее территории густой речной сети и множества озер (более 8000 рек и озер) (Литвин, 1999), что определяет мониторинг за состоянием водных ресурсов как один из важнейших элементов общего экологического мониторинга региона. Необходимость изучения водных объектов и населяющих их сообществ, определения рыбохозяйственного значения и экологического состояния рек и озер диктуется также нуждами рыбного хозяйства, в связи с реализацией ряда федеральных и региональных программ, направленных на развитие рыболовства и аквакультуры (Постановление...№727, 2012; Постановление...№628, 2012).

Проведенная к настоящему времени экологическая оценка речных бассейнов и ландшафтов области, основанная только на абиотических показателях (Зотов, 2006; Белов, 2008; Нагорнова, 2012; Кесорецких, 2015), не в полной мере характеризует степень устойчивости экосистем к внешнему воздействию и не дает информации о состоянии кормовой базы рек и озер. Изучение биологической составляющей экосистем позволяет оценить и проследить во времени степень их устойчивости, а также более тщательно подойти к вопросу нормирования антропогенной нагрузки и рассчитать ущерб, наносимый водным биологическим ресурсам в результате антропогенной деятельности. В то же время, информация о состоянии биоты, даже самых крупных водных объектов, ограничена или полностью отсутствует, а государственный мониторинг за ней не ведется.

Зообентос представляет собой один из основных компонентов водных биоценозов. Он характеризуется стабильной локализацией на отдельных биотопах в течение длительного промежутка времени, участвует в процессах трансформации органического вещества и самоочищения водных объектов, является важным объектом пищевого рациона многих бентосоядных рыб. Сообщества зообентоса признаны хорошими биоиндикаторами и применяются для оценки качества воды рек и озер во многих странах (Абакумов, 1992; Безматерых, 2008; Zahner, 1965; Woodiwis, 1964). Следовательно, зообентос может быть рассмотрен как индикатор и один из критериев экологического состояния водных объектов Калининградской области.

Цель исследования – оценка экологического состояния водных объектов Калининградской области на основе структурно-функциональных и индикаторных характеристик зообентоса.

Для достижения данной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Проанализировать геоморфологические и гидрологические параметры водных объектов области как основы формирования донных биоценозов.
2. Изучить видовую структуру зообентоса и оценить уровень его количественного развития в разнотипных по геоморфологическим и гидрологическим параметрам водных объектах области.
3. Установить закономерности влияния природных особенностей водных объектов и антропогенного воздействия на состав и структуру донных беспозвоночных.

4. Определить качество воды в водных объектах области и выявить наиболее приемлемые методы для диагностики экологического состояния рек и озер по структурным и индикаторным показателям зообентоса.
5. Дать рекомендации по хозяйственному использованию водных объектов.

Научная новизна. Впервые, с использованием данных о сообществах донных беспозвоночных, дана экологическая характеристика 68 водных объектов Калининградской области, 38 из которых ранее не изучались с гидробиологической точки зрения. Проведена картографическая визуализация полученных результатов.

В результате работы проведен анализ распределения зообентоса в разнотипных по геоморфологическим условиям водных объектах области, а также проанализирована и установлена взаимосвязь гидрологических (в том числе гидрохимических) показателей с особенностями видового состава и структуры донных сообществ. Выявлены специфические особенности хирономидного индекса Е.В. Балушкиной, а также предложена его модификация, применительно к условиям региона.

Положения, выносимые на защиту.

1. Проведенная оценка экологического состояния водных объектов Калининградской области по структурно-функциональным и индикаторным характеристикам зообентоса отражает, как геоморфологические особенности ландшафтов и водных объектов, так и степень антропогенной нагрузки.

2. Индекс сапробности и интегральный показатель Балушкиной являются наиболее адекватными показателями в определении экологического состояния рек и озер Калининградской области по зообентосу.

3. Обоснование использования модифицированного хирономидного индекса Балушкиной как более информативного и достоверного показателя для оценки качества воды применительно к водным объектам области по сравнению с классическим вариантом.

Теоретическая значимость. Результаты исследования являются основой для совершенствования принципов рационального использования водных объектов и ведения экологического мониторинга в дальнейшем. Полученные данные могут быть использованы при научном обосновании и планировании различных видов хозяйственной деятельности в пределах водосборных бассейнов (в том числе естественного и искусственного воспроизводства рыб, размещении мест рекреации, строительства предприятий и др.).

Практическая значимость. Материалы и результаты исследования используются для оценки состояния водных биоресурсов и их среды обитания, а также при подготовке рекомендаций по рыбохозяйственному использованию водных объектов в зоне ответственности ФГБОУ ВО «КГТУ», утвержденной Приказами Росрыболовства №23 от 30.01.07. и №УОЧ-273 от 13.03.2013. Материалы применяются территориальным управлением Росрыболовства для ведения рыбохозяйственного реестра водных объектов Калининградской области. Информация, полученная в ходе исследований, использована при разработке научных рекомендаций по снижению негативного антропогенного воздействия на акваторию Балтийского моря (2009-2010 гг.), а также при оценке предполагаемого негативного воздействия на водные биоресурсы в результате строительства и эксплуатации Балтийской АЭС.

Материалы и результаты исследования внедрены в курсы учебных дисциплин «Экология», «Экология и природопользование».

Личный вклад автора. Материал для докторской работы был собран непосредственно автором в ходе проведения комплексных рыбохозяйственных исследований. Видовая идентификация, количественная и статистическая обработка, построение карт пространственного распределения с помощью ГИС технологий также проводились автором. Докторантом был проведен анализ материала, поставлены цели и задачи исследований, сформулированы выводы.

Апробация работы. Результаты исследований по теме докторской работы были представлены автором на различных научных конференциях: Международной научной конференции «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов» (Калининград, 2015); Второй Всероссийской школе-конференции «Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана» (п. Борок, 2014); Первой научно-практической конференции с международным участием, посвященной 60-летию атомной энергетики «Экологическая безопасность АЭС» (г. Калининград, 2014); Второй международной научно-практической конференции «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов» (г. Калининград, 2014); Первой всероссийской научной интернет-конференции «Биоразнообразие наземных и водных животных и зооресурсы» (Казань, 2013); Международной научно-практической конференции «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов» (Калининград, 2013); Всероссийской конференции с международным участием «Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразие, глобальные изменения и восстановление экосистем» (г. Тольятти, 2011); Международных научных конференциях КГТУ «Иновации в науке и образовании» (г. Калининград 2009-2010); Международной Российско-литовской научно-студенческой конференции по изучению рыбных ресурсов трансграничных водоемов (Литва, г. Клайпеда, 2007).

Публикации. Основные результаты исследований изложены в 26 печатных работах, в т. ч. 2 публикации – в рецензируемых изданиях, рекомендемых ВАК РФ.

Объем и структура работы. Докторская работа изложена на 186 страницах и включает введение, 5 глав, заключение и список литературы. Работа проиллюстрирована 62 рисунками, содержит 21 таблицу и 1 приложение. Библиографический список состоит из 166 литературных источников, в том числе 22 на иностранном языке.

Автор выражает благодарность к.б.н., доценту М.Н. Шибаевой, к.б.н., доценту Н.Н. Нагорновой, П.Н. Барановскому за проявленное внимание, помощь, замечания и рекомендации, а также д.б.н., профессору С.В. Шибаеву за организацию работ и сотрудникам кафедры ихтиологии и экологии ФГБОУ ВО «КГТУ» за помощь в сборе материалов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1 Зообентос как индикатор экологического состояния водных объектов

В главе приводится обзор методов оценки экологического состояния рек и озер с использованием зообентоса, их преимущества и недостатки.

Глава 2 Материалы и методы исследований

Материал для настоящей работы был собран в ходе комплексных рыбохозяйственных исследований, проводимых ФГБОУ ВО «Калининградским государственным техническим университетом» в период с 2006 по 2014 годы на 68 водных объектах Калининградской области (54 реки и 14 озер), большая часть которых относится к высшей и первой рыбохозяйственным категориям. Отбор и обработка проб осуществлялась по общепринятым методикам (Абакумов, 1992; Руководство..., 1983; Унифицированные методы..., 1975; Методика изучения..., 1975; Жадин, 1960; Макрушин, 1974). Всего было собрано и обработано 755 проб (рис. 1).

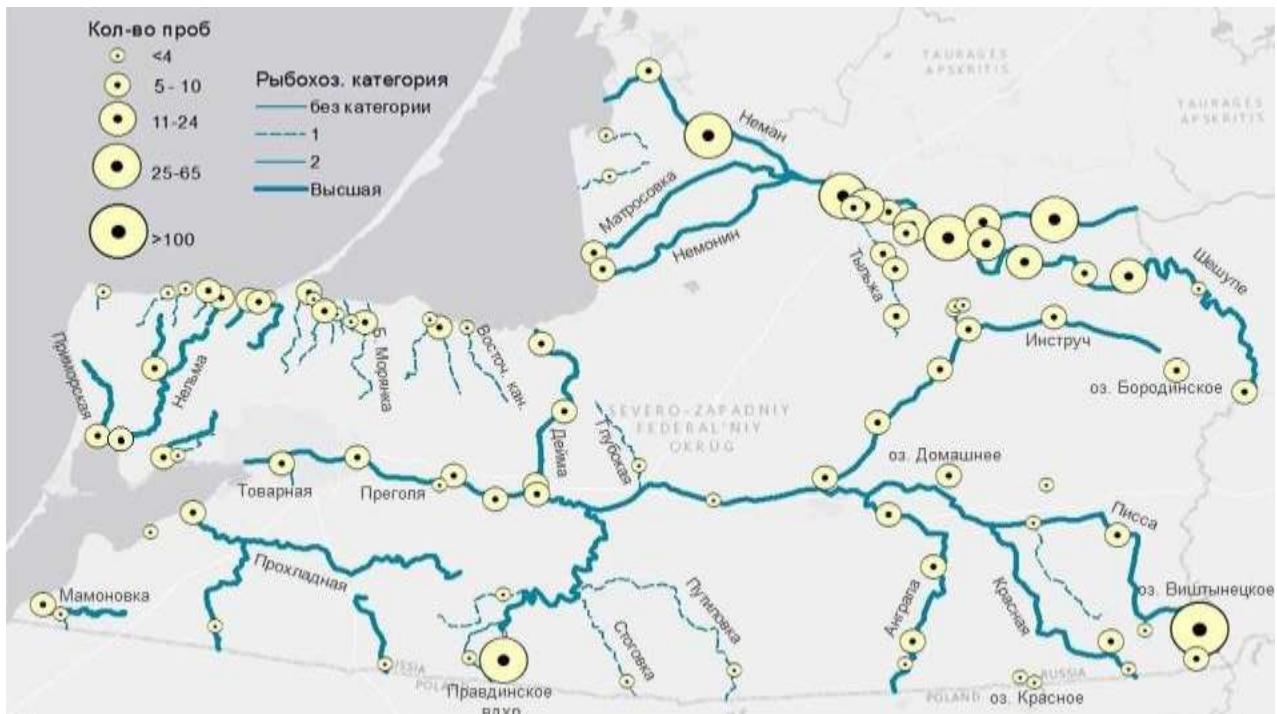


Рисунок 1 – Схема мест отбора гидробиологических проб на водных объектах Калининградской области в период 2006-2014 гг.

Характеристика фауны донных сообществ приводилась с учетом таксономического состава, степени сходства, частоты встречаемости видов, их численности и биомассы. Оценка экологического состояния водных объектов региона по зообентосу проведена с помощью наиболее часто используемых в гидробиологии индексов: хирономидного индекса Балушкиной, индекса сапробности Пантле-Букка в модификации Сладочека, биотического индекса Вудивисса, олигохетного индекса Гуднайта-Уитлея, интегрального показателя Балушкиной.

Статистическая обработка, в том числе кластерный и корреляционный анализ, а также графическое представление данных осуществлялось с

помощью программ Microsoft Excel и STATISTICA 6.0. Для построения карт использовались программные пакеты Surfer 10 и ArcMap 10.2.1.

В ходе исследований нами было выделено 6 групп водных объектов, отличающихся по гидробиологическим, гидрологическим и геоморфологическим параметрам (рис. 2). Данная типизация позволяет получить общую гидробиологическую характеристику пока еще не изученных рек и озер области, что используется при расчете ущербов наносимых водным биологическим ресурсам в результате антропогенной деятельности. Одним из основных критериев, оказывающих непосредственное влияние на формирование видового разнообразия и распределение донных беспозвоночных в водотоках, как показал корреляционный анализ, является скорость их течения.



Рисунок 2 – Классификация водных объектов Калининградской области по гидробиологическим, геоморфологическим и гидрологическим параметрам

Глава 3 Природные условия района исследований

В главе приводится информация об особенностях региональных ландшафтов, климата, погодных условий в период отбора проб и других природных факторах, оказывающих непосредственное влияние на формирование донных биоценозов. А также указываются гидрологические и гидрохимические параметры исследованных водных объектов. Приводится информация об антропогенных факторах, влияющих на водные экосистемы.

Глава 4 Состав и структура зообентоса как основа оценки экологического состояния водных объектов

Экологическое состояние водных объектов зависит от ряда, как природных, так и антропогенных факторов.

Среди природных факторов в пределах области можно выделить малый уклон бассейнов и слабую проточность рек. Многие реки находятся в подпоре от принимающих вод заливов, что способствует удержанию и накоплению

биогенных веществ. Большинство водных объектов области связано между собой сложной сетью мелиоративных каналов, что приводит к перераспределению загрязняющих веществ между ними. В питании многих рек (особенно Полесской и Неманской низменностей) большую роль играют богатые органическими веществами болотные воды. Для таких рек характерно низкое содержание кислорода в воде, что приводит к замедлению процессов трансформации органического вещества. В этих водотоках важную роль в очищении играют бентосные организмы, способные выдерживать дефицит кислорода и повышенное содержание органических веществ.

Значительное влияние на формирование фауны зообентоса оказывает антропогенная деятельность. В своей хозяйственной деятельности человек активно использует реки и озера для различных целей. В последние годы водозабор из поверхностных водоисточников области превышает 52 млн. куб. в год (Доклад..., 2014; Доклад ..., 2015). Сброс в поверхностные водные объекты составляет около 116 млн. куб. в год, и только 8 % из них нормативно-чистые, а 20 % сбрасываются без очистки (Доклад ..., 2015). Результатом интенсивного использования рек и озер человеком становится изменение водных экосистем, снижение общего видового разнообразия, смена доминирующих групп и видов, увеличение численности полисапробных видов и др.

Природные особенности местности могут в свою очередь либо усиливать, либо ослаблять антропогенное воздействие. Донные сообщества в силу своих особенностей отражают интегрированное влияние различных факторов на водные объекты. Видовой состав и количественные показатели развития сообществ зообентоса существенно отличаются в зависимости от условий обитания, включая гидрологические, геоморфологические, антропогенные и иные особенности экосистем Калининградской области.

В исследованных реках и озерах идентифицировано 502 вида зообентоса (39 % обнаружены впервые), относящихся к 9 систематическим группам, среди которых личинки комаров-звонцов семейства Chironomidae – 142 вида, моллюски (т. Mollusca) – 70 видов, 56 видов ручейников (отр. Trichoptera), 43 вида олигохет (п/кл. Oligochaeta), 34 вида стрекоз (отр. Odonata), 26 видов поденок (отр. Ephemeroptera), 16 видов пиявок (п/кл. Hirudinea), 12 видов ракообразных (кл. Crustacea) и 103 вида из разряда «Прочие». В группу «Прочие» вошли немногочисленные и редко встречающиеся водяные клещи (сем. Hydrachnidae), жуки (отр. Coleoptera), клопы (отр. Hemiptera), личинки двукрылых (отр. Diptera), веснянок (отр. Plecoptera), вислокрылок (отр. Megaloptera) и др.

Природные особенности малых водотоков первой группы, в частности слабая проточность, способствуют формированию в них лимнофильного комплекса видов с преобладанием личинок комаров-звонцов (*Polypedilum convictum* (Walk.), *Chironomus* гр. *plumosus* (L.)), олигохет (*Potamothrix hammoniensis* (Mich.)), моллюсков (*Viviparus viviparus* (L.)), ракообразных (*Asellus aquaticus* (L.)). По способу питания преобладают детритофаги. В целом эти реки характеризуются невысоким разнообразием зообентоса (в среднем 10-30 видов). В тоже время количественные показатели развития зообентоса в этих водотоках достигают максимальных значений. Так средняя численность составляет 2500 экз./м², биомасса – 116 г/м² (за исключением моллюсков –

9 г/м²). Основу численности формируют личинки хирономид и олигохеты (рис. 3). Эти же группы доминируют и по биомассе (за исключением моллюсков).

Малые реки первой группы, в силу своих природных особенностей, характеризуются меньшей устойчивостью к антропогенному воздействию. По настоящим исследованиям, именно в этой группе рек выделяется больше всего объектов, для которых характерен обедненный видовой состав, а численность и биомасса достигают рекордно высоких значений, сезонные изменения в развитии зообентоса выражены слабо. В первую очередь выделяются реки Медвежья и Лобовка. На первой реке отмечаются участки с полным отсутствием зообентоса, что свидетельствует о локальном чрезмерном антропогенном загрязнении, что также подтверждается результатами гидрохимического анализа (Нагорнова, 2012). Основу донной фауны реки Лобовки в течение всего года формируют полисапробные личинки комаров-звонцов *Chironomus* гр. *plumosus* и олигохеты *Potamothrix hammoniensis* и *Limnodrilus*. Увеличение численности видов, способных выдерживать значительное загрязнение, наблюдается также в реках Черная, Товарная, Калиновка, Куровка, Хлебная, Нельма, Зеленоградка, Восточный канал. Особенно остро это заметно в период летней и зимней межени.

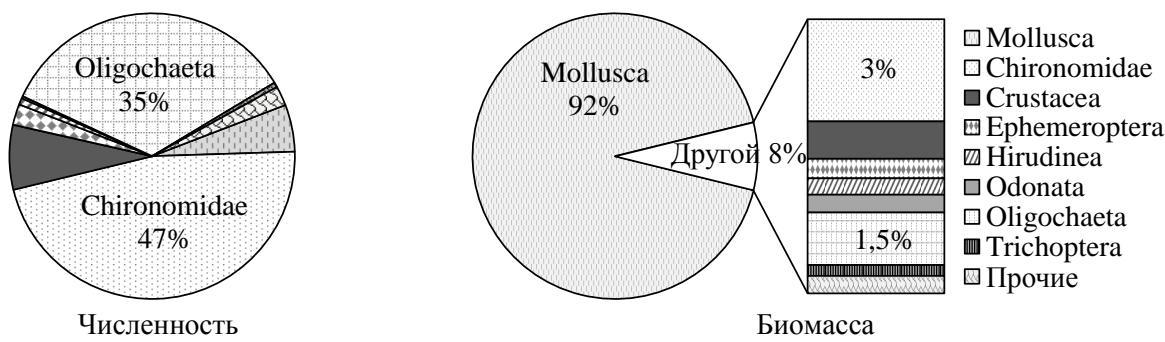


Рисунок 3 – Соотношение основных групп зообентоса в реках первой группы за период исследований 2006-2014 гг. (по численности и биомассе)

Водотоки второй группы характеризуются большим видовым разнообразием зообентоса по сравнению с реками первой группы, в частности значительно увеличивается разнообразие реофильных видов ручейников, поденок, стрекоз, хирономид. Что связано с более высокой степенью проточности данной группы водотоков. В то же время значительное снижение скорости течения в меженный период приводит сокращению разнообразия и встречаемости реофильных видов и преобладанию лимнофильных, характерных для предыдущей группы рек. В среднем разнообразие зообентоса колеблется в пределах 17-40 видов. С увеличением проточности связано также снижение общей численности и биомассы зообентоса, что подтверждается результатами корреляционного анализа. Средняя численность составляет 1300 экз./м². По численности также доминируют личинки комаров-звонцов и олигохеты, хотя их доля становится значительно ниже (рис. 3). Виды, преобладавшие в малопроточных реках, уходят на второй план. В этих реках сложно определить доминантов, поскольку в них присутствуют виды зообентоса характерные как для рек первой, так и для рек третьей группы.

Средняя биомасса – $85 \text{ г}/\text{м}^2$ (из них биомасса за исключением моллюсков $6,5 \text{ г}/\text{м}^2$). По биомассе хирономиды и олигохеты зачастую уступают более крупным группам, таким как ручейники, ракообразные (рис. 4). В отдельных реках и их участках (Граевка, Немонин, Прохладная, Тыльжа, Стоговка) в меженный период наблюдается увеличение численности полисапробных видов.

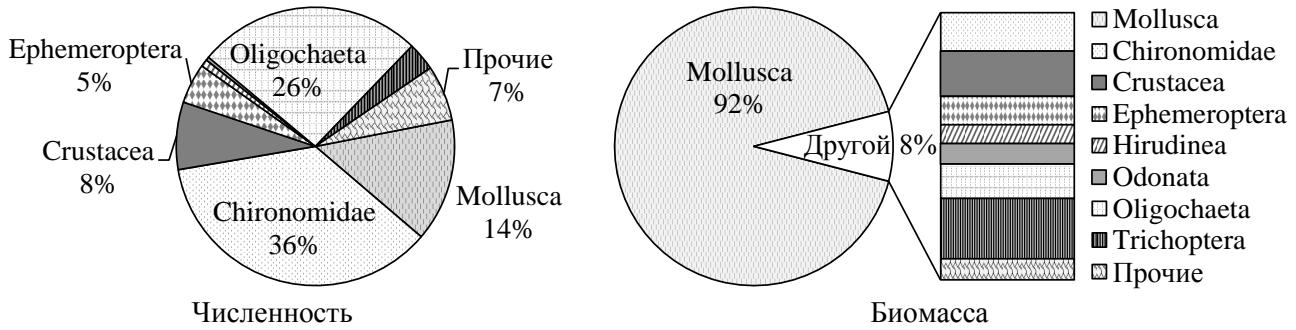


Рисунок 4 – Соотношение основных групп зообентоса рек второй группы за период исследований 2006-2014 гг. (по численности и биомассе)

Водотоки третьей группы отличаются более высокой проточностью и разнообразием условий обитания, что способствует развитию в них большого количества видов зообентоса из разных трофических групп. В этих водотоках региона шире представлены реофильные виды личинок комаров-звонцов подсемейства Orthocladiinae и Chironominae (трибы Tanytarsini), ручейников, стрекоз, поденок и прочих, в частности водяных жуков, клопов, клещей, веснянок. В водотоках этой группы чаще и в большем количестве встречается узко специфичные к содержанию кислорода и органических веществ виды (водяной клоп *Aphelocheirus aestivalis* (Fabr.), хирономиды *Epoicocladius flavens* (Malloch), пиявки *Piscicola geometra* (L.) и др.), а также четко выражены сезонные изменения в развитии зообентоса.

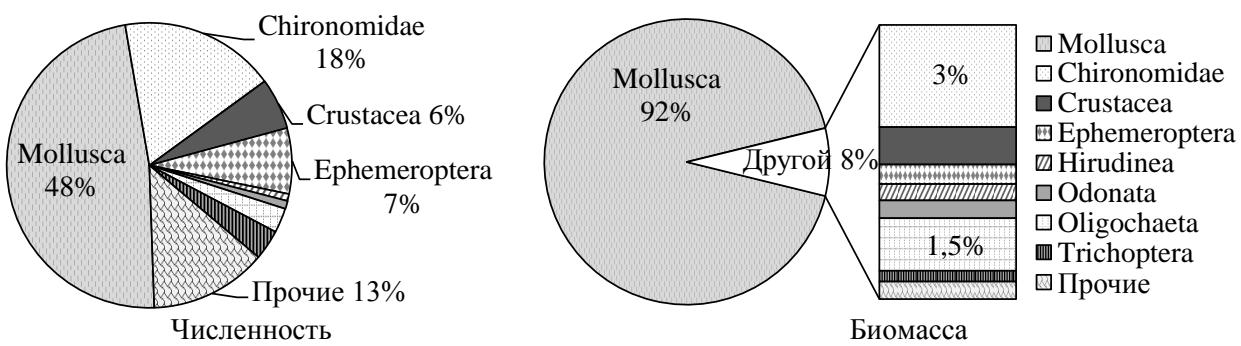


Рисунок 5 – Соотношение основных групп зообентоса рек третьей группы за период исследований 2006-2014 гг. (по численности и биомассе)

В быстротечных водотоках наблюдаются минимальные показатели численности и биомассы зообентоса среди всех исследованных рек – $800 \text{ экз.}/\text{м}^2$ и $80 \text{ г}/\text{м}^2$ (за исключением моллюсков $4,5 \text{ г}/\text{м}^2$). Значительную долю численности и биомассы формируют моллюски (рис. 5). В целом в быстротечных реках невелика численность хирономид, несмотря на их большое видовое разнообразие. По численности преобладают реофильные виды поденок, ручейников и мошек рода *Simulium*. По биомассе преобладают личинки стрекоз (в частности *Sympetrum flaveolum* (L.)), ручейников и прочие организмы (личинки мошек *Simulium*). Природные особенности этой группы

водотоков способствуют их быстрому самоочищению при существующем относительно невысоком уровне хозяйственного использования. В то же время усиление антропогенной нагрузки может привести к выпадению и состава донной фауны выше упомянутых редких и чувствительных к загрязнению видов.

Река Неман значительно отличается от других водотоков по своим геоморфологическим и гидрологическим параметрам. Отличительной чертой являются большие размеры водотока, разветвленная гидрографическая сеть, изменчивость скорости течения и биотопов на различных участках реки, четкое выделение зон рипали и медиали и др. Все это способствует развитию разнообразной донной фауны. К настоящему времени в реке идентифицировано наибольшее количество видов среди всех исследуемых водных объектов Калининградской области (256 видов), наибольшим разнообразием отличаются личинки комаров-звонцов. В зоне медиали р. Немана формируется уникальный комплекс видов, способный выдерживать сильное течение и подвижность грунтов (хирономиды *Kloosia sp.* (Kruseman), *Robackia demejerei* (Kruseman) и др.). В целом для реки характерны достаточно высокие количественные показатели развития зообентоса. Средняя численность составляет 2500 экз./м², а биомасса – 165 г/м². В то же время особенностью донной фауны является высокая численность и биомасса моллюсков (рис. 6), среди которых особое место занимают виды *Lithoglyphus naticoides* (C.Pfeiffer) и *Dreissena polymorpha* (Pall.).

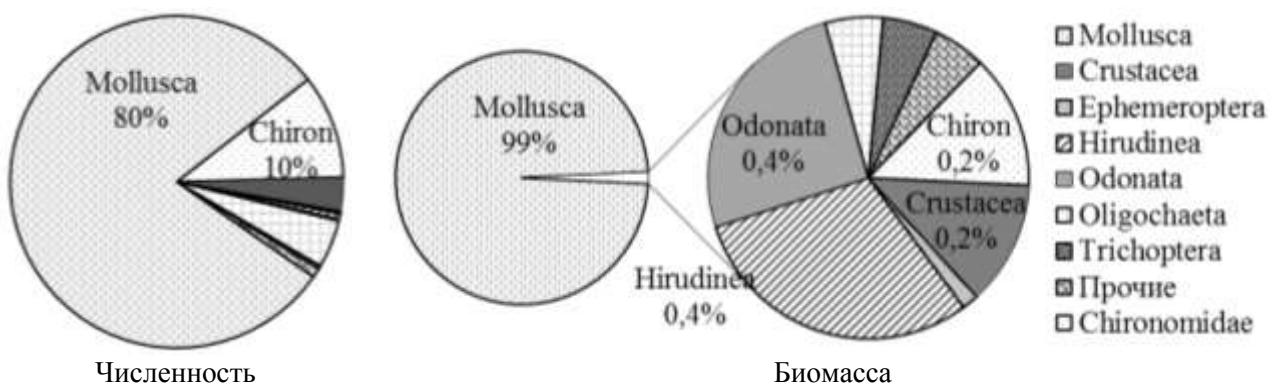


Рисунок 6 – Соотношение основных групп зообентоса реки Неман за период исследований 2006-2014 гг. (по численности и биомассе)

Основными факторами, оказывающими влияние на распределение зообентоса в озере Виштынецком, являются природные, в первую очередь глубина. С увеличением глубины происходит уменьшение видового разнообразия, численности и биомассы, сменяются доминирующие группы, что отмечалось также в более ранних исследованиях (Мордухай-Болтовская, 1971). Роль антропогенного воздействия возрастает в прибрежной части, особенно в северо-западной части озера, которая характеризуется наиболее обширными литоральными участками и повышенной антропогенной нагрузкой в связи с развитием туристической деятельности.

Зообентос озера Виштынецкого очень разнообразен (214 видов). В озере обитают уникальные виды, характерные для олиготрофных озер (разноногие

ракообразные *Pallasiola quadrispinosa* (Sars)). Поскольку основную часть озера составляют зоны сублиторали и профундали, характеризующиеся относительно стабильными условиями обитания для зообентоса, то среднемноголетние показатели его численности и биомассы в озере достаточно стабильны и составляют соответственно около 1400 экз./м² и 70 г/м² (из них биомасса мягкого бентоса – около 4 г/м²). Основу численности зообентоса формируют четыре группы: хирономиды, моллюски, олигохеты и ракообразные (рис. 7).

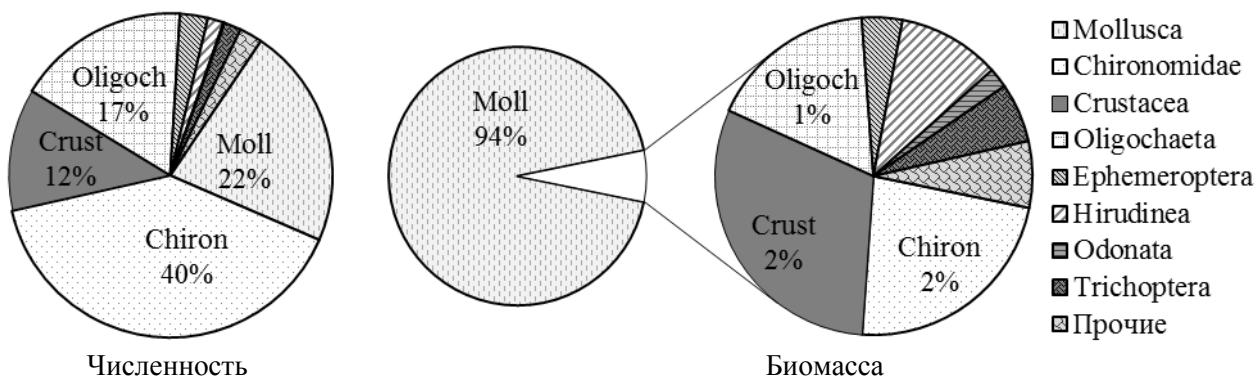


Рисунок 7 – Соотношение основных групп зообентоса оз. Виштынецкого за период исследований 2006-2014 гг. (по численности и биомассе)

Фауна донных беспозвоночных малых озер представлена наименьшим числом видов. Несколько больше разнообразие зообентоса, общая численность и биомасса отмечается в водоемах, имеющих связь с руслами рек (Правдинское водохранилище, карьер Сокольники, пруд Затон, озеро Воронье) и некоторых более крупных озерах ледникового происхождения (озера Мариново). Средняя численность зообентоса малых озер около 950 экз./м². Основу зообентоса озер формируют личинки хирономид, олигохеты и организмы из группы прочие, среди которых наиболее распространены личинки мокрецов (сем. Ceratopogonidae) и хаоборусов (сем. Chaoboridae) (рис. 8).

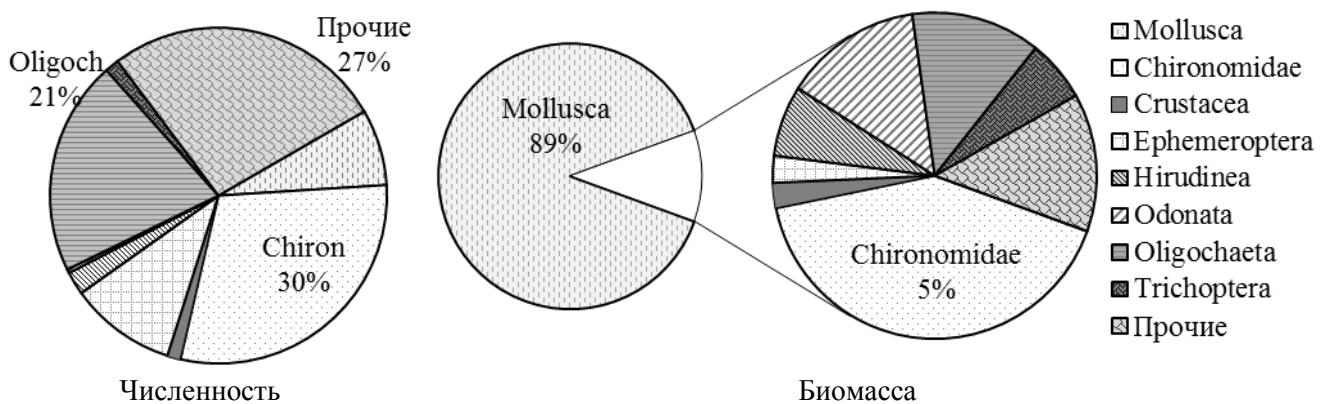


Рисунок 8 – Соотношение численности и биомассы основных групп зообентоса в малых озерах Калининградской области (за 2006-2014 гг.)

В видовом отношении большой численности достигают олигохеты *Potamothrix hammoniensis* и *Limnodrilus hoffmeisteri*; хирономиды *Polypedilum convictum*, *Chironomus plumosus* и личинки мокрецов. Средняя биомасса

зообентоса в озерах составляет около $39 \text{ г}/\text{м}^2$, из них биомасса мягкого бентоса – $4 \text{ г}/\text{м}^2$. В целом биомассу мягкого бентоса формируют крупные личинки комаров-звонцов, олигохеты и представители группы «Прочие» (личинки мокрецов и хаоборусов) (рис. 8).

Глава 5 Экологическое состояние водных объектов области

Полученная в ходе проводимых исследований информация о составе, структуре, количественных характеристиках и распределении зообентоса легла в основу оценки экологического состояния рек и озер области. Данные были обобщены и с помощью современных ГИС технологий нанесены на карту, что позволило дать наглядное представление о современной экологической обстановке на водных объектах с учетом структурно-функциональных и индикаторных показателей донных сообществ (рис. 9). На основании этих показателей в пределах Калининградской области выделены водные объекты, находящиеся в удовлетворительном, напряженном, критическом и кризисном состоянии.

Экологическое состояние 18 % из исследованных рек и озер можно назвать удовлетворительным, а воду в них – относительно чистой (рис. 8). В основном это быстротечные реки третьей группы, несколько рек второй группы и два озера (в том числе оз. Виштынецкое). Для этих рек и озер характерно большое разнообразие зообентоса. Представлены многие виды чувствительные к низким концентрациям кислорода и загрязнению. Оказываемая на водные объекты антропогенная нагрузка находится в пределах их способности к самоочищению. В то же время реки отличаются повышенными скоростями течения, по сравнению с другими, что обеспечивает более быстрое самоочищение воды.

Большинство водных объектов (около 60 %) характеризуются умеренным загрязнением и их экологическое состояние можно оценить как напряженное, что обусловлено рядом природных и антропогенных причин (рис. 9). Экосистемы этих рек и озер отличаются относительной устойчивостью к внешним воздействиям и сохранили способность к самоочищению в пределах существующей антропогенной нагрузки.

В критическом состоянии находятся 18 % водных объектов. Это в первую очередь малые реки с замедленным течением (реки первой группы) и малые озера, относящиеся к первой и второй рыбохозяйственной категориям (реки Зеленоградка, Товарная, Хлебная, Черная, Восточный канал, озера Домашнее, Дубовское, Камышовое, Рагнитское и Красное, пруд Затон). На акваторию и водосборную территорию этих водных объектов оказывается значительное антропогенное воздействие, а способность к самоочищению этих водоемов по ряду природных причин снижена. В этих водных объектах в процессах трансформации органического вещества и естественного самоочищения большое значение отводится донным беспозвоночным, численность и биомасса которых достигает очень высоких значений. Основу зообентоса составляют виды способные выдерживать дефицит кислорода и значительное загрязнение, в основном это а- и полисапробные виды личинок хирономид (*Chironomus* gr. *plumosus*, *Psectrotanypus varius*), мокрецов, хаоборусов, олигохет (*Potamothrix hammoniensis* и *Limnodrilus hoffmeisteri*).



Рисунок 9 – Экологическое состояние водных объектов Калининградской области

В кризисном состоянии находятся отдельные реки из первой группы – Лобовка и Медвежья (рис. 9). Значительное антропогенное воздействие на эти реки привело к существенным перестройкам в структуре зообентоса и даже полному его отсутствию на некоторых участках. Стоит подчеркнуть, что река Медвежья относится к водным объектам высшей рыбохозяйственной категории и имеет большое значение для воспроизводства лососевых видов рыб. Неблагополучная экологическая ситуация на отдельных участках реки ставит под сомнение возможность нереста лососевых видов в реке, а также может привести к утрате рыбохозяйственного статуса.

В ходе настоящих исследований было отмечено, что в реках при сильном загрязнении происходит массовое развитие комаров-звонцов *Chironomus* *gr. plumosus* и этот вид зачастую вытесняет другие. Интенсивному развитию *Ch. plumosus* сопутствуют полисапробные виды олигохет. Подобная ситуация наблюдалась в на отдельных участках рек Лобовка, Черная, Хлебная, Граевка, озере Красное и др. Массовое развитие *Ch. plumosus* в сильно загрязненных реках и озерах отмечалось и другими авторами (Мотыль, 1983; Зинченко, 2011). Хирономидный индекс Балушкиной не достаточно чувствителен к массовому развитию этого вида и вступает в противоречия с результатами оценки качества воды по другим гидробиологическим и гидрохимическим показателям. Поэтому, было предложено внести изменения в формулу расчета хирономидного индекса, которая будет иметь следующий вид:

$$K_{Ch.\text{Mod}} = \frac{a_{(T+Ch.pl)} + 0.5a_{(Ch-Ch.pl)}}{a_0}$$

где $a_{(T+Ch.pl)}$ – смещенная относительная численность представителей подсемейства Tanypodinae и вида *Ch. plumosus*.

$a_{(Ch-Ch.pl)}$ – смещенная относительная численность представителей подсемейства Chironominae, за исключением вида *Ch. plumosus*.

a_0 – смещенная относительная численность представителей подсемейства Orthocladiinae.

Проведенные расчеты показали, что при невысокой численности вида *Ch. plumosus* не происходит сильного отклонения модифицированного хирономидного индекса от классического варианта. Значительно изменяется величина индекса в водотоках и водоемах, где *Ch. plumosus* был доминирующим видом (реки Черная, Лобовка, Хлебная, озеро Красное) (рис. 10). Вместе с тем для большинства водных объектов значения модифицированного индекса находились в том же диапазоне класса качества, что и для классического варианта.

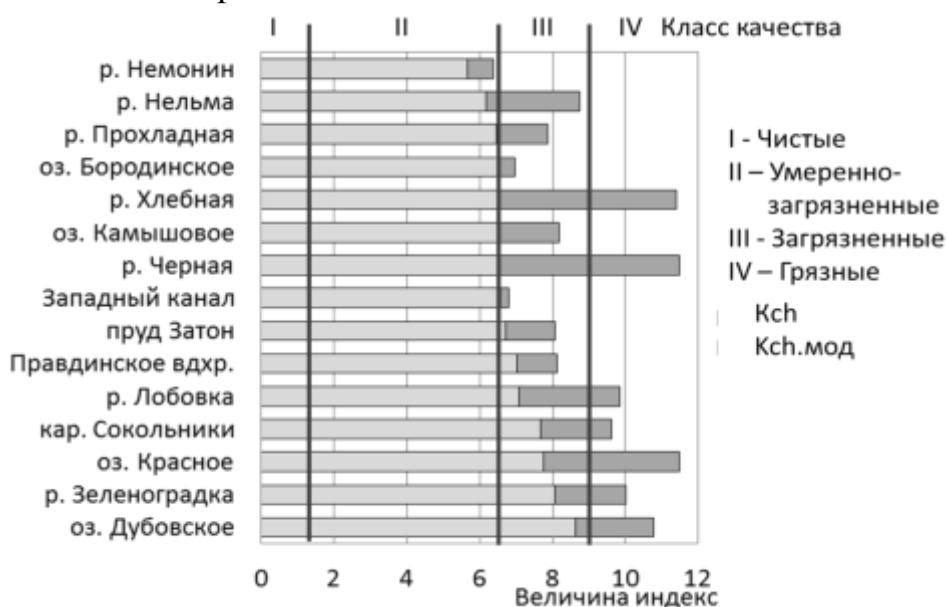


Рисунок 10 – Наиболее значимые изменения величины хирономидного индекса

Проведенный корреляционный анализ (табл. 1) показал более тесную взаимосвязь модифицированного индекса с другими гидробиологическими показателями, по сравнению с классическим вариантом. В целом, интегральный показатель и индекс сапробности показали наибольшую взаимосвязь с остальными индексами.

Таблица 1 – Значения коэффициентов корреляции между гидробиологическими индексами водных объектов Калининградской области

Показатель	O	BI	S	K _{Ch}	K _{Ch.Mod}	IP	IP_Mod	H
O	1,00	-0,26	0,57	0,13	0,22	0,75	0,74	-0,09
BI	-0,26	1,00	-0,36	-0,21	-0,28	-0,61	-0,61	0,68
S	0,57	-0,36	1,00	0,19	0,35	0,68	0,71	-0,08
K _{Ch}	0,13	-0,21	0,19	1,00	0,94	0,66	0,63	-0,12
K _{Ch.Mod}	0,22	-0,28	0,35	0,94	1,00	0,73	0,75	-0,13
IP'	0,75	-0,61	0,68	0,66	0,73	1,00	0,99	-0,33
IP'_Mod	0,74	-0,61	0,71	0,63	0,75	0,99	1,00	-0,32
H	-0,09	0,68	-0,08	-0,12	-0,13	-0,33	-0,32	1,00

Примечание: O – олигохетный индекс Гуднайта-Уитлея, BI – биотический индекс Вудивисса, S – сапробность, K_{Ch} – хирономидный индекс, K_{Ch.Mod} – модифицированный хирономидный индекс, H – индекс Шеннона, IP – интегральный показатель Е.В. Балушкиной, IP_Mod – интегральный показатель Е.В. Балушкиной, рассчитанный с учетом K_{Ch.Mod}.

Корреляция предлагаемого индекса с гидрохимическими параметрами также несколько выше, чем для индекса в классическом варианте (табл. 2).

Таблица 2 – Значения коэффициентов корреляции между гидробиологическими и гидрохимическими показателями водных объектов Калининградской области

Показатель	N-NH4	N-NO2	N-NO3	P-PO4	O ₂ , %	Окисляемость	Vтеч.
O	0,45	0,10	0,25	0,20	-0,35	0,08	-0,35
BI	-0,20	0,20	-0,02	-0,04	0,32	-0,13	0,43
S	0,45	0,15	0,17	0,40	-0,55	0,46	-0,53
K _{Ch}	0,17	-0,12	-0,12	-0,05	-0,09	-0,09	-0,36
K _{Ch.Мод}	0,33	-0,11	-0,11	0,16	-0,28	0,11	-0,44
IP'	0,42	-0,04	0,07	0,15	-0,47	0,10	-0,54
IP' Мод	0,46	-0,03	0,06	0,24	-0,53	0,19	-0,55
H	-0,13	0,31	0,12	0,00	0,19	-0,01	0,08
Численность	0,22	0,13	0,19	0,03	-0,29	0,11	-0,46
Биомасса	0,09	-0,03	0,11	0,07	-0,35	0,14	-0,33
Кол-во видов	-0,16	-0,06	-0,09	-0,20	0,31	-0,27	0,36

Наибольшее влияние на изменение гидробиологических показателей водотоков оказывает скорость течения. Из гидробиологических показателей максимальные значения коэффициентов корреляции с гидрохимическими показателями наблюдались для индекса сапробности и интегрального показателя, рассчитанного с учетом модифицированного хирономидного индекса. Именно этим двум индексам стоит отдавать предпочтение при оценке экологического состояния водных объектов области.

На основании анализа фауны зообентоса и экологического состояния водных объектов Калининградской области были выделены реки и озера наиболее подходящие для развития аквакультуры и воспроизводства особо ценных видов рыб (рис. 11). Эти реки и озера отличаются высокими показателями в развития кормовых организмов и относительно благоприятным экологическим состоянием. Несколько хуже качество воды в реках Немонин и Прохладная, в связи, с чем рекомендуется проводить регулярный контроль состояния рек. Дополнительный мониторинг желательно проводить также на реках Писса, Анграпа, Неман, Преголя ниже городов. В усиленном контроле нуждаются реки с нестабильной экологической ситуацией: Лобовка, Медвежья, Восточный канал, Зеленоградка, Товарная. Биологическая способность этих рек к самоочищению в силу их геоморфологических особенностей невелика, поэтому серьезное антропогенное воздействие на их отдельные участки отражается на всей реке.

Среди водных объектов области можно выделить эталонные, где отмечается большое разнообразие бентоса, обитают редкие и узко-специфичные виды. Качество воды в них преимущественно удовлетворительное. В основном это реки и озера слабо урбанизированной юго-восточной части области. Также к эталонным можно отнести р. Неман и оз. Виштынецкое. Это наиболее крупные водные объекты, не имеющие аналогов на территории области и отличающиеся большим разнообразием фауны. Многие водные объекты привлекательны для целей рекреации (реки Писса, Шешупе, Анграпа и др.).



Рисунок 11 – Рекомендации по использованию водных объектов Калининградской области

Заключение

1. В исследованных водных объектах Калининградской области идентифицировано 502 вида зообентоса, 39 % из которых обнаружены впервые. Наиболее разнообразны личинки комаров-звонцов (142 вида) и моллюски (70 видов). В видовом отношении в зообентосе преобладают гетеротопные организмы, интенсивность развития которых подвержена сильным сезонным колебаниям.
2. На распределение зообентоса в водных объектах области большое влияние оказывают гидрологические условия. В малых реках это уклон и скорость течения. В озере Виштынецком – глубины. В малых озерах – происхождение и степень проточности.
3. В пределах Калининградской области нами выделено 6 групп водных объектов, отличающихся по гидробиологическим и гидрологическим параметрам: 1) малые реки со средней скоростью течения менее 0,2 м/с; 2) малые реки со скоростью течения 0,2-0,4 м/с; 3) реки со скоростью течения более 0,4 м/с; 4) река Неман, 5) озеро Виштынецкое; 6) малые озера.
4. Антропогенной модификации в большей степени подвержены малые реки первой группы, впадающие в Куршский и Вислинский заливы (Черная, Товарная, Калиновка, Куровка, Нельма, Зеленоградка, Восточный канал, Лобовка и Медвежья), а также отдельные реки второй группы (Граевка, Немонин, Прохладная, Тыльжа, Стоговка) и малые озера (Камышовое, Рагнитское). В этих водных объектах снижается общее видовое разнообразие и резко возрастает численность полисапробных видов.
5. Большинство водных объектов области находятся в напряженном состоянии (около 60 %), а качество воды в них оценивается как загрязненное. В удовлетворительном состоянии находятся лишь 18 % рек и озер, столько же – в критическом. В некоторых реках наблюдается кризисная ситуация (реки Медвежья и Лобовка).
6. Проведенный корреляционный анализ показал, что величина взаимосвязи модифицированного хиромидного индекса в среднем возросла на 50% с

гидробиологическим показателями и на 80% с гидрохимическим параметрами, по сравнению с классическим вариантом, что делает его более достоверным.

7. Наилучшим образом экологическое состояние рек и озер Калининградской области отражают индекс сапробности и интегральный показатель Балушкиной, рассчитанный с учетом модифицированного хирономидного индекса, что также подтверждается результатами корреляционного анализа.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

В научных журналах, рекомендуемых ВАК РФ:

1. Шибаева М.Н. Видовое разнообразие зообентоса, биоиндикация и экологическое состояние озер Калининградской области / М.Н. Шибаева, Е.П. Матвеева, Е.А. **Масюткина** // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2011. – № 7. – С. 91-96.

2. **Масюткина Е.А.** Оценка экологического состояния оз. Виштынецкого с применением различных гидробиологических индексов / Е.А. **Масюткина** // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2014. – №7. – С.66-76.

В прочих изданиях:

3. **Масюткина Е.А.** Оценка экологического состояния водотоков Калининградской области по биологическому разнообразию комаров-звонцов (*Chironomidae*) / Е.А. **Масюткина**, М.Н. Шибаева, Е.П. Матвеева // Материалы VIII Международной научной конференции, посвященной 80-летию образования университета «Инновации в науке и образовании – 2010». – Калининград, 2010. – Ч.1 – С. 154-155.

4. **Масюткина Е.А.** Градация рек Калининградской области методом биоиндикации с использованием вида *Chironomus plumosus* (L.) / Е.А. **Масюткина**, М.Н. Шибаева, Е.П. Матвеева // Материалы докладов Всероссийской конференции с международным участием «Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразие, глобальные изменения и восстановление экосистем». – Тольятти: Касандра, 2011. – С. 109.

5. **Масюткина Е.А.**, Шибаева М.Н. Возможность использования личинок комаров-звонцов (сем. *Chironomidae*) для оценки экологического состояния малых водоемов Калининградской области / Труды научной конференции «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов». – Калининград: Изд-во КГТУ, 2013. – С. 265-268.

6. **Масюткина Е.А.** Комары-звонцы сем. *Chironomidae* как показатель качества воды малых водоемов Калининградской области / Е.А. **Масюткина**, М.Н. Шибаева, Е.П. Матвеева // Известия КГТУ. – 2014. – № 32. – С. 54-62.

7. **Масюткина Е.А.**, Шибаева М.Н. Сезонная динамика структурных характеристик личинок комаров-звонцов р. Неман в пределах Калининградской области / Труды второй международной научно-практической конференции «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов». – Калининград, 15-17 октября 2014 г. – Изд-во: ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет», 2014. – С. 123-126.

8. Шибаев С.В. Характеристика фонового состояния биоты реки Неман в зоне возможного воздействия Балтийской АЭС (Калининградская область) / С.В. Шибаев, А.В. Соколов, М.Н. Шибаева, Е.В. Лунева, О.А. Новожилов, Е.А. **Масюткина**, М.Е. Макушенко, Е.К. Ланге // Известия КГТУ. Рубрика Биология, экология и рыбное хозяйство – 2016. – № 42. – С. 59-89.

9. **Масюткина Е.А.** Оценка экологического состояния Правдинского водохранилища по гидробиологическим показателям / Е.А. **Масюткина**, М.Н. Шибаева, В.Г. Загирова // Труды III Балтийского форума международной научной конференции «Водные биоресурсы, аквакультура и экология водоемов». – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – С. 172-174.