

ЗОЛОТАРЕВА ТАТЬЯНА ВЛАДИМИРОВНА

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ВИДА-ВСЕЛЕНЦА *KELLICOTTIA BOSTONIENSIS* ROUSSELET, 1908
В РАЗНОТИПНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ
БАССЕЙНА СРЕДНЕЙ ВОЛГИ**

1.5.15 – экология (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Нижний Новгород
2021

Работа выполнена на базе кафедры экологии Института биологии и биомедицины федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры экологии Института биологии и биомедицины ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»
Шурганова Галина Васильевна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор, директор ФГБУН «Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина» Российской академии наук (пос. Борок)
Крылов Александр Витальевич

доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой аквакультуры, биологии и болезней гидробионтов ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» (г. Калининград)
Науменко Елена Николаевна

Ведущая организация: Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук – филиал ФГБУН Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук (г. Тольятти)

Защита диссертации состоится «__» декабря 2021 г. в _____ часов на заседании диссертационного совета Д 24.2.340.05 при Национальном исследовательском Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23, Институт биологии и биомедицины

E-mail: dis212.166.12@gmail.com

Факс: (831) 462-30-85

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского по адресу: <https://diss.unn.ru/files/2021/1170/diss-Zolotareva-1170.pdf>, с авторефератом – в сети Интернет на сайте ВАК России по адресу: <http://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат биологических наук



Д.Е. Гаврилко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Одним из важнейших последствий антропогенного влияния на экосистемы является быстрое расселение видов на значительные расстояния за пределы их природного ареала (Дгебуадзе, 2002; Попов, 2013; Науменко, Телеш, 2019 и др.). В настоящее время процесс биологических инвазий затронул водные объекты большинства стран мира (Дгебуадзе, 2002; De-Carli et al., 2017; Науменко, Телеш, 2019; Mantovano et al., 2021 и др.). Накоплены сведения о сложности и неоднозначности влияния видов-вселенцев на водные объекты, изменении их экологического состояния, трансформации сообществ гидробионтов (Дгебуадзе и др., 2008; Davis et al., 2011; Vomfim et al., 2016; Leuven et al., 2017 и др.). Актуальность исследования вселения новых видов в пресноводную биоту бассейна р. Волги и каскада ее водохранилищ, необходимость выявления и ранжирования чужеродных видов по степени их инвазионной активности и угрозы биоразнообразию, исследование путей их проникновения и распространения отражены в пятом национальном докладе «Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации» (2015).

В настоящее время не ослабевает интерес исследователей разных стран мира к изучению распространения и влияния одного из немногих трансконтинентальных зоопланктонных видов-вселенцев - североамериканской коловратки *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) на планктонные сообщества Европы (Josefsson, Andersson, 2001; Streble, Krauter, 2006; Lehtovaara et al., 2014 и др.) и Южной Америки (De Paggi, 2002; Peixoto et al., 2010; Oliveira et al., 2019; Mantovano et al., 2021 и др.).

В водных объектах России вид впервые зарегистрирован в 2000 г. в двух бессточных озерах Карельского перешейка (Иванова, Телеш, 2004) и к настоящему времени распространен в более 100 водоемах и водотоках (Макарцева, Родионова, 2011; Лазарева, Жданова, 2014; Zhdanova et al., 2016; Крайнев и др., 2018; Сярки, 2019 и др.). Сравнительно недавно вид-вселенец *K. bostoniensis* был обнаружен в водохранилищах, реках и озерах бассейна Верхней и Средней Волги (Жданова, Добрынин, 2011; Bayanov, 2014; Zhdanova et al., 2016; Shurganova et al., 2017; Золотарева и др., 2020б и др.).

Однако, до настоящего времени не выявлены закономерности натурализации вида-вселенца *K. bostoniensis*, не определено действие абиотических и биотических факторов среды на его численность и распределение. Зачастую не приводится характеристика видовой структуры планктонных сообществ, в которых идентифицирована чужеродная коловратка, не изучено ее влияние на родственный аборигенный вид *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879). Не установлены адаптационные возможности вида-вселенца, в частности, морфологические признаки, недостаточно изучены особенности вертикального распределения вида в водоемах, а также его сезонная и межгодовая динамика. Решение этих задач на новом методическом уровне представляется актуальным.

Цель и задачи исследования Цель работы: оценка численности, экологических предпочтений, а также морфологической изменчивости вида-вселенца *K. bostoniensis* в планктонных сообществах разнотипных водных объектов бассейна Средней Волги в зависимости от факторов среды.

Задачи:

1. Идентифицировать видовой состав и определить экологическую приуроченность зоопланктона исследованных водных объектов (водохранилищ, рек, озер), в которых обнаружен вид-вселенец *K. bostoniensis*.

2. Определить численность вида-вселенца *K. bostoniensis* и диапазон абиотических параметров среды (глубина, прозрачность, температура воды, pH, концентрация растворенного кислорода) водоемов и водотоков, в которых он обитает.

3. Провести сравнение межгодовых и сезонных показателей обилия *K. bostoniensis* в сообществах зоопланктона, выявить факторы среды, влияющие на изменение численности вида.

4. Изучить вертикальное распределение *K. bostoniensis* в стратифицированных и нестратифицированных озерах.

5. Определить морфологическую изменчивость вида-вселенца в разнотипных водных объектах.

Научная новизна и теоретическая значимость работы. В работе рассматривается ряд вопросов, связанных с актуальными теоретическими проблемами экологии: оценки биоразнообразия, континуальности и дискретности видовой структуры сообществ гидробионтов, выявление распространения и диапазона условий обитания, биотопической приуроченности, морфологической изменчивости видов-вселенцев в гидробиоценозах разнотипных водных объектов.

Впервые выявлено распространение вида-вселенца *K. bostoniensis* в водохранилищах, реках и озерах бассейна Средней Волги. Установлено, что вид обитает в водных объектах, характеризующихся широким диапазоном глубины, прозрачности, активной реакции среды, концентрации растворенного в воде кислорода. Коловратка доминирует в глубоких стратифицированных озерах, медиали и прудовых расширениях медленнотекущих водотоков с мезотрофными и эвтрофными условиями, слабощелочной и щелочной реакцией среды.

Впервые проанализировано обилие вида-вселенца *K. bostoniensis* в сообществах зоопланктона в межгодовом аспекте и установлено резкое снижение его численности после периода массового развития на начальном этапе натурализации.

Впервые с помощью регрессионных моделей зависимости численности *K. bostoniensis* от факторов среды установлена статистически значимая положительная корреляция численности вида с температурой, прозрачностью и pH воды, а также численностью зоопланктонных хищников.

Впервые при проведении исследований сезонной динамики *K. bostoniensis* в сообществах зоопланктона озер выявлены различия в количественном развитии родственных видов *K. bostoniensis* и *K. longispina* в течение вегетационного периода. Установлено максимальное обилие вида-вселенца в осенний период, аборигенного – в летний период.

Впервые выявлены различия вертикального распределения вида-вселенца в стратифицированных и нестратифицированных озерах. Установлено, что в стратифицированных водоемах *K. bostoniensis* достигает максимального обилия в зоне мета- и гипolimниона, при отсутствии температурной стратификации водных масс вид обитает в придонной области.

Впервые при проведении анализа морфологических характеристик *K. bostoniensis* в водных объектах бассейна Средней Волги установлено, что наиболее крупные особи *K. bostoniensis* обитают в глубоких мезотрофных водных объектах с высокой прозрачностью.

Практическая значимость. Проведенная инвентаризация зоопланктонных организмов разнотипных водных объектов вносит существенный вклад в изучение биоразнообразия гидробионтов водоемов и водотоков бассейна Средней Волги. Исследование зоопланктона водных объектов, включая изучение видов-вселенцев, особо

охраняемых природных территорий (ООПТ) имеют важное значение для решения основных задач ООПТ: инвентаризации фауны и мониторинга состояния биоты.

Продолжение исследований сообществ зоопланктона водных объектов г. Нижний Новгород, особенно в условиях вселения в них чужеродных видов, вносит вклад в осуществление мониторинга состояния водных экосистем в условиях значительного антропогенного воздействия.

На основе материала многолетних исследований зоопланктона написана глава «Методы классификации гидробиоценозов на основании сходства видовой структуры» в учебном пособии «Экологический мониторинг. Часть IX» (2017) для студентов (бакалавров и магистров), аспирантов и преподавателей, занимающихся вопросами экологического мониторинга. Основные положения и выводы диссертационной работы используются при чтении лекционных курсов «Охрана окружающей среды», «Учение о гидросфере», «Современные проблемы гидробиологии» в Институте биологии и биомедицины ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-90013 «Экологические и морфометрические особенности вида-вселенца *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) в разнотипных водоемах бассейна Средней Волги» - конкурс на лучшие проекты, фундаментальных научных исследований, выполняемые молодыми учеными, обучающимися в аспирантуре («Аспиранты»), грантов Русского географического общества «Экспедиция Плавучий университет Волжского бассейна» 2016-2020 гг. (проекты 10/2016 И, 04/2017-Р, 06/2018-Р, 02/2019-Р, 07/2020-Р).

Соответствие паспорту научной специальности. Результаты проведенного исследования соответствуют шифру специальности 1.5.15 – экология, конкретно области исследования – экологии сообществ.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Вид-вселенец *K. bostoniensis* является эврибионтным, о чем свидетельствует его обитание как в мелких небольших, так и в крупных глубоких водных объектах бассейна Средней Волги, характеризующихся широким диапазоном активной реакции среды (от 5,2 до 9,1), цветности (от 47° до 1245° Pt-Co шкалы), концентрации растворенного кислорода (от 0,9 мг/л до 12,6 мг/л), прозрачности воды (от 0,3 м до 2,7 м).

2. Вид *K. bostoniensis* достигает максимальной численности и является доминирующим в глубоких стратифицированных озерах, медиали и прудовых расширениях медленно текущих водотоков, предпочитает эвтрофные и мезотрофные водные объекты со слабощелочной и щелочной реакцией среды.

3. Сезонная динамика родственных видов, вселенца *K. bostoniensis* и аборигенного *K. longispina*, различаются: пик развития вида-вселенца приходится на осенний период, аборигенного - на летний.

4. В водных объектах бассейна Средней Волги наибольшая общая длина тела *K. bostoniensis*, обусловленная длиной переднего и заднего шипов, характерна для глубоких мезотрофных водных объектов, что подтверждается положительной корреляцией длины тела с глубиной и прозрачностью.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертации были доложены и обсуждены на следующих **международных конференциях и конференциях с международным участием**: 17-м, 18-м, 19-м, 20-м ежегодных Международных научно-промышленных форумах «Великие реки» (Нижний Новгород, 2015, 2016, 2017, 2018), III Международной конференции «Актуальные проблемы планктонологии» (Зеленоградск, 2018), II Международной конференции «Озера Евразии: проблемы и пути их решения» (Казань, 2019), XII Съезде Гидробиологического общества при РАН (Петрозаводск,

2019), Международной конференции «Экология водных беспозвоночных» (Борок, 2020); **всероссийских конференциях:** 68-й, 69-й, 70-й, 71-й, 73-й, 74-й ежегодных Всероссийских школах-конференциях «Биосистемы: организация, поведение, управление» (Нижний Новгород, 2015, 2016, 2017, 2018, 2020, 2021), Всероссийской молодежной гидробиологической конференции «Перспективы и проблемы современной гидробиологии» (Борок, 2016), III и V Всероссийских научных конференциях «Проблемы экологии Волжского бассейна» (Нижний Новгород, 2018, 2020), Всероссийской конференции «Волга и её жизнь» (Борок, 2018); **региональных конференциях:** молодежной научной конференции с советником Президента Российской Федерации, специальным представителем Президента РФ по вопросам климата А.И. Бедрицким (Нижний Новгород, 2016), XXIII и XXV Нижегородских сессиях молодых ученых «Естественные, математические науки» (Нижний Новгород, 2018, 2020). Результаты работы были представлены на расширенном заседании Нижегородского отделения Гидробиологического общества при РАН (Нижний Новгород, 2021).

Личный вклад автора в работу. В диссертационной работе представлены результаты собственных семилетних (2013-2020 гг.) полевых исследований зоопланктона водных объектов бассейна Средней Волги, выполненных лично автором в составе экспедиций, организованных кафедрой экологии Национального исследовательского Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского и в составе экспедиций грантовых проектов РФФИ № 19-34-90013 «Экологические и морфометрические особенности вида-вселенца *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) в разнотипных водоемах бассейна Средней Волги» и РГО «Плавающий университет Волжского бассейна 2016-2020». Результаты получены автором самостоятельно, либо при его непосредственном участии в коллективных работах. Актуальность диссертационной работы, цель, задачи, обобщения и выводы сформулированы лично автором.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 59 научных работ, в том числе 15 статей в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, 40 материалов докладов и тезисов международных и всероссийских конференций, 3 тезиса докладов региональных конференций, одно учебное пособие.

Структура и объём работы. Диссертационная работа включает введение, 8 глав, заключение, выводы, список литературы (229 источников, в том числе 89 зарубежных), приложение. Диссертация изложена на 147 страницах, проиллюстрирована 17 таблицами и 25 рисунками. Приложение включает табличный материал, представленный на 27 страницах.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и искреннюю благодарность за неоценимую всестороннюю поддержку и помощь, внимательное и чуткое руководство своему научному руководителю и учителю д.б.н. Г.В. Шургановой. Автор выражает глубокую признательность за конструктивную критику, ценные замечания и помощь в статистической обработке данных д.б.н. В.Н. Якимову; за квалифицированные советы и внимание к работе д.б.н. Д.Б. Гелашвили. Автор также выражает благодарность за всестороннюю помощь и моральную поддержку на всех этапах работы своим коллегам и друзьям: к.б.н. Д.Е. Гаврилко, к.б.н. И.А. Кудрину, к.б.н. М.Ю. Ильину, В.С. Жихареву, А.А. Колесникову, Е.А. Обедиентовой, преподавателям и сотрудникам кафедры экологии ННГУ. Автор искренне признателен за ценные советы, поддержку и внимание к работе д.б.н. А.В. Крылову; за помощь в сборе гидробиологического материала к.б.н. Н.А. Старцевой; за моральную поддержку В.В. Шурганову. Отдельные слова благодарности за всестороннюю помощь автор

выражает мужу К.Н. Золотареву, родителям В.И. и Е.Г. Куклиным, Н.А. и Л.В. Золотаревым.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Литературный обзор

В главе представлен обзор результатов исследований биологических инвазий в водных объектах. Рассмотрены примеры зоопланктонных видов-вселенцев и их влияния на гидробиоценозы. Проведен анализ работ, посвященных распространению, количественному развитию и условиям обитания трансконтинентального зоопланктонного вида-вселенца *K. bostoniensis* в водоемах и водотоках стран мира.

Глава 2. Общая характеристика района исследования

В главе приведены общие сведения о районе исследования и расположении водоемов и водотоков: водохранилищ Средней Волги (Горьковское, Чебоксарское, Куйбышевское), многочисленных водных объектов бассейна Чебоксарского водохранилища и устьевых областей притоков Куйбышевского водохранилища (реки Кама и Казанка). Исследованные водные объекты расположены на разнородных по геологическому строению, рельефу, климатическим условиям, почвенному и растительному покрову, а также антропогенной нагрузке территориях (Харитонычев, 1978; Мозжерин и др., 2012; Брагазин и др., 2014). Представлены сведения о морфометрических, гидрологических и гидрохимических параметрах водоемов и водотоков.

Глава 3. Материалы и методы исследований

Работа основана на анализе материала 1265 гидробиологических проб, собранных в период с 2013 по 2020 гг., как при проведении маршрутных съемок, так и при стационарных сезонных наблюдениях на акваториях 58 водоемов и водотоков бассейна Средней Волги (рисунок 1):

1) водохранилищ: Горьковское, Чебоксарское, Куйбышевское;

2) водотоков и их устьевых областей: р. Трестьянка (устье), р. Пыра (устье), р. Левинка, р. Черная (нижнее течение и устье, г. Нижний Новгород), р. Вьюница, р. Гниличка, р. Ржавка, р. Параша, р. Рахма, р. Кова, р. Старка, Шуваловский канал, р. Ока (устье), р. Везлома, р. Кудьма, р. Сережа, р. Керженец, р. Сундовик (устье), р. Ветлуга, р. Чара, р. Рустайчик, р. Черная (ГПБЗ «Керженский»), р. Пугай, Протока, р. Кама, р. Казанка;

3) озер: Кочешковское, Титковское, Жаренское, Нестиар, Светлояр, Сиротинное, Черный Яр, Драничное, Черноезерское-1, Черноезерское-2, Гришино, Новая Старица, Черное, Круглое, Нижнее Рустайское, Маховское, Малое Круглое, Парковое, Сортировочное, Гурьяново, Пермьяковское, Счастливое, Светлоярское, Чарское, Великое, Свято, Глубокое, Паровое, Долгое.

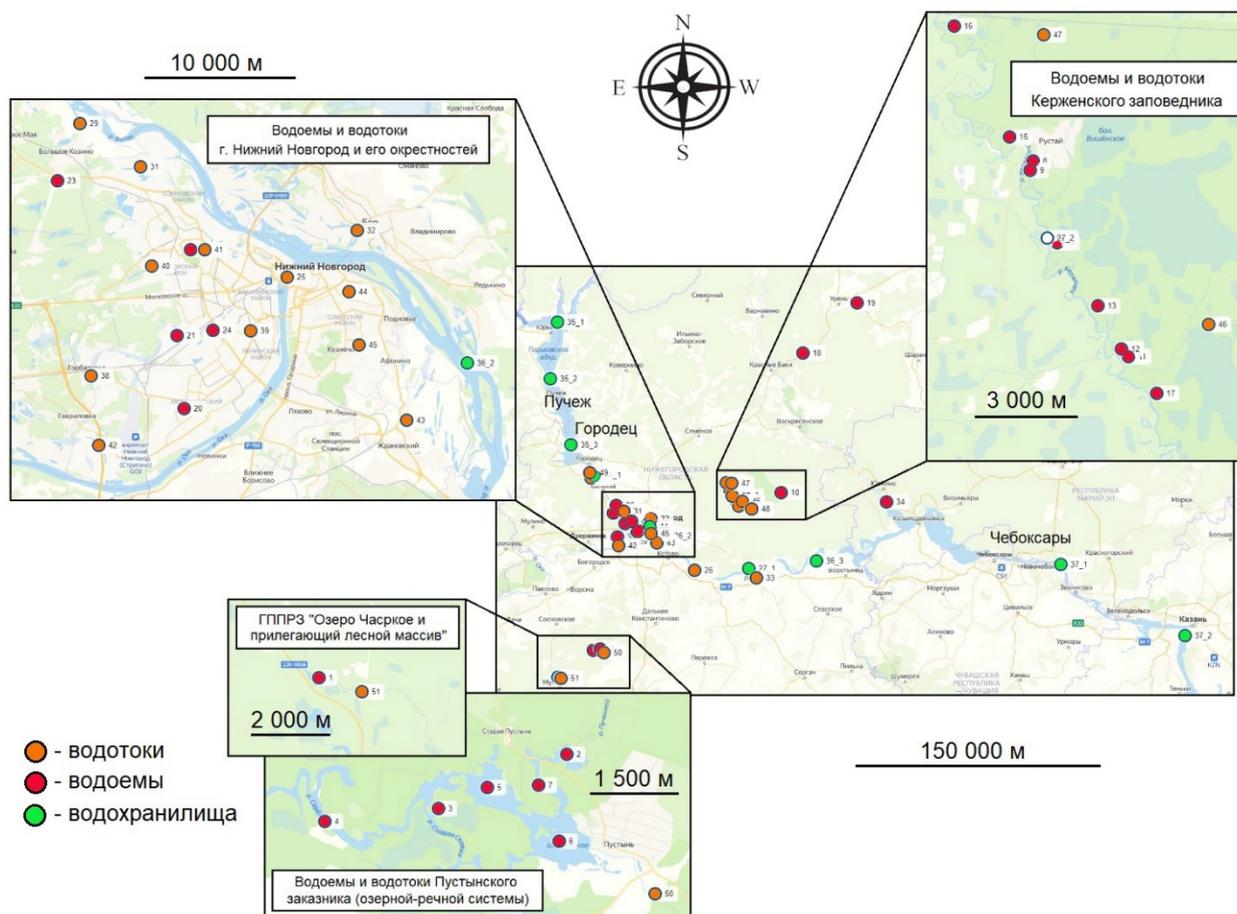


Рисунок 1. Схема расположения исследованных водных объектов

Пробы отбирали с помощью планктонной сети Джели (диаметр входного отверстия 18 см, размер ячеей 70 мкм), процеживанием столба воды от дна до поверхности или 200 л воды через сеть Апштейна (нейлоновое сито, размер ячеей 70 мкм) в медиальной зоне рек и пелагиали озер. Вертикальное распределение *K. bostoniensis* исследовали на акваториях 7 озер в июле 2017, 2019, 2020 гг. Сбор гидробиологического материала по глубинам осуществлялся батометром Рутнера объемом 3 л в дневное время с 9:00 до 15:00 часов Московского времени. С каждого горизонта отбирали 12 л воды и процеживали через сеть Апштейна. Материал фиксировали 4% раствором формалина и этикетировали.

Наряду со сбором проб зоопланктона измеряли прозрачность воды по белому диску Секки. Значения температуры, активной реакции среды (pH) и электропроводности воды определяли с использованием мультипараметрического зонда YSI Pro 1030 (YSI, США); содержание растворенного кислорода в воде - с помощью анализатора MAPK 302M (ВЗОР, Россия).

Пробы зоопланктона обрабатывали в соответствии с общепринятыми в практике гидробиологических исследований методами (Методические рекомендации ..., 1982). Идентификацию видов зоопланктона, а также определение их экологической приуроченности проводили с использованием определителей и руководств (Кутикова, 1970, 2005; Смирнов, 1971, 1976; Коровчинский, 2004; Kotov & Štifter, 2006; Определитель зоопланктона ..., 2010 и др.). Определение вида-вселенца *K. bostoniensis* осуществляли с применением специальных статей (Жданова, Добрынин, 2011; Paggi, 2002 и др.).

Среди традиционных в гидробиологических и экологических исследованиях показателей в работе использовали: видовое богатство (число видов), численность (N),

биомасса (B), индекс доминирования Паляя-Ковнацки (Шитиков и др., 2003), индекс Шеннона (Margalef, 1957), индекс выравненности Пиелу (Pielou, 1966).

Анализ видовой структуры и оценка сходства сообществ зоопланктона в работе проведена на основе метода многомерного векторного анализа (Черепенников и др., 2003, 2004; Шурганова, 2007). Упорядочивание и классификация собранного материала осуществлялось с использованием кластерного анализа на основе индексов сходства. Влияние факторов среды на структуру сообществ оценивалось с помощью анализа избыточности (RDA, redundancy analysis) (Шитиков, Розенберг, 2013). Дендрограммы иерархической кластеризации строили с использованием метода средней связи (Якимов и др., 2016). С целью выделения оптимального числа кластеров проводился анализ силуэтов и коэффициентов корреляции Мантеля (Borcard et al., 2011; Legendre, Legendre, 2012; Якимов и др., 2016).

Для выявления экологических предпочтений вида-вселенца *K. bostoniensis*, а также зависимости его морфологических характеристик от факторов среды применялся регрессионный анализ (Шитиков, Розенберг, 2013).

Особей *K. bostoniensis* выбирали из фиксированных проб зоопланктона. Измеряли по 10–190 экземпляров коловраток из водного объекта по схеме, представленной в работах V.V. Vezhnavecs, A.G. Litvinova (2015) и С.М. Ждановой с соавт. (2019). Проводили измерение общей длины тела (L1), длины панциря без учета переднего и заднего шипов (L2), длины заднего (L3) и самого длинного переднего шипа (L4), ширину тела коловраток (W1) (рисунок 2). Промеры осуществляли с использованием микроскопа Meiji Techno MT4200L с окуляр-микрометром.

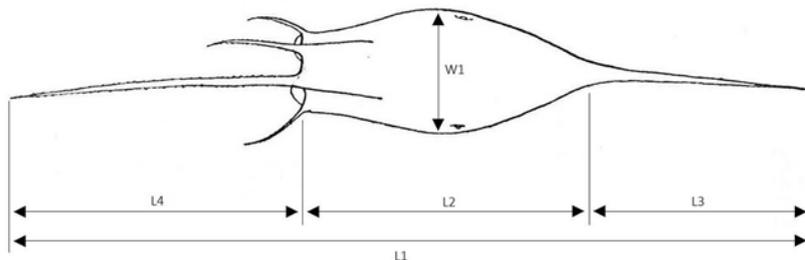


Рисунок 2. Схема промеров *K. bostoniensis*: L1 – общая длина, L2 – длина панциря без учета переднего и заднего шипов, L3 – длина заднего шипа, L4 – длина самого длинного переднего шипа, W1 – ширина тела

Оценку нормальности распределения значений общей длины тела осуществляли с помощью критерия Шапиро-Уилка. Применяли непараметрические методы: критерий Крускала-Уоллиса, множественное сравнение выборок с использованием критерия Уилкоксона (Гланц, 1999; Якимов, 2019). Оценку корреляции между морфологическими признаками *K. bostoniensis* (L1, L2, L3, L4, W1) проводили с помощью коэффициента корреляции Спирмена (Гланц, 1999; Якимов, 2019).

Все расчеты, построение дендрограмм и ординационных диаграмм проводили в среде R (R Core Team, 2015), с использованием пакетов программ Microsoft Excel 2013, STATISTICA 8 (Халафян, 2007).

Глава 4. Видовой состав зоопланктона и его экологическая характеристика

В рамках исследования была проведена идентификация видового состава зоопланктона водоемов и водотоков бассейна Средней Волги. Полученные сведения

вносят вклад в решение одной из важнейших задач современной экологии – изучение биоразнообразия, являющегося основой устойчивости экосистем.

Точное определение видов необходимо для корректной оценки видовой структуры сообществ, расчета экологических индексов. Значительный интерес также представляют сведения об экологических предпочтениях видов зоопланктона, оценка соотношения основных систематических групп пресноводного зоопланктона (Rotifera, Cladocera, Copepoda) водных объектов, в которых обитает вид-вселенец *K. bostoniensis*.

Общее видовое богатство водоемов и водотоков было высоким и составляло 280 видов, из которых 151 вид (54%) представлен коловратками (Rotifera), 87 видов (31%) – ветвистоусыми (Cladocera) и 42 вида (15 %) – веслоногими ракообразными (Copepoda).

Количество идентифицированных видов значительно варьировало – от 8 (р. Кова) до 162 (р. Выюница). Наибольшее видовое богатство зоопланктона было зарегистрировано в водотоках г. Нижнего Новгорода (р. Выюница и Шуваловский канал), характеризующихся высоким биотопическим разнообразием; в Чебоксарском водохранилище, его крупных притоках – реках Керженец и Ветлуга. Минимальное видовое богатство отмечено в р. Кова, протекающей по территории г. Нижний Новгород и испытывающей значительное антропогенное воздействие.

В большинстве водных объектов по числу видов преобладали коловратки (Rotifera), в ряде водных объектов – ветвистоусые ракообразные (Cladocera). Из общего числа видов зоопланктона большинство – 48% относилось к фитофильным, 32% – к планктонным, 12% – к фитофильно-планктонным, 8% – к придонным.

Глава 5. Распространение и численность вида-вселенца *K. bostoniensis* в водных объектах бассейна Средней Волги

В главе приведены сведения о распространении и обилии вида-вселенца в 52 водных объектах: 3 водохранилищах, 26 водотоках, 23 озерах (рисунок 1). В абсолютном большинстве водоемов и водотоков чужеродный вид был обнаружен нами впервые. Установлено, что коловратка обитает в водных объектах с широким диапазоном параметров среды (таблица 1).

Таблица 1

Диапазон значений параметров исследованных водных объектов

Параметр	Диапазон значений
Глубина, м	0,5 – 16
Прозрачность воды, м	0,3 – 2,7
Растворенный в воде кислород, мг/л	0,9 – 12,6
Цветность, °Pt-Со шкалы	47 – 1245
Трофический статус	мезотрофный – гипертрофный

Количественные характеристики *K. bostoniensis* существенно варьировали – от единичных экземпляров до 562,9 тыс. экз./м³ (от менее 1% до 79% от общей численности зоопланктона). Несмотря на способность к обитанию в различных условиях среды, в число доминирующих видов (>10% общей численности зоопланктона) чужеродный вид входил в 11 водоемах и водотоках (реках Сережа, Гниличка, Ржавка и озерах Жаренское, Нижнее Рустайское, Малое Круглое, Круглое, Чарское, Свято, Глубокое, Паровое) с эвтрофными, мезотрофно-эвтрофными и мезотрофными условиями, слабощелочной и щелочной реакцией среды. В реках наибольшая численность вселенца отмечена в медали на участках с низкой скоростью течения (реки Сережа и Ржавка), в прудовых

расширениях (р. Гниличка). Озера, в которых вид *K. bostoniensis* доминировал в составе зоопланктона, являются глубокими (до 16 м, оз. Чарское) с прямой температурной стратификацией водных масс в летний период.

Глава 6. Межгодовая и сезонная динамика развития *K. bostoniensis*

6.1. Межгодовые изменения численности вида-вселенца в сообществах зоопланктона Пустынской озерно-речной системы

Многолетнее изучение численности чужеродных видов позволяет устанавливать закономерности их натурализации, влияние на родственные аборигенные виды и их конкурентоспособность, а также определять наиболее благоприятные для вселенцев условия среды (Leuven et al., 2017; Mantovano et al., 2020 и др.).

В 2013–2017 гг. был проведен анализ обилия вида-вселенца *K. bostoniensis* в сообществах зоопланктона водных объектов Пустынской озерно-речной системы. Выделение сообществ зоопланктона проводилось с использованием метода многомерного векторного анализа (гл.3). Наряду с этим впервые для более детального и точного анализа данных был применен метод выделения оптимального числа кластеров, включающий анализ силуэтов и коэффициентов корреляции Мантеля (Shurganova et al., 2021). В результате работы было выделено 4 кластера, различающихся по видовой структуре зоопланктона (рисунок 3).

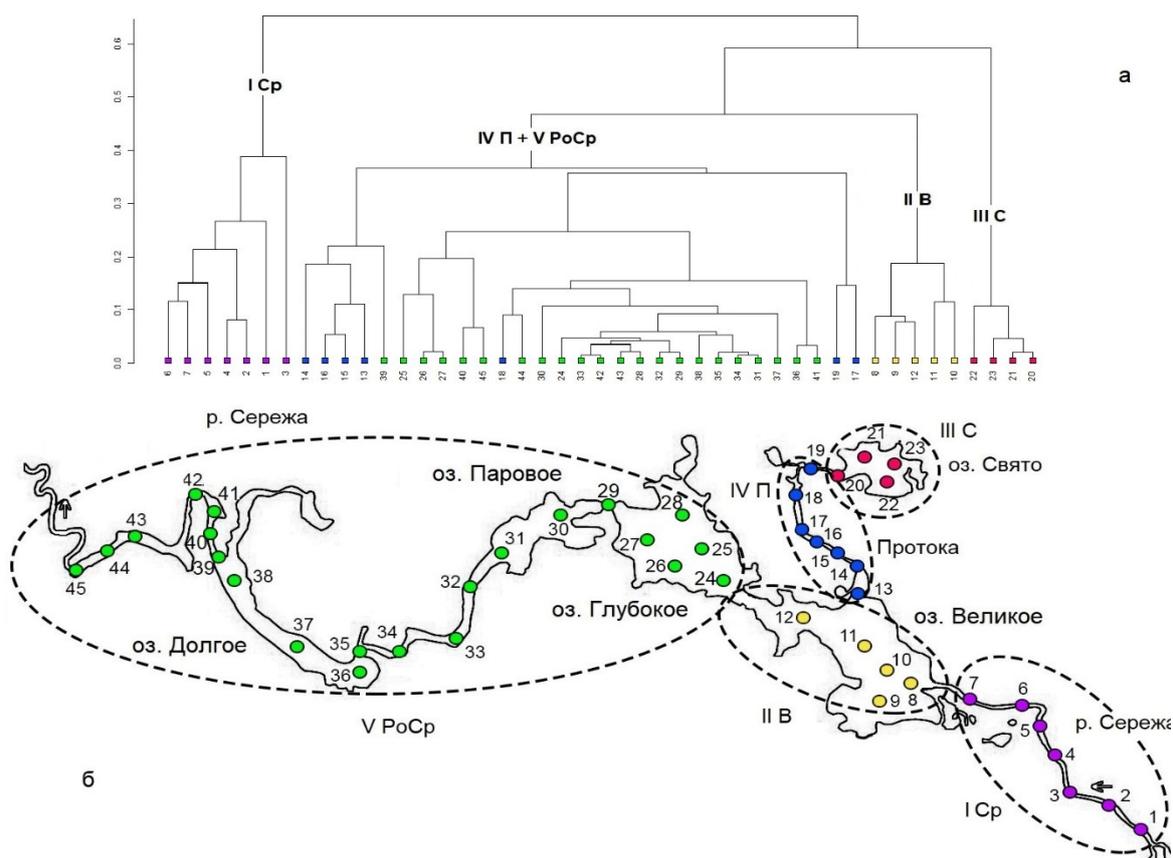


Рисунок 3. Дендрограмма иерархической кластеризации проб зоопланктона Пустынской озерно-речной системы (а) и схема расположения выделенных сообществ зоопланктона на акватории Пустынской озерно-речной системы (б): I Cp – сообщество зоопланктона р. Сережа ниже озерной системы, II B – сообщество зоопланктона оз. Великое, III C – сообщество зоопланктона оз. Свято, IV П – сообщество зоопланктона Протоки, соединяющей озера Великое и Свято, V PoCp – сообщество зоопланктона русловых озер и р. Сережа ниже озерной системы

Кластеры соответствовали следующим сообществам зоопланктона: зоопланктоценоз р. Сережа выше озерной системы (I Ср); оз. Великое (II В); оз. Свято (III С). Сообщества зоопланктона Протоки (IV П), русловых озер (Глубокое, Паровое, Долгое) и р. Сережа ниже озерной системы (V РСр) характеризовались сходной видовой структурой и входили в один кластер (рисунок 3). В летние периоды 2013–2017 гг. сообщества зоопланктона р. Сережа, оз. Великого, Протоки и оз. Свято различались комплексом доминантов, показателями видовой структуры, однако границы сообществ были относительно постоянными.

Исследования обилия вида-вселенца *K. bostoniensis* в сообществах показали следующее. Численность чужеродной коловратки варьировала в широких пределах – от 0,02 до 305,4 тыс. экз./м³. В 2013–2014 гг. вид доминировал в оз. Свято и р. Сережа. Установлено значительное снижение обилия *K. bostoniensis* в период с 2013 г. по 2017 г. в сообществах р. Сережа, озер Великое и Свято, Протоки. Согласно литературным данным, подобным образом происходило развитие и других чужеродных видов (Telesh, Schubert, Scarlato, 2016; Науменко, Телеш, 2019 и др).

Максимальное обилие аборигенного вида *K. longispina* зафиксировано в 2017 г., изменение его численности в 2013–2017 гг. были менее значительными по сравнению с чужеродным (рисунок 4).

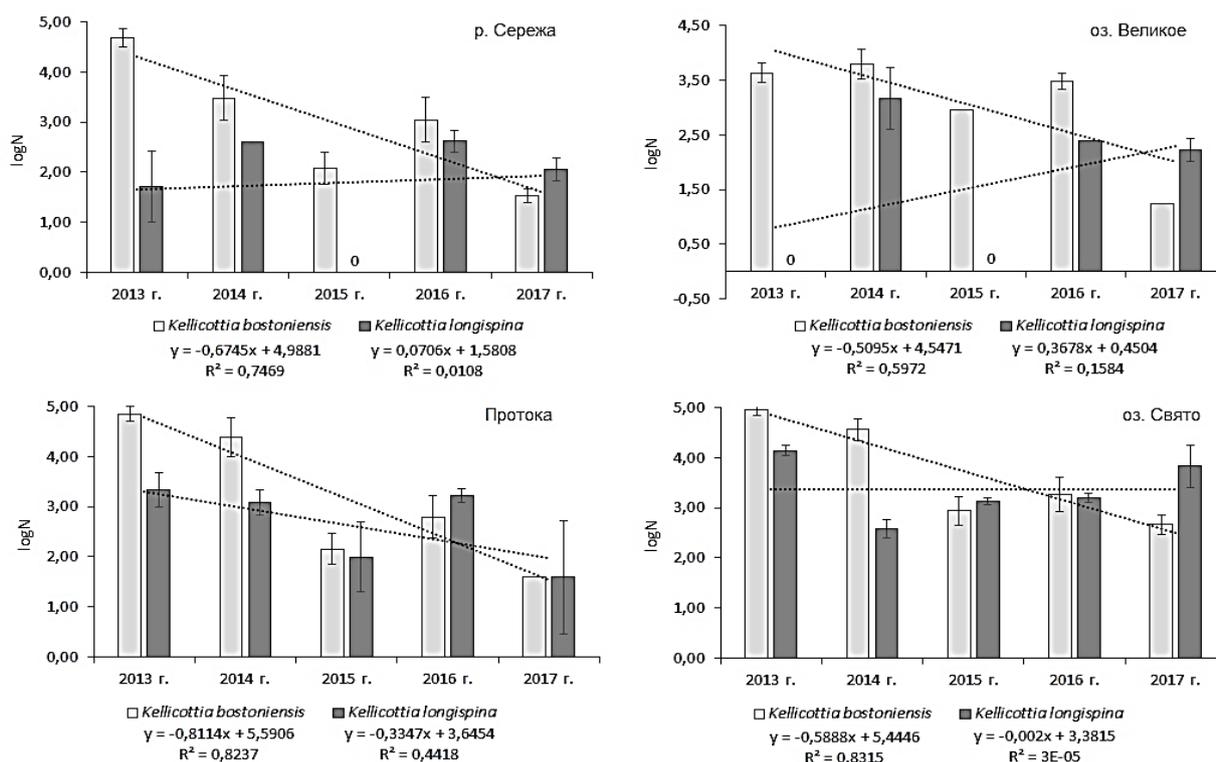


Рисунок 4. Изменение численности *K. bostoniensis* и *K. longispina* в сообществах зоопланктона р. Сережи, оз. Великого, Протоки и оз. Свято в 2013–2017 гг.

С целью определения влияния факторов среды на численность *K. bostoniensis* были построены регрессионные модели с учетом температуры, электропроводности, рН, концентрации растворенного кислорода и прозрачности. Наряду с этим были построены модели зависимости численности хищных видов зоопланктона от обилия вселенца и других коловраток-вертикаторов.

Была установлена прямая статистически значимая зависимость численности *K. bostoniensis* от температуры ($R^2=0,123$, $p<0,001$) и прозрачности воды ($R^2=0,083$, $p=0,002$) (рисунок 5), а также водородного показателя ($R^2=0,053$, $p=0,011$). Так как значения рН и температуры коррелировали, в итоговой модели множественной регрессии учитывались только температура и прозрачность. Полученная модель объясняла 15,4% от общей вариации численности *K. bostoniensis* ($p<<0,05$).

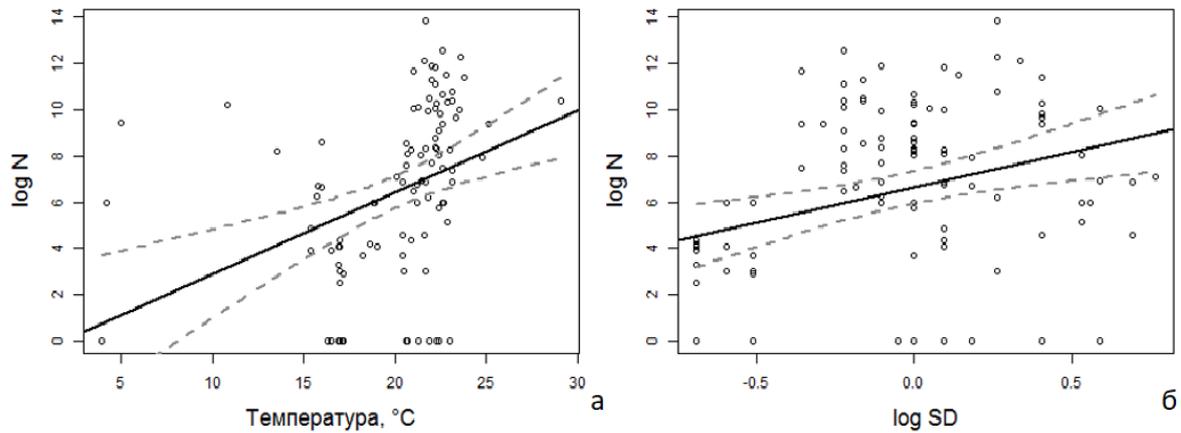


Рисунок 5. Зависимость логарифмированных значений численности *K. bostoniensis* (log N) от температуры (а) и прозрачности (log SD) (б) с доверительными интервалами регрессии

Зафиксирована значительная степень зависимости хищных видов зоопланктона от численности коловраток-вертикаторов ($R^2=0,674$, $p<0,001$) (рисунок 6а) и численности хищников от обилия чужеродной коловратки ($R^2=0,344$, $p<0,001$) (рисунок 6б). Полученные модели отражают продуктивность Пустынской озерно-речной системы: с ростом численности потенциальных пищевых ресурсов увеличивается количество хищников.

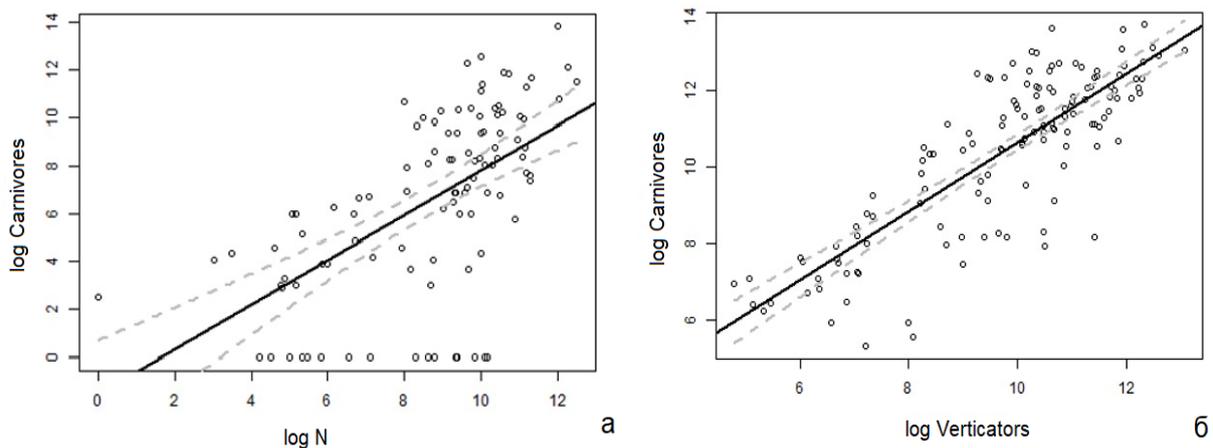


Рисунок 6. Зависимость численности хищников (log Carnivores) от численности *K. bostoniensis* (log N) (а) и численности коловраток-вертикаторов (log Verticators) (б) с доверительными интервалами регрессии

6.2. Сезонная динамика развития *K. bostoniensis* в сообществах зоопланктона озер

Сведения о развитии *K. bostoniensis* в течение вегетационного сезона крайне малочисленны (Иванова, Телеш, 2004; Крайнев и др., 2018; Arcifa et. al., 2020 и др.). Нами было изучено сезонное развитие чужеродного вида в 2020 г. в озерах Парковое и Сортировочное (г. Нижний Новгород).

Кластеризация проб с использованием многомерного векторного анализа позволила выделить сходные по видовой структуре зоопланктонные комплексы исследованных озер: раннелетний (26 мая – 24 июня, синий цвет) и летний (7–22 июля, красный цвет) (рисунок 7). В оз. Сортировочном выделен также позднелетний комплекс (3 и 18 августа, зеленый цвет) и осенний (1 сентября – 27 октября, фиолетовый цвет). В оз. Парковом позднелетний-осенний кластер сформировали пробы, собранные в период с 3 августа по 29 сентября (зеленый цвет), осенний – с 13 по 27 октября (фиолетовый цвет) (рисунок 7).

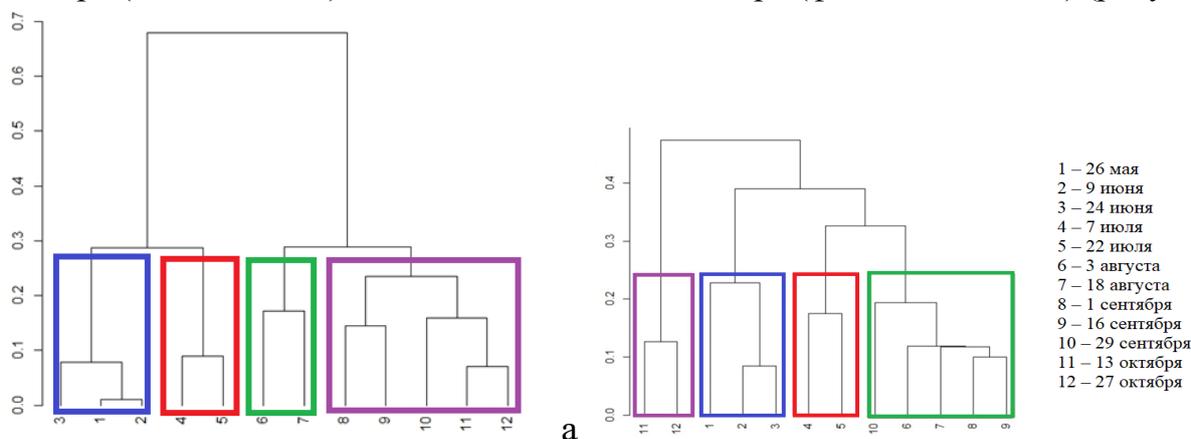


Рисунок 7. Дендрограммы иерархической кластеризации проб зоопланктона озер Сортировочное (а) и Парковое (б) на основе видовой структуры (по оси отложено расстояние объединения)

В течение вегетационного сезона в оз. Сортировочном наблюдался один пик численности зоопланктона (402,8 тыс. экз./м³ – 22 июля), преобладающей группой были коловратки. В оз. Парковом установлено два пика численности: 26 мая и 1 сентября. В мае обилие достигало 311,2 тыс. экз./м³, главным образом, за счет коловраток. В начале сентября – 349,2 тыс. экз./м³, преобладали веслоногие ракообразные.

Ход сезонной динамики развития видовой структуры сообществ зоопланктона озер можно изобразить в виде ординационных диаграмм, построенных по результатам анализа избыточности (рисунок 8).

Статистический анализ вспомогательных моделей, построенных для каждого учитываемого фактора, показал, что значимым влиянием ($p < 0,05$) в оз. Сортировочном обладали 6 параметров, в оз. Парковом – 7 параметров (синие векторы на рисунке 8).

В конце мая и июне в оз. Сортировочном доминировали коловратки рода *Keratella* и *K. longispina*. Точки 1–3, изображающие пробы зоопланктона (в дальнейшем – пробы), расположены достаточно близко друг к другу на диаграмме и тяготеют к векторам изменения концентрации железа и нитратов, так как в это время наблюдалась их наибольшая концентрация (рисунок 8а). В летнем и позднелетнем комплексах (точки 4–7 на диаграмме) произошло изменение видовой структуры, кроме коловраток в комплекс доминантов вошли представители ветвистоусых и веслоногих ракообразных. В конце лета начался процесс отмирания и разложения водной растительности, поэтому происходило увеличение содержания азотсодержащих соединений, рост минерализации, точки 6 и 7 расположены рядом с векторами аммония и гидрокарбонатов. К осени наблюдалось увеличение электропроводности и прозрачности воды, эти факторы оказывали наибольшее влияние на видовую структуру в этот период (рисунок 8а).

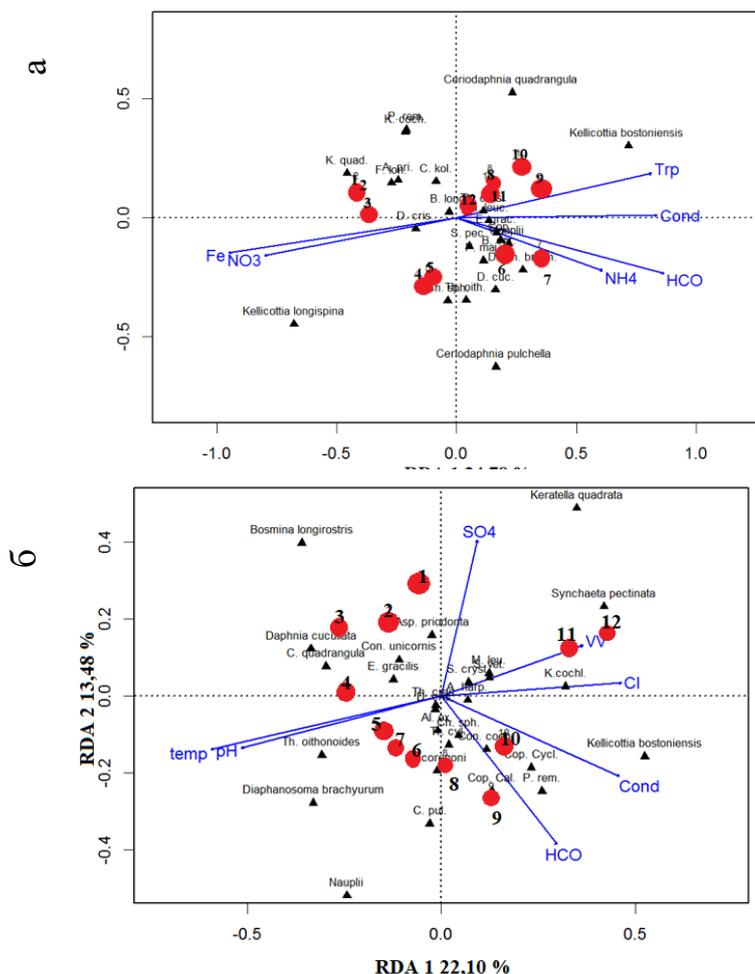


Рисунок 8. Ординационные диаграммы, построенные по результатам анализа избыточности (RDA) для проб зоопланктона оз. Сортировочное (а) и Парковое (б).

pH – водородный показатель,
temp – температура,
Cond – электропроводность,
HCO – гидрокарбонаты,
Cl – хлориды,
VV – взвешенные вещества,
SO4 – сульфаты,
Trp – прозрачность,
NH4 – аммоний,
Fe – железо,
NO3 – нитраты.

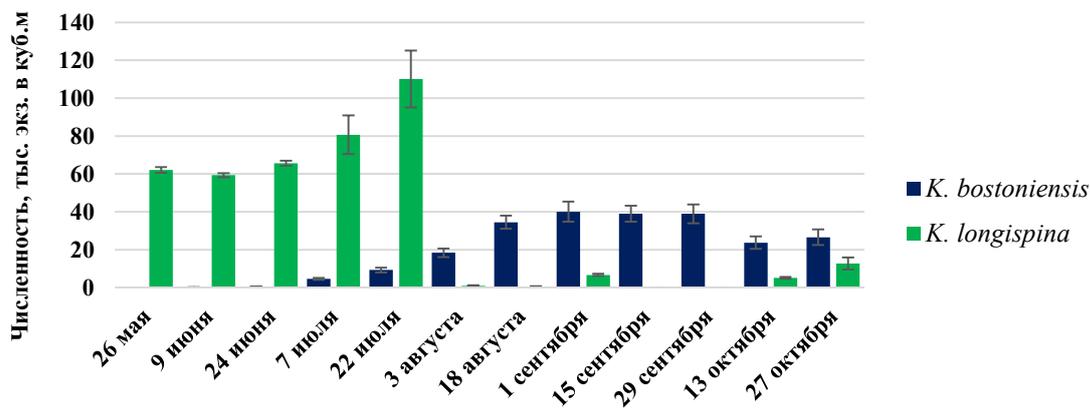
Красными точками обозначены пробы:
1 – 26 мая; 2 – 9 июня; 3 – 24 июня;
4 – 7 июля; 5 – 22 июля; 6 – 3 августа; 7 –
18 августа; 8 – 1 сентября;
9 – 16 сентября; 10 – 29 сентября;
11 – 13 октября; 12 – 27 октября

В оз. Парковом в начале вегетационного сезона наблюдалось высокое сходство видовой структуры, пробы 1–3 на диаграмме располагались близко (рисунок 8б). В это время доминировал ветвистоусый рачок *Bosmina longirostris*. Пробы, собранные в июле, расположены рядом с векторами температуры и pH, основными факторами, влиявшими на видовую структуру в это время (рисунок 8б). С летним ростом температуры воды связано формирование большой биомассы фитопланктона, которая благодаря усиленному поглощению углекислого газа подщелачивает среду. В позднелетний период в пелагиали озер происходило накопление детрита, что обуславливало рост электропроводности. В сторону векторов электропроводности и содержания гидрокарбонатов расположены сентябрьские пробы. В осенний период происходило перемешивание воды и увеличение стока в озеро, повышалось содержание хлоридов, сульфатов и взвешенных веществ, поэтому октябрьские пробы расположены рядом с векторами этих характеристик (рисунок 8б).

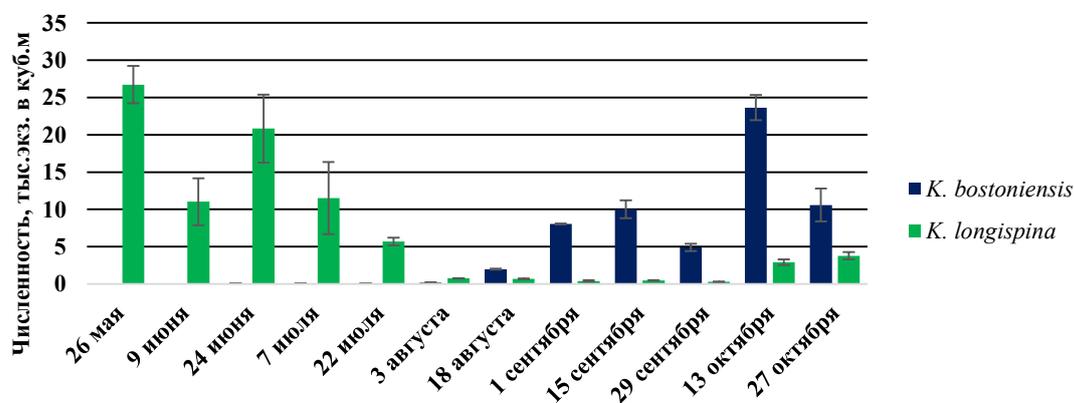
В летний период 2020 г. в озерах численность *K. bostoniensis* была невысокой. Установлено, что родственные виды *K. longispina* и *K. bostoniensis* достигали наибольшего количественного развития в течение вегетационного периода в разное время.

В оз. Сортировочном с 26 мая по 22 июля обилие чужеродного вида было низким (рисунок 9а). В течение сезона численность вида-вселенца *K. bostoniensis* увеличивалась (рисунок 9а), с 3 августа по 27 октября вид доминировал в сообществе (таблица 2). Максимальная доля *K. bostoniensis* от общей численности зоопланктона зафиксирована 29 сентября (таблица 2). Аборигенный вид *K. longispina* доминировал в сообществе с 26

мая по 22 июля, затем его численность значительно снизилась (рисунок 9а, таблица 2). Максимальная доля *K. longispina* от общей численности зоопланктона зафиксирована 7 июля (таблица 2).



а



б

Рисунок 9. Сезонная динамика абсолютной численности видов *K. bostoniensis* и *K. longispina* в озерах Сортировочное (а) и Парковое (б) (по данным 2020 г.)

Установлено доминирование аборигенного вида в раннелетнем и летнем зоопланктонных комплексах оз. Сортировочное. Вид-вселенец доминировал в позднелетнем и осеннем комплексах (таблица 2).

Таблица 2

Доля видов *K. bostoniensis* и *K. longispina* от общей численности зоопланктона в озерах Сортировочное и Парковое

Дата отбора проб	26 мая	9 июня	24 июня	7 июля	22 июля	3 августа	18 августа	1 сентября	15 сентября	29 сентября	13 октября	27 октября
оз. Сортировочное												
$N_{K. bost.} / N_{tot}, \%$	<0,01	0,05	0,2	2,3	2,3	12,0	23,1	17,5	25,1	48,7	27,9	17,2
$N_{K. long.} / N_{tot}, \%$	22,9	20,3	34,4	40,3	27,3	0,6	0,3	2,9	0,04	0,1	5,9	8,2
оз. Парковое												
$N_{K. bost.} / N_{tot}, \%$	-	<0,01	0,01	0,02	0,02	0,07	0,9	2,31	4,21	4,14	12,57	7,05
$N_{K. long.} / N_{tot}, \%$	8,59	5,33	10,42	6,71	2,27	0,3	0,31	0,12	0,2	0,24	1,55	2,53

$N_{K. bost.} / N_{tot}, \%$ – доля *K. bostoniensis* от общей численности зоопланктона;

$N_{K. long.} / N_{tot}, \%$ – доля *K. longispina* от общей численности зоопланктона

В оз. Парковом сезонное развитие родственных видов происходило сходным образом (рисунок 9). В период с 9 июня по 3 августа зафиксировано низкое обилие *K. bostoniensis*, при этом численность родственного вида *K. longispina* в раннелетнем и летнем планктонных комплексах была высокой, вид входил в число доминантов и субдоминантов сообщества (рисунок 9б, таблица 2).

В течение сезона численность чужеродного вида *K. bostoniensis* увеличивалась, к 1 сентября она составила 8,05 тыс. экз./м³, 13 октября вид доминировал в сообществе оз. Паркового (таблица 2, рисунок 9б). Максимальная доля *K. longispina* от общей численности зоопланктона зафиксирована 24 июня, вида-вселенца – 13 октября (таблица 2).

Глава 7. Вертикальное распределение вида-вселенца *K. bostoniensis* в стратифицированных и нестратифицированных озерах

Исследования вертикального распределения чужеродной коловратки проводились нами на акваториях пяти стратифицированных озер (Жаренское, Свято, Сортировочное, Черное, Нижнее Рустайское) и двух озер без стратификации водной массы (Великое, Парковое). Значительное снижение температуры и изменение концентрации растворенного кислорода с глубиной установлено в стратифицированных озерах. В нестратифицированных наблюдалось плавное понижение температуры, незначительное изменение концентрации кислорода с глубиной (рисунок 10).

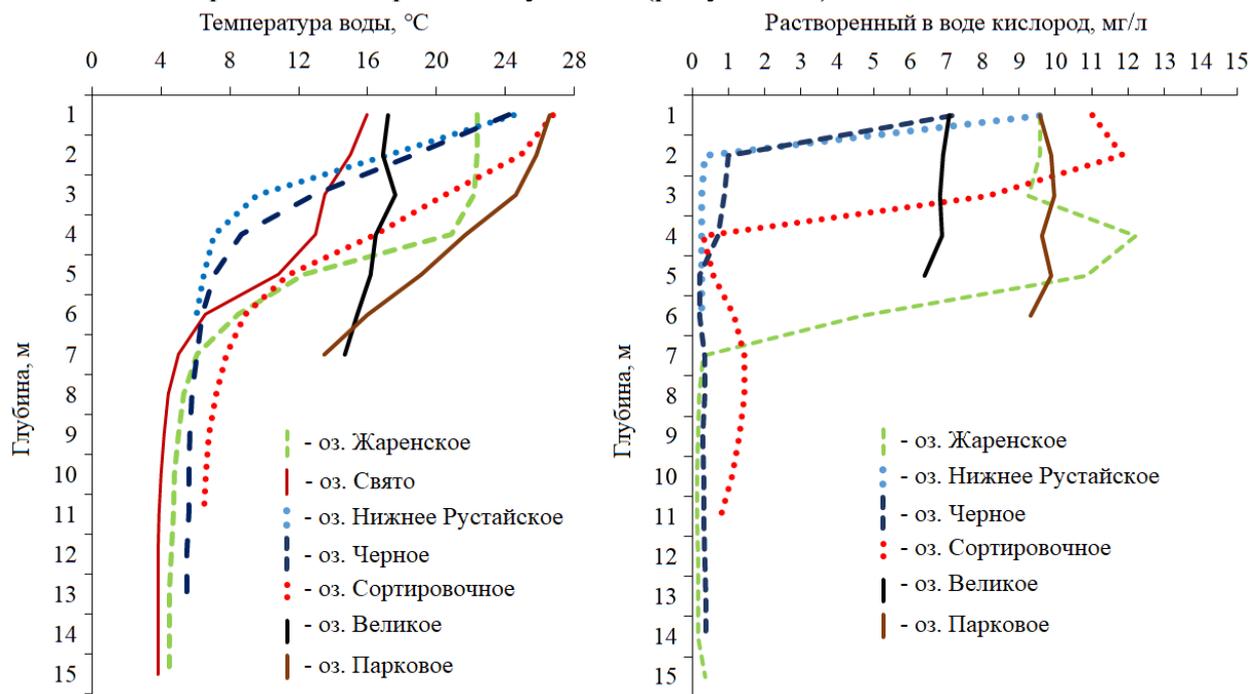


Рисунок 10. Изменение температуры воды и концентрации растворенного кислорода с глубиной в исследованных озерах

Для стратифицированных озер Жаренское, Свято, Сортировочное, Нижнее Рустайское характерно вертикальное распределение зоопланктона с максимумом плотности в зоне металимниона и дальнейшим уменьшением показателей в ниже расположенных слоях воды. В нестратифицированных озерах Парковое и Великое наблюдалось более равномерное распределение зоопланктона в водной толще. Наибольшая численность организмов установлена в приповерхностной области, затем наблюдалось ее снижение к максимальной глубине.

Численность *K. bostoniensis* в стратифицированных озерах была выше, чем в озерах без стратификации и составляла от 0,1 до 147,3 тыс. экз./м³, вид-вселенец достигал наибольшего обилия в области металимниона (озера Жаренское, Свято, Сортировочное) и гиполимниона (озера Нижнее Рустайское и Черное). Максимум численности вселенца зафиксирован при концентрации растворенного кислорода 0,3 мг/л и невысоких температурах – от 5,8°С до 16,4°С (рисунок 10, 11).

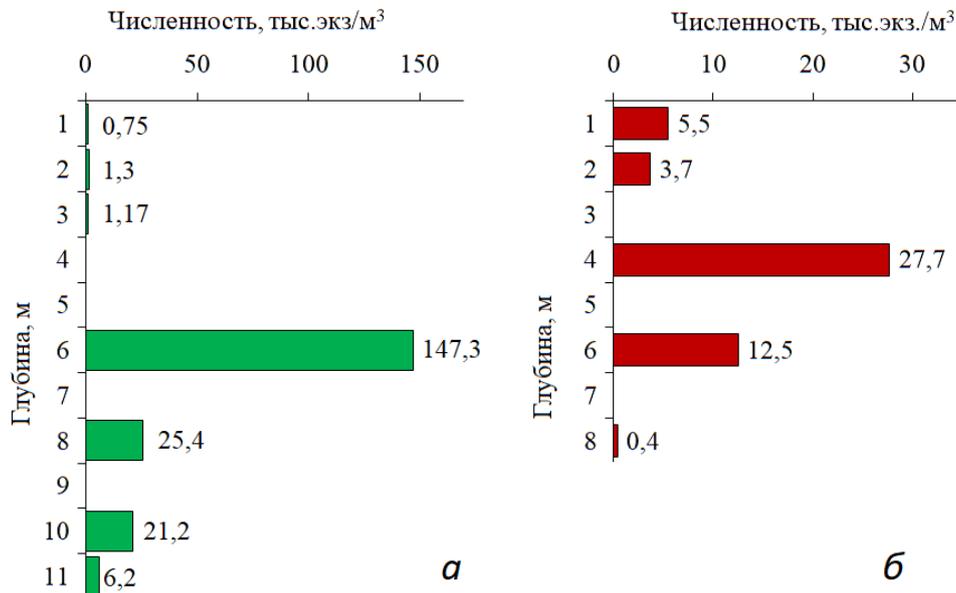


Рисунок 11. Вертикальное распределение *K. bostoniensis* в озерах Жаренское (а) и Свято (б)

В озерах без стратификации его обилие изменялось от 0,05 до 0,4 тыс. экз./м³, коловратка *K. bostoniensis* обнаружена в придонных областях на глубине 3–5 м, при более высоком содержании кислорода – от 6,9 до 9,6 мг/л и температуре воды – от 15,4 до 21,7 °С.

Наибольшей численности чужеродный вид достигал при преобладании в зоопланктоне таксономической группы коловраток (Rotifera) над ветвистоусыми (Cladocera) и веслоногими (Copepoda) ракообразными в общей численности зоопланктона.

Максимум численности вида *K. bostoniensis* в стратифицированных озерах зафиксирован в зоне металимниона, а также области гиполимниона, что характерно и для других видов коловраток в условиях стратификации водных масс (Вежновец, 2015). В озерах без температурной стратификации чужеродная коловратка обитает в придонных областях, что свидетельствует о нетребовательности вида к высокому содержанию растворенного кислорода и температуре воды.

Глава 8. Морфологическая изменчивость *K. bostoniensis* в разнотипных водных объектах

Высокая фенотипическая пластичность зоопланктона обеспечивает натурализацию организмов в новых условиях (De Paggi, 2002; Жданова и др., 2016, 2019 и др.). Представляет интерес изучение морфологических признаков *K. bostoniensis*, являющихся адаптационными характеристиками, определяемыми факторами среды.

В ходе работы был проведен анализ морфологических характеристик вида-вселенца 29 водных объектов. Особей выбирали из проб зоопланктона, собранных на Чебоксарском водохранилище и его притоках разных порядков (рек Сура, Ветлуга,

Ватома, Сережа, Вьюница); 16 водных объектах особо охраняемых природных территорий Нижегородской обл. (Кочешковское, Жаренское, Гришино, Черный Яр, Драничное, Черноезерское-1, Черноезерское-2, Черное, Нижнее Рустайское, Великое, Свято, Паровое, Долгое, Глубокое, Чарское, Протока); водных объектах г. Нижнего Новгорода (прудовые расширения Шуваловского канала, р. Вьюница и р. Гниличка, озера Парковое и Сортировочное); притоках Куйбышевского водохранилища (реках Казанка и Кама).

Исследованные признаки *K. bostoniensis* существенно различались. Медианные значения общей длины тела коловраток составляли от 236 до 440 мкм, панциря – от 70 до 118 мкм, заднего шипа – от 75 до 130 мкм, переднего шипа – от 100 до 270 мкм, ширины тела - от 50 до 78 мкм.

Установлена высокая положительная корреляция между общей длиной тела и длиной заднего шипа ($R^2=0,79$; $p<0,01$), а также длиной переднего шипа ($R^2=0,75$; $p<0,01$). Значительная корреляция выявлена между длинами переднего и заднего шипов ($R^2=0,58$; $p<0,01$).

В результате проведенного анализа зафиксированы статистически значимые различия общей длины тела особей *K. bostoniensis* (рисунок 12).

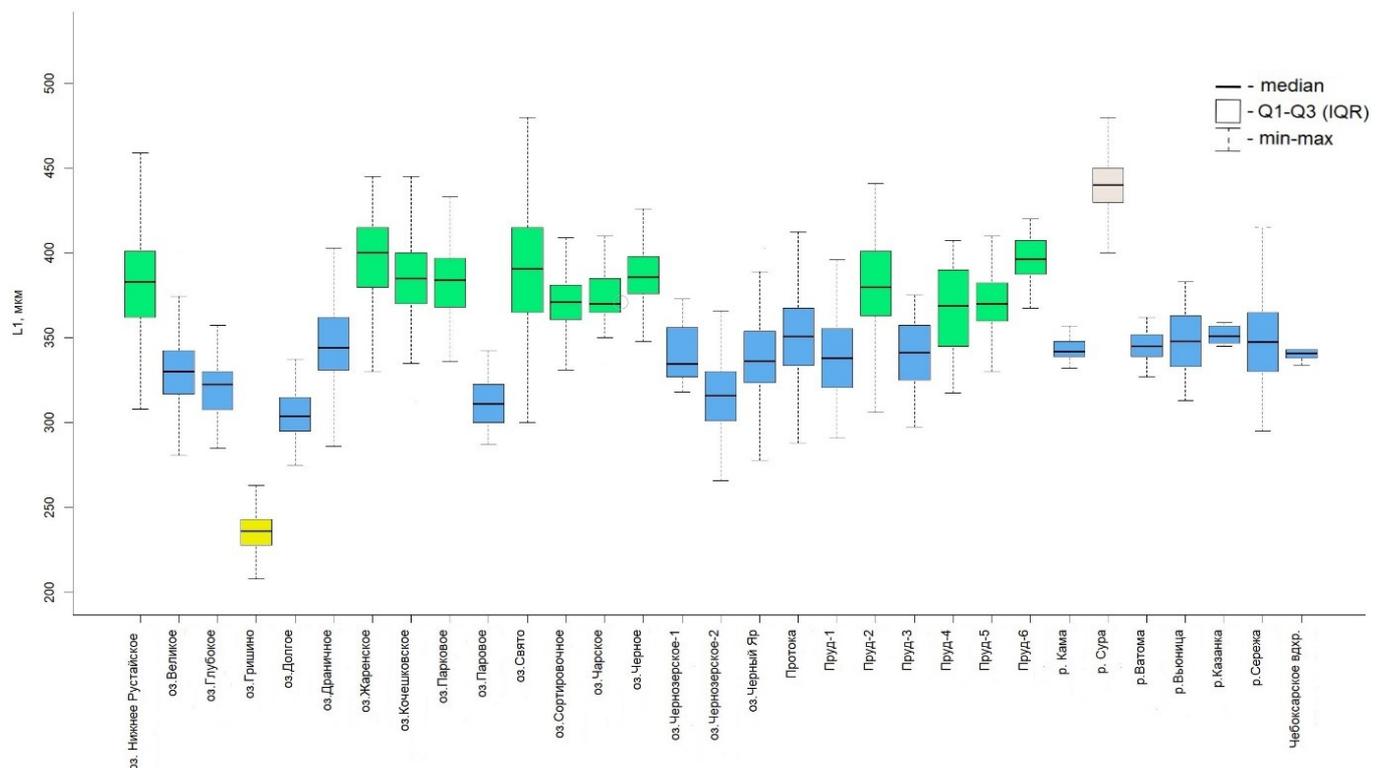


Рисунок 12. Параллельные диаграммы размаха значений общей длины тела *K. bostoniensis* в водных объектах бассейна Средней Волги. Разными цветами обозначены статистически значимо различающиеся выборки

Статистически значимо ($p<0,01$) отличались самые мелкоразмерные среди исследованных популяций особи неглубокого (до 2 м) эвтрофного оз. Гришино. Сходными размерами обладали особи эвтрофных водоемов и водотоков, обозначенные на рисунке 12 голубым цветом. Крупными размерами характеризовались представители *K. bostoniensis* мезотрофных водоемов (обозначены на рисунке 12 зеленым цветом). Общая длина тела этих особей статистически значимо ($p<0,01$) отличалась от длины

особей эвтрофных водоемов и водотоков. Также значимо ($p < 0,01$) отличались самые крупноразмерные представители *K. bostoniensis* р. Сура (рисунок 12).

Установлено, что большая общая длина тела вида-вселенца характерна для особей глубоких водных объектов с высокой прозрачностью. Наиболее крупные особи *K. bostoniensis* обнаружены в водоемах с максимальными значениями глубин 12,5–16,0 м и прозрачностью 1,2–2,7 м.

Регрессионный анализ зависимости общей длины тела *K. bostoniensis* от характеристик водных объектов (глубины, температуры, рН, электропроводности, цветности, концентрации растворенного кислорода, электропроводности и прозрачности) позволил установить статистически значимые зависимости от глубины ($R^2 = 0,36$; $p < 0,01$) и прозрачности ($R^2 = 0,24$; $p < 0,01$) (рисунок 13).

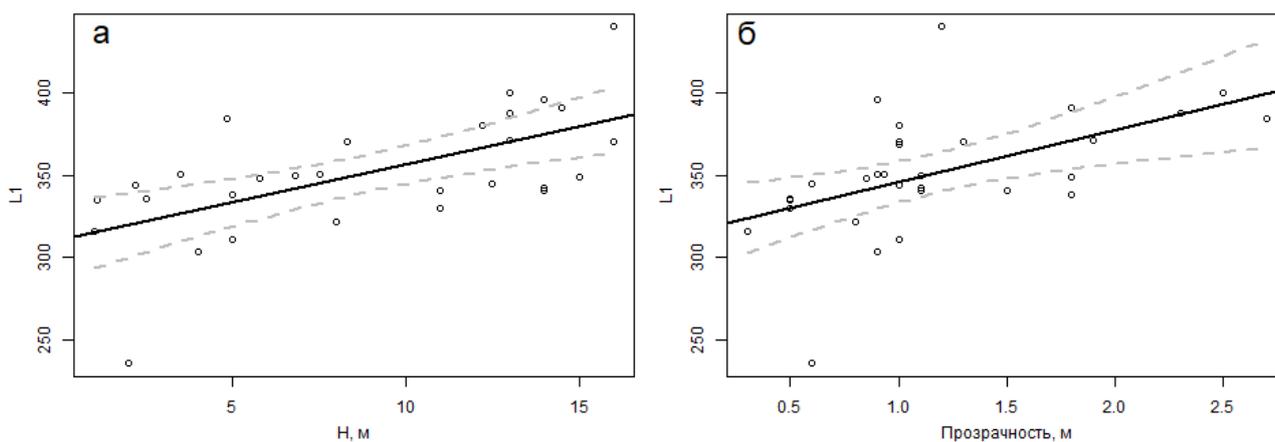


Рисунок 13. Зависимость общей длины *K. bostoniensis* (L1) от глубины (а) и прозрачности (б) с доверительными интервалами регрессий

Итоговая модель множественной регрессии с учетом значимых характеристик объясняла 42,6 % от общей вариации длины тела *K. bostoniensis* ($p < 0,01$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный в диссертационной работе материал обобщает семилетние исследования автора по экологическим и морфологическим характеристикам трансконтинентального зоопланктонного вида-вселенца - североамериканской коловратки *K. bostoniensis* в водных объектах бассейна Средней Волги.

В ходе исследований было установлено высокое видовое богатство зоопланктона разнотипных водоемов и водотоков, в которых идентифицирован *K. bostoniensis* - 280 видов, что вносит определенный вклад в изучение биоразнообразия водных объектов как ООПТ, так и антропогенно нарушенных территорий.

В работе впервые исследовано распространение вида-вселенца *K. bostoniensis* в водохранилищах, реках и озерах бассейна Средней Волги. Вид обнаружен в 52 водных объектах и является эврибионтным. Выявлено доминирование коловратки в глубоких стратифицированных озерах, медиали и прудовых расширениях медленно текущих водотоков с мезотрофными и эвтрофными условиями, слабощелочной и щелочной реакцией среды.

Анализ межгодовых показателей обилия вида-вселенца *K. bostoniensis* в сообществах зоопланктона показал его динамику в ходе натурализации. Установлено влияние абиотических и биотических факторов среды на его численность.

В результате оценки сезонных изменений количественного развития вида-вселенца в выделенных зоопланктонных комплексах озер выявлены различия в динамике родственных видов *K. bostoniensis* и *K. longispina* в течение вегетационного периода.

Проведенные исследования показали, что в стратифицированных водоемах *K. bostoniensis* достигает максимального обилия в зоне мета- и гиполимниона, а при отсутствии температурной стратификации водных масс вид обитает в придонной области.

Анализ морфологических характеристик *K. bostoniensis* в водных объектах бассейна Средней Волги с использованием статистических методов позволил установить, что наиболее крупные особи *K. bostoniensis* обитают в глубоких мезотрофных водных с высокой прозрачностью.

Представленные в работе результаты, полученные на основе современных методов обработки и анализа, вносят вклад в решение ряда задач, связанных с актуальными проблемами экологии: оценки биоразнообразия, выявления распространения и диапазона условий обитания, биотопической приуроченности, морфологической изменчивости видов-вселенцев в гидробиоценозах разнотипных водных объектов.

Выводы

1. Общее видовое богатство исследованных водных объектов, в которых был обнаружен трансконтинентальный вид-вселенец *K. bostoniensis*, составляло 280 видов, из которых 151 вид (54%) был представлен коловратками (Rotifera), 87 видов (31%) – ветвистоусыми ракообразными (Cladocera) и 42 вида (15 %) – веслоногими ракообразными (Copepoda). В большинстве водоемов и водотоков число видов коловраток (Rotifera) было выше видового богатства других основных систематических групп зоопланктона (Cladocera, Copepoda). По экологической приуроченности в видовом составе зоопланктона преобладали фитофильные и планктонные виды.

2. Вид-вселенец *K. bostoniensis* идентифицирован в 52 водных объектах бассейна Средней Волги: 3 водохранилищах, 26 водотоках, 23 озерах. В большинстве водоемов и водотоков он обнаружен впервые. *K. bostoniensis* обитает как в мелких (до 0,4 м) небольших (р. Ржавка, р. Пугай, р. Рустайчик, оз. Черноезерское-1 и др.), так и крупных глубоких (до 16 м) (р. Керженец, оз. Чарское) водоемах и водотоках с широким диапазоном прозрачности воды – от 0,3 м до 2,7 м, активной реакции среды – от кислой (рН 5,2) до щелочной (рН 9,1), цветности – от малой (47 °Pt-Co шкалы) до очень высокой (1245 °Pt-Co шкалы), концентрации растворенного кислорода – от 0,9 мг/л до 12,6 мг/л.

3. Численность коловратки *K. bostoniensis* варьирует от единиц до нескольких сотен тысяч экземпляров в кубическом метре воды. Вселенец доминирует по численности в глубоких стратифицированных озерах (Жаренское, Свято, Глубокое, Чарское, Нижнее Рустайское – до 81,3 тыс. экз./м³; 79,1 % от общей численности зоопланктона), медиали и прудовых расширениях медленно текущих водотоков (Гниличка, Ржавка, Сережа – до 70,5 тыс. экз./м³; 24,6% от общей численности зоопланктона). Вид предпочитает эвтрофные и мезотрофные водные объекты со слабощелочной и щелочной реакцией среды (рН от 7,5 до 9,1).

4. В результате межгодовых исследований численности вида *K. bostoniensis* в период с 2013 г. по 2017 г. в сообществах зоопланктона водных объектов Пустынской озерно-речной системы установлено снижение его обилия после массового развития: от 70,5 до 0,03 тыс. экз./м³ в р. Сереже, от 3,1 до 0,02 тыс. экз./м³ в оз. Великом, от 47,9 до 0,04 тыс. экз./м³ в Протоке, от 81,3 до 0,7 тыс. экз./м³ в оз. Свято. Выявлена статистически значимая положительная корреляция численности вида-вселенца с температурой, прозрачностью и рН воды, а также численностью хищных видов зоопланктона.

5. В городских озерах Парковое и Сортировочное, различающихся гидрохимическими и гидрофизическими характеристиками, а также видовой структурой сообществ зоопланктона пик численности вида-вселенца *K. bostoniensis* и аборигенного вида *K. longispina* разобщены во времени. Коловратка *K. bostoniensis* достигает максимального количественного развития в осенний период и доминирует в осеннем зоопланктонном комплексе. Родственный аборигенный вид *K. longispina* наиболее многочислен в летний период и преобладает в раннелетнем и летнем зоопланктонных комплексах.

6. Анализ вертикального распределения *K. bostoniensis* показал, что в стратифицированных озерах вид-вселенец достигает максимального обилия в зоне мета- и гипolimниона. При отсутствии температурной стратификации водных масс вид обитает в придонной области.

7. Особи *K. bostoniensis* исследованных водных объектов бассейна Средней Волги характеризуются крупными размерами, сходными с особями нативных местообитаний Северной Америки, некоторых биотопов Европы и Европейской России. В глубоких мезотрофных водных объектах с высокой прозрачностью обитают более крупные представители вида *K. bostoniensis* по сравнению с особями неглубоких эвтрофных с низкой прозрачностью водоемов. Установлена высокая положительная корреляция между общей длиной тела и длиной самого длинного переднего шипа ($R^2=0,75$; $p<0,01$), а также заднего шипа ($R^2=0,79$; $p<0,01$). Значительная корреляция выявлена между длинами переднего и заднего шипов ($R^2=0,58$; $p<0,01$).

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования

1. Золотарева, Т.В. Морфологические характеристики *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) в водных объектах бассейна Средней Волги / Т.В.Золотарева, Г.В.Шурганова, И.А.Кудрин, Д.Е.Гаврилко, В.С.Жихарев, А.А.Колесников, М.Ю.Ильин // Поволжский экологический журнал. – 2021. – № 1. – С. 16–34.

2. Shurganova, G.V. Abundance of related species, *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) and *K. longispina* (Kellicott, 1879) (Rotifera: Brachionidae), in the zooplankton communities of the Pustynskaya lake-river system (Nizhny Novgorod Region) / G.V.Shurganova, Т.В.Zolotareva, I.A.Kudrin, V.S.Zhikharev, D.E.Gavrillo, M.Iu.II'in // Russian Journal of Biological Invasions. – 2021. – Vol. 12. – № 2. – P. 219–231.

3. Zhikharev, V.S. *Ilyocryptus spinifer* Herrick 1882 (Crustacea, Branchiopoda, Cladocera): The First Record of the Species in the European Fauna / V.S.Zhikharev, A.N.Neretina, Т.В.Zolotareva, D.E.Gavrillo, G.V. Shurganova // Biology Bulletin. – 2020. – Vol. 47. – № 8. – P. 930–936.

4. Гаврилко, Д.Е. Ветвистоусые ракообразные зарослей высших водных растений Европейской части России (на примере притоков Горьковского и Чебоксарского водохранилищ) / Д.Е.Гаврилко, В.С.Жихарев, Д.С.Ручкин, Т.В.Золотарева, Г.В.Шурганова // Зоологический журнал. – 2020. – Т.99. – №2. – С. 146–156.

5. Жихарев, В.С. *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) и *Eurycercus macracanthus* Frey, 1973 (Crustacea: Cladocera) - новые для фауны Московской области виды зоопланктона / В.С.Жихарев, О.Н.Ерина, М.А.Терешина, Д.И.Соколов,

Т.В.Золотарева, Д.Е.Гаврилко, Г.В. Шурганова // Амурский зоологический журнал. – № 2. – Т. 12. – 2020. – С. 211–223.

6. Zhdanova, S.M. Morphological variability of *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) in Waterbodies of European Russia / S.M.Zhdanova, V.I.Lazareva, N.G.Bayanov, E.V.Lobunicheva, N.V.Rodionova, G.V.Shurganova, **T.V.Zolotareva**, M.Yu.Il'in. // Inland Water Biology. – 2019. – Vol. 12. – № 2. – P. 140–149.

7. Shurganova, G.V. New information on the findings of alien rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Monogononta: Brachionidae) in Nizhny Novgorod oblast / G.V.Shurganova, V.S.Zhikharev, D.E.Gavrillo, **T.V.Zolotareva**, D.S.Ruchkin // Russian Journal of Biological Invasions. – 2019. – Vol. 10. – № 3. – P. 282–288.

8. Shurganova, G. V. Zooplankton communities of the Middle River Part of the Cheboksary Reservoir and factors influencing their species structure / G.V.Shurganova, V.S.Zhikharev, D.E.Gavrillo, I.A.Kudrin, **T.V.Zolotareva**, B.N.Yakimov, O.N.Erina, M.A. Tereshina // Povolzhskiy Journal of Ecology. – 2019. – № 3. – С. 384–395.

9. Гаврилко, Д.Е. Видовая структура сообществ зоопланктона зарослей высших водных растений малой реки (на примере р. Сережа Нижегородской области) / Д.Е.Гаврилко, **Т.В.Золотарева**, Г.В.Шурганова // Принципы экологии. – 2019. – № 3. – С. 24–39.

10. Shurganova, G.V. Spatial distribution of zooplankton on the upper part of the Cheboksary reservoir / G.V.Shurganova, I.A.Kudrin, V.N.Yakimov, D.E.Gavrillo, V.S.Zhikharev, **T.V.Zolotareva** // Inland Water Biology. – 2018. – Vol. 11. – № 3. – P. 317–325.

11. Shurganova, G.V. Distribution of rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) in water bodies and watercourses of Nizhny Novgorod oblast / G.V.Shurganova, D.E.Gavrillo, M.Yu.Il'in, I.A.Kudrin, I.S.Makeev, **T.V.Zolotareva**, V.S.Zhikharev, D.O.Golubeva, A.S.Gorkov // Russian Journal of Biological Invasions. – 2017. – Vol. 8. – №. 4. – P. 393–402.

Статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий рекомендованных ВАК

12. Шурганова, Г.В. Экодиагностика разнотипных озер Нижегородской области на основе показателей видовой структуры зоопланктона / Г.В.Шурганова, **Т.В.Золотарева**, В.С.Жихарев, Д.Е.Гаврилко, И.А.Кудрин, Н.А.Старцева, А.А.Нижегородцев, Е.С.Обедиентова, Е.В. Шурганова // Самарский научный вестник. – 2021. – №2. – С. 116–123.

13. Ильин, М.Ю. Биоиндикация водных объектов особо охраняемых территорий Нижегородской области на основе анализа видовой структуры зоопланктона / М.Ю.Ильин, И.А.Кудрин, **Т.В.Золотарева (Куклина)**, Г.В. Шурганова // Вода: химия и экология. – №3. – 2016. – С.60–66.

14. Шурганова, Г.В. Экодиагностика водоемов питьевого водоснабжения крупного мегаполиса (на примере г. Нижнего Новгорода) / Г.В.Шурганова, Д.Е.Гаврилко, В.С.Жихарев, И.А.Кудрин, М.Ю.Ильин, **Т.В.Золотарева**, Д.О.Голубева // Известия Самарского научного центра РАН. – 2016. – Т. 18. – № 5(2). – С. 387–392.

15. Ильин, М.Ю. Пространственное размещение сообществ зоопланктона в зоне контакта речных и озерных вод (на примере реки Сережа и озера Великого Нижегородского Поволжья) / М.Ю.Ильин, Г.В.Шурганова, **Т.В.Куклина**, И.А.Кудрин // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №6. – URL: <https://science-education.ru/article/view?id=23340>

Материалы, труды, тезисы международных, всероссийских и региональных конференций

16. **Золотарева, Т.В.** Видовая структура сообществ зоопланктона озер-памятников природы Нижегородской области / **Т.В.Золотарева**, Д.Е.Гаврилко, И.А.Кудрин, Г.В.Шурганова // Тезисы докладов 74 Всероссийской с международным участием школы-конференции молодых ученых «Биосистемы: организация, поведение, управление», посвященной памяти проф. А.П. Веселова. – Нижний Новгород: Университет Лобачевского, 2021. – С. 90.

17. **Золотарева, Т.В.** Количественное развитие вида-вселенца *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) на акваториях водохранилищ Средней Волги / **Т.В.Золотарева**, В.С.Жихарев, Д.Е.Гаврилко, И.А.Кудрин, Г.В.Шурганова // Труды 5-й Всероссийской научной конференции «Проблемы экологии Волжского бассейна». – Нижний Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. – С. 10.

18. **Золотарева, Т.В.** Количественное развитие вида-вселенца *Kellicottia bostoniensis* в планктонных сообществах Пустынской озерно-речной системы Нижегородской области / **Т.В.Золотарева**, И.А.Кудрин, Д.Е.Гаврилко, В.С.Жихарев, М.Ю.Ильин, Г.В.Шурганова // Тезисы докладов 73-й Всероссийской с международным участием школы-конференции молодых ученых «Биосистемы: организация, поведение, управление». – Нижний Новгород: Университет Лобачевского, 2020. – С. 70.

19. **Золотарева, Т.В.** Анализ размеров вида-вселенца *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) в водных объектах Нижегородской области / **Т.В.Золотарева**, А.А.Колесников, Д.Е.Гаврилко, В.С.Жихарев, И.А.Кудрин, Г.В.Шурганова // Материалы Международной конференции «Экология водных беспозвоночных» посвященная 110-летию Ф.Д. Мордухай-Болтовского. – Ярославль: Филигрань, 2020. – С. 38.

20. Шурганова, Г.В. Распространение и морфологические характеристики инвазийного вида *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) в водных объектах Нижегородской области / Г.В.Шурганова, **Т.В.Золотарева**, И.А. Кудрин, В.С.Жихарев, Д.Е.Гаврилко, М.Ю.Ильин, Д.С. Ручкин // Тезисы докладов XII-го Съезда Гидробиологического общества при РАН. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. – С. 532–533.

21. Шурганова, Г.В. Североамериканская коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) в планктонных сообществах водоемов Нижегородской области (Европейская Россия) / Г.В.Шурганова, В.С.Жихарев, Д.Е.Гаврилко, **Т.В.Золотарева**, И.А.Кудрин // Материалы II-й Международной конференции «Озера Евразии: проблемы и пути их решения». – Казань: Академия наук Республики Татарстан, 2019. – С. 359–364.

22. Шурганова, Г.В. Морфометрические характеристики коловратки *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) двух карстовых озёр Нижегородского Предволжья / Г.В.Шурганова, **Т.В.Золотарева**, М.Ю.Ильин, И.А.Кудрин, Д.Е.Гаврилко, В.С.Жихарев // Материалы III-й Международной конференции «Актуальные проблемы планктонологии». – Калининград: АтлантНИРО, 2018 – С. 226–228.

23. **Золотарева, Т.В.** Морфометрические характеристики коловратки *Kellicottia bostoniensis* некоторых водных объектов Пустынской озерно-речной системы / **Т.В.Золотарева**, Д.Е.Гаврилко, Г.В.Шурганова // Сборник тезисов докладов Всероссийской конференции «Волга и её жизнь». – Ярославль: Филигрань, 2018. – С. 54.

24. **Золотарева, Т.В.** Особенности вертикального распределения зоопланктона озер Великое и Свято (Нижегородская область) в июле 2017 года // **Т.В.Золотарева**, Д.Е. Гаврилко // Тезисы докладов 71-й Всероссийской с международным участием школы-

конференции молодых ученых (Н. Новгород, 17–20 апреля 2018 г.). Н. Новгород, Университет Лобачевского. 2018. С. 93.

25. **Золотарева, Т.В.** Выделение сообществ зоопланктона водных объектов Пустынского заказника с применением современных подходов к классификации / Т.В.Золотарева // Материалы докладов XXIII Нижегородской сессии молодых ученых (технические, естественные, математические науки). Том 2, 2018. – С. 117-121.

26. **Zolotareva, T.V.** The role of invasive rotifer *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) in the species structure of zooplankton communities of the Pustyn lake-river system (the Nizhni Novgorod region) / **T.V.Zolotareva**, I.A.Kudrin, M.Ju.Ilin, G.V.Shurganova // Book abstracts The V International Symposium «Invasion of alien species in Holarctic». – Yaroslavl: Publisher “Филигрань”, 2017. – P. 150.

27. **Золотарева, Т.В.** Роль вида-вселенца *Kellicottia bostoniensis* в сообществах зоопланктона Пустынской озерно-речной системы (Нижегородская область) / **Т.В.Золотарева**, М.Ю.Ильин // Материалы 69-й Всероссийской школы-конференции молодых ученых «Биосистемы: организация, поведение, управление”, Н. Новгород, Университет Лобачевского. 2016. С. 56.

28. **Золотарева, Т.В.** Показатели количественного развития вида-вселенца *Kellicottia bostoniensis* и аборигенного вида *Kellicottia longispina* в пелагиали двух разнотипных карстовых озёр в Нижегородской области / **Т.В.Золотарева**, В.С.Жихарев, М.Ю.Ильин, Г.В.Шурганова // Материалы Всероссийской молодёжной гидробиологической конференции «Перспективы и проблемы современной гидробиологии». – Ярославль: Филигрань, 2016. – С. 81–83.

29. **Золотарева, Т.В.** Распространение видов-вселенцев зоопланктона в разнотипных водных объектах Нижегородской области / **Т.В.Золотарева**, Д.Е.Гаврилко, В.С.Жихарев, М.Ю.Ильин, И.А.Кудрин, Д.О.Голубева, Г.В.Шурганова // Труды конгресса 18-го Международного промышленного форума «Великие реки, 2016». – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2016. – С. 284–286.

Учебные пособия

30. Шурганова, Г.В. Методы классификации гидробиоценозов на основании сходства видовой структуры / Г.В.Шурганова, В.Н.Якимов, И.А.Кудрин, Д.Е.Гаврилко, **Т.В.Золотарева** // Экологический мониторинг. Часть IX: Учебное пособие. Под ред. проф. Д.Б. Гелашвили. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. – С. 95–112.