

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

*На правах рукописи*

КУДРИН ИВАН АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ВИДОВАЯ СТРУКТУРА И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗМЕЩЕНИЕ  
ЗООПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО  
ВОЗДЕЙСТВИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕБОКСАРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА  
И ЕГО ПРИТОКОВ)**

03.02.08 – Экология (биологические науки)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Научный руководитель:  
доктор биологических наук, доцент  
Шурганова Галина Васильевна

Нижний Новгород

2016

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>СОДЕРЖАНИЕ</b> .....                                                                                                                                                        | 2   |
| <b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....                                                                                                                                                          | 3   |
| <b>Глава 1. Обзор литературы</b> .....                                                                                                                                         | 11  |
| 1.1. Современные представления о видовой структуре водных сообществ и их пространственном размещении .....                                                                     | 11  |
| 1.2. Зоопланктон водных объектов в условиях антропогенного воздействия .....                                                                                                   | 14  |
| 1.3. Оценка качества вод водотоков антропогенно нарушенных территорий по показателям видовой структуры сообществ зоопланктона .....                                            | 25  |
| 1.4. Проблема вселения инвазивных видов зоопланктона .....                                                                                                                     | 29  |
| <b>Глава 2. Общая характеристика района исследования</b> .....                                                                                                                 | 34  |
| <b>Глава 3. Материалы и методы исследования</b> .....                                                                                                                          | 53  |
| <b>Глава 4. Методы сравнительной оценки результатов кластерного анализа видовой структуры гидробиоценозов (на примере зоопланктона реки Линда Нижегородской области)</b> ..... | 62  |
| <b>Глава 5. Видовой состав зоопланктона водных объектов в условиях антропогенного воздействия</b> .....                                                                        | 77  |
| <b>Глава 6. Видовая структура и пространственное размещение сообществ зоопланктона в период летней межени</b> .....                                                            | 87  |
| 6.1. Чебоксарское водохранилище .....                                                                                                                                          | 87  |
| 6.2. Река Линда .....                                                                                                                                                          | 101 |
| 6.3. Река Кудьма .....                                                                                                                                                         | 104 |
| 6.4. Малые водотоки г. Н. Новгорода .....                                                                                                                                      | 108 |
| <b>Глава 7. Сезонные изменения видовой структуры и пространственного размещения сообществ зоопланктона</b> .....                                                               | 120 |
| 7.1. Речная часть Чебоксарского водохранилища .....                                                                                                                            | 120 |
| 7.2. Река Кудьма .....                                                                                                                                                         | 134 |
| 7.3. Малые водотоки г. Н. Новгорода .....                                                                                                                                      | 145 |
| 7.4. Взаимосвязь видовой структуры зоопланктоценозов с факторами окружающей среды .....                                                                                        | 154 |
| <b>Глава 8. Вклад видов-вселенцев в видовую структуру сообществ зоопланктона водных объектов в условиях антропогенного воздействия</b> .....                                   | 163 |
| <b>Глава 9. Оценка качества вод Чебоксарского водохранилища и его притоков на основе показателей зоопланктона</b> .....                                                        | 173 |
| <b>Выводы</b> .....                                                                                                                                                            | 181 |
| <b>Заключение</b> .....                                                                                                                                                        | 184 |
| <b>Список литературы</b> .....                                                                                                                                                 | 186 |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ</b> .....                                                                                                                                                        | 208 |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** В настоящее время крайне редко можно встретить водные объекты, не подверженные прямым или косвенным антропогенным изменениям (Хулбарян, Моисеенко, 2009). Значительную антропогенную нагрузку испытывают водные экосистемы Волжского бассейна (Розенберг, 2009). Не являются исключением и водные объекты бассейна Чебоксарского водохранилища, водосборная территория которого характеризуется высокой антропогенной нагрузкой (Гелашвили, Зазнобина, 2008; Брагазин и др., 2013).

При техногенном загрязнении происходит упрощение структуры водных экосистем и их деградация (Алимов, 1994; Андроникова, 1996, 2011). Зоопланктон играет исключительно важную роль в структуре и функционировании водных экосистем, в том числе, принимает участие в процессах самоочищения, а также служит объектом в мониторинге экологического состояния водных объектов (Крылов, 2005). Изменения видовой структуры сообществ зоопланктона хорошо отражают воздействия как природных, так и антропогенных факторов (Шурганова, 2007 а).

Продолжение многолетних исследований структуры и пространственного размещения сообществ зоопланктона Чебоксарского водохранилища (Шурганова, 2007 а, б) является актуальным для целей экологического мониторинга и прогноза состояния экосистем водохранилища при различных вариантах его наполнения. Актуальны также исследования его притоков, в том числе – малых рек, во многом определяющих качество вод водохранилища, а также состав и структуру его биоценозов. Особое значение имеют малые водотоки урбанизированных территорий, играющие важную роль в формировании эколого-природного каркаса города (Деревенская, Мингазова, Яковлев, 2015; Куликова, 2015; Шурганова и др., 2015 б). После проведения экологической паспортизации водных объектов г. Н. Новгорода (Экологическое состояние..., 2005), зоопланктон малых водотоков

города изучался лишь эпизодически (Валькова, Шурганова, 2005; Шурганова, Макеев, 2008; Шурганова и др., 2015 д).

Анализ многочисленных исследований, посвященных водным экосистемам, показал, что до настоящего времени в полной мере не решены вопросы континуальности и дискретности водных сообществ и определения их границ, зависимости видовой структуры зоопланктоценозов от факторов среды, распространения видов-вселенцев в водных объектах, испытывающих значительное антропогенное загрязнение и др.

Таким образом, для решения ряда теоретических и прикладных проблем гидроэкологии, исследование сообществ зоопланктона водных объектов бассейна Чебоксарского водохранилища, находящихся под значительной антропогенной нагрузкой, представляется актуальным.

**Цель и задачи исследования.** Цель работы – выявление основных закономерностей пространственного размещения и сезонной динамики видовой структуры зоопланктонных сообществ Чебоксарского водохранилища и некоторых его притоков в условиях антропогенного воздействия.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Выявить наиболее адекватные алгоритмы классификации и метрики оценки сходства видовой структуры сообществ зоопланктона.
2. Идентифицировать видовой состав зоопланктона исследуемых водотоков, провести его сравнительный анализ. Оценить экологическую приуроченность идентифицированных видов.
3. На основе сходства видовой структуры охарактеризовать пространственное размещение сообществ зоопланктона на акваториях Чебоксарского водохранилища на современном этапе его существования, а также некоторых его притоков.
4. Изучить сезонные изменения структурной организации сообществ зоопланктона речной части Чебоксарского водохранилища, устьевого участка р. Оки, р. Кудьма и рек урбанизированных территорий, испытывающих значительный антропогенный пресс.

5. Проанализировать зависимость видовой структуры сообществ зоопланктона верхней речной части Чебоксарского водохранилища и устьевого участка р. Оки от некоторых факторов среды.

6. Дать характеристику распространения и количественного развития видов-вселенцев в зоопланктоне исследуемых водных объектов.

7. Оценить качество вод исследуемых водных объектов на основе анализа показателей количественного развития индикаторных видов зоопланктона.

**Научная новизна и теоретическая значимость работы.** Работа посвящена решению теоретических и прикладных проблем экологии: континуальности и дискретности структуры гидробиоценозов, выделения сообществ и определения их границ, зависимости пространственных и сезонных изменений видовой структуры зоопланктоценозов от факторов среды, оценки роли рефугиумов в формировании и восстановлении гидробиоценозов, распространения видов-вселенцев в водоемах и водотоках с разной степенью нарушенности видовой структуры.

Проведен анализ современных методов кластеризации видовой структуры зоопланктоценозов. Впервые показано, что метод многомерного векторного анализа является одним из наиболее адекватных методов оценки сходства видовой структуры зоопланктоценозов. Установлено, что для сообществ зоопланктона наиболее адекватным алгоритмом кластеризации является метод средней связи.

Проведена идентификация планктонных сообществ всей акватории Чебоксарского водохранилища, определено расположение их границ на современном этапе существования водохранилища. Впервые проанализированы сезонные изменения видовой структуры зоопланктона на верхнем речном участке Чебоксарского водохранилища, на акватории которого предполагается строительство низконапорного гидроузла. Проведена инвентаризация видового состава и сравнение видового богатства обследованных водных объектов,

проанализированы причины различий видового богатства и видовой структуры водотоков урбанизированных территорий.

Результаты работы имеют значение для дальнейшего развития представлений о структуре и функционировании водных сообществ и экосистем.

**Практическая значимость.** Оценка современного состояния зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища и устьевого участка р. Оки послужила основой для экологического обоснования и прогнозирования состояния биоценозов и экосистем Чебоксарского водохранилища с учетом основных вариантов завершения строительства Чебоксарского гидроузла, включая строительство низконапорного гидроузла выше г. Н. Новгорода. Работа выполнена в рамках гранта РФФИ (15–44–02219\_поволжье\_а).

Продолжение систематического изучения сообществ зоопланктона Чебоксарского водохранилища и его притоков – р. Оки, малых рек Кудьмы и Линды, а также малых водотоков, расположенных на территории г. Н. Новгорода, вносит вклад в организацию и осуществления экологического мониторинга экосистем в условиях антропогенного пресса.

Приведенный в работе анализ методов кластеризации на основе видовой структуры сообществ гидробионтов является основой для снижения субъективности результатов выполняемых гидробиологических исследований.

Результаты работы могут лечь в основу усовершенствования методов оценки качества вод по биологическим показателям.

На основе анализа материалов диссертационной работы написана глава «Пространственное размещение сообществ зоопланктона пресноводных водоемов» в учебном пособии «Экологический мониторинг. Часть VIII. Современные проблемы мониторинга пресноводных экосистем» (2014) для студентов (бакалавров и магистров), аспирантов и преподавателей, занимающихся вопросами гидроэкологии и охраны окружающей среды. Основные положения и выводы работы используются при чтении лекционных курсов «Учение о гидросфере», «Охрана окружающей среды», «Современные

проблемы гидробиологии» в Институте биологии и биомедицины Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. На современном этапе существования Чебоксарского водохранилища его акваторию занимают четыре зоопланктоценоза («волжского потока», «окского потока», «переходный», «озерный»). Видовая структура этих сообществ в многомерном пространстве численностей видов представлена дискретными компактными областями. При изменении видовой структуры зоопланктоценозов «волжского» и «окского» потоков Чебоксарского водохранилища в сезонном аспекте, акватории, занимаемые ими, остаются постоянными.

2. Длительные периоды деградации зоопланктоценозов малых рек урбанизированных территорий, выражающиеся в снижении количественного развития зоопланктона, его видового богатства и разнообразия, преобладании наиболее устойчивых к условиям многофакторного антропогенного воздействия организмов, обуславливают необходимость их восстановления и реабилитации.

3. Обнаруженный нами вид-вселенец, североамериканская коловратка *K. bostoniensis*, в настоящее время распространена повсеместно на акватории верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища и абсолютного большинства его притоков (включая загрязненные малые реки урбанизированных территорий), что свидетельствует о её широкой экологической пластичности. Наиболее существенную роль в видовой структуре зоопланктона *K. bostoniensis* играет на участках водотоков с замедленным течением и развитием макрофитов.

**Соответствие паспорту научной специальности.** Научные положения диссертации соответствуют шифрам специальности 03.02.08 – экология. Экология – наука, которая исследует структуру и функционирование живых систем (популяции, сообщества, экосистемы) в пространстве и времени в естественных и измененных человеком условиях. Предмет экологии: совокупность живых организмов (включая человека), образующих на видовом уровне популяции, на межпопуляционном уровне – сообщество (биоценоз), и в единстве со средой обитания – экосистему (биогеоценоз). Результаты проведенного исследования

соответствуют области исследования специальности 03.02.08 – экология, конкретно пунктам 2.2, 2.3.

**Апробация работы.** Основные результаты и положения диссертации были доложены и обсуждены на следующих международных конференциях и конференциях с международным участием: II Всероссийской научной конференции с международным участием «Малые реки: экологическое состояние и перспективы развития» (Чебоксары, 2012), XII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современной биологии и здоровья человека» (Николаев, 2012), II и III Международных научно-практических конференциях молодых ученых «Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование» (Москва, 2013, 2014), III Международной научной конференции «Зоологические исследования регионов России и сопредельных территорий» (Нижний Новгород, 2013), Международной молодежной научной конференции «Актуальные проблемы экологии Волжского бассейна» (Тольятти, 2015), 17-м Международном научно-промышленном форуме «Великие реки-2015» (Нижний Новгород, 2015), II Международной конференции «Актуальные проблемы планктонологии» (Светлогорск, 2015), V Международной конференции «Функционирование и динамика водных экосистем в условиях климатических изменений и антропогенных воздействий» (Санкт-Петербург, 2015); всероссийских конференциях: II и III Всероссийских молодежных научных конференциях «Естественнонаучные основы теории и методов защиты окружающей среды» (Санкт-Петербург, 2012, 2014), VI Всероссийской научной экологической конференции «Вода – источник жизни на Земле» (Санкт-Петербург, 2013), XV школы-конференции молодых ученых «Биология внутренних вод» (Борок, 2013), II Всероссийской школы-конференции «Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана» (Борок, 2014); межрегиональных и региональных научных конференциях: «Проблемы Чебоксарского водохранилища» (Нижний Новгород, 2013), 66-й, 67-й, 68-й ежегодных областных научных конференциях «Биосистемы: организация, поведение, управление» (Нижний Новгород, 2013, 2014, 2015), XIX и XX

Нижегородских сессиях молодых ученых «Естественные, математические науки» (Нижний Новгород, 2014, 2015); XX Международной экологической конференции «Экология России и сопредельных территорий» (Новосибирск, 2015); расширенном заседании Нижегородского отделения Гидробиологического общества при РАН (Нижний Новгорода, 2016).

**Личный вклад автора в работу.** Диссертационная работа основана на результатах собственных четырехлетних (2012–2015 гг.) полевых исследований зоопланктона речной части Чебоксарского водохранилища, его притоков: рек Ока, Линда, Кудьма, и малых водотоков, протекающих по территории г. Н. Новгорода, выполненных лично автором в составе экспедиций, организованных кафедрой экологии Нижегородского госуниверситета им. Н.И. Лобачевского, а также в составе экспедиции «Плавучий университет», проходившей в рамках 17-го Международного научно-промышленного форума «Великие реки-2015». Все результаты получены лично автором, либо при его непосредственном участии в случае коллективных работ. Автором обоснована актуальность темы диссертации, поставлена цель и задачи исследования, сделаны обобщения и выводы.

Первичные материалы съемки 2011 г. на акватории Чебоксарского водохранилища любезно предоставлены научным руководителем, д.б.н., проф. Г.В. Шургановой, и отражены в совместной публикации.

Доля личного участия автора в совместных публикациях пропорциональна числу авторов.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 41 научная работа, в том числе 8 работ в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, 17 статей в рецензируемых журналах, тематических сборниках трудов и материалах международных и всероссийских конференций, 15 тезисов докладов всероссийских и региональных конференций, одно учебное пособие.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа включает введение, 9 глав, выводы, заключение, список литературы (180 источников, в том числе 19 зарубежных), приложение. Диссертация изложена на 207 страницах,

проиллюстрирована 35 таблицами и 87 рисунками. Приложение включает список идентифицированных видов зоопланктона, табличный и иллюстративный материал.

## Глава 1. Обзор литературы

### 1.1. Современные представления о видовой структуре водных сообществ и их пространственном размещении

Концепция экосистем по Ю. Одуму (1975) является главенствующей в современной экологии – именно на изучении свойств структуры и динамики экосистем должны быть сконцентрированы усилия экологов. Сообщество, определяемое как группа взаимодействующих популяций в конкретной области пространства, может рассматриваться как подсистема экосистемы (Розенберг, Рянский, 2005). Между тем, в настоящее время отсутствует однозначная трактовка самого термина «сообщество».

По Одуму (1975) «Биотическое сообщество – это любая совокупность популяций, населяющих определённую территорию или биотоп». Р. Уиттекер (1980, с. 9) под сообществом понимает «... систему организмов, живущих совместно и объединённых взаимными отношениями друг с другом и со средой обитания». Компилятивное определение предложено в монографии Д.Б. Гелашвили с соавт. (2013), которое кажется нам более ёмким и лаконичным: «...биотическое сообщество – это совокупность *взаимодействующих* популяций, объединённых *общей судьбой*». Межпопуляционные взаимодействия являются материальной основой связей, образующих структуру сообщества, а «общность судьбы» характеризует пространственно-временные параметры исторического сосуществования популяций, составляющих сообщество как сложную систему.

Таким образом, понятие «сообщество» в определенной мере является произвольным. Термин употребляется как для обозначения биотической части экосистемы в целом (в качестве синонима термина «биоценоз»), так и по отношению к самым разнообразным её биотическим компонентам (Шурганова, 2007 б). Например, в гидробиологии существуют устоявшиеся понятия

«фитопланктоценоз» (сообщество фитопланктона), «зоопланктоценоз» (сообщество зоопланктона), и др.

Общепринятым является представление об *эмерджентности* сообществ: свойства сообщества как сложной живой системы несводимы к сумме свойств составляющих её элементов (популяций). Характеристика организации биотического сообщества предполагает использование в качестве основного критерия его *структуру*. Понятие «структура» подразумевает упорядоченность и взаимосвязанность всех элементов, которые объединены в единую систему, совокупность связей между компонентами, а также расположение взаимосвязанных составных частей системы (Федоров, 1975).

Структура биотических сообществ, по современным представлениям, определяется, на первом этапе, процессами расселения видов, которые характеризуются вероятностью попадания вида в то или иное местообитание. Закрепление же вида в сообществе на следующем этапе зависит от результатов межвидового взаимодействия (Гиляров, 2010; Гелашвили и др., 2013).

Для характеристики сообществ исследованиям подвергают его видовую, трофическую, пространственную, возрастную, размерную и др. структуры. При этом первичной является *видовая структура* сообщества (список видов, слагающих сообщество, с указанием их обилия), которую можно рассматривать как своеобразную «систему отсчета» – именно по изменениям в численностях видов судят о проявлении многообразных факторов, определяющих жизнь сообщества (Левич, 1980). Занимаясь вопросами количественной гидроэкологии, В.К. Шитиков, Г.С. Розенберг и Т.Д. Зинченко также констатируют (2003, с. 91), что: «Каковыми бы сложными не были состав элементов, структура взаимосвязей или материально-энергетические процессы в реальной экосистеме, все они, в конечном итоге, сводятся для наблюдателя всего к двум показателям: численности и биомассе особей отдельных видов, измеренных в пространственно-временном аспекте. Роль гидробиолога состоит в том, чтобы по этим двум показателям восстановить всю сложность реального мира, используя свой опыт и "арсенал" математических формул».

Нерешенной и одной из интереснейших в современной экологии остается проблема соотношения *континуальности* и *дискретности* структуры биотических сообществ. Особенно трудно решение данной проблемы для водных сообществ, которые менее определены в пространстве, чем наземные, их достаточно сложно выделить, а также обозначить отличительные признаки и установить их границы. Кроме того, под влиянием различных факторов, в том числе и антропогенного характера, водные сообщества способны изменять как свою структуру, так и границы (Шурганова и др., 2014 а).

Пространственная структура гидробионтов водотоков наиболее часто описывается двумя концепциями, противопоставляемыми друг другу: концепция речного континуума (Vannote et al., 1980) и концепция динамики пятен (Townsend, 1989). Основой концепции речного континуума является идея о переходах между различными участками (биотопами) и сообществами в речных системах (Протасов, 2011). Концепция динамики пятен основывается на предположении о существовании обособленных сообществ гидробионтов в водотоке.

Экосистемы поверхностных вод суши в общем случае принято делить на две большие группы – лимнобиом (экосистемы водоемов с замедленным водообменом) и реобиом (экосистемы текучих вод). При этом предполагается, что лимнобиом в глобальном масштабе имеет дискретную, мозаичную структуру, а водотокам свойственна структура последовательных, связанных по их протяженности экосистем – так называемый «речной континуум». Ввиду трудности выделения и разграничения отдельных малых экосистем В.В. Богатов (1995) предложил ввести понятие *реобиома*, понимаемого как особая надэкосистемная форма организации природных комплексов – *континуум речных экосистем*. Им отмечена способность речных сообществ длительное время самостоятельно функционировать, сохранять свою активность и организованность на отдельных участках потока или в зонах естественных рефугиумов, выполняющих роль буфера, предохраняющего систему от разрушения (Богатов, 1994). Однако, несмотря на расположение рефугиумов,

определяющееся случайными факторами, при продвижении от истоков к ритали количество и разнообразие таких рефугиумов закономерно увеличивается и, таким образом, увеличивается и вероятность появления новых групп гидробионтов. В результате взаимодействия гидробионтов этих рефугиумов может возникать внутренняя организация речной системы, проявляющаяся в образовании континуума (Богатов, 1995). Таким образом, формируется «диалектическое единство дискретности и непрерывности» (Протасов, 1994, с. 286)

Кроме упомянутых выше концепций речного континуума и динамики пятен, развиваются и другие подходы к объяснению пространственной структуры сообществ. Так, для объяснения динамики альгоценозов обрастаний в гетерогенных условиях речных систем С.Ф. Комулайн (2004) считает необходимым использование теории разрушений (Lohman, Jones, Perkins, 1992; Peterson, 1996). На примере исследований зоопланктона малых равнинных рек, А.В. Крылов (2005) также полагает, что нередко структура зоопланктона во многом определяется антропогенными и зоогенными нарушениями, способствующими образованию специфических биотопов.

По мнению ряда авторов, наиболее целесообразным для объяснения процессов, происходящих в водотоках, является использование концепций континуума, динамики пятен и теории разрушений в комбинированном виде (Богатов, 1994; Комулайн, 2004; Lachman et al, 1992; Peterson, 1996; Шурганова и др., 2014 д, е, и др.)

## **1.2. Зоопланктон водных объектов в условиях антропогенного воздействия**

В настоящее время крайне редко можно встретить водные объекты, не подверженные прямым или косвенным антропогенным изменениям (Хулбарян, Моисеенко, 2009). Растущие масштабы комплексного антропогенного воздействия на водные экосистемы обуславливают всё возрастающее число исследований, посвященных этой проблеме (Материалы III Всероссийской..., 2004; Материалы IV Всероссийской..., 2011а, 2011б, и др.).

Реакция водных экосистем при техногенном загрязнении, как правило, противоположна той, что наблюдается при эвтрофировании – это сокращение видового состава, деформированная таксономическая структура, усиление доминирования одного-двух видов в сообществах, снижение видового разнообразия, и, в итоге, упрощение структуры экосистем и их деградация. (Алимов, 1993; Андроникова, 1996, 2011). Так, многие малые реки в пределах городов полностью обезжизнены (Крылов, 1996). С другой стороны, состояние и динамика видовой структуры сообществ гидробионтов являются достаточно информативными показателями для оценки процессов, происходящих в экосистеме (Шурганова, Макеев, 2005).

В этой связи, большое внимание уделяется, в том числе, изучению сообществ зоопланктона в условиях антропогенного воздействия. Зоопланктон – вторичное звено в трофической цепи водных экосистем – играет исключительно важную роль в их структуре и функционировании, любые изменения в планктофауне приводят к той или иной модификации всей водной экосистемы (Попов, 2006). Потребляя фито- и бактериопланктон, зоопланктон принимает участие в процессах самоочищения, является кормовой базой многих видов рыб, а также служит объектом в мониторинге экологического состояния водных объектов разного типа (Крылов, 2005).

Известно, что видовая структура зоопланктона в пресноводных экосистемах зависит от биотических и абиотических факторов. Среди последних наиболее значимы такие факторы как происхождение водного объекта, его площадь, объём и географическое положение, близость других водоёмов, а также геоморфологические, гидродинамические, химические и другие свойства. Эти абиотические факторы, а также антропогенное воздействие на водные экосистемы нередко вызывают постепенное (а иногда и резкое) сокращение видового разнообразия сообществ, причём скорость этих изменений определяется как количеством видов в сообществах, так и интенсивностью воздействия фактора. Кроме того, видовое разнообразие сообществ животных, в том числе и зоопланктона, в водных экосистемах определяется биотическими

характеристиками, и в первую очередь – пищевыми ресурсами и теми внутри- и межпопуляционными отношениями (например, конкуренция за пищу или пресс хищника), которые возникают в сообществах и наиболее сильно проявляются при ограниченных ресурсах (Телеш, 2006). Изменения структуры зоопланктона имеют большое значение в функциональной организации и состоянии всей водной экосистемы (Карташева, 2008).

Наиболее распространенными видами антропогенного воздействия на сообщества гидробионтов являются *загрязнение* и *эвтрофирование* вод.

Представление об эвтрофикации как процессе, инициирующем аллогенную сукцессию сообществ водоема, обосновано в работах М.А. Кузнецовой (1996, 2002). Автором выявлено, что направленность изменений структуры и функционирования сообщества зоопланктона в ходе аллогенной сукцессии оказывается противоположной изменениям, которые проявляются при автогенной сукцессии в этих условиях. Следствием этого является обратимость процесса эвтрофирования, а значит и принципиальная возможность «оздоровления» системы не только в результате соответствующих манипуляций, но и при снижении биогенной нагрузки и повышении уровня водоема.

Известно, что перестройка гидролого-гидрохимических условий при зарегулировании стока рек и создании водохранилищ приводит к аллогенной сукцессии сообществ гидробионтов (Охапкин, 1997 а, б; Шурганова, 2007 а). Наряду со многими крупными водотоками мира, крупнейшая река Европы Волга подверглась реконструкции гидростроительством, и в настоящий момент представляет собой каскад водохранилищ.

Изучению перестроек видовой структуры водных сообществ (в том числе, зоопланктонных) в ходе создания водохранилищ на крупных равнинных реках посвящены многочисленные работы. В этой связи накоплен достаточно большой материал и сделан ряд обобщений (Дзюбан, Мордухай-Болтовской, 1965; Мельников, 1966; Цееб, 1964, и др., цит. по: Шурганова, 2007 б). Формирование экосистем водохранилищ, как правило, проходит через несколько этапов: первый – вспышка трофии, «эффект подпора и взрыва», второй – трофическая депрессия

или «депрессия экосистемы», третий – постепенное повышение трофии или «относительная стабилизация». В теории, на поздних этапах развития водохранилищ структура экосистем должна прийти к относительной стабилизации, и завершиться переходом к климаксу – терминальной стабилизированной экосистеме (Одум, 1986). Однако, в результате интенсивного и постоянного антропогенного воздействия на водохранилища, они с течением времени не стабилизируются, а деградируют (снижается разнообразие, биомасса). Таким образом, выделяется четвертый период развития водохранилищ – этап антропогенной дестабилизации (Кузнецов, 2001, 2006; Кузнецов, Зиганшина, 1991, цит. по: Шурганова, 2007 б).

Зоопланктон водохранилищ Волжского каскада с момента их образования сравнительно хорошо изучен (Абакумов и др., 2000; Авакян, Литвинов, Ривьер, 2002; Волгоградское..., 1997; Дзюбан, 1983, 1984; Лазарева, 2005; Столбунова, 1999, и др.). Формирование зоопланктона Чебоксарского водохранилища наиболее подробно освещено в работах Г.В. Шургановой с соавт. (Шурганова, Черепенников, Артельный, 2005; Черепенников и др., 2004; Шурганова, 2007 а, б, и др.). Авторами подробно изучались зоопланктон р. Волги на трассе строительства водохранилища, перестройки видовой структуры зоопланктонных сообществ после его создания в период 1981 по 2003 гг. Выделены сообщества зоопланктона и занимаемые ими акватории, приведена оценка динамики их границ, выявлены направления и скорости сукцессии зоопланктоценозов на акватории от устья р. Оки до Чебоксарской ГЭС. Продолжение этих исследований является актуальным для целей экологического мониторинга и прогноза состояния экосистем водохранилища при различных вариантах его наполнения. Следует отметить, что в литературе имеются лишь единичные сведения, касающиеся зоопланктона верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища от плотины Нижегородской ГЭС до устья р. Оки (Шурганова, Макеев, Ахметов, 2000; Шурганова, Ахметов, 2001).

Антропогенное воздействие на водохранилища, помимо прямого сброса хозяйственно-бытовых и промышленных стоков, связано с воздействием вод их притоков, в том числе, малых рек, значени которых нельзя недооценивать, так как они

во многом определяют гидрологическую и гидрохимическую специфику средних и крупных рек, а также могут служить резерватами биоразнообразия для экосистем водоема-приемника, определяя состав населяющих их гидробионтов.

Малые реки относятся к самому многочисленному типу водных объектов и категорий водотоков, однако, изучению их экосистемы изучено значительно слабее, чем экосистемы более крупных водных объектов. Так, в бассейне р. Волги свыше 250 тысяч малых водотоков длиной менее 200 км, что составляет 99.9% от общего числа водотоков речной сети (Алексеевский и др., 1998). В настоящее время интерес ученых России к изучению малых водотоков значительно возрос, на что указывает, в том числе, количество проведенных в последние годы конференций, посвященных функционированию экосистем малых рек (Экосистемы малых рек..., 2008; Экология малых рек..., 2011; Экосистемы малых рек..., 2014а; Экосистемы малых рек..., 2014б). При этом, малые реки всё ещё остаются наименее изученными водными объектами, по сравнению с озёрами, водохранилищами и крупными реками. Кроме того, функционирование малых рек во многом определяется региональной спецификой, вследствие чего требуется проведение исследований на различных территориях (Крылов, 2005). Накопленные данные, в перспективе, должны помочь в выявлении общих закономерностей функционирования водотоков.

Многие исследователи по-разному трактуют термин «малая река». В данной работе малым водотоком мы будем считать «интуитивно выделяемый этносом территории водный объект длиной 10–200 км и площадью водосбора 10–10 000 км<sup>2</sup> с особым характером гидрологических процессов, отражающим преимущественное воздействие местных факторов на формирование стока» (Алексеевский и др., 1998). По мнению ряда авторов, данное определение представляется наиболее удачным (Крылов, 2005).

Малые реки составляют основу гидрографической сети, и имеют ключевое гидролого-экологическое значение, при этом, являясь весьма уязвимыми по отношению к антропогенной нагрузке, что связано с особенностями их гидрометрии и гидрологии, в частности большими значениями вариации стока,

меньшим отношением длины береговой линии к площади водной поверхности, чем у более крупных рек (Веницианов, Аджиенко, Щеголькова, 2014).

Проблемы малых рек во многом схожи с проблемами более крупных водотоков – на них влияют сбросы коммунальных и промышленных сточных вод, изменение ландшафтов водосборной территории, поверхностный сток с городских территорий и сельскохозяйственных угодий, потери стока при изъятии на питьевые, сельскохозяйственные и прочие нужды (Веницианов, Аджиенко, Щеголькова, 2014). Всё это приводит к возникновению ряда экологических проблем, таких как нарушение естественного гидрологического и гидрохимического режимов рек; химическое загрязнение, приводящие к коренным изменениям состава вод и донных отложений; повышение концентрации органических веществ, содержания биогенных элементов и ксенобиотических загрязнителей; как следствие, интенсифицируются процессы эвтрофирования и токсификация водных экосистем, снижается биоразнообразие на всех уровнях (Бакаева и др., 2014). Многокомпонентное загрязнение водных объектов ведет к сложным перестройкам в их экосистемах (Валькова, Шурганова, 2005). Вследствие увеличения антропогенной нагрузки экосистемы некоторых малых рек, в особенности расположенных в пределах урбанизированных территорий, начинают деградировать (Семейкина, 2014). Это выражается, в том числе, в снижении биоразнообразия, переходе доминирования к эврибионтным видам, т.е., происходит упрощение структуры сообществ (Алимов, 2000).

Наибольшую антропогенную нагрузку испытывают реки, протекающие по территории крупных промышленных центров. Активная хозяйственная деятельность человека в пределах урбанизированных территорий преобразует весь комплекс гидрологических, гидрохимических и гидробиологических процессов в водных экосистемах; вызывает химическое и тепловое загрязнение водотоков, увеличивает масштабы и темпы эвтрофирования, нарушает экологическое равновесие и процессы саморегулирования (Орехов, 2008). Аккумулируя и вынося с городских территорий значительное количество загрязнителей, городские малые водотоки являются источником хронического

ухудшения качества вод своих естественных водоприемников. Впадая в крупные водоемы, они оказывают влияние не только на качество их вод, но и на видовой состав и численность гидробионтов, в частности, зоопланктона.

Между тем, водные объекты урбанизированных территорий являются необходимым звеном в формировании эколого-природного каркаса города, нередко играют важную рекреационную роль (Мингазова и др., 2014). Эколого-природный каркас (ЭПК) города в общем виде понимается как система соединенных между собой природных и искусственно озелененных территорий, обеспечивающих качество городской среды. Вопрос формирования ЭПК в настоящее время актуален для многих городов России, так как при их планировании вопросам экологии уделялось остаточное внимание, в результате чего планировочная система многих городов не отвечает требованиям сохранения и устойчивого развития городских систем (Никитин, Мингазова, Юпина, 2010).

Решение экологических проблем городских территорий тесно связано с процессами реабилитации водотоков и водоёмов урбанизированных ландшафтов. Основными методами восстановления водоемов являются аэрация вод, удаление или экранирование донных отложений, создание или усиление проточности, борьба синезелеными водорослями, создание биоплато (Фролова, Закиров, Деревенская, 1996). На территории Европейской части России имеется успешный опыт разработки и внедрения концепций восстановления экосистем водных объектов г. Казань (Деревенская и др., 2012; Мингазова и др., 2013, 2014). При этом, отмечается необходимость проведения экологического мониторинга, инвентаризации и паспортизации водных объектов городских территорий.

Исследования зоопланктона малых водотоков, протекающих по территории Европейской части России (в том числе, находящихся в условиях антропогенного воздействия), в основной массе посвящены его видовому составу, и в меньшей степени – анализу структурных изменений сообществ зоопланктона в сезонном и пространственном аспекте. Чрезвычайно малочисленны данные по пространственному распределению зоопланктона малых водотоков

урбанизированных территорий, а также водотоков, испытывающих сильное антропогенное воздействие.

Наиболее подробные исследования зоопланктона равнинных малых рек проводились в бассейне Верхней Волги А.В. Крыловым (1993, 1996, 2002 а, 2002 б, 2005). Автором среди основных факторов, определяющих структуру сообществ зоопланктона малых рек, особо отмечены антропогенные и зоогенные (строительная деятельность бобра) нарушения. Кроме того, показано, что распределение зоопланктона по продольному профилю равнинных медленнотекущих малых рек описывается положениями концепции «динамики пятен». На основе анализа сезонной динамики зоопланктона устьевых участков малых рек – притоков водохранилища в условиях различной степени антропогенной нагрузки показана буферная роль зоны контакта речных и водохранилищных вод. Высокая плотность зоопланктона таких участков, которые могут рассматриваться в качестве экотонов, способствует повышению способности к самоочищению, при этом, препятствуя проникновению более загрязненных вод малых рек в водохранилище (Крылов, 2005; Гидроэкология устьевых..., 2015).

В результате анализа реакции зоопланктоценозов малой реки Латки на антропогенное эвтрофирование выяснена отрицательная роль сточных вод, содержащих большое количество органического вещества (Крылов, 1996). На примере сообществ зоопланктона малых и средних рек Воронежской области выяснено, что наибольшее воздействие на количественный и качественный состав планктона локальных участков водотоков оказывает скорость течения, загрязнение органическими и биогенными веществами и степень зарастания макрофитами (Крылов и др., 2010).

Для малых рек Псковской области показано, что на их участках, характеризующихся активным загрязнением, одним из основных факторов, определяющих состав и структуру зоопланктона, является органическое загрязнение, приводящее к повышению уровня трофии водотока (Черевичко, 2014).

Инвентаризация зоопланктона малых и средних водотоков Пензенской области, начавшаяся в 2005 г., показала, что в видовом составе качественно преобладали коловратки (59%), среди них было больше эврибионтных видов (таких, как *Brachionus angularis*, *B. quadridentatus*, *Cephalodella gibba*, *Euchlanis dilatata*, *Keratella cochlear*, *K. quadrata* и др.), чем среди ракообразных (Бурдова, Стойко, 2014). Зоопланктон малых рек Ардым, Елань и Пенза, протекающих в окрестностях г. Пензы, в 2010 году характеризовался относительно низким видовым богатством (в общей сложности, было обнаружено 40 видов зоопланктона). В видовом составе также преобладали коловратки (Стойко, Пашкова, Ильин, Мазей, 2012).

Для зоопланктона верховьев р. Москвы характерны значительные изменения видовой структуры в летне-осенний период. Количественное развитие зоопланктона в летне-осенний период 2013 г. было невысоким, численность изменялась в пределах 60 - 7190 экз./м<sup>3</sup>, биомасса – в пределах 0,41 - 36,11 мг/м<sup>3</sup>. Максимальное развитие зоопланктона отмечалось в середине июня и начале ноября, и было обусловлено коловратками. Самые низкие количественные показатели зоопланктона характерны для середины лета в июле, когда происходило заметное вытеснение коловраток ветвистоусыми и веслоногими ракообразными (Карташева и др., 2014).

Анализ распределения зоопланктона по продольному профилю р. Цивиль, протекающей по территории республики Чувашии, показал, что оно в малой степени соответствовало закономерностям концепции речного континуума, и более адекватно могло быть интерпретировано концепцией динамики пятен. В качестве одной из значимых причин этого указывается антропогенное эвтрофирование, обусловленное воздействием на всем протяжении реки интенсивной нагрузки, преимущественно, сельскохозяйственного происхождения (Подшивалина, 2013).

Для малых рек Егошихи и Данилихи, протекающих по территории г. Перми, описан видовой состав и количественное развитие зоопланктона. Для обеих рек отмечено снижение величины биомассы зоопланктона от верхнего участка к

нижнему. Численность зоопланктона не подчинялась этой закономерности. В целом, планктонные сообщества данных рек были типичны для малых водотоков, их структура определялась, в основном, придонными формами копепоидит (Кадочников, Кузнецова, Овчанкова, 2014).

Для трех разнотипных речных систем урбанизированных ландшафтов г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области проведен анализ видового состава, численности и биомассы зоопланктона. В структуре зоопланктона отмечено преобладание хищных коловраток и циклопов. Отмечена высокая доля мертвых особей в ряде водотков. Сделан вывод о неблагоприятном состоянии сообществ зоопланктона рек Сторожиловки, Каменки, Охта (Родионова, 2014).

В устьевом участке р. Казанка (г. Казань) в аномально засушливый 2010 г. отмечено доминирование коловраток рода *Brachionus*, наиболее устойчивых к воздействию загрязняющих веществ. Показано, что в данный период происходило упрощение структуры сообщества зоопланктона в результате воздействия экстремальных условий. В 2011-2012 гг. получены данные о постепенном восстановлении сообществ зоопланктона (Деревенская, Мингазова, Яковлев, 2015).

Инвентаризация видового состава и количественного развития фауны зоопланктона ряда водных объектов г. Петрозаводска показала, что фауна зоопланктона городских водотоков может быть чрезвычайно разнообразна. Так, в составе зоопланктона р. Лососинки идентифицировано 184 таксона, р. Неглилки – 156 таксонов. Для зоопланктона р. Нелуксы отмечено низкое видовое богатство, на всех ее обследованных участках отмечены представители коловраток отряда Bdelloida, обитающие, зачастую, в загрязненных местообитаниях (Куликова, 2015).

Анализ сезонных изменений пространственного размещения сообществ зоопланктона р. Линды Нижегородской области позволил заключить, что в разные сезоны года на акватории реки выделяются участки как со сходной видовой структурой, так и с мозаичной (Тарбеев, Шурганова, 2014).

Исследование экосистем водных объектов г. Н. Новгорода проводилось в рамках экологической паспортизации в период 1994-2004 гг. (Экологическое..., 2005). Однако, продолжения работы в данном направлении не последовало, и дальнейшие исследования зоопланктона водотоков г. Н. Новгорода носили эпизодический характер.

Наболее подробные исследования сообществ зообентоса малых водотоков г. Н. Новгорода проводились в 1997-2001 гг. (Карандашева, 2002). Выявлено упрощение структуры сообществ макрозообентоса вниз по течению рек. На основе кластерного анализа выявлено разделение устьев малых рек города на два кластера в соответствии со структурно-функциональными характеристиками макрозообентоса. Кластеры соответствовали двум орографическим районам – Балахнинская низменность (реки Гниличка, Борзовка, Ржавка, Левинка, Черная) и Приволжская возвышенность (реки Рахма, Старка, Кова).

Подробно изучался в последнее время фитопланктон малых водотоков г. Н. Новгорода (Воденеева, Охупкин, Старцева, 2014; Старцева и др., 2012, 2015, и др.). Показано, что флористический состав фитопланктона верхней и нижней частей г. Н. Новгорода существенно различается, при этом, природная неоднородность водосбора и воздействие антропогенных факторов приводят к поливариантности отклика фитопланктона.

Исследования зоопланктона рек Левинка, Черная, Гниличка в период 1997-2003 гг. показали, что в них не наблюдались признаки значительного упрощения видовой структуры и деградации зоопланктоценозов, что свидетельствует об умеренном антропогенном воздействии. Однако, существенное снижение в отдельные периоды наблюдений численности и биомассы, а также видового богатства и сложности видовой структуры зоопланктоценозов городских водоёмов и водотоков свидетельствовало о значительном импульсном антропогенном воздействии на них (Шурганова, Макеев, 2005).

Более подробное исследование состояния зоопланктоценозов рек Ржавки, Борзовки, Левинки, Черной, Ковы и Старки, проведенное в течение 2003 гг., позволило сделать вывод о том, что населяющий их зоопланктон находился в

угнетенном состоянии, имел бедный видовой состав и низкие показатели количественного развития. При этом реки Старка и Кова, протекающие в нагорной части города, отличались меньшими показателями видового богатства и количественного развития зоопланктеров, чем реки заречной части (Валькова, Шурганова, 2005).

В июле 2013 г. зоопланктон рек Ржавка, Гниличка, Левинка, Старка и Кова в целом имел естественный характер развития и уровень видового разнообразия, обычный для водотоков такого типа (Макеев, Гаврилко, 2013).

В последние годы предприняты попытки оценки участия зоопланктона в процессах самоочищения, в частности, в зонах рефугиумов Шуваловского канала и р. Ржавки (Гаврилко, 2015), а также в биотопах с различной высшей водной растительностью р. Левинки (Шурганова и др., 2015 д).

Таким образом, анализ литературных данных показал, что исследования зоопланктона малых водотоков г. Н. Новгорода проводились эпизодически. Не установлено влияние зональных отличий верхней и нижней частей города на видовой состав и структуру зоопланктона. Отсутствует описание закономерностей пространственного размещения зоопланктона вдоль продольного профиля малых водотоков антропогенно нарушенных территорий. Чрезвычайно мало данных о сезонной динамике зоопланктона малых водотоков г. Нижнего Новгорода и прилегающих территорий. Попытка решения перечисленных задач на современном методическом уровне предпринята в настоящей работе.

### **1.3. Оценка качества вод водотоков антропогенно нарушенных территорий по показателям видовой структуры сообществ зоопланктона**

Известно, что оценка качества вод может проводиться как с помощью физико-химических, так и с помощью биологических методов анализа, результаты которых не всегда совпадают. Если химический анализ исследует свойства воды, то биологический анализ характеризует водный объект в целом,

дает интегрированную оценку влияния всей совокупности загрязняющих веществ на состояние гидробиоценозов (Шурганова, 2007 а). Химические и биологические методы анализа качества вод имеют свои достоинства и недостатки (Абакумов, Сущеня, 1991; Шитиков, Розенберг, Зинченко, 2003 и др.), и для формирования полного представления об экологическом состоянии водотоков, как правило, комбинируют несколько разных методов контроля качества вод.

Качество вод водотоков и водоёмов тесно связано с протеканием процессов самоочищения, которые осуществляются при участии всех населяющих их гидробионтов. Зоопланктон в природных водах действует как естественный биологический фильтр. В результате фильтрационной деятельности планктонных ракообразных снижается количество взвешенного органического вещества, в состав которого входят основные компоненты пищи зоопланктона — фитопланктон, бактериопланктон и детрит (Андроникова, 1996).

Известно, что сообщества зоопланктона играют заметную роль в трансформации энергии и биогенном круговороте веществ, в том числе и в переработке органических веществ как автохтонного, так и аллохтонного происхождения (Шурганова, 2007 б). Показатели видовой структуры зоопланктонных сообществ, изменяющейся под действием процессов антропогенного загрязнения и эвтрофирования, широко используются в гидробиологии для оценки степени интенсивности протекания этих процессов и, в конечном итоге, для оценки качества вод водоемов и водотоков. При этом, отдельные виды и группы зоопланктона обладают разными биоиндикационными свойствами (Кренева, Кренева, Свистунова, 2005; Орлова и др., 2005, Шурганова, 2007 б). В настоящее время разработана система показателей сообществ зоопланктона, которые могут быть использованы при диагностике трофического статуса водоемов (Андронникова, 1996). В соответствии с ней, для диагностики процесса эвтрофирования экосистем водоемов могут быть использованы следующие показатели:

1) появление в составе зоопланктона или резкое увеличение численности следующих видов-индикаторов — *Branchionus spp.*, *Anuraeopsis fissa*, *Filinia*

*longiseta*, *Pompholyx sulcata*, *Hexarthra mira*, *Polyarthra euryptera*, *Keratella quadrata*, *K. cochlearis tecta*, *Trichocerca cylindrica*, *Bosmina longirostris*, *Chydorus sphaericus*, *Daphnia cucullata*, *Mesocyclops crassus*, *Cyclops kolensis*;

2) уменьшение числа доминирующих видов в сообществе, определённое с помощью функции рангового распределения;

3) снижение показателей индекса видового (таксономического) разнообразия ( $H_{\text{бит}}$ ) за вегетационный период;

4) изменение процентного соотношения таксономических групп – увеличение доли Cladocera и Rotatoria в общей численности и биомассе, уменьшение доли Copepoda;

5) изменение соотношений между различными таксономическими группами – уменьшение показателя  $V_{\text{Crust}}/V_{\text{Rot}}$  и увеличение показателей  $N_{\text{Clad}}/N_{\text{Cope}}$  и  $V_{\text{Cycl}}/V_{\text{Cal}}$ ;

6) уменьшение средней индивидуальной массы зоопланктона за вегетационный период;

7) увеличение общей численности зоопланктона;

8) увеличение общей биомассы зоопланктона до гиперэвтрофной стадии; далее биомасса снижается за счёт массового развития в сообществе коловраток;

9) увеличение внутригодовой амплитуды изменения биомассы, выраженной соотношением  $V_{\text{летн}}/V_{\text{зимн}}$  или  $V_{\text{max}}/V_{\text{min}}$ ;

10) увеличение доли фильтраторов (в основном за счёт Cladocera) в общей биомассе.

Также широко используется система оценки качества вод по гидробиологическим показателям, в том числе, и по показателям зоопланктона, на основе индекса сапробности Пантле и Букк в модификации Сладечека (Pantle, Buck, 1955; Sladeček, 1973, 1993), утвержденная в действующих в РФ «Правилах контроля качества воды водоемов и водотоков» (ГОСТ 17.1.3.07-82).

Критика системы сапробности связана, с одной стороны, с невозможностью учесть региональные особенности формирования видовой структуры зоопланктона, а с другой стороны – с недостаточно дробной системой градации

уровней сапробности, из-за чего воды водотоков и водоемов, находящихся в условиях различной антропогенной нагрузки и характеризующихся разной степенью загрязнения, попадают в один класс качества по сапробиологическим показателям. Так, в соответствии с литературными и собственными данными, уровень сапробности водохранилищ р. Волги и большинства их притоков (в том числе – малых водотоков), оцененный на основе анализа индикаторных видов зоопланктона, в основном, не выходит за пределы  $\beta$ -мезосапробной зоны (Малинина, Далечина, Филинова, 2005; Ривьер, 2003; Романова; Столбунова, 2002; Тимохина, 2000;; Шурганова, Кочеткова, 2006; Шурганова, 2007 а, б; Шурганова, Тарбеев, 2011; Шурганова и др., 2014; Шурганова, Ильин, Кудрин, 2014 и др.). Кроме того, поскольку определение сапробности основано на выяснении видового состав зоопланктеров, для наиболее оптимальной характеристики необходимо проведение долговременных исследований с целью выяснения более полного списка видов (Крылов, 2005).

Ряд авторов отмечают также несоответствие оценки качества вод по показателям зоопланктона реальной степени загрязнения, оцененной по показателям гидрохимии (Мингазова, Деревенская, 1991; Кумани, 2003; Шурганова 2007; Семенова, 2012, 2014; Родионова, 2014; Шурагова и др., 2015 и др.). Это может быть связано в том числе и с тем, что система сапробности разрабатывалась для оценки нетоксичного органического загрязнения. В условиях же комбинированного воздействия загрязнителей применение системы сапробности затруднено в связи с изменением индикаторной значимости отдельных видов в присутствии токсических веществ (Шитиков, Розенберг, Зинченко, 2003). Реакция сообществ зоопланктона на токсические вещества носит принципиально иной характер по сравнению с действием избытка биогенных элементов или органического вещества, приводящего к эвтрофированию (Андроникова, 1996). Данные факты необходимо учитывать при проведении исследований качества вод на основе индикаторных видов зоопланктона.

Влияние токсикантов на зоопланктон осуществляется как прямо путем адсорбции на поверхности тела и поглощения фильтрацией, так и косвенно, при

питании бактерио- и фитопланктоном, накопившим токсиканты. Поступая в зоопланктонные организмы, токсиканты частично аккумулируются в их тканях, а частично подвергаются метаболизации и детоксикации (Брагинский, 2003).

Результаты сапробиологической оценки на основе индикаторных видов зоопланктона качества вод крупных водотоков Нижегородского Поволжья (Чебоксарского водохранилища и его основных притоков) приведены в многочисленных работах (Шурганова, 1996, 2009; Шурганова и др., 1998, 2001; Шурганова, Кочеткова, 2006; Шурганова, Тарбеев, 2011 и многие др.). При этом, в формировании качества вод крупных водотоков и водохранилищ участвуют, в том числе, воды малых рек (Шурганова и др., 2014), которые, как правило, изучены значительно слабее, чем более крупные водотоки. Работы, посвященные оценке качества вод малых рек Нижегородской области, в особенности водотоков, протекающих по территории г. Н. Новгорода, по показателям зоопланктона, немногочисленны (Шурганова, Валькова, 2005; Шурганова, Макеев, 2005; Шурганова, Тарбеев, 2011; Макеев, Гаврилко, 2013). В связи со все возрастающими антропогенными нагрузками, актуальной задачей остается мониторинг качества вод водоемов и водотоков Нижегородской области, в том числе и по показателям зоопланктона.

#### **1.4. Проблема вселения инвазивных видов зоопланктона**

В конце XX-го и начале XXI веков многие водоёмы Евразии вплотную столкнулись с проблемой инвазии чужеродных видов – как животных, так и растений. Процесс распространения видов, а также расширения их ареала, существовал постоянно, это отмечалось на примере каспийской фауны в Азово-Черноморском бассейне (Голованова, 2014). Однако эта проблема остаётся важнейшей с экологической точки зрения. В значительной степени она обусловлена развитием судоходства и переносом в судовых балластных водах чужеродных видов (Звягинцев, Селифанов, 2008). Любое судно, которое перевозит, а затем сливает балластные воды, можно рассматривать как источник потенциальной экологической опасности (Carlton, Geller, 1993).

В целом фауну вселенцев можно разделить на три группы. Первая группа – это естественные мигранты, появление которых никак не связано с деятельностью человека. Как правило, их появление связано с климатическими изменениями. Вторая группа – планктонные интродуценты (завезены человеком из других, удаленных регионов). Третья группа – интродуценты, появление которых связано со спонтанной интродукцией (носит непреднамеренный характер) (Матишов, Макаревич, Ишкулов, 2011).

Наиболее актуальной и интересной является третья группа вселенцев. Их появление, как правило, связано с транспортными перевозками. Наиболее распространенным способом проникновения видов являются балластные воды кораблей. Одной из особенностей спонтанных интродукций является то, что зачастую человек не может определить пути, по которым виды-вселенцы попадают в новые экосистемы (Матишов, Макаревич, Ишкулов, 2011).

Одним из важнейших факторов, способствующих расселению видов-вселенцев в различные водные экосистемы, является устранение человеком естественных барьеров между разными водными бассейнами, вследствие создания каналов, водохранилищ и др. К примеру, зарегулирование Волги вызвало не только изменение всего Волжского бассейна, но и устьевых участков питающих её притоков. Известно, что фауна вселенцев обладает более высокой жизнеспособностью и склонностью к массовому развитию, превосходя в этом аборигенную. Постепенно вытесняя в них аборигенную фауну, она начинает доминировать во многих биотопах рек (Михайлов, 2014).

По мнению Н.Н. Смирнова (1971), у видов-вселенцев в процессе эволюции были выработаны специальные морфологические, физиологические и поведенческие адаптации. Это даёт таким видам значительное преимущество, для инвазии в любую среду обитания (Мухортова, 2011).

Изменение среды обитания, которое вызвано потеплением климата, воздействует не только на структуру сообществ, но и создаёт предпосылки для вселения чужеродных видов, а также расширения ареалов южных видов (Лазарева, Болотов, 2013). Однако на сегодняшний день считается, что

наибольший вклад в распространение видов-вселенцев вносит гидростроительство (Gollasch, 2006). Созданные в конце прошлого века водохранилища, уже сегодня характеризуются высоким уровнем эвтрофирования, а, как известно, уязвимость пресноводных зоопланктонных сообществ к биоинвазиям возрастает с повышением трофности и пресса планктонофагов (Лазарева, Болотов, 2013).

Проблема экспансии южных видов является актуальной и для Волжского бассейна. Так, на рубеже веков отмечена новая волна экспансии южных видов на Верхнюю Волгу, которую связывают с долговременными климатическими трендами (Яковлев, 2005). Одним из примеров является пелагический ветвистоусый рачок *Diaphanosoma orghidani* (Negrea, 1982) вид-вселенец южного происхождения. Данный вид описан в 1982 году в озёрах Румынии. В России этот вид впервые был найден Н.М. Коровчинским в окрестностях г. Казани в 1986 году. Затем этот вид был обнаружен в водоёмах дельты Волги, Краснодарского края и Средней Азии. В 2005 году этот вид обнаружен в Волго-Балтийской водной системе (Лазарева, 2008). Центрами расселения *D. orghidani* в настоящее время служит Средняя Волга, особенно Чебоксарское водохранилище, а на Верхней Волге Иваньковское и Шекснинское водохранилища (Лазарева, Болотов, 2014).

Некоторые виды Calanoidea, относящиеся к эвригалинным формам и заселяющие устья рек, активно осваивают пресные водоемы и водотоки. Примером такой экспансии может служить *Eurytemora velox*, к настоящему времени широко представленный вид в пресных водах Европы и заселивший в Беларуси водоемы и водотоки южных районов в бассейнах рек Днепр и Буг (Вежновец, 2004). Благоприятные условия для расширения ареала этого вида были связаны с его широкими адаптационными способностями – эвритермностью и эвригалинностью, а также возможностью занимать заросшее побережье и избегать конкуренции с аборигенными видами копепод (Вежновец и др., 2012).

Другим направлением инвазий является вселение видов холодноводного комплекса зоопланктона. Известно, что виды арктического и бореального

происхождения в бассейне р. Волги неоднократно расширяли и сужали свои ареалы как в период формирования водных путей из Балтийского и Белого морей через Дон и Волгу в Азово-Черноморский и Каспийский бассейны, так и в доисторические, межледниковые эпохи (Ривьер, 2005). По мнению Н.А. Дзюбана (1968), к комплексу “северных вселенцев” можно отнести следующие виды: *Eudiaptomus gracilis*, *E. graciloides*, *Heterocope appendiculata*, *Euritemora lacustris*, *Cyclops kolensis*, *Bosmina coregoni*, *B. crassicornis*, *B. longispina*, *Daphnia cristata*, *Bythotrephes longimanus*, *Limnospida frontosa*, а из коловраток, по Ф.Д. Мордухай-Болтовскому (1978) – *Conochilus unicornis*, *Notholca longispina*, *N. striata*, *N. acuminata* (Попов, 2006).

Коловратка *S. kitina* – типичный представитель холодноводного пелагического комплекса видов (Аров, Шевелева, Мишарина, 2009). Ранее вид-вселенец был зарегистрирован в среднем и нижнем течении р. Обь и водотоках её бассейна (Кухарская, Долгин, 2009, 2011). В 2009 году регистрировался в некоторых притоках оз. Байкал (Аров, Шевелева, Мишарина, 2009). На территории Европейской части России вид был найден, в основном, в северной её части в водотоках и водоёмах Республики Карелия (Куликова, 2015). В период с 2001 по 2004 год вид был впервые зарегистрирован в Рыбинском водохранилище (Лазарева, 2010). Данных о других находках этого вида на территории Европейской части России не было обнаружено.

В настоящее время в водотоках и водоемах бассейна р. Волги активно расселяется коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908). Предполагают, что *K. bostoniensis* – неоарктический вид, вселившийся в палеарктический регион. Впервые коловратка описана в 1908 г. Русселетом в искусственном озере г. Бостон (США). Вид обычен для Великих озер (Гурон и Онтарио), заливов и устьев рек, многих болот США и Канады (Жданова, Добрынин, 2011). На территории России коловратка обнаружена в разнотипных водоемах и водотоках бассейна Верхней и Средней Волги, в водоемах бассейна Онежского озера и литорали Ладожского озера, а также в Иваньковском, Угличском и Шекснинском водохранилищах (Лазарева, Жданова, 2015).

Последствия вселения чужеродных видов по своей значимости и масштабам изменений во многих случаях оказываются более серьезными для водных экосистем, чем результаты иных форм антропогенного воздействия (Курашов, Барков, 2013). Вселение новых видов, прямо или опосредованно, может способствовать новым иммиграциям через формирование новых микроместообитаний, обеспечивая сопряженный характер, или «обвал» инвазий (invasion meltdown), когда успешное вселение одного или нескольких видов способствует натурализации других, связанных с ним трофически или топически (Орлова, 2015).

## **Глава 2. Общая характеристика района исследования**

В работе рассматривается зоопланктон Чебоксарского водохранилища, его притоков – р. Оки, р. Линды, р. Кудьмы, а также водотоков, протекающих по территории г. Н. Новгорода (реки Старка, Кова, Рахма, Черная, Левинка, Параша, Ржавка, Борзовка, Гниличка, а также Шуваловский канал), также принадлежащих бассейну Чебоксарского водохранилища.

Территория водосбора Чебоксарского водохранилища относится к различным геоморфологическим, климатическим и почвенно-растительным зонам Русской равнины. Существенно различаются части водосборного бассейна и по хозяйственному использованию.

Чебоксарское водохранилище – пятая ступень Волжского каскада, входящая в систему водоемов Средней волги (Волга и ее жизнь, 1987; Шурганова, 2007а; Волжский бассейн..., 2011). На крупнейшей реке Европы – Волге построено 9 водохранилищ, 8 из которых образуют каскад. Бассейн Волги и ее многочисленных притоков расположен в средней части Русской равнины, геологический возраст которой определяется докембрием. Площадь Волжского бассейна составляет 1360 тыс. км<sup>2</sup>. Основную часть водосборной территории (65%) образуют низменности с высотой до 200 м. Возвышенности занимают 35% территории бассейна. Бассейн р. Волги расположен в умеренном климатическом поясе.

Чебоксарское водохранилище расположено в центре Среднего Поволжья на границе двух подзон лесной зоны: левый берег – в подзоне южной тайги, правый – в подзоне смешанных хвойных и широколиственных лесов (Харитонычев, 1978; Волга и ее жизнь, 1978). Для водотоков левобережья водохранилища (в том числе, Нижегородского Заволжья) характерны повышенные гумозность и кислотность, а также низкое содержание фосфатов и низкая минерализация вод. Водотоки Приволжской возвышенности (правобережная часть бассейна Чебоксарского водохранилища), напротив, характеризуются повышенной минерализацией и трофностью, и располагаются в подзоне широколиственных

лесов. Ряд авторов рассматривают данную территорию на стыке двух подзон как бореально-неморальный экотон (Воденеева, Охапкин, Старцева, 2015).

Бассейн Чебоксарского водохранилища, в соответствии с климатическим районированием, расположен в юго-восточной подобласти атлантико-континентальной европейской (лесной) области (Алисов, 1956). Основные различия климатических областей определяются радиационным режимом солнечного излучения, преобладающим типом атмосферной циркуляции, степенью увлажненности.

Климат бассейна Чебоксарского водохранилища умеренно-континентальный. Характерным для него является умеренно-теплое лето и умеренно-холодная зима. В результате большой протяженности на территории бассейна хорошо выражены климатические различия отдельных его частей. Лесное Заволжье отличается наиболее холодным и влажным климатом. Зима длится около 5 месяцев. Снежный покров лежит 160 – 165 дней, высота его 50 – 70 см. Весной характерны заморозки, лето короткое. Осадков выпадает за год 550 – 600 мм. Климат Правобережья более сухой и теплый, чем в Заволжье. Зима длится около 4,5 месяцев. Заморозки более редкие и слабые по сравнению с Заволжьем. Лето жаркое и сухое, длится три месяца. Осадков за год выпадает 450 – 550 мм (Агафонов, 1974). На севере Нижегородской области среднегодовая температура воздуха составляет  $2,3^{\circ}$  –  $2,9^{\circ}$ , на юге и юго-востоке Нижегородской области  $3,4^{\circ}$  –  $3,8^{\circ}$  (География..., 1991).

В соответствии с ландшафтным зонированием Нижегородской области (Современные ландшафты..., 2006), изучаемые малые водотоки расположены в пределах трех ландшафтных зон (Харитонычев, 1974) – Балахнинский низинный полесский край (реки Черная, Левинка, Параша, Ржавка, Борзовка, Гниличка, а также Шуваловский канал), Южное заволжье (р. Линда) и Приокско-Волжский правобережный край (реки Кудьма, Старка, Кова, Рахма).

Для оценки степени антропогенной нагрузки на водосборные территории исследуемых водных объектов мы воспользовались подходами, изложенными в

работе А.А. Брагазина с соавт. (2014) по экологическому зонированию Нижегородской области (рисунок 2.1).

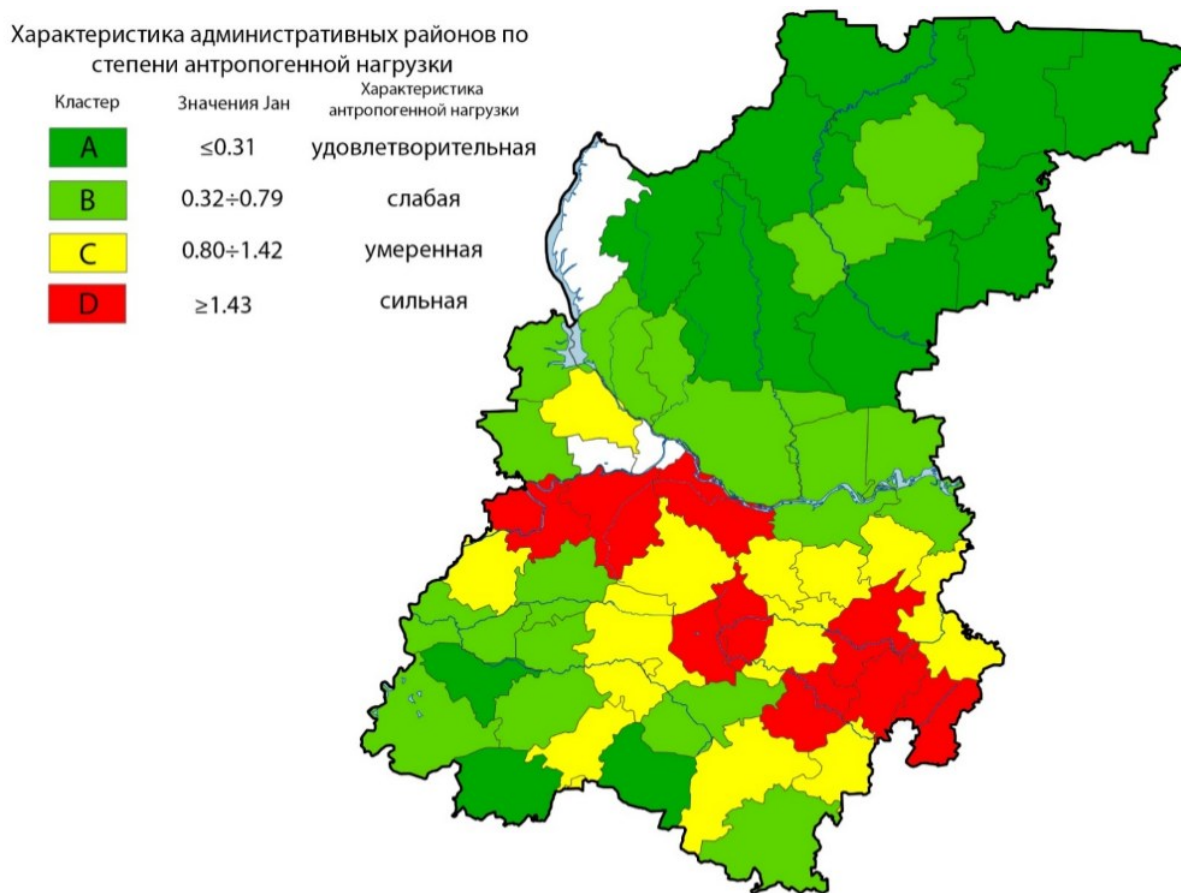


Рисунок 2.1. Распределение антропогенной нагрузки ( $J_{ан}$ ) по административным районам Нижегородской области (по: Брагазин и др., 2014).

Согласно этим данным, река Линда протекает по территории Семеновского и Борского района Нижегородской области со слабой и удовлетворительной антропогенной нагрузкой, бассейн реки Кудьмы расположен на территории Богородского и Кстовского районов, характеризующихся сильной антропогенной нагрузкой. В соответствии с результатами экологического зонирования г. Н. Новгорода, изложенными Д.Б. Гелашвили и Н.И. Зазнобиной (Экология Нижнего..., 2008), территория города также характеризуется плохой экологической ситуацией, обусловленной высокой антропогенной нагрузкой.

Районы с высокой и умеренной антропогенной нагрузкой расположены по правому берегу речной части Чебоксарского водохранилища, что, в частности, связано с влиянием крупных промышленных предприятий, находящихся в районе г. Балахна, г. Н. Новгорода, г. Кстово.

Анализ экологической ситуации позволил нам выявить основные антропогенные факторы, воздействующие на сообщества зоопланктона исследуемых водных объектов. Наиболее характерные антропогенные факторы, воздействующие на речную часть Чебоксарского водохранилища и его притоки, включая городские малые водотоки, приведены на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2. Схема основных антропогенных факторов, воздействующих на речную часть Чебоксарского водохранилища и его притоки

Таким образом, водосбор Чебоксарского водохранилища в районе наших исследований включает ландшафты лесного Заволжья и лесостепного Правобережья, которые существенно различаются по ландшафту, рельефу, климату, а также по степени антропогенной нагрузки.

**Чебоксарское водохранилище** заполнено в 1981 г. до 63,0 м НПУ БС (при проектной отметке 68,0 м НПУ БС). Площадь водосборного бассейна Чебоксарского водохранилища 604 тыс. км<sup>2</sup>. Водный баланс Чебоксарского водохранилища складывается из волжской массы, поступающей из Горьковского водохранилища, и водных масс наиболее крупных его притоков – Оки, Ветлуги и Суры (Шурганова, 2007).

Основные морфометрические характеристики водохранилища приведены в таблице 2.1. Для Чебоксарского водохранилища, наряду с Саратовским,

характерен высокий коэффициент водообмена (по: Авакян, Широков, 1990; Литвинов, 2000; Современная экологическая..., 2000; Экологические проблемы..., 2001; Минеева, 2004, цит. по: Шурганова, 2007 б).

Таблица 2.1

Основные морфометрические характеристики водохранилищ волжского каскада и показатели условного водообмена (по: Авакян, Широков, 1990; Литвинов, 2000; Современная экологическая..., 2000; Экологические проблемы..., 2001; Минеева, 2004, цит. по: Шурганова, 2007 б)

| Водохранилище        | $V$ , км <sup>3</sup> |                 | $S$ , км <sup>2</sup> | $L$ , км          | $D$ , км            | $H$ , м           |                     | $K_{\text{вод}}$ год <sup>-1</sup> |
|----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|------------------------------------|
|                      | Пол-<br>ный           | Полез-<br>ный   |                       |                   |                     | Сред-<br>няя      | Макси-<br>мальная   |                                    |
| Шекснинское          | 6,50                  | 1,85            | 1669                  | 167               | 45                  | 3,9               | 17,0                | 0,80                               |
| <i>Верхняя Волга</i> |                       |                 |                       |                   |                     |                   |                     |                                    |
| Иваньковское         | 1,12                  | 0,81            | 327                   | 120               | 8,0                 | 3,4               | 19,0                | 10,6                               |
| Угличское            | 1,24                  | 0,81            | 249                   | 143               | 5,0                 | 5,0               | 23,2                | 10,1                               |
| Рыбинское            | 25,42                 | 16,67           | 4550                  | 250               | 26,0                | 5,6               | 30,4                | 1,9                                |
| <i>Средняя Волга</i> |                       |                 |                       |                   |                     |                   |                     |                                    |
| Горьковское          | 8,80                  | 3,9             | 1591                  | 430               | 15,0                | 5,5               | 22,0                | 6,1                                |
| Чебоксарское*        | <u>12,60</u><br>4,6   | <u>5,4</u><br>0 | <u>1270</u><br>1080   | <u>321</u><br>321 | <u>16,0</u><br>16,0 | <u>5,8</u><br>4,2 | <u>21,0</u><br>21,0 | 20,9                               |
| Куйбышевское         | 57,30                 | 33,90           | 6150                  | 510               | 27,0                | 9,3               | 41,0                | 4,2                                |
| <i>Нижняя Волга</i>  |                       |                 |                       |                   |                     |                   |                     |                                    |
| Саратовское          | 12,87                 | 1,75            | 1831                  | 312               | 20,0                | 7,0               | 31,0                | 19,1                               |
| Волгоградское        | 31,45                 | 8,25            | 3117                  | 540               | 17,0                | 10,0              | 41,0                | 8,0                                |

Примечание:  $V$  – объем,  $S$  – площадь,  $L$  – длина,  $D$  – максимальная ширина,  $H$  – глубина,  $K_{\text{вод}}$  – коэффициент условного водообмена; \* проектные данные над чертой, при современном подпорном уровне – под чертой.

Уровенный режим водохранилища характеризуется выраженными сезонными и межгодовыми колебаниями в верхнем речном и речном районах водохранилища, а также в устьевых участках притоков. Изменения уровня воды в верхнем речном районе до устья р. Оки определяются сбросом воды через плотину Нижегородской ГЭС, в речном (от устья р. Оки до устья р. Суры) – расходами Оки, в озерном – режимом работы Чебоксарской ГЭС (Охапкин, 1994).

Наибольшие скорости течения в Чебоксарском водохранилище наблюдаются на верхнем речном участке (от нижнего бьефа Нижегородской ГЭС до устья р. Оки) – 0,41-1,07 м/с. На среднем речном участке (устье р. Оки –

Васильсурск) скорости течения снижаются (0,18-0,73 м/с). Минимальные скорости течения имеют место на озерном участке водохранилища (от Васильсурска до верхнего бьефа Чебоксарской ГЭС) 0,08 – 0,32 м/с. На пойменных станциях скорости течения на 30-60% ниже, чем на русловых (Бикбулатов и др., 2006).

Для Чебоксарского водохранилища характерно существование трех отличающихся по основным гидрохимическим характеристикам акваторий: верхний речной участок, свойства воды в котором в основном определяются водами Горьковского водохранилища; средний участок – район смешения и трансформации водных масс притоков и формирования водной массы собственно водохранилища; нижний участок – район с однородными физическими и химическими свойствами сформировавшейся водной массы собственно водохранилища. Вся акватория Чебоксарского водохранилища испытывает значительную антропогенную нагрузку. Однако, наиболее сильную нагрузку несет правобережный речной участок водохранилища, расположенный ниже впадения р. Оки. Он является одним из самых загрязненных и эвтрофированных не только в пределах Чебоксарского водохранилища, но и в пределах всего Волжского каскада (Шурганова, 2007 б). Наиболее характерными загрязняющими веществами Чебоксарского водохранилища являются нефтепродукты (Авакян и др., 1994), в ряде районов водохранилища отмечено существенное превышение ПДК по содержанию тяжелых металлов (Шурганова, Кочеткова, 2006). Индекс загрязненности воды Чебоксарского водохранилища, в целом, с 2008 по 2010 гг. соответствовал классу качества 3а – «загрязненная» (Левин, 2015).

**Река Ланда** – левый приток Чебоксарского водохранилища 1 порядка, протекает по Борскому и Семеновскому районам Нижегородской области, в том числе через многочисленные населенные пункты, и впадает в верхнюю речную часть Чебоксарского водохранилища напротив г. Нижний Новгород (Сормово). Борский и Семеновский районы характеризуются слабой и незначительной антропогенной нагрузкой (Брагазин и др., 2013).

Длина реки — около 122 км, ширина от 7 до 12 метров (в верховьях до 5 м., в нижнем течении и устье до 30 м), глубина в среднем около 1,5 метров (в русле реки до 2-3 м, на перекатах от 0,1 м, в омутах — до 4 м), дно в верховьях с каменистыми россыпями и закоряженное, ниже по течению — песчано-илистое. Скорость течения реки в верхнем и среднем течении 0,13-0,25 м/сек, в нижнем — 0,35 м/сек. Пойма р. Линды неширокая, лишь в нижнем течении до 300-1000 м. Долина хорошо выраженная до 1,5-2,5 км шириной. Река извилистая. Берега реки попеременно крутые, обрывистые до 5 м высотой или низкие, пологие. Река находится в пределах Волжско-Керженского низинного, с сосновыми лесами и болотами на песках и супесях ландшафтного района (Южное Заволжье). Местность представляет собой залесенную волнистую равнину, пересеченную долинами небольших рек с болотистыми поймами. Грунты преимущественно валунно-суглинистые. Леса смешанные, покрывают до 80 % территории. Основные породы — сосна и береза. Подлесок редкий, кустарниковый. Питание реки грунтовое и за счет стоков с заболоченной местности. Реки данного района замерзают в конце ноября, вскрываются в первой половине апреля. Толщина льда 0,4-0,6 м, в суровые зимы до 1 м, мелкие реки иногда промерзают до дна. Продолжительность весеннего половодья длится 30-45 дней, максимальный подъем уровня воды 2-5 м (Природа..., 1974).

По гидрохимическим показателям (таблица 2.1) воды р. Линды в целом благоприятны для развития гидробионтов.

Класс воды гидрокарбонатный, группа кальциевая, рН близка к нейтральному (от 6.7 до 7.4). Вода мягкая (жесткость увеличивается вниз по течению), минерализация малая, цветность высокая, перманганатная и биологическая окисляемость не превышают ПДК и уменьшаются вниз по течению. Бихроматная окисляемость высокая.

**Река Кудьма** — правый приток Чебоксарского водохранилища, протекает по территориям Богородского и Кстовского районов Нижегородской области, характеризующихся сильной антропогенной нагрузкой (Брагазин и др., 2014). Кудьма берет начало на водоразделе с рекой Сережа и впадает в Волгу у п.

Ленинская Слобода, общая ее протяженность – 144 км. Площадь водосбора 3220 км<sup>2</sup>. Средний годовой расход 5,57 м<sup>3</sup>/сек. Основными правыми притоками реки являются реки Сетчуга, Чижково, Ункор, Шелокшонка, Озерка (главный приток, площадь бассейна которого составляет 1/3 территории бассейна р. Кудьмы), Шава, основными левыми – Пава, Шилокша, Великая (Варенов и др., 2015). Русло реки извилистое, в среднем течении искусственно спрямленное (Панфилов, 1974).

Таблица 2.2

Гидрохимическая характеристика вод р. Линда в 2003 г. (по данным Нижегородского отделения ГосНИОРХ)

| Показатель                              | Участок отбора проб |         |        | Показатель                             | Участок отбора проб |         |        |
|-----------------------------------------|---------------------|---------|--------|----------------------------------------|---------------------|---------|--------|
|                                         | Верхний             | Средний | Нижний |                                        | Верхний             | Средний | Нижний |
| 1                                       | 2                   | 3       | 4      | 1                                      | 2                   | 3       | 4      |
| рН                                      | 6,6                 | 6,8     | 6,9    | ПО, мгО <sub>2</sub> /л                | 23,2                | 13,6    | 12,8   |
| Цветность, град.                        | 180                 | 160     | 144    | ХПК, мгО <sub>2</sub> /л               | 52                  | 56,6    | 50,6   |
| NH <sub>4</sub> (N), мг/л               | 0,64                | 0,6     | 0,52   | БПК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /л | 2,1                 | 1,1     | 1      |
| NO <sub>2</sub> (N), мг/л               | 0                   | 0,004   | 0,064  | Жесткость, мг-экв/л                    | 1                   | 1,5     | 1,7    |
| NO <sub>3</sub> (N), мг/л               | 0,4                 | 1,2     | 0,75   | Ca, мг/л                               | 14                  | 20      | 18     |
| Нобщ., мг/л                             | 1,04                | 1,8     | 1,33   | Mg, мг/л                               | 3,6                 | 6       | 9,6    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (P), мг/л | 0,05                | 0,07    | 0,07   | HCO <sub>3</sub> , мг/л                | 44                  | 52,8    | 61,6   |
| Fe общ., мг/л                           | 0,23                | 0,09    | 0,34   | Cl, мг/л                               | 8                   | 10      | 12     |
| Fe <sup>3+</sup> , мг/л                 | 0,2                 | 0,09    | 0,31   | SO <sub>4</sub> , мг/л                 | 12                  | 16      | 16     |
| Fe <sup>2+</sup> , мг/л                 | 0,03                | 0       | 0,03   | Σi, мг/л                               | 82                  | 105     | 117    |

Бассейн р. Кудьмы находится в ландшафтном районе возвышенного лесного и лесостепного правобережья в пределах Приокско-Волжской возвышенности, с пашнями и дубово-мелколиственными лесами на водноледниковых суглинках. Леса преимущественно смешанные елово-березовые. Подлесок кустарниковый и из поросли основных пород. Рельеф бассейна представлен пологоволнистой возвышенной моренной равниной, которая к юго-востоку переходит в пологохолмистую флювиогляциальную равнину (Современные ландшафты..., 2006).

Пойма реки широкая, слабо пересеченная, преимущественно открытая, луговая, реже покрытая кустарником и лесом, в ряде мест заболоченная. Река имеет разные по высоте берега: низкие, пологие и крутые, обрывистые - до 3-х метров высоты. Течение спокойное, на отдельных участках наблюдаются небольшие водовороты, в некоторых местах река сильно петляет. В верхнем течении скорость потока в меженный период составляет 0,1-0,2 м/сек, в нижнем течении и на перекатах - до 0,4 м/сек. Глубина реки от 0,5-0,8 м до нескольких метров в омурах (Природа..., 1974).

По водному режиму реки бассейна Кудьмы относятся к восточно-европейскому типу. В многоводный весенний период проходит от 60 до 80% годового стока, который обеспечивается талыми водами. Во время летней и зимней межени речной сток не превышает 20-25% (Современные ландшафты..., 2006). Таким образом, река имеет преимущественно снеговое питание, в летний период - дождевое, а также грунтовое и за счет атмосферных осадков. Средний расход в 54 км от устья - 5,75 м<sup>3</sup>/сек, наибольший - 236 м<sup>3</sup>/сек, наименьший - 0,21 м<sup>3</sup>/сек (Варенов и др., 2015).

Антропогенный фактор оказал прямое воздействие на р. Кудьмы и её притоки. Бассейн р. Кудьмы искусственно преобразовывался на протяжении последних 150-200 лет, но особенно активно – в середине–второй половине XX столетия (Варенов и др., 2015). Река протекает в густонаселенном и промышленно развитом районе, многократно пересекается трубопроводами. На многих участках она многорусловая за счет создания мелиоративных каналов. По берегам реки расположены многочисленные сельскохозяйственные угодья и населенные пункты с развитой деревообрабатывающей и пищевой промышленностью, вследствие чего воды реки подвержены антропогенному эвтрофированию и токсическому загрязнению сточными водами (в т.ч., стоками промышленных предприятий г. Кстово).

В химическом составе воды реки Кудьмы преобладают сульфаты, т.е. соли серной кислоты. Содержание хлористых и азотистых соединений сравнительно

небольшое. В значительном количестве в водах реки содержатся соли кальция, кроме них встречаются соли магния (Природа..., 1974).

Вода р. Кудьмы относится к гидрокарбонатному классу, кальциевой группе. Концентрация хлоридов уменьшается от истока к устью, а сульфатов – увеличивается, рН нейтральный. Вода в верхнем течении умеренно жесткая, на остальных участках – очень жесткая. Цветность, перманганатная и бихроматная окисляемость в целом невысокие, наибольшие их величины наблюдаются в верховьях реки. Минерализация средняя, количество минерального азота и фосфора невелико (Отчет о научно-исследовательской работе..., 2004).

Воды р. Кудьма в районе п. Ленинская Слобода в 2007 г. по гидрохимическим характеристикам характеризовались IV («грязная») и III («умеренно загрязненная») классами качества вод. Приоритетными загрязняющими веществами являлись цинк и медь. Среднегодовые концентрации составили: меди - 5 ПДК, азота аммонийного - 1,7 ПДК; сульфатов и цинка - 1,5 ПДК, азота нитритного - 1,1 ПДК. Средняя за год концентрация железа общего приближалась к уровню ПДК. Кислородный режим был неблагоприятный (6,87 мг/л). Хлорорганические пестициды не обнаруживались (Ежедневник качества поверхностных вод..., 2007).

### ***Водотоки г. Н. Новгорода.***

Всего на территории г. Нижнего Новгорода протекает 12 малых рек, которые представляют собой более или менее постоянные водотоки, гидрологический режим которых, однако, находится под мощным влиянием урбанизированной среды. Кроме них, на территории города расположены около полутора десятков небольших ручьев (Экология Нижнего..., 2008).

Долины рек левобережья р. Оки в связи с его общим характером рельефа и небольшими уклонами выражены достаточно слабо, в то время как в правобережье реки имеются глубоко врезуемые долины и значительно большие продольные уклоны (Панютин, 2008).

Уровни загрязнения водотоков г. Нижнего Новгорода, как правило, превышает уровни загрязнения городских озёр. Это обусловлено прошлым или

настоящим использованием рек в качестве приемника промышленных и хозяйственных сточных вод, а также необустроенностью их водоохраных зон, на территории которых зачастую располагаются свалки, садовые и гаражные массивы, промзоны (Гелашвили и др., 2005).

Основные морфометрические, гидрологические характеристики исследуемых водотоков г. Н. Новгорода и состав основных загрязнителей их вод приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Основные характеристики исследуемых водотоков г. Н. Новгорода  
(по: Экологическое состояние..., 2005; собственные данные)

| Показатель<br>Водоток | Длина,<br>км | Площадь<br>водосбора,<br>км <sup>2</sup> | Ширина<br>русла, м | Средняя<br>глубина,<br>м | Средняя<br>скорость<br>течения,<br>м/с | Расход<br>воды, м <sup>3</sup> /с | Основные<br>загрязнители                                          |
|-----------------------|--------------|------------------------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| р. Черная             | 19,0         | 61,2                                     | 4-5                | 0,6                      | 0,2                                    | 0,24                              | Алюминий,<br>железо, марганец,<br>СПАВ                            |
| р. Левинка            | 6,1          | 11,6                                     | 2-10               | 0,7                      | 0,06                                   | 0,12                              | Железо,<br>марганец, цинк,<br>СПАВ,<br>алюминий,<br>нефтепродукты |
| Шуваловский<br>канал  | 6,65         | 54,7                                     | 1,5 –<br>361       | 2,63                     | 0,05                                   | 0,08                              | Железо,<br>марганец,<br>нефтепродукты                             |
| р. Ржавка             | 3,5          | 14,3                                     | 1,5-7              | 0,5                      | 0,5                                    | 0,72                              | Марганец,<br>железо, медь,<br>нефтепродукты                       |
| р. Борзовка           | 4,9          | 48,9                                     | 3-5                | 0,5                      | 0,2                                    | 0,02                              | Аммоний<br>солевой, железо,<br>марганец,<br>нефтепродукты         |
| р. Гниличка           | 5,6          | 133,1                                    | 2-130              | 1,9                      | 0,03                                   | 0-3,0                             | Железо,<br>марганец, медь,<br>нефтепродукты                       |
| р. Рахма              | 18,0         | 132,0                                    | 4-6                | 1,2                      | 0,5                                    | 0,1                               | Железо, аммоний<br>солевой                                        |
| р. Кова               | 11,0         | 41,0                                     | 4-6                | 0,8                      | 0,3                                    | 0,15                              | Аммоний<br>солевой,<br>алюминий,<br>железо, марганец              |
| р. Старка             | 4,6          | 11,6                                     | 1,5-3              | 0,4                      | 0,3                                    | 0,12                              | Железо,<br>алюминий,<br>аммоний солевой,<br>марганец              |

Все городские водотки испытывают значительное токсическое загрязнение. Характеристика качества вод ряда городских водотоков на основе удельного комбинаторного индекса загрязнения воды (РД 52.24.643-2002) по 18 контролируемым показателям (по данным Горкомэкологии Нижнего Новгорода) показала (таблица 2.4), что воды исследуемых водотоков относятся к классам качества 4-5 (вода «грязная» - «экстремально грязная»).

Таблица 2.4

Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) и класс качества вод некоторых водотоков г. Н. Новгорода в 2013

| Водоток     | УКИЗВ  | S <sub>n</sub> | Класс качества воды по гидрохимическим показателям |                      |
|-------------|--------|----------------|----------------------------------------------------|----------------------|
|             |        |                |                                                    |                      |
| р. Старка   | 6,38   | 1,71–2,01      | 5                                                  | экстремально грязная |
| р. Кова     | 3,42   | 1,98-2,20      | 4a                                                 | грязная              |
| р. Левинка  | 8,53   | 1,51-1,77      | 5                                                  | экстремально грязная |
| р. Параша   | 3,35   | 1,50±0,04      | 4a                                                 | грязная              |
| р. Ржавка   | 203,22 | 1,68-1,77      | 5                                                  | экстремально грязная |
| р. Борзовка | 5,61   | 1,59-2,74      | 5                                                  | экстремально грязная |

Сведения по географическим, гидрологическим и гидрохимическим характеристикам малых рек приведены по опубликованным работам (Харитонычев, 1978; Гелашвили и др., 2005; Экология Нижнего..., 2008), архивным материалам Верхневолжского управления по гидрометеорологии, МУ «Комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов г. Нижнего Новгорода», а также по материалам экологических паспортов, разработанных Региональным центром экологического образования и экспертиз при ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

Река Черная – правый приток р. Волги – протекает по северо-западной окраине г. Н. Новгорода. Исток ее находится за пределами городской черты Н.

Новгорода – в 7 км западнее пос. Березовая Пойма в болотистой холмистой местности. Общая длина реки составляет 19 км. Площадь водосбора 61,2 км<sup>2</sup>. Естественный рельеф водоохранной зоны в пределах жилой застройки изменен антропогенным воздействием: спланирован, выположен, понижения засыпаны песчаным грунтом. Растительный покров подвергается особенно сильной антропогенной нагрузке в пределах жилой застройки (Гелашвили и др., 2005).

Активная реакция воды р. Черной на исследуемом участке слабощелочная (7,3 ед). Цветность воды ниже ПДК. Вода мягкая (2,4 мг-экв/л), минерализация малая (154,0 мг/л), электропроводность – 396 мкСм/см. Содержание растворенных солей железа 2,6 ПДК. Концентрация аммонийного азота ниже рыбохозяйственных ПДК. Перманганатная окисляемость достигает 1,7 ПДК. По классификации О. А. Алекина (1970) класс воды гидрокарбонатный, группа кальциевая, тип воды IIIa.

Река Левинка – правый приток р. Волги – протекает по территории Московского и Сормовского районов г. Н. Новгорода. Длина реки составляет 6,1 км, площадь водосбора составляет 11,6 км<sup>2</sup>. Пойма реки - широкая, двухсторонняя, во некоторых местах заболочена, покрыта кустарником. Река имеет несколько прудообразных расширений на своем течении. Ширина реки до 25 метров в прудообразных расширениях, до 15 метров в середине реки, 2-3 метра в нижнем течении.

В настоящее время на значительной части водоохранной зоны рельеф изменен деятельностью человека. На пониженных участках произведена подсыпка песчаных грунтов. Естественная растительность, как и почвенный покров, в значительной степени изменены антропогенным воздействием.

В реку Левинку и ее притоки производится сброс нормативно-чистых, производственно-загрязненных и ливневых стоков трех предприятий (Гелашвили и др., 2005). Водоохранная зона р. Левинки слабо благоустроена для рекреационных целей. На качестве воды отражается также близость оживленных автодорог, жилого сектора (мало- и многоэтажная застройка), большие по

площади промзоны, располагающиеся на территории водоохранной зоны р. Левинки (Экологическое состояние водных объектов..., 2005).

Цветность воды р. Левинка в устьевом участке невысокая – 35,7°. Активная реакция воды нейтральная. Вода довольно жесткая – 4,3 мг/л, минерализация средняя – 269,6 мг/л, электропроводность – 606,5 мкСм/см. Содержание растворенных солей железа – 0,423 мг/л (4,2 ПДК), концентрация аммонийного азота – 0,593 мг/л (1,2 ПДК). По классификации О. А. Алекина (1970) класс воды хлоридный, группа кальциевая, тип воды IIIb. Перманганатная окисляемость высокая – 26,4 мг O<sub>2</sub>/л (1,8 ПДК).

По комплексу контролируемых показателей вода реки в 2001 г. соответствовала VII классу «чрезвычайно грязная» (ИЗВ – 10,39). Наименьший показатель ИЗВ (4,68) зафиксирован в устье реки, класс качества воды V, «грязная». Наибольшее значение ИЗВ (15,73) было отмечено в среднем течении, класс качества воды VII, «чрезвычайно грязная». Приоритетными для реки загрязняющими веществами являются железо, марганец, алюминий, СПАВ (Экологическое состояние водных объектов..., 2005).

Река Параша – левый приток р. Левинка, впадает в неё на расстоянии 3,2 км от устья. Река Параша имеет длину 7,5 км. В настоящее время, в результате мелиоративных и рекреационных мероприятий, выполненных в Сорновском парке, р. Параша образует Сорновское озеро с отходящим от него постепенно суживающимся участком, впадающим в р. Левинку. Цветность воды р. Параша в устьевом участке – 97°(1,9ПДК). Активная реакция воды нейтральная. Жесткость воды средняя (3,5 мг-экв/л), минерализация средняя (236,8 мг/л), электропроводность – 552,0 мкСм/см. Содержание растворенных солей железа – 0,487 мг/л (4,9 ПДК). Концентрация аммонийного азота – 0,804 мг/л (1,6 ПДК). Перманганатная окисляемость достигает 37,6 мгO<sub>2</sub>/л (2,5 ПДК). По классификации О. А. Алекина (1970) вода данной речки на устьевом участке относится к хлоридному классу, кальциевой группе, IIIb типу.

Шуваловский канал представляет собой систему озёр, искусственно созданную на месте заболоченной низины, расположенной между

железнодорожными путями московского направления и посёлками Дачный, Гвоздильный и им. Парижской Коммуны (Колкутин, 2005).

До создания рассматриваемой водной системы на её месте в болоте находилось около 15 небольших озёр. Цель создания Шуваловского канала – уменьшение заболоченности участка вдоль железнодорожного полотна для обеспечения надёжности его эксплуатации путём снижения вероятности его размыва. Поверхность водосборного бассейна озера представляет собой плоскую заболоченную равнину, поросшую кустарниковой и древесной растительностью. Вся система Шуваловских озёр соединена между собой протоками шириной 10 - 15 м и глубиной 0,4 – 0,9 м. Наполнение озера осуществляется в равной степени атмосферными осадками и грунтовыми водами – оба источника водопоступления по величине практически одинаковы (Колкутин, 2005).

Общесанитарные характеристики свидетельствуют о достаточно высокой степени загрязнения озера, вода которого отличается невысокой прозрачностью, снижающейся по мере приближения к выпуску промышленных стоков ОАО “Этна” и характеризующейся постоянством во временном интервале. При этом общее содержание органических веществ в водоёме нетипично высокое для водоёмов нашей географической зоны (Доронина, 2005).

В 2012 году Горкомэкологии Нижнего Новгорода провел химический анализ воды Шуваловского канала в районе несанкционированной свалки, расположенной на территории Шуваловской промзоны. Проведенные химические анализы показали превышение ПДК культурно-бытового значения по взвешенным веществам - в 3 раза, железу - в 10 раз, марганцу - в 4 раза, аммонии - в 3 раза, ХПК (химическое потребление кислорода) - в 3,8 раза, СПАВ - в 7 раз.

Река Ржавка – левый приток р. Оки, впадает в неё на расстоянии 6 км. от устья. Река располагается в Ленинском районе города. Длина р. Ржавки составляет 3,5 км. Ширина русла небольшая, в верхнем, среднем и нижнем течении колеблется от 3 до 5 м. Скорость течения 0,25 м/сек., расход воды – 0,72 куб. м./сек (Геохимическая оценка..., 1992). Река Борзовка является правым притоком р. Ржавки и впадает в неё на расстоянии 1 км от устья через подземный

коллектор. Исток р. Ржавка расположен в 64 метрах от входа в подземный коллектор Шуваловского канала. Этот коллектор заканчивается около дома №1 ул. Лейтенанта Шмидта, и воды Шуваловского канала, соединяясь с р. Ржавкой, впадают в следующий подземный коллектор, заканчивающийся в километре от устья р. Ржавки. В этот коллектор добавляет воды Нижегородский метрополитен. Также на этом участке в р. Ржавку впадает ручей, вытекающий из небольшого, частично заросшего, запруженного участка. Далее р. Ржавка течёт открытым водотоком. Таким образом, р. Ржавка состоит из 3-х чётко различающихся между собой участков: верхний, с низким уровнем воды и слабой скоростью течения, средний, представленный подземным коллектором и нижний, где происходит слияние вод р. Борзовка, стока из пруда и коллектора верхнего течения с высокой скоростью течения. На всём протяжении реки по берегам находятся стихийные свалки металлолома и бытовых отходов. На большом протяжении реки по берегам расположены гаражные массивы.

Исследования Горкомэкологии Н. Новгорода в 2000 г. выявили превышение в водах р. Ржавки ПДК по нефтепродуктам (в 16,3 раза), меди (в 23,7 раза), марганца (65,3 ПДК), железа (194,6 ПДК).

Река Борзовка – правый приток р. Ржавки. Реку пересекают многочисленные мосты, под мостами река забрана в трубы. Высота берегов 2,5 м, берега значительно замусорены. Пойма в некоторых местах отсутствует. Ширина русла – до 4 м. В настоящее время водосбор р. Борзовки полностью застроен жилыми массивами. С точки зрения гидрологии, р. Борзовка представляет собой полностью деградированный водоток, переполненный естественными и антропогенными отложениями и захламленный ТБО (Карандашова, 2002).

В реку Борзовку осуществляют сброс дренажных и ливневых стоков 8 предприятий. Превышение ПДК наблюдалось по азоту аммонийному, железу, СПАВ, марганцу. Высокое содержание железа объясняется сбросом в этот водоем грунтовых вод со скважин водопонижения Нижегородского метрополитена.

Река Гниличка – левый приток р. Оки, впадает в нее в 23 км от устья. Берет начало из болот восточнее дамбы биологических прудов-отстойников

Игумновской промзоны. Площадь водосбора р. Гнилички составляет 132 км<sup>2</sup>. Средняя высота поверхности водосбора – от 75 до 78 м БС. Длина реки 18 км. На 6-м километре от устья в р. Гниличку впадает с левого берега р. Вьюница длиной 10 км и площадью водосбора, равной 34,8 км<sup>2</sup>. Наибольшая заболоченность (до 60%) наблюдается непосредственно в долине реки, главным образом, в ее верхнем течении. Исток реки располагается в болотистой холмистой местности, являющейся левобережной поймой р. Оки.

Естественный рельеф водоохраной зоны в пределах жилой застройки пос. Нагулино, пос. Гнилицы и садов изменен антропогенным воздействием. В русле реки располагаются два прудообразных расширения.

В целом кислородный режим водной системы р. Гнилички можно охарактеризовать как неблагоприятный, особенно в придонном горизонте сильно заболоченных участков (6,00 мг/дм<sup>3</sup> – поверхность и 4,37 мг/дм<sup>3</sup> – дно). Значение рН в пределах 6,77 – 7,96 (поверхность) и 6,71 – 7,92 (дно). Вода умеренно жесткая, средние величины составляют 3,24 мг\*экв/дм<sup>3</sup> и 3,68 мг\*экв/дм<sup>3</sup> у поверхности и дна соответственно. По соотношению главных ионов вода относится к гидрокарбонатному классу, группе кальция. Средний уровень содержания железа общего на отдельных участках составляет 4 ПДК на поверхности и 7 ПДК у дна. Средние концентрации меди на поверхности и у дна составляют 4 и 5 ПДК соответственно. Содержание цинка составляет 0,2 – 0,25 ПДК у поверхности и 0,3 – 3,8 ПДК у дна. Средняя концентрация марганца 9 ПДК у поверхности и 12 ПДК у дна.

Воды р. Гнилички характеризуются повышенным, по сравнению с природным, содержанием азота аммонийного (в 3,9 – 25,2 раза), сульфатов (в 1,1 – 1,2 раза) и железа общего (1,2 раза), показателей ХПК (1,8 – 2,5 раза) и БПК<sub>5</sub> (в 1,5 раза).

Качество воды варьирует от IV класса «загрязненных» до V класса «грязных» вод. Приоритетными загрязняющими веществами являются медь, марганец, железо общее, цинк, нитритный и аммонийный азот, нефтепродукты,

средние концентрации которых изменяются от 1,0 до 8 ПДК. (Экологическое состояние..., 2005).

Река Рахма - правый приток речной части Чебоксарского водохранилища. Берет свое начало из подземных источников в заболоченной низине, находящейся в Приокском р-не Нижнего Новгорода. Имеет длину 18 км, площадь бассейна 132 км<sup>2</sup>. Река принимает 13 притоков длиной менее 10 км, которые в сумме составляют 27 км. При анализе гидрологических характеристик речной системы рек нагорной части г. Н. Новгорода следуют иметь в виду, что они могут значительно изменяться из-за инженерной деятельности и работ коммунальных служб.

Активная реакция воды р.Рахма у н. п. Ельня щелочная (7,8 ед). Цветность воды ниже ПДК. Вода жесткая (8,4 мг-экв/л), минерализация повышенная (515,5 мг/л). Содержание растворенных солей железа низкое. Концентрация аммонийного азота немного выше ПДК. Перманганатная окисляемость составляет 1,5 ПДК. Класс воды гидрокарбонатный (Алекин, 1970), группа воды магниевая, тип IIIa (Гелашвили и др., 2005).

Река Кова имеет длину 11 км, общую плотность водосбора 41 км<sup>2</sup>. Имеет 10 притоков общей длиной 16 км. Является левым притоком Рахмы. Начало реки родниковое в северной части плато на ул. Ковалихинская. Берега реки заросли кустарником и отдельностоящими деревьями лиственных пород. По левому берегу, со стороны ул. Ковровской, из трубы  $d=0,8$  м производится сброс канализационных вод завода им. И.Г. Петровского. Дно реки достаточно ровное, песчаное, отдельные участки дна покрыты сероватым налетом, местами дно топкое, покрыто илом и различным мусором.

Река Старка берет свое начало небольшим ручейком от АЗС, находящейся между ННГУ (проспект Гагарина, д. 23) и плавательном бассейном «Дельфин». Впадает в Кову. Длина реки около 11 км. Процесс естественного протекания реки нарушен, так как прокладка через нее переездов и тротуаров производилась без учета ее гидрологических характеристик. Река принимает 10 притоков. Загрязнение р. Старки в основном определяется нефтепродуктами, а также

соединениями железа и марганца. В последнем случае необходимо учитывать повышенный природный фон этих элементов. Цветность воды слабая.

*Таким образом, водосборные площади всех изучаемых водотоков в значительной мере преобразованы и загрязнены. К основным загрязнителям вод относятся нефтепродукты, соли тяжелых металлов, легко окисляемые органические вещества. На акватории Чебоксарского водохранилища наиболее загрязненными являются воды ниже впадения р. Оки. Правый приток водохранилища р. Кудьма более загрязнен, чем его левый приток – р. Линда. Наибольшую антропогенную нагрузку испытывают малые водотоки, расположенные на территории г. Н. Новгорода. Качество их вод, оцененное по гидрохимическим показателям, находилось в пределах 4-5 класса («грязные» и «экстремально грязные» воды).*

### Глава 3. Материалы и методы исследования

Материалом для работы послужили пробы зоопланктона, отобранные в период с 2012 по 2015 г. Сбор материала производился как при проведении маршрутных съемок, так и при стационарных сезонных наблюдениях (таблица 3.1). Первичные материалы маршрутной съемки Чебоксарского водохранилища в 2011 г. любезно предоставлены научным руководителем, д.б.н., профессором каф. экологии ННГУ Шургановой Г.В.

Таблица 3.1

Общая характеристика материала, результаты анализа которого вошли в диссертацию

| Тип исследований                    | Водоем, водоток                           | Район исследований                                   | Период исследований | Количество проб  |                |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------|------------------|----------------|
|                                     |                                           |                                                      |                     | «количественные» | «качественные» |
| 1. Маршрутные съемки                | Чебоксарское водохранилище                | Плотина Нижегородской ГЭС – плотина Чебоксарской ГЭС | 2011                | 28               | 5              |
|                                     | р. Кудьма                                 | н.п. Митино – устье                                  | 2012                | 9                | 5              |
|                                     | р. Линда                                  | н.п. Zubovo – устье                                  | 2012                | 12               | 5              |
|                                     | Водотоки г. Н. Новгорода                  | –                                                    | 2014                | 72               | 10             |
| 2. Стационарные сезонные наблюдения | р. Кудьма                                 | н.п. Митино – устье                                  | 2013                | 54               | 15             |
|                                     | Чебоксарское водохранилище                | Верхняя речная часть                                 | 2015                | 30               | 12             |
|                                     | Чебоксарское водохранилище и устье р. Оки | В границах г. Н. Новгорода                           | 2015                | 53               | 27             |
|                                     | Водотоки г. Н. Новгорода                  | р. Старка, р. Кова, р. Рахма                         | 2015                | 104              | 26             |
| <b>Всего</b>                        |                                           |                                                      |                     | <b>362</b>       | <b>90</b>      |

Отбор проб на акватории Чебоксарского водохранилища и глубоководных участках обследованных водотоков осуществлялся путём тотальных обловов от дна до поверхности с помощью количественной сети Джели (диаметр входного отверстия 18 см, капроновое сито № 64). На мелководных участках малых

водотоков пробы отбирались путем процеживания через сеть Апштейна (газ №64) 100-200 л воды. Отобранные пробы фиксировались 40%-м раствором формалина и этикетировались.

Обработка материала проводилась общепринятым в практике гидробиологических исследований счетно-весовым методом (Киселев, 1969; Методические рекомендации..., 1984). Виды зоопланктона идентифицировали с использованием ряда определителей и руководств (Кутикова, 1970, 2005; Определитель пресноводных..., 1995; Коровчинский, 2004; Определитель зоопланктона..., 2010 и др.). Счёт количества организмов производился в камере Богорова под стереомикроскопом Carl Zeiss Stemi 2000C, также использовался микроскоп Meiji Techno MT4200L. При подсчете производилось также измерение размеров 30 особей каждого вида.

Данные по численности представлены как количество организмов в единице объёма (экз./м³). Расчёт производился по формуле:

$$N = (n \times 39,32) / h, \quad (3.1)$$

где  $N$  – количество организмов в 1 м³ воды, экз./м³;  $n$  – количество организмов в пробе, экз;  $h$  – глубина отбора пробы, м.

Биомассу зоопланктона определяли умножением числа организмов каждого вида на их индивидуальную массу:

$$B = N \times m, \quad (3.2)$$

где  $B$  – биомасса зоопланктона в 1 м³ воды, г/м³;  $N$  – количество организмов в 1 м³ воды, экз. /м³;  $m$  – индивидуальная масса организмов, мг.

Для расчета индивидуальной массы ( $W$ , мг) ракообразных использовалась формула зависимости между длиной и массой (Балушкина, Винберг, 1979):

$$W = g \times l^b, \quad (3.3)$$

где  $l$  – длина тела животного (мм),  $g$  – масса при длине, равной 1 мм,  $b$  – степенной коэффициент.

Для оценки видовой структуры ценозов использовались индекс доминирования Ковнацкого-Паля (Баканов, 1987):

$$D = 100 \times P_i \frac{n_i}{\sum_{i=1}^S n_i}, \quad (3.4)$$

где  $\frac{n_i}{\sum_{i=1}^S n_i}$  – относительное обилие,  $P_i$  – частота встречаемости (%)  $i$ -го вида (отношение числа проб, на которых вид встретился, к общему числу проб). При  $D = 100-10$  вид является доминантом,  $D = 10-1$  – субдоминантом,  $D = 1-0,1$  – адоминантом группы  $a$ ;  $D = 0,1-0,01$  адоминантом группы  $b$  (Баканов, 1987).

Для оценки сходства видового состава применяли индекс сходства Сьёренсена (Sørensen, 1948):

$$J = \frac{2C}{A+B}, \quad (3.5)$$

где  $C$  – число общих видов,  $A$  и  $B$  – числа видов двух списков.

Для оценки видового разнообразия использовался информационный индекс Шеннона (Shannon, Weaver, 1949):

$$\bar{H} = -\sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i, \quad (3.6)$$

где  $S$  – общее число видов в пробе,  $p_i$  – доля  $i$ -го вида от общей численности (или биомассы) всех видов в пробе, или удельное обилие каждого вида.

Выравненность оценивалась с помощью индекса Пиелу (Pielou, 1966):

$$e = \frac{\bar{H}}{\log_2 S}, \quad (3.7)$$

где  $\bar{H}$  – индекс видового разнообразия Шеннона,  $S$  – число видов;

Для оценки качества воды использовался индекс сапробности Пантле и Букка в модификации Сладечека (Pantle, Buck, 1955; Sladeček, 1973, 1993) с применением списков индикаторных организмов (Унифицированные методы исследования качества вод, 1976; Wegl, 1983):

$$S = \frac{\sum(h \times s)}{\sum h}, \quad (3.8)$$

где  $s$  – индекс сапробности индикаторного вида,  $h$  – значимость (численность или биомасса) индикаторного вида. Для установления класса качества воды на основе индекса сапробности использовали «Правила контроля качества воды в водоемах и водотоках» (ГОСТ 17.1.3.17-82) (таблица 3.2).

Соответствие индекса сапробности Пантле и Букк классам качества вод водоемов и водотков (по: ГОСТ 17.1.3.17-82)

| Класс воды | Воды                  | Индекс сапробности по Пантле и Букку |
|------------|-----------------------|--------------------------------------|
| I          | Очень чистые          | <1,00                                |
| II         | Чистые                | 1,00-1,50                            |
| III        | Умеренно загрязнённые | 1,51-2,50                            |
| IV         | Загрязнённые          | 2,51-3,50                            |
| V          | Грязные               | 3,51-4,00                            |
| VI         | Очень грязные         | >4,00                                |

Примечание. Индекс сапробности равен:

- в ксеносапробной зоне 0 – 0,5 (совершенно чистые воды);
- в олигосапробной – 0,51 – 1,5; (чистые)
- в  $\beta$ -мезосапробной - 1,51 - 2,50 (воды умеренного загрязнения);
- в  $\alpha$ -мезосапробной - 2,51 - 3,50 (грязные);
- в полисапробной зоне 3,51 - 4,50 (очень грязные).

Кроме общепринятых и традиционно используемых в экологических исследованиях показателей видовой структуры и индексов, в работе для упорядочивания и классификации отобранного материала использовался ряд методов ординации и кластерного анализа.

**Метод многомерного векторного анализа.** При анализе составленных нами баз данных, содержащих сведения о численности и биомассе видов зоопланктона, в работе применялся многомерный векторный анализ, предложенный для анализа сходства видовой структуры сообществ зоопланктона Г.В. Шургановой и В.В. Черепенниковым (Шурганова, Черепенников, Артельный, 2003 а,б; 2005; Черепенников, Шурганова, Артельный, 2003, 2004; Шурганова, Черепенников, 2004, 2006 а,б; Черепенников и др., 2004; Шурганова и др, 2005; Шурганова, 2007а, 2007б).

В основе предложенного подхода лежит интерпретация пробы в терминах многомерной геометрии. Проба может быть представлена точкой в многомерном пространстве (гиперпространстве). Каждой  $i$ -ой популяции вида гидробионтов, определённых в пробе, сопоставляется соответствующая  $i$ -ая ось  $N$ -мерной ортогональной системы координат. Отображение  $j$ -ой пробы в многомерном

пространстве представляется в этом случае точкой  $A_j$  ( $\alpha_{1j}, \alpha_{2j}, \alpha_{3j} \dots \alpha_{Nj}$ ), где  $\alpha_{ij}$  – численность или биомасса популяции  $i$ -го вида в  $j$ -ой пробе как значение  $i$ -ой координаты в  $N$ -мерной ортогональной системе координат (Шурганова, 2007а). Таким образом, координаты  $i$ -ой точки содержат в себе полные сведения, имеющиеся в базе данных (списках видов с указанием их численностей). Мерность пространства будет равна общему числу видов, а расстояние между точками в  $N$ -мерном пространстве характеризует степень близости проб (рисунок 3.1). Области сгущения точек определяют отдельные сообщества.

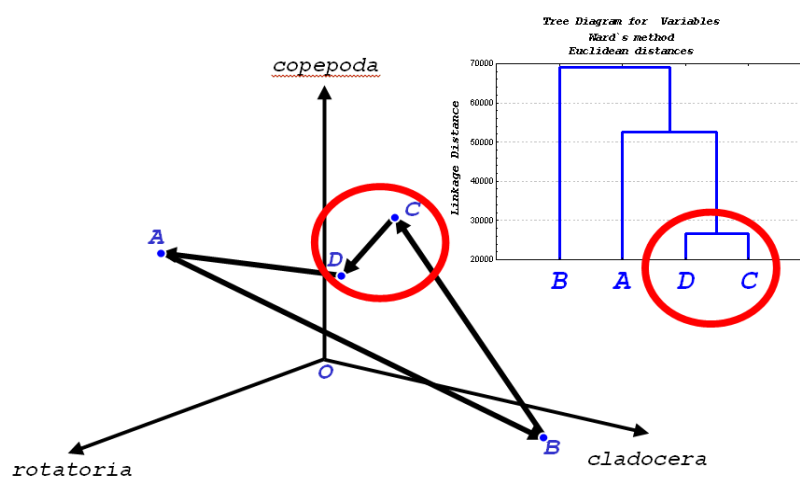


Рисунок 3.1. Представление проб зоопланктона в пространстве численностей основных таксономических групп (по: Г.В. Шурганова, 2007)

В.В. Черепенниковым, Г.В. Шургановой и Е.В. Артельным (2003) было предложено соотносить не точки в многомерном пространстве, а векторы, соединяющие начало координат и эти точки.

Каждой  $i$ -ой пробе может быть сопоставлен вектор  $A_j$ , начинающийся в начале системы координат и заканчивающийся в точке  $A_j$ . Компоненты единичного вектора  $A_{jl}$  –  $\alpha_{ij}$ , равные долям численности  $i$ -го вида в общей численности, находятся известным образом:  $\alpha_{ij} = \frac{\alpha_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \alpha_{ij}^2}}$  (Шурганова, 2007а).  $J$ -ая

и  $k$ -ая пробы считаются принадлежащими к одному ценозу, если достаточно близки векторы  $A_{jl}$  и  $A_{kl}$ . Близость направления векторов характеризуется

косинусом угла между ними (от 0 для зоопланктоценозов, не содержащих общих видов, до 1 для зоопланктоценозов с идентичной видовой структурой).

Полученная в результате таблица со значениями мер сходства близости векторов для каждой пары проб представляет собой матрицу сходства, которую можно визуализировать в виде диаграммы (белый цвет соответствует значениям, близким к нулю, черный – значениям, близким к единице, а серый – промежуточным значениям; размещение элементов диаграммы по строкам и столбцам соответствует номерам станций), а также представить в виде построенной на её основе дендрограммы (рисунок 3.2).

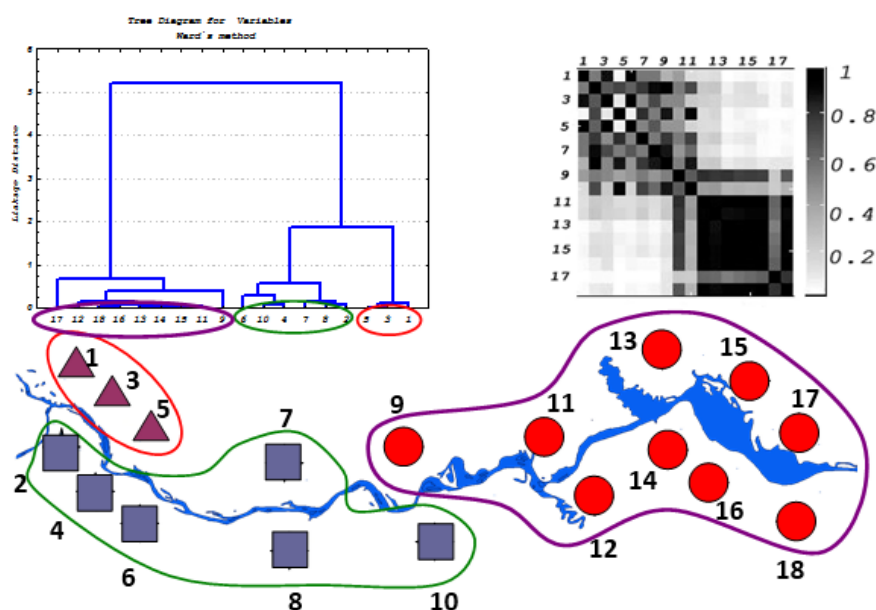


Рисунок 3.2. Диаграмма кластеров точек, изображающих ценозы в многомерном пространстве численностей видов, визуализация мер сходства видовой структуры зоопланктона по станциям отбора проб и пространственное размещение основных зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища в 1982 г. (по: Шурганова, 2007б).

В работе нами используются оба вида представления результатов многомерного векторного анализа. Таким образом, выделяются отдельные участки водного объекта, зоопланктон которых характеризуется сходством видовой структуры, и которые можно считать областями расположения зоопланктоценозов.

Использование косинуса угла как меры сходства видовой структуры, его сравнение с традиционными метриками сходства, а также вопросы выбора оптимального метода построения дендрограмм и оптимального числа кластеров в

финальной классификации подробно рассматриваются в гл. 5 на примере анализа видовой структуры сообществ зоопланктона малой р. Линда.

**Ординационные методы.** Для ординации данных использовали метод неметрического многомерного шкалирования (NMDS), а также метод анализа избыточности (RDA).

*Метод неметрического многомерного шкалирования* позволяет проецировать сообщества в некотором пространстве малой размерности (в нашем случае – двумерном), так, чтобы попарные расстояния между ними в этом пространстве как можно меньше отличались от реальных мер близости сообществ. Для этого выполняется последовательность итераций для минимизации критерия D, оценивающего степень сходства между исходной и моделируемой матрицами расстояний. Считается, что этот метод дает наиболее адекватные результаты, особенно для больших матриц с сильными шумами, и не требует от исходных данных никаких априорных предположений о характере статистического распределения (Шитиков, Зинченко, Розенберг, 2011; Шитиков, Розенберг, 2013).

*Анализ избыточности.* Анализ избыточности (RDA, *redundancy analysis*) является одним из методов канонической ординации (Rao, 1964; Legendre, Legendre, 1998; цит. по: Шитиков, Розенберг, 2013). Каноническая ординация позволяет выполнить совместную обработку двух или более наборов данных и проверить статистические гипотезы о значимости как внутренних взаимодействий, так и о влиянии внешних факторов. Концептуально канонический анализ позиционируется как расширение регрессионного анализа при моделировании многомерного отклика данных:

$$Y = f(X),$$

где  $Y$  - матрица  $m \times n$ , содержащая центрированные значения обилия  $y_{ij}$  по  $m$  видам (строки) и  $n$  местообитаниям, или пробам (столбцы);  $X$  – матрица  $q \times n$ , в которой  $j$ -я строка содержит центрированные значения фактора среды  $x_{kj}$ .

Термин «избыточность» является синонимом «объясненной дисперсии» (Legendre, Legendre, 1998). Анализ избыточности основан на общей линейной

модели регрессии и является канонической формой метода главных компонент (РСА). Технически эта процедура выглядит следующим образом (Шитиков, Розенберг, 2013):

- рассчитывается регрессия каждой переменной  $y_i$  на таблицу факторов  $X$ , в результате чего вычисляются предикторные значения  $y_{ij}$  и остатки  $y_{res}$ ;
- выполняется РСА-анализ матрицы  $\hat{Y}$  и вычисляются канонические собственные значения и собственные векторы  $U$ ;
- матрица  $U$  используется для расчета компонентов ординации двух типов: общих взвешенных сумм счетов объектов (или scores  $YU$ ) и сумм счетов, обусловленных линейными комбинациями влияющих факторов среды (или site constraints  $\hat{Y}U$ );
- РСА-анализ выполняется также с матрицей остатков множественной регрессии  $Y_{res}$  и рассчитываются оси главных компонент, независимые (unconstrained) от влияния внешних факторов.

Диаграммы ординации, полученные с помощью анализа избыточности (RDA), как и в случае с анализом главных компонент РСА, представляют собой совмещенный график, где точки видов находятся в центрах тяжести распределения их популяционной плотности, а координаты местообитаний (проб) определяются взвешенной комбинацией обилия характерных для них видов (Шитиков, Розенберг, 2013). Однако, в каноническом анализе характер распределения  $\{y_{ki}\}$  дополнительно описывается с помощью гауссовой модели отклика, в которой объясняющая переменная является линейной комбинацией факторов окружающей среды  $\{c_k \times x_{ji}\}$ .

Результирующая диаграмма ("триплет") отражает не только изменчивость видового состава относительно двух осей проецирования  $F_1$ - $F_2$ , но и статистические связи между видами и каждой независимой переменной  $\{x_{ji}\}$ . Для этого из центра координат стрелками проводятся дополнительные оси физических градиентов, ориентация которых зависит от значений канонических собственных векторов. Переменные среды, обозначаемые длинными стрелками, сильнее связаны с осями ординации  $F_1$ - $F_2$ , чем факторы, обозначаемые короткими

стрелками и, следовательно, более значимо определяют изменчивость структуры экосистемы (Шитиков, Розенберг, 2013).

Проекция точки вида на каждую стрелку показывает экологический оптимум (точнее, центр тяжести распределения обилия) этого вида относительно анализируемого физического фактора. Если виды представить стрелками, исходящими из начала координат, то косинус угла между стрелкой вида и стрелкой фактора среды приблизительно равен коэффициенту корреляции между ними. Кроме того, стрелки, имеющие примерно одно направление, свидетельствуют о значимой положительной корреляции; стрелки, пересекающиеся под прямым углом, говорят о корреляции, близкой к нулю; стрелки, имеющие примерно противоположное направление, указывают на высокую отрицательную корреляцию (Шитиков, Розенберг, 2013).

Все расчеты проводились в среде R (R Core Team, 2015), с применением пакетов программ Excel, STATISTICA 10 (Халафян, 2007), а также с использованием программы «FW-Zooplankton», разработанной в Лаборатории экологии водных беспозвоночных ИБВВ РАН (Болотов, 2012).

#### **Глава 4. Методы сравнительной оценки результатов кластерного анализа видовой структуры гидробиоценозов (на примере зоопланктона реки Линда Нижегородской области)**

В современной экологии существует значительное количество различных методов, позволяющих оценить степень сходства видовой структуры отдельных сообществ или ряда выборок (проб) в зависимости от специфики объекта исследования и задач, стоящих перед исследователями. Их можно разделить на две большие группы: качественные индексы (основанные только на видовом составе) и количественные, которые учитывают еще и меру представленности каждого вида, например, их численность, биомассу и т.д.

При работе с большим количеством проб часто возникают задачи их упорядочивания и классификации. Первая задача решается методами ординации, вторая – методами классификации (кластерный анализ). В последние годы оба этих направления активно развиваются. В частности, для кластерного анализа описаны подходы к количественному обоснованию метода объединения объектов в группы (Legendre, Legendre, 2012), а также к выбору оптимального числа кластеров в финальной классификации (Borcard, Gillet, Legendre, 2011). Кроме того, предложено большое число методов измерения сходства гидробиологических проб (Песенко, 1982; Jost, Chao, Chazdon, 2011; Legendre, Legendre, 2012).

Цель данной главы – проанализировать современные методические подходы к проведению кластерного анализа сообществ на основании их сходства, измеренного с помощью евклидова расстояния, косинуса угла между векторами, а также количественного индекса сходства Ренконена. Эти методы иллюстрированы примерами классификации проб зоопланктона малого притока речной части Чебоксарского водохранилища р. Линда (рисунок 4.1). Видовая структура и пространственное размещение сообществ зоопланктона р. Линда более подробно описаны в гл. 6.

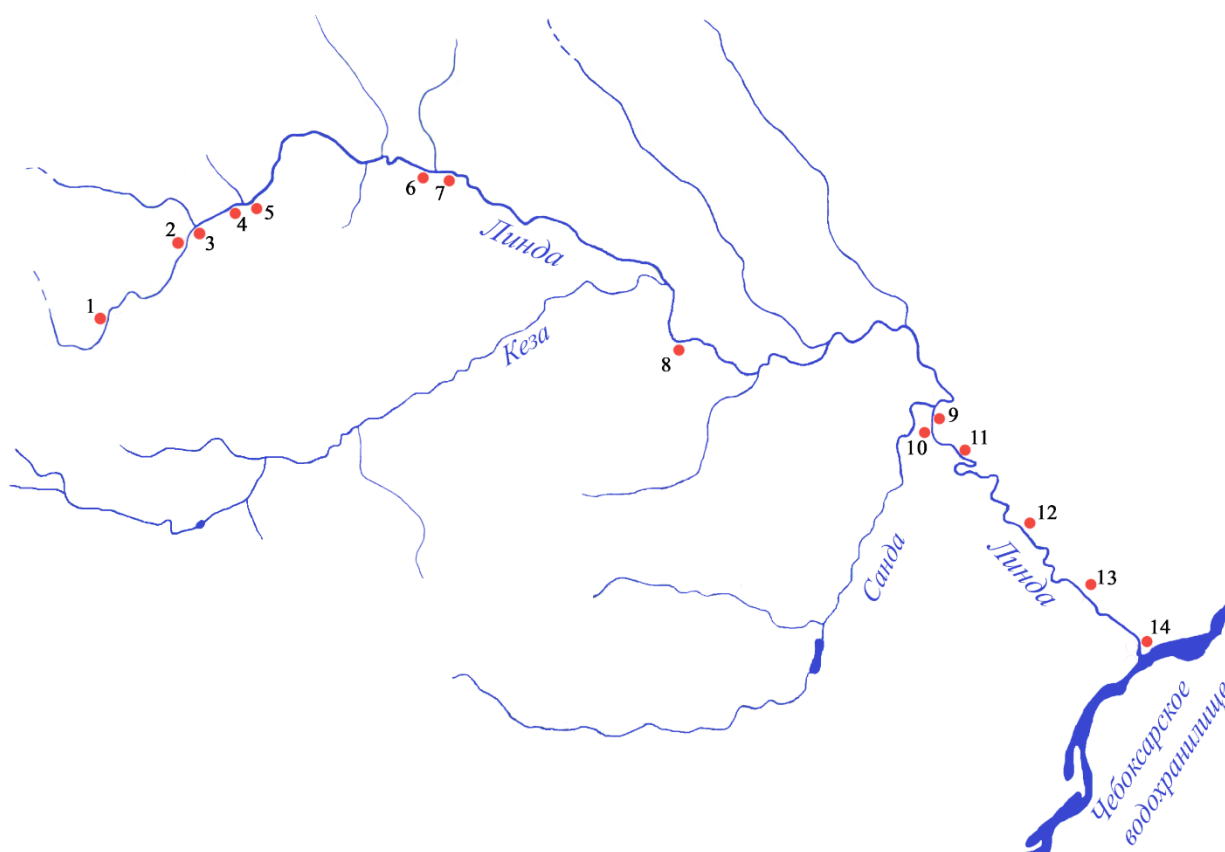


Рисунок 4.1. Схема расположения станций отбора проб зоопланктона на акватории р. Линда в 2012 г.: 1 – д. Зубово, 2 – д. Большая Дуброва, 3 – д. Клопиха, 4 – д. Плюхино, выше впадения руч. Безымянный, 5 – д. Плюхино, ниже впадения руч. Безымянный, 6 – д. Тарасиха, выше устья р. Ифтенка, 7 – д. Тарасиха, ниже устья р. Ифтенка, 8 – д. Остреево, 9 – д. Зуево, ниже устья р. Санда, 10 – пос. Железнодорожный, 11 – ст. Киселиха, 12 – д. Линдо-Пустынь, 13 – ст. Толоконцево, 14 – устье р. Линда.

Основная цель кластерного анализа – классификация объектов, которые представлены множеством переменных, хотя кластеризации могут быть подвергнуты и одномерные данные (Олдендерфер, Блэшфилд, 1989). Среди большого разнообразия алгоритмов кластерного анализа в экологии наибольшее распространение получили методы иерархической агломеративной кластеризации, осуществляющие последовательное объединение объектов в группы. Основным результатом этого анализа служит последовательность объединения объектов, которую обычно визуализируют дендрограммой. Под термином “кластерный анализ” в настоящей работе понимаются именно иерархические агломеративные алгоритмы.

Исходными данными для проведения кластерного анализа служит матрица расстояний между объектами, сформированная с использованием той или иной метрики. Распространенной мерой удаленности объектов друг от друга служит евклидово расстояние (Олдендерфер, Блэшфилд, 1989). Мы рассматриваем проблему классификации  $M$  проб из некой их совокупности (одного или нескольких сообществ). Если в результате гидробиологической съемки во всех пробах обнаружено  $S$  видов, то каждый  $i$ -й вид характеризуется относительной представленностью в пробе  $p_i = n_i/N$ , где  $n_i$  – численность или биомасса организмов данного вида,  $N$  – суммарная численность или биомасса всех организмов в данной пробе. В этом случае евклидово расстояние ( $D_E$ ) между двумя пробами в многомерном пространстве из  $S$  видов рассчитывают следующим образом:

$$D_E = \sqrt{\sum_{i=1}^S (p_{i1} - p_{i2})^2}, \quad (4.1)$$

где  $p_{i1}$  и  $p_{i2}$  – относительные представленности  $i$ -го вида в первой и второй сравниваемых пробах соответственно.

В экологии для измерения сходства сообществ традиционно применяют качественные (например, Жаккара и Сёренсена) и количественные индексы (например, Брэя-Кёртиса и Мориситы-Хорна) (Песенко, 1982). Индексы сходства представляют собой безразмерные величины, измеряющие сходство от 0 до 1. Каждому индексу сходства соответствует индекс различия (расстояние), дополняющий индекс сходства до единицы. В настоящей работе мы будем использовать индекс Ренконена ( $D_R$ ), с помощью которого расстояние между пробами измеряется следующим образом (Jost, Chao, Chazdon, 2011):

$$D_R = 1 - \sum_{i=1}^S \min(p_{i1}, p_{i2}). \quad (4.2)$$

Сравнительно новый подход к измерению расстояния между пробами – использование косинуса угла ( $D_S$ ) между векторами натуральных либо относительных представленностей (Черепенников, Шурганова, Артельный, 2003; Черепенников и др., 2004; Шурганова, Черепенников, 2011):

$$D_s = \frac{\sum_{i=1}^S p_{i1} \cdot p_{i2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^S p_{i1}^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^S p_{i2}^2}}, \quad (4.3)$$

После расчета матрицы расстояний между объектами применяют следующий алгоритм последовательного объединения проб в кластеры. На первом шаге в кластер объединяются две пробы, находящиеся на наименьшем расстоянии. Это расстояние фиксируется как расстояние объединения этих двух проб. Кластер из двух объединенных проб считается новым объектом, для которого рассчитывается расстояние до всех остальных проб. В новой матрице расстояний находится минимум и следующие два объекта объединяются в кластер на соответствующем расстоянии. Этими объектами могут быть как исходные пробы, так и ранее сформированные кластеры. Процедуры пересчета матрицы расстояний и объединения повторяются до тех пор, пока все пробы не будут объединены в общий кластер.

Для реализации описанного алгоритма необходимо определить метод расчета расстояний между группами проб (кластерами). Наиболее распространены три способа (Олдендерфер, Блэшфилд, 1989): метод ближнего соседа (метод одиночной связи) – наименьшее расстояние между всеми парами объектов, входящих в кластеры; метод дальнего соседа (метод полной связи) – наибольшее расстояние между всеми парами объектов, входящих в кластеры; метод средней связи – среднее расстояние между всеми парами объектов, входящих в кластеры. Немного особняком стоит метод Уорда, основанный на минимизации суммы квадратов расстояний между объектами внутри объединяемых кластеров. При использовании этого метода расстояние между кластерами рассчитывается как квадратный корень из разности между нормированными суммами квадратов объединенного и исходных кластеров.

Все методы расчета расстояний обладают достоинствами и недостатками, не существует универсальных рекомендаций относительно выбора того или иного метода применительно к конкретному анализу. Тем не менее, предложено два количественных способа обоснования выбора метода, основанных на анализе

кофенетических расстояний. Кофенетическим называется расстояние между исходными объектами, соответствующее полученной иерархической классификации, т.е. это расстояние, на котором два объекта объединены в один кластер (Jain, Dubes, 1988). Аналогично исходным расстояниям кофенетические расстояния также можно представить в виде матрицы.

Первый подход к обоснованию выбора метода объединения состоит в расчете коэффициента кофенетической корреляции, который представляет собой обычный коэффициент корреляции Пирсона (можно использовать также другие коэффициенты, например, Спирмена или Кенделла) между значениями исходных и кофенетических расстояний (Legendre, Legendre, 2012; Sokal, Rohlf, 1962). Чем выше коэффициент корреляции, тем меньшие искажения вносятся в структуру данных при кластеризации. Соответственно предпочтение отдается методу с наибольшей кофенетической корреляцией. Коэффициенты кофенетической корреляции не могут сравниваться статистически, поскольку матрицы расстояний не независимы.

Второй подход заключается в расчете так называемого расстояния Говера между матрицами исходных и кофенетических расстояний (Gower, 1983; Legendre, Legendre, 2012). Расстояние Говера представляет собой сумму квадратов разностей соответствующих расстояний. Имеет смысл сравнивать только расстояния Говера, полученные для разных методов объединения на основе одной и той же матрицы исходных расстояний. Чем меньше расстояние Говера, тем лучше иерархическая классификация отражает структуру данных.

Для визуализации искажений, вносимых иерархической классификацией, используют графики Шепарда (Shepard, 1962), на которых по одной оси отложены исходные расстояния, по другой – кофенетические. Обычно на этих графиках отображают биссектрису координатного угла, вдоль которой соответствие между исходным и кофенетическим расстояниями максимально.

Финальный этап кластерного анализа – выбор числа групп, на которые следует разделить совокупность объектов. Обычно такой выбор делают экспертно на основании анализа структуры дендрограммы, при этом учитывают

“осмысленность” выделяемых групп. Для количественного обоснования оптимального числа кластеров предложено два относительно новых подхода: на основе анализа силуэтов и на основе бинарных матриц принадлежности к кластерам (Borcard, Gillet, Legendre, 2011; Legendre, Legendre, 2012; Rousseeuw, 1987).

Ширина силуэта  $i$ -го объекта ( $s_i$ ) определяется следующим образом:

$$s_i = \frac{b_i - a_i}{\max(b_i, a_i)}, \quad (4.4)$$

где  $a_i$  – среднее расстояние между  $i$ -м объектом и всеми членами кластера, которому он принадлежит (если объект в кластере один, то  $a_i = 0$ ),  $b_i$  – среднее расстояние между  $i$ -м объектом и членами другого ближайшего кластера (на практике рассчитывается среднее расстояние до членов всех остальных кластеров и выбирается минимум). Ширина силуэта характеризует степень принадлежности данного объекта кластеру и может варьировать от  $-1$  до  $1$ . Если она близка к единице, объект находится фактически в центре кластера и его принадлежность к нему не вызывает сомнений. Если  $s_i$  близко к нулю, объект лежит между двумя кластерами. Отрицательные значения  $s_i$  свидетельствуют о вероятной неверной классификации объекта (Rousseeuw, 1987). Для всех объектов классификации рассчитывают ширину силуэта, чем выше этот показатель, тем надежнее классификация. Затем вычисляют среднюю ширину силуэта для числа кластеров от 2 до  $M$ . Оптимальной считается классификация с наименьшей средней шириной силуэта (Borcard, Gillet, Legendre, 2011).

Другой подход основан на анализе коэффициентов корреляции Мантеля между матрицей исходных расстояний и бинарной матрицей, задающей принадлежность объектов к кластерам (Borcard, Gillet, Legendre, 2011). Бинарная матрица тоже служит своего рода матрицей расстояний, ее элементы – нули, если объекты принадлежат разным кластерам, и единицы – в случае принадлежности объектов одному кластеру. Чем выше корреляция между исходной и бинарной матрицами, тем лучше классификация. В рамках данного подхода технически коэффициент корреляции Мантеля вычисляется как обычный коэффициент

корреляции Пирсона между соответствующими расстояниями. Аналогично коэффициентам кофенетической корреляции, коэффициенты корреляции Мантеля не подлежат статистическому анализу, поскольку матрицы не независимы. Они используются только для сравнительного анализа.

В целях иллюстрации описанных подходов к классификации сообществ проведен кластерный анализ зоопланктона р. Линда с использованием трех метрик сходства. Результаты, полученные разными методами, в значительной степени сходны, они представлены для варианта классификации на основе косинуса угла между векторами.

Дендрограммы иерархической классификации с применением четырех разных методов объединения отражают специфику этих методов (рисунок 4.2).

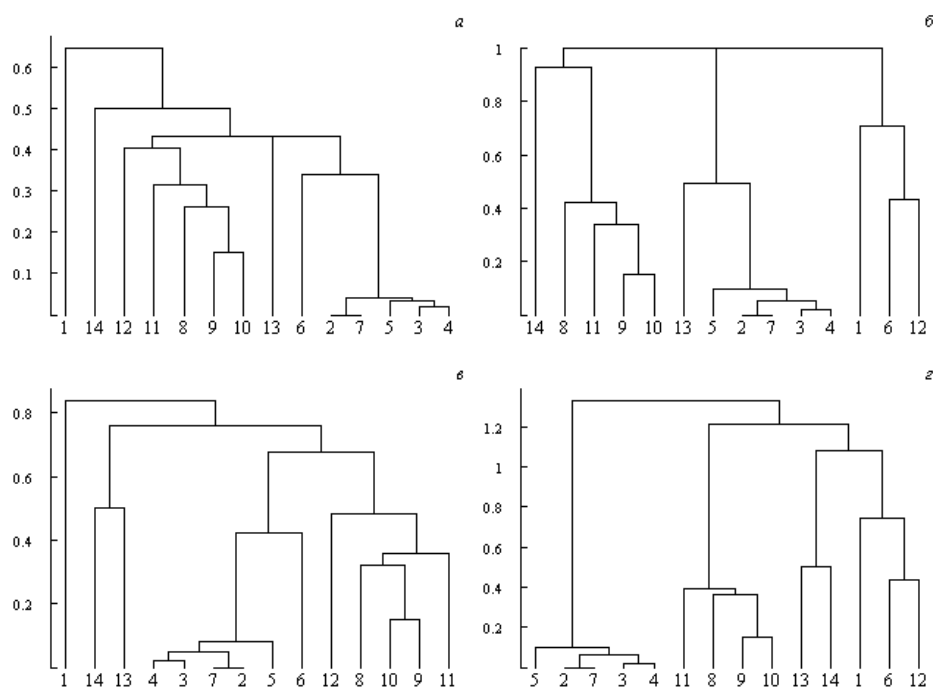


Рисунок 4.2. Дендрограммы иерархической кластеризации зоопланктоценозов р. Линда с применением косинуса угла между векторами. Методы: *а* – ближнего соседа, *б* – дальнего соседа, *в* – средней связи, *г* – метод Уорда. По оси ординат – расстояние объединения, по оси абсцисс – станции отбора проб.

Для выявления структуры искажений, вносимых различными методами, представлены графики Шепарда (рисунок 4.3). Кластеризация методами дальнего соседа и Уорда искажает расстояния между пробами в большую сторону (точки на графике лежат выше биссектрисы), тогда как использование метода ближнего

соседа, напротив, уменьшает расстояния (точки лежат ниже биссектрисы). Метод средней связи также вносит искажения, однако они не имеют систематического характера.

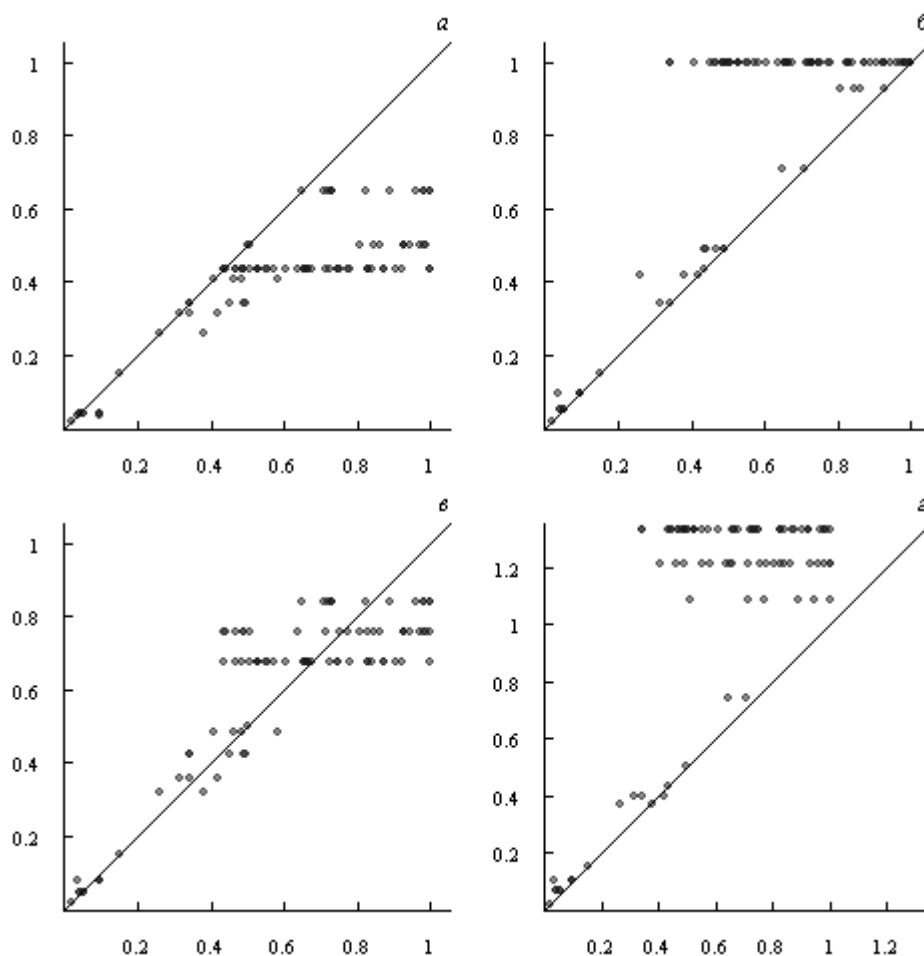


Рисунок 4.3. Графики Шепарда для иерархической кластеризации зоопланктоценозов р. Линда с применением косинуса угла между векторами. По оси абсцисс – исходные расстояния, по оси ординат – кофенетические расстояния. Остальные обозначения, как на рисунке 4.2.

Коэффициенты кофенетической корреляции и расстояния Говера между матрицами исходных и кофенетических расстояний для всех трех метрик представлены в таблице. Наилучшую классификацию дает метод средней связи, его результаты характеризуются наибольшим коэффициентом кофенетической корреляции и наименьшим расстоянием Говера для всех трех метрик сходства.

Обратимся теперь к выбору оптимального числа кластеров, которые нужно выделить. Количественные показатели оптимальности разбиения на кластеры для классификации, выполненной методом средней связи с применением косинуса угла между векторами, представлены на рисунке 4.4. Максимальное значение

средней ширины силуэта (рисунок 4.4а, выделено жирной линией) наблюдается для четырех кластеров. Максимум коэффициента корреляции Мантеля (рисунок 4.4б, выделено жирной линией) достигается при разбиении на шесть кластеров. При этом значения коэффициентов корреляции Мантеля для разбиения на 4–10 кластеров очень близки. На основании двух показателей оптимальности следует признать наилучшим разбиение исследованных проб на четыре кластера.

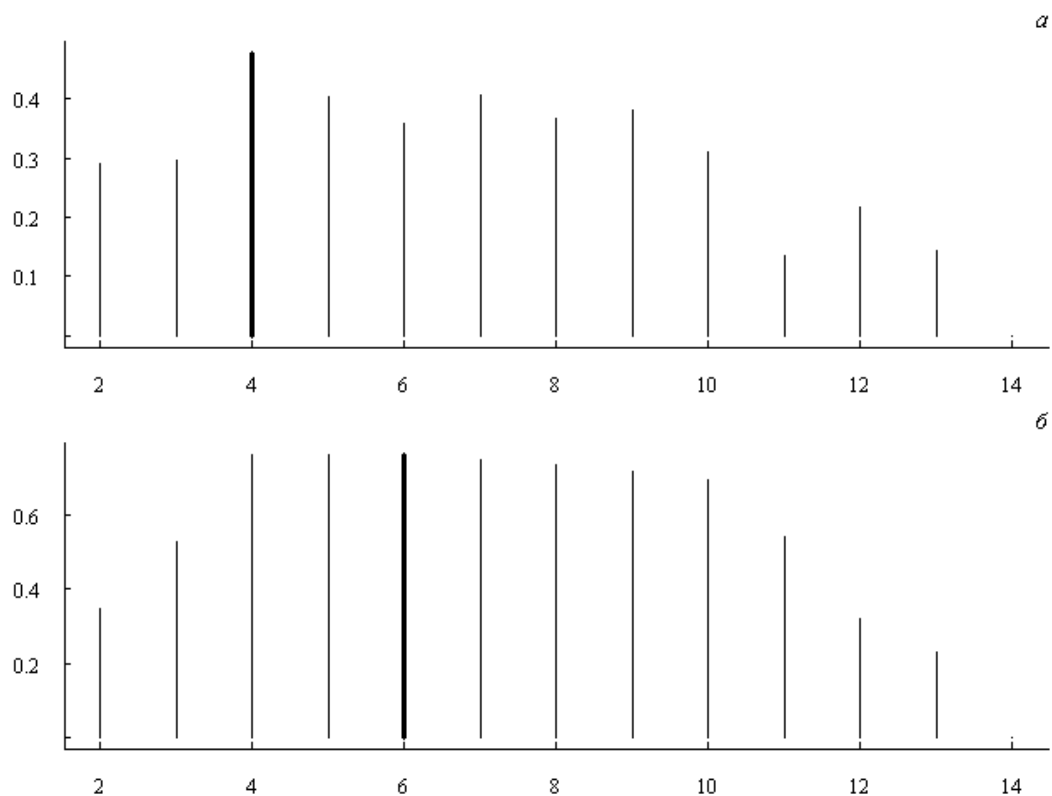


Рисунок 4.4. Количественные показатели оптимальности разбиения на кластеры в соответствии с иерархической классификацией по методу средней связи с применением косинуса угла между векторами: *a* – средняя ширина силуэта, *б* – коэффициент корреляции Мантеля между матрицей расстояний и бинарной матрицей принадлежности к кластерам. По оси абсцисс – количество кластеров.

Результаты анализа показателей оптимальности разбиения на кластеры с применением двух других метрик сходства аналогичны описанным выше. Максимум средней ширины силуэта достигается при разбиении на четыре кластера. Коэффициент корреляции Мантеля максимален для шести-семи кластеров, но значения коэффициента для разбиений на 4–10 кластеров очень близки.

Таблица 4.1

Количественные показатели качества иерархической классификации с использованием различных методов объединения и метрик сходства

| Метод объединения | Косинус угла между векторами |             | Евклидово расстояние |             | Индекс Ренконена |             |
|-------------------|------------------------------|-------------|----------------------|-------------|------------------|-------------|
|                   | $r_{coph}$                   | $D_{Gower}$ | $r_{coph}$           | $D_{Gower}$ | $r_{coph}$       | $D_{Gower}$ |
| Ближнего соседа   | 0.836                        | 5.908       | 0.704                | 4.178       | 0.888            | 2.252       |
| Дальнего соседа   | 0.798                        | 7.541       | 0.764                | 5.723       | 0.869            | 3.646       |
| Средней связи     | 0.861                        | 1.828       | 0.798                | 1.125       | 0.902            | 0.667       |
| Уорда             | 0.738                        | 26.667      | 0.693                | 26.104      | 0.785            | 19.21       |

Примечание.  $r_{coph}$  – коэффициент кофенетической корреляции,  $D_{Gower}$  – расстояние Говера.

Итоговые дендрограммы иерархической кластеризации зоопланктоценозов р. Линда по методу средней связи с разбиением на четыре кластера для трех метрик сходства представлены на рисунке 4.5. Результаты классификации очень близки для всех трех метрик, для косинуса угла между векторами и индекса Ренконена состав кластеров идентичен. Всеми методами в отдельный кластер выделяются первая станция и группа станций (с №2 по №7) в верхнем течении р. Линда. Имеются различия в классификации станций в нижнем течении. Классификация на основе евклидова расстояния объединяет в кластеры ст. №№8–10 и №№11–14, присоединяя к последней группе ст. 6. Две другие классификации выделяют как отдельные кластеры две станции нижнего течения (№13, 14) и все оставшиеся (№№8–12).

Более подробно оценить классификации и различия между ними можно с помощью анализа графиков силуэтов, которые представлены на рисунке 4.6. На этих графиках станции сгруппированы по итогам классификации, ширина силуэта для каждой станции представлена в виде горизонтального столбца. Важно отметить, что для станции, выделенной в отдельный кластер (ст. №1), ширина силуэта не рассчитывается, и она не учитывается при расчете средней ширины силуэта.

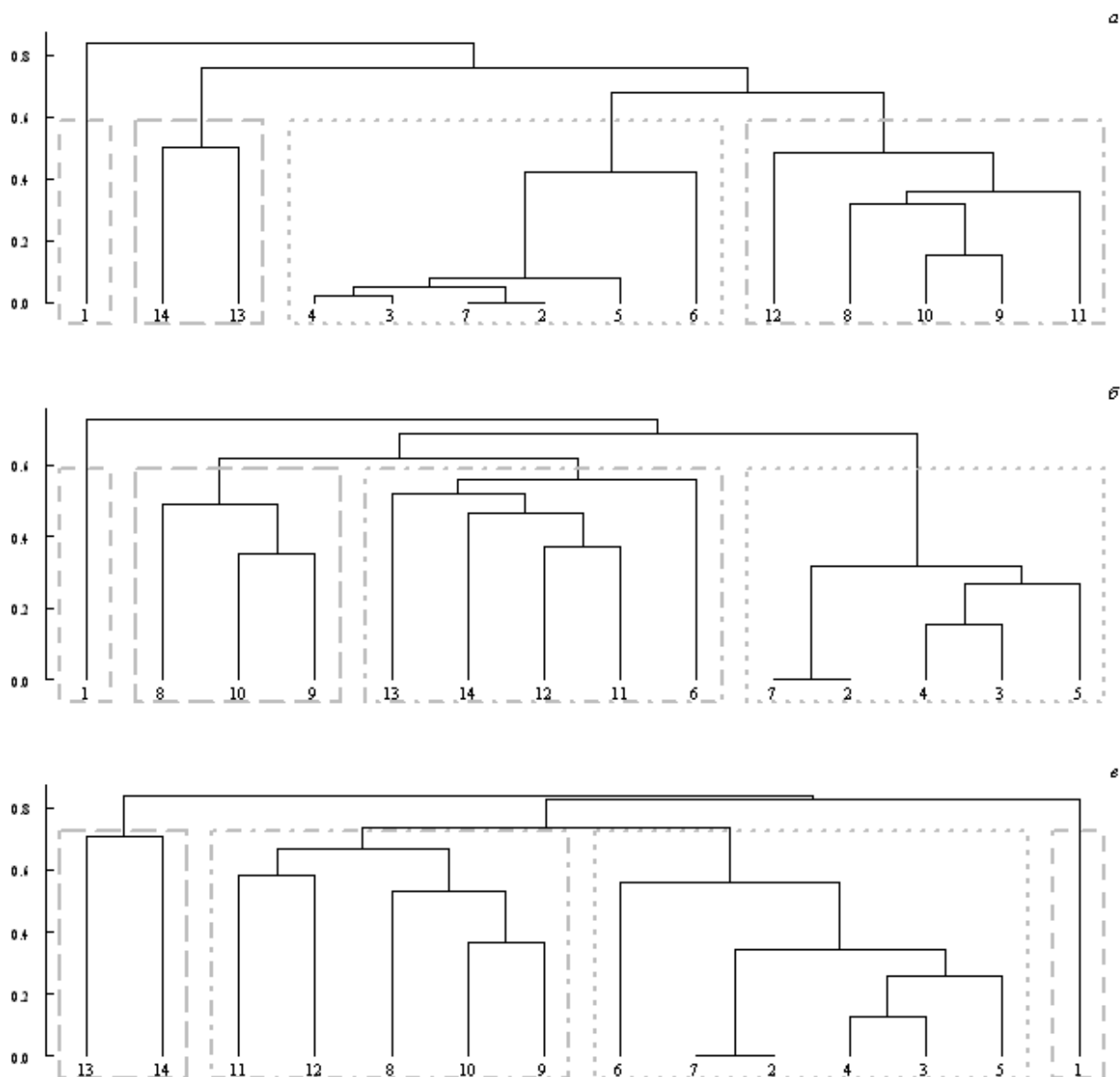


Рисунок 4.5. Дендрограммы иерархической кластеризации зоопланктоценозов р. Линда методом средней связи с разбиением на четыре кластера: *a* – косинус угла между векторами, *б* – евклидово расстояние, *в* – индекс Ренконена. Соответствующие кластеры выделены одинаковым типом линии. Остальные обозначения, как на рисунке 4.2.

Для всех станций ширина силуэта положительна в классификации на основе косинуса угла между векторами (рисунок 4.6*а*), что свидетельствует о хорошем выделении кластеров. Увереннее всего выделяется кластер в среднем течении реки (ст. №№2–7). В классификации на основе евклидова расстояния силуэт существенно уже (рисунок 4.6*б*), наименее уверенно выделяется кластер проб нижнего течения реки (ст. №№11–14) и ст. №6. Последняя станция имеет

фактически нулевую ширину силуэта, что свидетельствует о ее пограничном положении между двумя кластерами, ст. №11 имеет отрицательную ширину силуэта, что свидетельствует о том, что она, вероятно, классифицирована неоптимально.

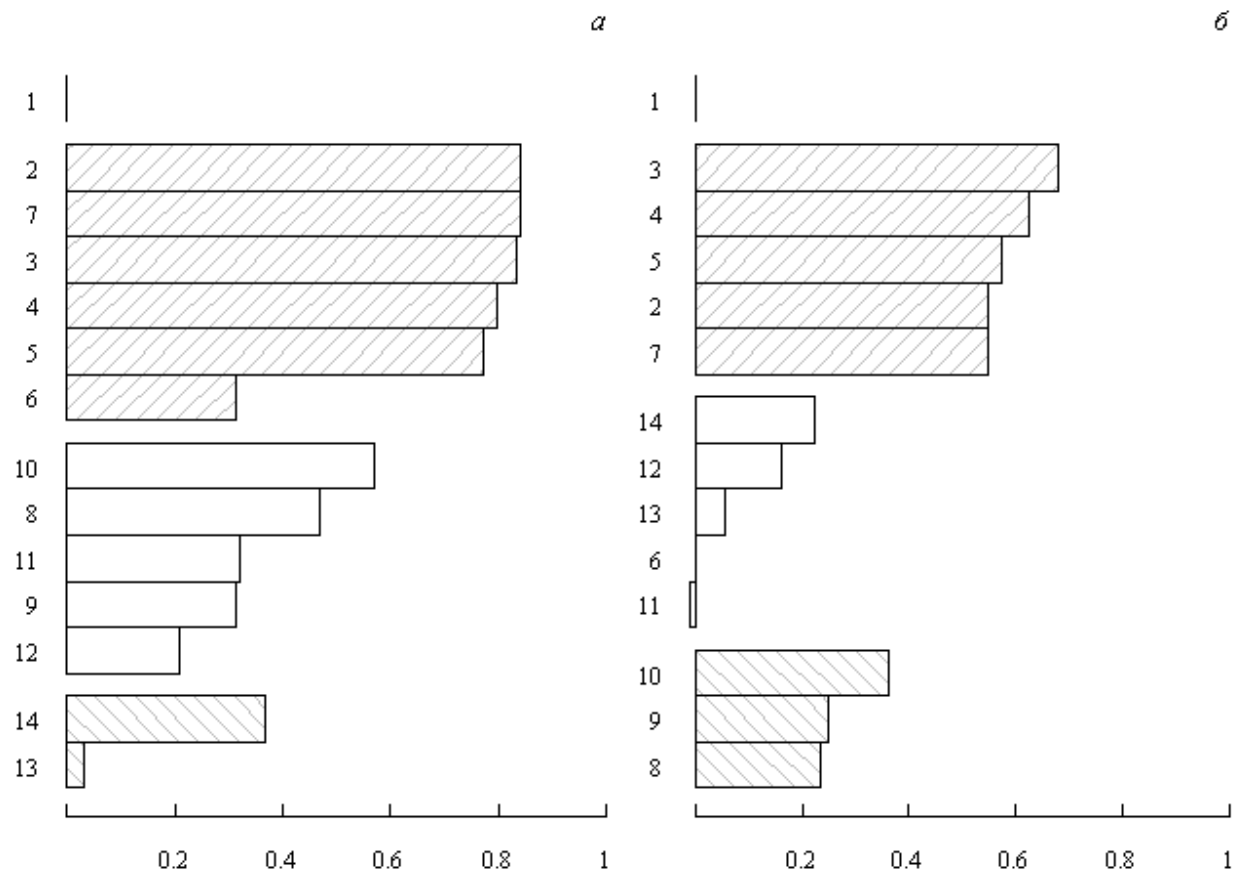


Рисунок 4.6. Графики силуэтов иерархической кластеризации зоопланктоценозов р. Линда по методу средней связи с разбиением на четыре кластера. Кластеры выделены разным типом штриховки. *a* – косинус угла между векторами, *б* – евклидово расстояние. По оси абсцисс – ширина силуэта  $s_i$ , по оси ординат – номера станций.

Результаты проведенного анализа позволили выделить четыре кластера станций, которые располагаются в строгом соответствии с их расположением по ходу течения р. Линда.

Станция №1 отличается отсутствием коловраток, численным преобладанием ветвистоусого рачка *Alona rectangulara* G. Sars, а также копеподитных стадий веслоногих ракообразных. Станции №№2–7 характеризуются малой представленностью ветвистоусых ракообразных,

численным преобладанием коловратки *Euchlanis dilatata* и ювенильных стадий веслоногих ракообразных. Станции №№8–12, выделенные в третий кластер, характеризуются доминированием по численности коловратки *E. lyra*, которая редко встречалась на ст. №№2–7. Вторым по численности доминантом в данном кластере остается *E. dilatata*. Наконец, в четвертом кластере (ст. №13, №14) доминирует по численности ветвистоусый рачок *Ascomeris harpae*, который появляется только в нижнем течении реки. К числу доминантов здесь также относятся *Asplanchna priodonta* Gosse, *Euchlanis dilatata* и *Daphnia galeata*.

Таким образом, выделенные кластеры различаются по видовой структуре зоопланктона, в том числе по составу и численности доминирующих видов. Изменение видовой структуры зоопланктона р. Линда от верховьев к устью определяется градиентом природных (в частности, скоростью течения), а не антропогенных факторов.

Отдельного обсуждения заслуживает высокая синхронность результатов, полученных на основе трех разных метрик сходства. С одной стороны, все три метрики основаны на количественных данных о представленности видов зоопланктона и сильно коррелируют между собой. Коэффициент корреляции Пирсона между косинусом угла между векторами и евклидовым расстоянием составляет 0.86, между косинусом угла и индексом Ренконена – 0.93, между евклидовым расстоянием и индексом Ренконена – 0.84. С другой стороны, результаты классификации на основе евклидова расстояния отличаются от двух других метрик, при этом сама классификация несколько хуже с биологической точки зрения, поскольку не соответствует расположению станций от верховьев к устью вдоль линейного градиента речного стока. Сходство результатов анализа на основе евклидова расстояния и косинуса угла между векторами неудивительно. При использовании в анализе относительной представленности видов точки, изображающие сообщества, расположены на части единичной сферы в первом  $2^S$ -танте многомерного пространства. При этом евклидово расстояние будет характеризоваться хордой, а угловое расстояние между векторами – дугой, опирающейся на эту хорду.

Евклидово расстояние и косинус угла между векторами рассчитываются на основе квадратичной функции, что ведет к усилению вклада доминирующих видов. Напротив, индекс Ренконена не использует возведения в квадрат, т.е. вклад видов в значение индекса пропорционален их представленности. Тем не менее, исследование структуры сообществ зоопланктона р. Линда показывает, что наиболее близки результаты кластерного анализа на основе угла между векторами и индекса Ренконена. Это связано с тем, что евклидово расстояние – не оптимальный индекс при изучении структуры сообществ, поскольку матрица данных в этом случае характеризуется большим числом нулевых представлений (Legendre, Legendre, 2012).

*Таким образом, в главе представлены современные подходы к классификации гидробиологических проб на основе различных метрик сходства видовой структуры. Особое внимание уделено вопросам количественного обоснования метода расчёта расстояний между совокупностями объектов (методы объединения), а также оптимального числа кластеров в итоговой классификации. На примере анализа пространственной структуры зоопланктона малой р. Линда показано, что для объектов данного типа наиболее адекватный алгоритм классификации – метод средней связи, который меньше всего искажает матрицу расстояний между объектами. В итоговых классификациях на основе трех метрик выделено по четыре кластера. Наиболее осмысленные с биологической точки зрения результаты получены с использованием косинуса угла между векторами и индекса Ренконена, тогда как классификация на основе евклидова расстояния оказалась менее удачной. Изложенные подходы позволяют принимать количественно обоснованные решения относительно ключевых элементов классификации. Несмотря на то, что эти методы не статистические по своей природе, они позволяют исследователю существенно снизить субъективность результатов кластерного анализа.*

*В последующих главах работы для оценки сходства видовой структуры зоопланктона мы будем использовать косинус угла как одну из наиболее*

*адекватных для наших данных метрик. Для построения дендрограмм будет использоваться метод средней связи.*

## Глава 5. Видовой состав зоопланктона водных объектов в условиях антропогенного воздействия

Адекватное определение видового состава организмов зоопланктона является основой всех последующих этапов исследований, включающих выявление пространственного размещения сообществ на акватории водоемов и водотоков, динамику изменений видовой структуры сообществ, оценку качества воды и др.

Сведения о видовом составе Чебоксарского водохранилища и его притоков, протекающих по антропогенно нарушенным территориям, содержатся в ряде наших работ (Шурганова и др, 2012, 2014 а, б, в, 2015 б, и др.).

В составе зоопланктона Чебоксарского водохранилища и его притоков (реки Ока, Кудьма, Линда, Старка, Кова, Рахма, Черная, Левинка, Параша, Ржавка, Борзовка, Гниличка, а также Шуваловский канал) в общей сложности было идентифицировано 192 вида зоопланктонных организмов (таблица 1, приложение). Из общего числа видов 94 вида (49,0%) принадлежало к коловраткам (Rotifera), 73 вида (38,0%) – к ветвистоусым ракообразным (Cladocera), и 25 видов (13,0%) – к веслоногим ракообразным (Copepoda). Среди идентифицированных видов были отмечены эупланктонные, фитофильные, планкто-бентические и эвритопные, а также холодноводные и тепловодные виды.

Основу зоопланктона во всех водотоках составляли, как правило, широко распространенные, космополитные виды. По зоогеографическому составу фауна зоопланктона исследуемых водотоков антропогенно нарушенных территорий является типичной для водоемов Европейской части России (Пидгайко, 1984).

В состав пелагического планктона (эупланктона) входили: *Asplanchna priodonta*, *Kellicottia longispina*, *Filinia longiseta*, *Daphnia cucullata*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Thermocyclops oithonoides*, *Eudiaptomus gracilis* и многие др.

К фитофильным видам относились: *Euchlanis incisa*, *Testudinella patina*, *Trichocerca capucina*, *Acroperus harpae*, *Eurycercus lamellatus*, *Graptoleberis*

*testudinaria*, *Pleuroxus aduncus*, *Polyphemus pediculus*, *Sida cristallina*, *Macrocylops albidus*, *Eucyclops macruroides* и др.

В состав планкто-бентического комплекса входили: *Alona rectangularis*, *Alona quadrangularis*, *Ilyocryptus agilis*, *Ilyocryptus sordidus*, *Eucyclops serrulatus*, *Paracyclops fimbriatus* и др.

К числу обитателей заболоченных водоёмов относились следующие виды: *Epiphanes brachionus*, *Euchlanis meneta*, *Keratella testudo*, *Lecane lunaris*, *Lecane brachydactyla*, *Polyarthra minor*, *Trichocerca bidens*, *Trichocerca brachyura*, *Trichocerca weberi*, *Acantholeberis curvirostris*, *Chydorus ovalis*, *Simocephalus serrulatus*, *Trichotria truncata*, *Lecane closterocerca*.

В холодноводный комплекс видов входили: *Bipalpus hudsoni*, *Polyarthra dolychoptera*, *Synchaeta kitina*, *Conochilus unicornis*, *Kellicottia longispina*, *Bosmina longispina*, *Daphnia cristata*, *Daphnia longispina*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Leptodora kingtii*, *Simocephalus vetulus*, *Cyclops kolensis*, *Mesocyclops leuckarti*, *Heterocope appendiculata*, *Eudiaptomus gracilis*, *Thermocyclops oithonoides* и др.

К тепловодному комплексу относились: *Polyarthra euryptera*, *Polyarthra major*, *Brachionus angularis*, *Brachionus calyciflorus*, *Brachionus diversicornis*, *Brachionus bidentata*, *Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*, *Keratella valga*, *Notholca acuminata*, *Conochilus hippocrepis*, *Filinia longiseta*, *Hexarthra mira*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Diaphanosoma orghidani*, *Bosmina longirostris*, *Bosmina coregoni*, *Leptodora kindtii*, *Eurycercus lamellatus*, *Moina micrura*, *Daphnia galeata*, *Daphnia longispina*, *Sida cristallina*, *Eucyclops serrulatus*, *Eucyclops macrurus*, *Eurytemora velox* и др.

Также в планктоне исследуемых водотоков присутствовали эвритопные виды: *Brachionus quadridentatus*, *Bosmina longirostris*, *Ceriodaphnia quadrangula*, *Ceriodaphnia reticulata*, *Chydorus sphaericus*, *Daphnia pulex*.

Кроме того, в планктоне исследуемых водотоков были идентифицированы виды-индикаторы загрязненных вод. Так, в р. Борзовка обнаружена коловратка *Rotaria neptunia* – полисапроб, индикатор высокой степени загрязнения водоемов и водотоков. В трех водотоках города (Шуваловский канал, р. Ржавка, р.

Борзовка) найден ветвистоусый рачок *Daphnia pulex* –  $\alpha$ -мезосапроб, индикатор органического загрязнения.

Видовое богатство исследуемых водотоков значительно варьировало (таблица 4.1). Наибольшее число видов зоопланктона идентифицировано в Чебоксарском водохранилище и в р. Кудьма (93 и 91 вид соответственно), наименьшее – в реках Кова и Старка (27 и 28 видов соответственно).

В подавляющем большинстве водотоков преобладающей по числу видов группой были коловратки, составлявшие от 35,7% до 55,6% от общего видового богатства (таблица 4.1). Исключение составлял зоопланктон рек Черной и Старка, где видовое богатство ветвистоусых рачков было выше, чем представителей Rotifera. Наименьшим видовым богатством во всех водотоках характеризовались веслоногие рачки, составлявшие от 7,0% до 24,1% от общего числа видов.

Вся акватория Чебоксарского водохранилища характеризовалась значительным видовым богатством зоопланктона, при этом большая часть видов (73) была зарегистрирована на верхнем речном участке (ВРЧ) водохранилища (от плотины Нижегородской ГЭС до устья р. Оки). В водохранилищном планктоне по числу видов лидировали коловратки. Второе место по числу видов зоопланктона принадлежало ветвистоусым ракообразным, третье – веслоногим (таблица 4.1).

Таблица 4.1

Видовое богатство и процентное соотношение основных систематических групп зоопланктона (Rotifera, Cladocera, Copepoda) исследуемых водных объектов

| Водоток      | Чебоксарское вдхр. | ВРУ Чебоксарского вдхр. | р. Ока | р. Кудьма | р. Линда | р. Черная | р. Левинка | р. Параша | Шуваловский канал | р. Ржавка | р. Борзовка | р. Гниличка | р. Рахма | р. Кова | р. Старка |
|--------------|--------------------|-------------------------|--------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-------------------|-----------|-------------|-------------|----------|---------|-----------|
| Число видов  | 93                 | 73                      | 69     | 91        | 30       | 57        | 62         | 37        | 83                | 37        | 29          | 46          | 44       | 27      | 28        |
| Rotifera, %  | 51,6               | 49,3                    | 46,4   | 46,1      | 46,6     | 42,1      | 54,8       | 48,7      | 47,0              | 48,7      | 48,3        | 45,7        | 50,0     | 55,6    | 35,7      |
| Cladocera, % | 31,2               | 34,3                    | 36,2   | 40,7      | 36,7     | 50,9      | 32,3       | 43,2      | 34,9              | 29,7      | 27,6        | 39,1        | 40,9     | 37,0    | 53,6      |
| Copepoda, %  | 17,2               | 16,4                    | 17,4   | 13,2      | 16,7     | 7,0       | 12,9       | 8,1       | 18,1              | 21,6      | 24,1        | 15,2        | 9,1      | 7,4     | 10,7      |

Примечание. ВРУ – верхний речной участок.

Анализ экологической приуроченности идентифицированных видов зоопланктона показал, что в целом в фауне исследуемых водных объектов чаще других встречались фитофильные виды, доля которых составляла 40,0% (рисунок 4.1). Типично планктонные виды составляли 38,4%, а планкто-бентические – 18,4% от общего числа видов. Оставшиеся 3,2% принадлежали эвритопным видам.

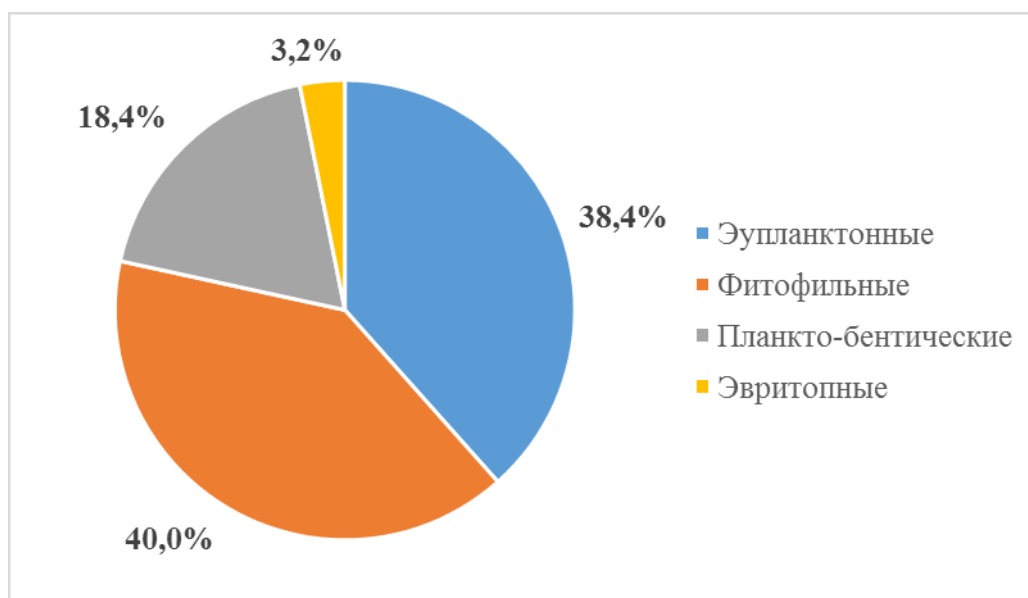


Рисунок 4.1. Соотношение числа видов зоопланктона основных экологических групп Чебоксарского водохранилища и его притоков

В обследованных водотоках соотношение экологических групп зоопланктона варьировало (таблица 4.2). Так, на акватории Чебоксарского водохранилища, включая верхний речной участок, а также в реках Ока, Кудьма, Линда, Борзовка, Рахма, Кова, Старка преобладали эупланктонные виды. В Шуваловском канале, а также в реках Черная, Левинка, Параша, Гниличка наиболее представлены были фитофильные виды. Присутствие большого количества фитофильных видов в перечисленных водотоках объясняется наибольшим распространением на их акватории высшей водной растительности. В отдельных водотоках, имеющих относительно небольшие глубины, усиливалась доля планкто-бентических видов зоопланктона (р. Борзовка, р. Рахма, р. Кова, р. Старка). На акватории верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища число планкто-бентических видов было также высоким, оно даже превышало число фитофильных (21,1% и 16,9%, соответственно). Доля эвритопных видов во

всех водотоках была низкой (от 5,6% до 18,5%), и превышала 10% только в некоторых водотоках урбанизированных территорий (реки Ржавка, Рахма, Старка, Борзовка).

Таблица 4.2

Процентное соотношение основных экологических групп зоопланктона  
исследуемых водных объектов

| Водоток                | Чебоксарское вдхр. | ВРУ Чебоксарского вдхр. | р. Ока | р. Кудьма | р. Линда | р. Черная | р. Левинка | р. Параша | Шуваловский канал | р. Ржавка | р. Борзовка | р. Гниличка | р. Рахма | р. Кова | р. Старка |
|------------------------|--------------------|-------------------------|--------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-------------------|-----------|-------------|-------------|----------|---------|-----------|
| Эупланктонные, %       | 51,7               | 54,9                    | 55,4   | 39,3      | 50,0     | 29,1      | 33,3       | 37,1      | 37,0              | 34,3      | 29,7        | 38,7        | 33,3     | 44,0    | 34,6      |
| Фитофильные, %         | 21,4               | 16,9                    | 18,5   | 32,6      | 28,6     | 45,4      | 40,0       | 45,7      | 39,5              | 34,3      | 25,9        | 38,6        | 28,6     | 24,0    | 26,9      |
| Планкто-бентические, % | 21,3               | 21,1                    | 18,4   | 22,5      | 14,3     | 18,2      | 18,3       | 8,6       | 17,3              | 20,0      | 25,9        | 15,9        | 26,2     | 24,0    | 23,1      |
| Эвритопные, %          | 5,6                | 7,0                     | 7,7    | 5,6       | 7,1      | 7,3       | 8,4        | 8,6       | 6,2               | 11,4      | 18,5        | 6,8         | 11,9     | 8,0     | 15,4      |

Примечание. ВРУ – верхний речной участок.

Сходство видового состава зоопланктона исследуемых водотоков изменялось в значительных пределах, значения индекса Сьеренсена изменялись от 0,28 до 0,89 (таблица 4.3). Для визуализации полученных результатов на основе таблицы 4.3 (которая представляет собой матрицу расстояний) была построена дендрограмма, отображающая сходство видового состава исследуемых водотоков (рисунок 4.2). Для установления оптимального количества кластеров, на которые следует разбить дендрограмму, были рассчитаны средние значения ширины силуэта и коэффициенты корреляции Мантеля (рисунок 4.3). Результаты получились неоднозначными: максимальная ширина силуэта достигается при разбиении на 4 кластера, а коэффициент корреляции Мантеля максимален при разбиении на 7 кластеров. При этом, значения коэффициента корреляции Мантеля для разбиения на 3 – 9 кластеров очень близки.

Таблица 4.3

Значения индекса Сьеренсена, рассчитанные для зоопланктона Чебоксарского водохранилища, его верхнего речного участка и его притоков

| Водные объекты          | Чебоксарское вдхр. | ВРУ Чебоксарского вдхр. | р. Ока | р. Кудьма | р. Линда | р. Черная | р. Левинка | р. Параша | Шуваловский канал | р. Ржавка | р. Борзовка | р. Гниличка | р. Рахма | р. Кова | р. Старка |
|-------------------------|--------------------|-------------------------|--------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-------------------|-----------|-------------|-------------|----------|---------|-----------|
|                         | 1                  | 2                       | 3      | 4         | 5        | 6         | 7          | 8         | 9                 | 10        | 11          | 12          | 13       | 14      | 15        |
| Чебоксарское вдхр.      | 1,00               |                         |        |           |          |           |            |           |                   |           |             |             |          |         |           |
| ВРУ Чебоксарского вдхр. | 0,89               | 1,00                    |        |           |          |           |            |           |                   |           |             |             |          |         |           |
| р. Ока                  | 0,67               | 0,89                    | 1,00   |           |          |           |            |           |                   |           |             |             |          |         |           |
| р. Кудьма               | 0,59               | 0,67                    | 0,69   | 1,00      |          |           |            |           |                   |           |             |             |          |         |           |
| р. Линда                | 0,38               | 0,59                    | 0,59   | 0,59      | 1,00     |           |            |           |                   |           |             |             |          |         |           |
| р. Черная               | 0,41               | 0,38                    | 0,39   | 0,41      | 0,46     | 1,00      |            |           |                   |           |             |             |          |         |           |
| р. Левинка              | 0,47               | 0,41                    | 0,42   | 0,42      | 0,55     | 0,39      | 1,00       |           |                   |           |             |             |          |         |           |
| р. Параша               | 0,36               | 0,47                    | 0,47   | 0,47      | 0,63     | 0,46      | 0,59       | 1,00      |                   |           |             |             |          |         |           |
| Шуваловский канал       | 0,49               | 0,36                    | 0,42   | 0,37      | 0,44     | 0,39      | 0,57       | 0,53      | 1,00              |           |             |             |          |         |           |
| р. Ржавка               | 0,31               | 0,49                    | 0,45   | 0,47      | 0,55     | 0,37      | 0,51       | 0,63      | 0,43              | 1,00      |             |             |          |         |           |
| р. Борзовка             | 0,28               | 0,31                    | 0,35   | 0,35      | 0,44     | 0,42      | 0,45       | 0,51      | 0,43              | 0,48      | 1,00        |             |          |         |           |
| р. Гниличка             | 0,42               | 0,28                    | 0,29   | 0,31      | 0,40     | 0,34      | 0,35       | 0,42      | 0,33              | 0,36      | 0,52        | 1,00        |          |         |           |
| р. Рахма                | 0,43               | 0,42                    | 0,44   | 0,39      | 0,58     | 0,45      | 0,54       | 0,59      | 0,39              | 0,51      | 0,48        | 0,43        | 1,00     |         |           |
| р. Кова                 | 0,31               | 0,43                    | 0,46   | 0,47      | 0,53     | 0,46      | 0,48       | 0,58      | 0,49              | 0,54      | 0,42        | 0,44        | 0,53     | 1,00    |           |
| р. Старка               | 0,32               | 0,31                    | 0,30   | 0,30      | 0,36     | 0,35      | 0,38       | 0,38      | 0,44              | 0,35      | 0,47        | 0,43        | 0,41     | 0,56    | 1,00      |

Примечание. ВРУ – верхний речной участок.

Более подробно оценить классификации и различия между ними можно с помощью анализа графиков силуэтов, которые представлены на рисунке 4.4. На этих графиках пробы сгруппированы по итогам классификации, ширина силуэта для каждой станции представлена в виде горизонтального столбца. Для всех станций ширина силуэта положительна при разбиении на 4 кластера (рисунок 4.4а), что свидетельствует о хорошем выделении кластеров. В классификации с разбиением на 7 кластеров (рисунок 4.4б) р. Рахма (№13) имеет отрицательную ширину силуэта, что свидетельствует о том, что она, вероятно, классифицирована неоптимально. Таким образом, на основании двух показателей оптимальности

следует признать наилучшим разбиение исследуемых водотоков на четыре кластера.

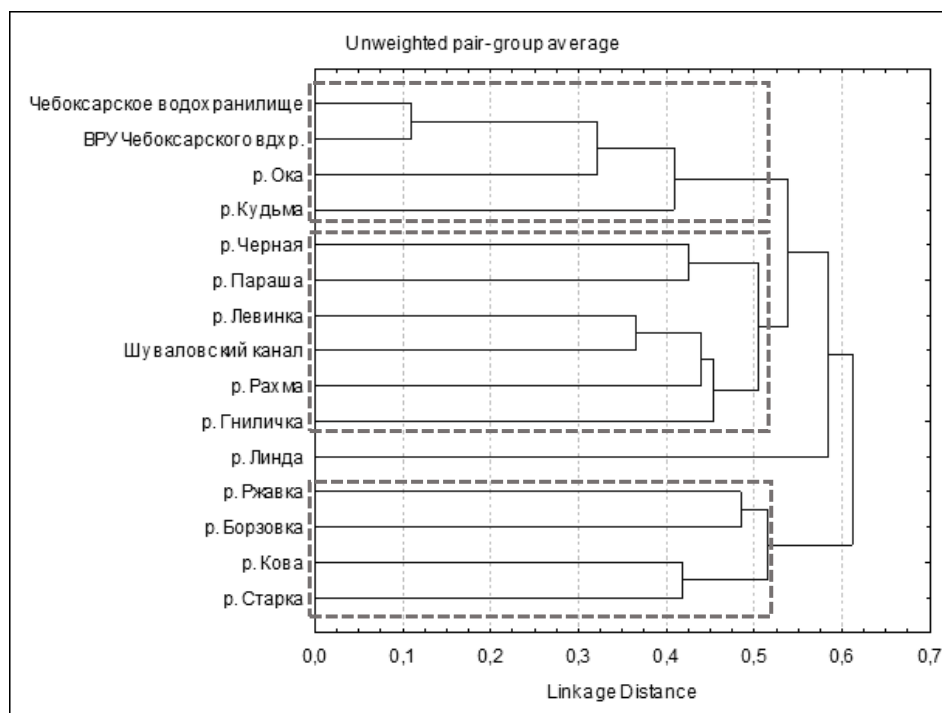


Рисунок 4.2. Дендрограмма сходства видового состава исследуемых водных объектов, построенная на основе индекса Сьеренсена

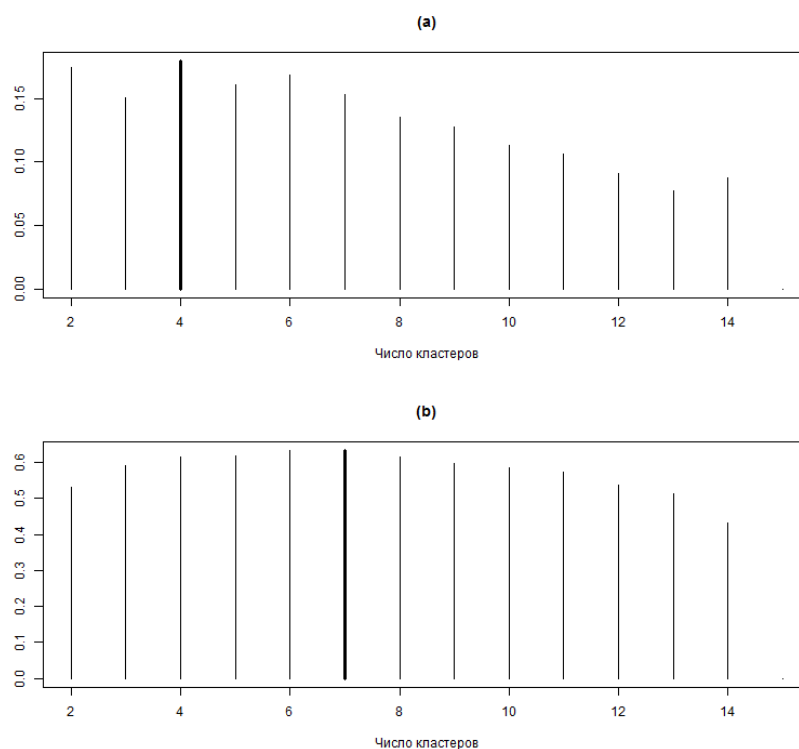


Рисунок 4.3. Количественные показатели оптимальности разбиения на кластеры (на основе индекса Сьеренсена) в соответствии с иерархической классификацией по методу средней связи: *a* – средняя ширина силуэта, *b* – коэффициент корреляции Мантеля между матрицей расстояний и бинарной матрицей принадлежности к кластерам.

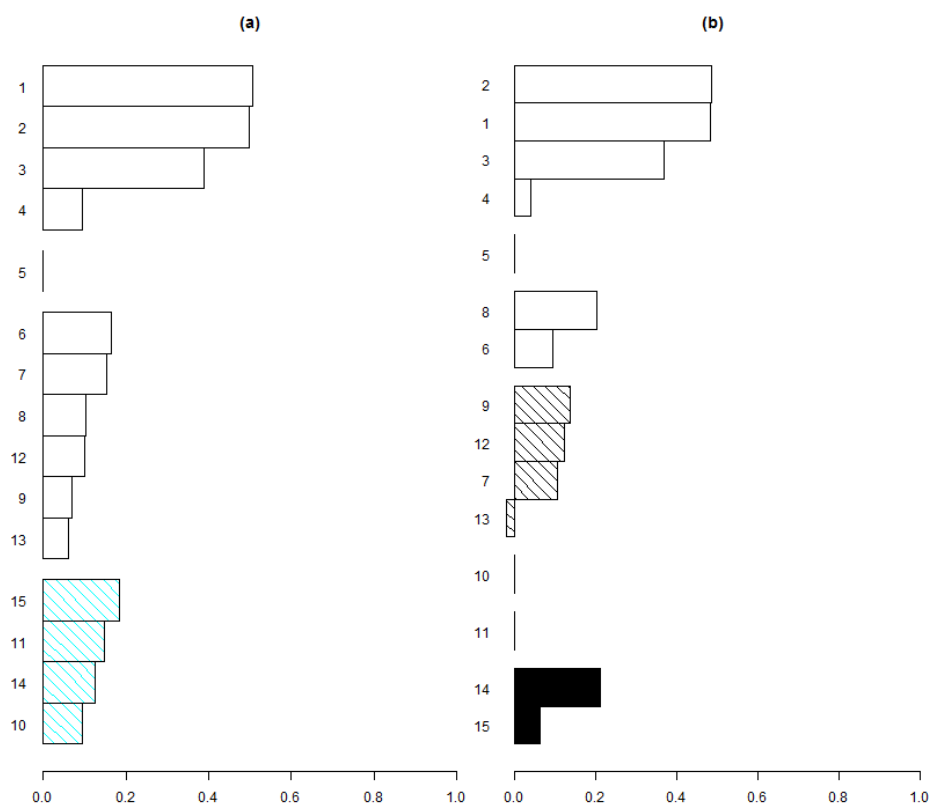


Рисунок 4.4. Графики силуэтов иерархической кластеризации исследуемых водотоков на основе индекса Сьеренсена по методу средней связи. Кластеры выделены разным типом штриховки. *а* – с разбиением на четыре кластера, *б* – с разбиением на семь кластеров. По оси абсцисс – ширина силуэта  $s_i$ , по оси ординат – номера водотоков (см. таблицу 4.2).

В первый кластер входили Чебоксарское водохранилище, его верхний речной участок, р. Ока и р. Кудьма. Ко второму кластеру относилось большинство городских водотоков – реки Черная, Параша, Левинка, Рахма, Гниличка, а также Шуваловский канал. Эти водотоки характеризовались наличием участков с замедленным течением и наличием больших площадей прибрежной зоны, занятых высшей водной растительностью. Увеличение числа видов всех основных систематических групп зоопланктона водотоков вследствие увеличения разнообразия биотопов (в результате изменения режима проточности, создания искусственных заводей и т.д.) отмечено в работе М.Л. Тарбеева и Г.В. Шургановой (2011).

Наиболее сильно отличался от других водотоков видовой состав зоопланктона р. Линда. Объяснить этот факт можно тем, что, по сравнению с остальными исследуемыми водотоками, её видовое богатство было относительно

низким. Это, по всей видимости, связано с недостаточно подробным её изучением. Видовой состав данной реки требует уточнения.

В последний кластер вошли реки Ржавка, Борзовка, Кова и Старка. Данные водотоки наиболее сильно отличались по видовому составу зоопланктона от других исследованных водотоков. Это может объясняться тем, что на значительной протяженности они заключены в подземные трубы и коллекторы. Прохождение реки по подземным трубам приводит, в частности, к существенному снижению видового богатства зоопланктона. Кроме того, эти реки характеризовались значительными скоростями течения и, отсутствием протяженных участков с замедленным течением и развитием высшей водной растительности.

Исследуемые нами водотоки находятся в пределах трех ландшафтных зон Нижегородской области – Балахнинский низинный полесский край, Южное Заволжье, Приокско-Волжский правобережный край (Харитонычев, 1974, цит. по: Тарбеев, 2015). Известно, что состав планктонных сообществ может значительно различаться в зависимости от ландшафтно-географических условий. Так, согласно исследованиям Е.Л. Воденеевой, А.Г. Охапкина, Н.А. Старцевой (2014), флористический состав фитопланктона верхней и нижней частей г. Н. Новгорода существенно различается, что, по мнению авторов исследования, позволяет рассматривать данный участок как бореально-неморальный экотон.

Попытка анализа сходства видового состава зоопланктона водотоков, протекающих в пределах различных ландшафтных зон Нижегородского Поволжья, была предпринята М.Л. Тарбеевым и Г.В. Шургановой (2011). Кластерный анализ сходства видового состава зоопланктона рек в различных природно-ландшафтных зонах Нижегородского Поволжья позволил авторам сделать заключение о значительном сходстве (значение индекса Сьеренсена 70,5%) видового состава зоопланктона Балахнинского низинного полесского края и Приокско-Волжского правобережного края, территориально расположенных по левому и правому берегам р. Оки (Тарбеев, Шурганова, 2011).

Нами была предпринята попытка установления различий видового состава зоопланктона водотоков антропогенно нарушенных территорий с использованием индекса сходства видового состава Сьеренсена в пределах отдельных ландшафтных зон. Сравнивалось сходство видового состава водотоков, протекающих в пределах Приокско-Волжского правобережного края (реки Старка, Кова, Рахма, Кудьма) и балахнинского низинного Полесского края (реки Черная, Левинка, Параша, Ржавка, Борзовка, Гниличка, а также Шуваловский канал). Река Кудьма проходит по границе Приокско-Волжского правобережного края и Приокского низинного полесского края. По территории Южного Заволжья протекает только одна из обследованных нами рек – р. Линда.

Проведенные нами исследования показали, что сходство видового состава зоопланктона водотоков, протекающих по территориям Приокско-Волжского правобережного края и Балахнинского низинного полесья составляет 48,1%, что ниже, чем в более ранних исследованиях (Тарбеев, Шурганова, 2011). Сходство видового состава зоопланктона р. Линды, протекающей по территории Южного Заволжья, с видовым составом водотоков Приокско-Волжского правобережного края и Балахнинского низинного полесья было еще меньшим, и составляло 43,7% и 32,0% соответственно. Полученные данные нельзя назвать исчерпывающими, они позволяют составить лишь предварительное представление о сходстве видового состава исследуемых рек, который требует дальнейшего уточнения.

*Таким образом, в зоопланктоне исследуемых водных объектов, находящихся в условиях антропогенного воздействия, идентифицировано 192 вида зоопланктонных организмов: 94 вида (49,0%) принадлежит коловраткам (Rotifera), 73 вида (38,0%) – ветвистоусым ракообразным (Cladocera), 25 видов (13,0%) – веслоногим ракообразным (Copepoda). Анализ экологической приуроченности идентифицированных видов зоопланктона показал, что фитофильные виды составляют 40,0% от общего числа видов, эупланктонные – 38,4%, планкто-бентические – 18,4%, эвритопные – 3,2%. Сравнительный анализ сходства видового состава зоопланктона водотоков г. Н. Новгорода не выявил влияния зонального фактора на его формирование.*

## Глава 6. Видовая структура и пространственное размещение сообществ зоопланктона в период летней межени

В данном разделе на основе метода многомерного анализа на акваториях исследованных водотоков были выделены пространственно непрерывные области, характеризующиеся сходством видовой структуры зоопланктона, которые мы считаем областями пространственного расположения отдельных зоопланктонных сообществ. Результаты исследований пространственного размещения сообществ зоопланктона на акваториях Чебоксарского водохранилища и его притоков приведены в ряде наших работ (Шурганова и др., 2012; Шурганова, Кудрин, Ильин, 2014; Шурганова и др., 2014а, б, в, 2015 и др.).

### 6.1. Чебоксарское водохранилище

На основании результатов многомерного векторного анализа видовой структуры зоопланктона в период летней межени 2011 г. на акватории Чебоксарского водохранилища было выделено четыре основных зоопланктоценоза (рисунок 6.1), что согласуется с данными, полученными ранее (Шурганова, 2007).

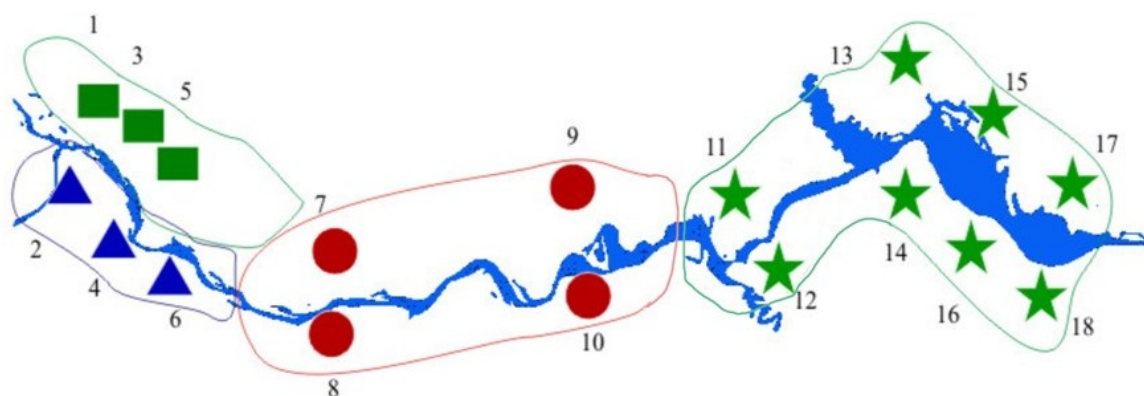


Рисунок 6.1. Пространственное размещение зоопланктоценозов на акватории Чебоксарского водохранилища в 2011 г.

Станции отбора проб: 1,2 г. - Нижний Новгород; 3,4 - Артемовские луга; 5,6 - ниже Кстово; 7,8 - ниже Лысково; 9,10 - Фокино; 11,12 - Васильсурск; 13,14 - Козьмодемьянск; 15,16 - Ильинка; 17,18 - Чебоксары (чётные значения - правый берег; нечётные значения - левый берег).

- – левобережный речной; ▲ – правобережный речной;
- – переходный; ★ – озерный зоопланктоценозы

Достаточно четко выделялись «левобережный» и «правобережный» речные зоопланктоценозы, и менее четко – «переходный» и «озерный». По сравнению с данными исследований 1991-2002 гг. (Шурганова, 2007 а), акватория, занимаемая «озерным» ценозом, увеличилась за счет акватории «переходного» зоопланктоценоза.

Значения индекса доминирования Ковнацкого-Паля для наиболее многочисленных видов выделенных зоопланктоценозов приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Значения индекса доминирования Ковнацкого-Паля для наиболее многочисленных видов зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища в 2011 г.

| Левобережный зоопланктоценоз   |        | Правобережный зоопланктоценоз  |        | Переходный зоопланктоценоз     |        | Озерный зоопланктоценоз        |        |
|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| Вид                            | Индекс | Вид                            | Индекс | Вид                            | Индекс | Вид                            | Индекс |
| <i>Bosmina longispina</i>      | 27.39  | <i>Moina rectirostris</i>      | 48.97  | Nauplii Copepoda               | 40.94  | Copepodit Copepoda.            | 26.02  |
| Copepodit Copepoda             | 17.89  | <i>Asplanchna priodonta</i>    | 12.58  | Copepodit Copepoda.            | 25.25  | <i>Daphnia galeata</i>         | 20.11  |
| <i>Daphnia galeata</i>         | 14.01  | Copepodit Copepoda             | 9.67   | <i>Daphnia cucullata</i>       | 13.00  | <i>Daphnia cucullata</i>       | 15.60  |
| <i>Eudiaptomus gracilis</i>    | 11.66  | <i>Brachionus angularis</i>    | 5.43   | <i>Daphnia galeata</i>         | 6.33   | Nauplii Copepoda               | 12.23  |
| <i>Chydorus sphaericus</i>     | 8.02   | <i>Brachionus calyciflorus</i> | 5.02   | <i>Bosmina coregoni</i>        | 5.51   | <i>Diaphanosoma brachyurum</i> | 6.57   |
| <i>Mesocyclops leuckarti</i>   | 5.11   | <i>Bosmina longirostris</i>    | 2.35   | <i>Diaphanosoma brachyurum</i> | 3.80   | <i>Bosmina longispina</i>      | 4.81   |
| <i>Bosmina crassicornis</i>    | 3.99   | Nauplii Copepoda               | 2.02   | <i>Bosmina longispina</i>      | 3.27   | <i>Bosmina coregoni</i>        | 3.89   |
| Nauplii Copepoda               | 3.32   | <i>Diaphanosoma brachyurum</i> | 0.96   | <i>Mesocyclops leuckarti</i>   | 2.92   | <i>Chydorus sphaericus</i>     | 2.81   |
| <i>Bosmina coregoni</i>        | 2.38   | <i>Bosmina crassicornis</i>    | 0.91   | <i>Chydorus sphaericus</i>     | 2.89   | <i>Mesocyclops leuckarti</i>   | 1.79   |
| <i>Eudiaptomus graciloides</i> | 1.49   | <i>Daphnia cucullata</i>       | 0.66   | <i>Keratella quadrata</i>      | 2.52   | <i>Daphnia cristata</i>        | 1.03   |

Левобережный речной зоопланктоценоз представляет собой трансформированный и обедненный количественно зоопланктоценоз Горьковского водохранилища (Шурганова, 2007). В результате наших

исследований выявлено, что этот ценоз в летнюю межень 2011 г. характеризовался численным преобладанием ракообразных, что вполне согласуется с предыдущими исследованиями (Шурганова, 2007).

Правобережный речной зоопланктоценоз, находящийся под формирующим влиянием р. Оки, отличался значительным развитием ветвистоусого рачка *Moina rectirostris*, коловратки *Asplanchna priodonta*. Роль реофильных коловраток рода *Brachionus* снизилась, по сравнению с предыдущими годами (Шурганова, 2007).

В переходном зоопланктоценозе, характеризовавшемся ранее лимнофильными и реофильными чертами, доминирующее положение занимают ракообразные, преимущественно науплиальные и копеподитные стадии *Copepoda*, виды р.р. *Daphnia*, *Bosmina* и др., что указывает на лимнофильный характер данного планктонного сообщества. Озерный зоопланктоценоз, как и в предыдущие годы, является лимнофильным. Здесь доминируют ракообразные, а среди них - *Cladocera*.

Таким образом, левобережный речной, переходный и озерный зоопланктоценозы Чебоксарского водохранилища в период летней межени 2011 г. можно характеризовать как лимнофильные с преобладанием ракообразных. Различия видовой структуры этих планктонных сообществ стали менее существенными, чем в предыдущие годы. В правобережном зоопланктоценозе усилилась роль ракообразных.

В результатах работ большинства исследований зоопланктона Чебоксарского водохранилища указывается его акватория на участке от устья р. Оки (г. Н. Новгород) до плотины Чебоксарской ГЭС. При этом, слабо изученным остается верхний речной участок (зона речной гидравлики) водохранилища от плотины Нижегородской ГЭС до г. Н. Новгород. Вместе с тем, сообщество зоопланктона данного участка, по современным представлениям, во многом формирует видовую структуру левобережного речного зоопланктоценоза Чебоксарского водохранилища (Шурганова, 2007). Кроме того, более подробное изучение пространственного размещения и видовой структуры зоопланктонных сообществ данной акватории является актуальным ввиду планируемого

строительства низконапорной плотины в районе н.п. Б. Козино, что приведет к изменению гидрологического режима всего верхнего речного участка.

В период летней межени 2011 г. на акватории речного участка Чебоксарского водохранилища было отобрано 14 проб зоопланктона на семи створах (рисунок 6.2). На основе многомерного векторного анализа пробы делятся на два кластера: пробы №1–8, №10, №12, №14 (значения  $\cos \alpha$  от 0,73 до 0,97, среднее – 0,85), и пробы №9, №11, №13 (значения  $\cos \alpha$  0,98–0,99) (рисунок 6.3), что позволяет сделать вывод о том, что видовая структура зоопланктона верхнего речного участка водохранилища от плотины Нижегородской ГЭС до устья р. Оки идентична видовой структуре выделенного ранее «левого бережного речного» зоопланктоценоза.

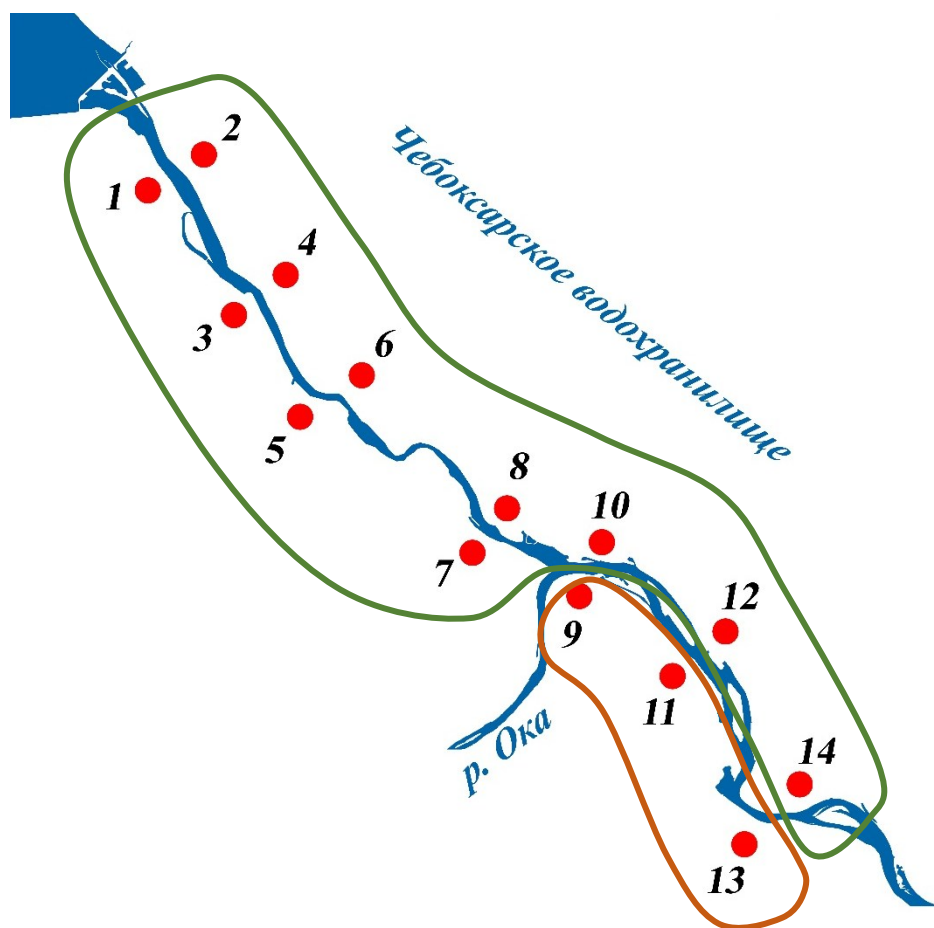


Рисунок 6.2. Станции отбора проб и размещение зоопланктоценозов на акватории речного участка Чебоксарского водохранилища в 2011 г. 1,2 – ниже г. Городец; 3,4 –г. Правдинск; 5,6 – г. Балахна; 7,8 – Сормово; 9,10 – Нижний Новгород; 11,12 – Артемовские луга; 13,14 – г. Кстово

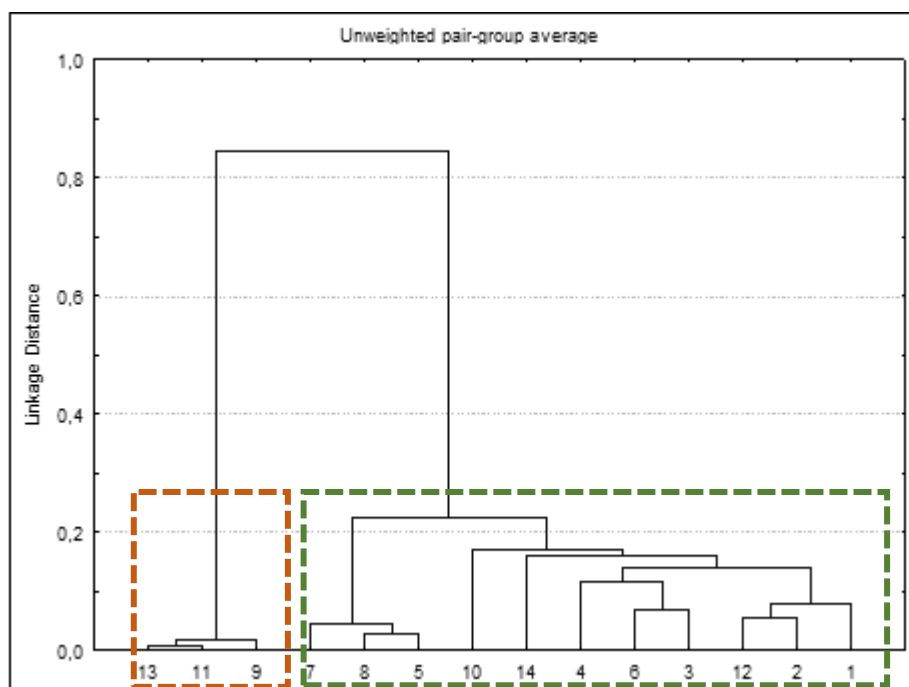


Рисунок 6.3. Кластеризация проб зоопланктона акватории речного участка Чебоксарского водохранилища в 2011 г. на основе многомерного векторного анализа. Станции отбора проб: 1,2 – ниже г. Городец; 3,4 –г. Правдинск; 5,6 –г. Балахна; 7,8 – Сормово; 9,10 – Нижний Новгород; 11,12 – Артемовские луга; 13,14 – г. Кстово

Таким образом, данную акваторию в 2011 г. занимало единое сообщество зоопланктона, которое можно назвать зоопланктоценозом «волжского потока». Это сообщество, наряду с зоопланктоценозом «окского потока», занимающим акваторию правобережья Чебоксарского водохранилища от устья р. Оки до г. Кстово, формирует нижележащие «переходный» и «озерный» зоопланктоценозы.

В период летней межени 2015 г. на акватории речного участка Чебоксарского водохранилища и в устьевой зоны р. Оки была отобрана 21 проба зоопланктона, в том числе 12 проб в пределах малообследованного верхнего участка от плотины Нижегородской ГЭС до г. Н. Новгорода с целью более подробного его изучения (рисунок 6.4). Доминирующими по численности видами зоопланктона всей акватории верхнего речного участка являлись: *Euchlanis dilatata*, Copepodit Copepoda, науплиальные стадии Copepoda, *Daphnia galeata*, *Keratella cochlearis*, *Polyarthra major*. По биомассе значительно доминировал ветвистоусый рачок *Daphnia galeata*. Доминантами по биомассе являлись также *Bythotrephes longimanus*, Copepodit Copepoda, *Euchlanis dilatata*, *Mesocyclops*

*leuckarti*, науплиальные стадии Copepoda. Большинство видов зоопланктона, отмеченных в зоне речной гидравлики, являются типичными представителями озерного лимнофильного планктона, поступающего из приплотинной части вышележащего Горьковского водохранилища.

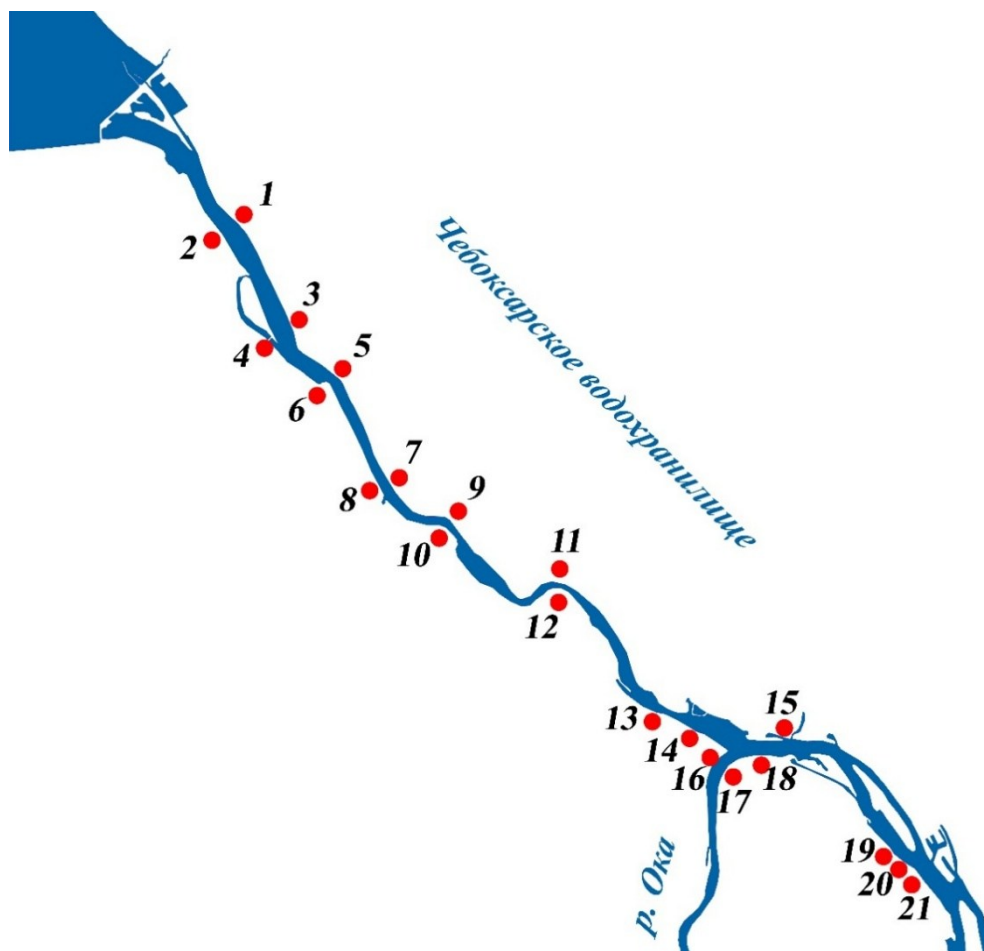


Рисунок 6.4. Схема точек отбора проб зоопланктона на акватории речного участка Чебоксарского водохранилища в июле 2015 г. 1,2 – ниже г. Городец; 3,4 – выше г. Правдинск; 5,6 – выше г. Балахна; 7,8 – ниже г. Балахна; 9,10 – выше н.п. Б. Козино; 11,12 – ниже н.п. Б. Козино; 13 – г. Н. Новгород, Сормово; 14 – г. Н. Новгород, Волжская набережная; 15 – г. Бор; 16 – устье р. Ока, левый берег; 17 – устье р. Ока, правый берег; 18 – г. Н. Новгород, Чкаловская лестница; 19-21 – Артемовские луга.

Данные по количественному развитию зоопланктона верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища представлены в таблице 6.2. Значения показателей общей численности и биомассы зоопланктона на акватории зоны речной гидравлики были достаточно высокими и сопоставимыми с соответствующими значениями в озерной части Горьковского водохранилища (Шурганова, 2007). Доминирующей группой по численности зоопланктона являлись коловратки, на втором месте были веслоногие ракообразные.

Наименьшую численность имели вествистоусые ракообразные. Однако, ветвистоусые рачки формировали основную биомассу зоопланктона. Второе место по биомассе занимали веслоногие ракообразные. Доля коловраток в суммарной биомассе зоопланктона была невелика. Аналогичное соотношение биомасс основных систематических групп зоопланктона было отмечено и для озерной части Горьковского водохранилища (Шурганова, 2007).

В пределах зоны речной гидравлики распределение количественных показателей развития зоопланктона было неравномерным. Ниже плотины Нижегородской ГЭС в левобережье, ниже г. Заволжье, и в правобережье, ниже г. Городец, были отмечены наиболее высокие показатели численности зоопланктона (86,39 тыс. экз./м<sup>3</sup> и 86,25 тыс. экз./м<sup>3</sup> соответственно) за счет массового развития коловраток *Euchlanis dilatata*, *Keratella cochlearis*, а также науплиальных и копеподитных стадий *Copepoda*. Кроме того, ниже г. Городец высокую численность имел ветвистоусый рачок *Daphnia galeata*. Коловратки занимали лидирующее положение (50,16% и 59,7% от общей численности планктона). Иная картина наблюдалась по соотношению биомасс основных систематических групп зоопланктона. Большая часть суммарной биомассы создавалась ветвистоусыми рачками, преимущественно, *Daphnia galeata* и *Bythotrephes longimanus*. Доля коловраток в создании общей биомассы зоопланктона была невелика (таблица 6.2).

На створе выше г. Правдинск наблюдалось снижение суммарной численности зоопланктона. При этом коловратки продолжали занимать лидирующее положение, составляя более 50% от суммарной численности зоопланктона. Многочисленными были также науплиальные и копеподитные стадии *Copepoda*, а также ветвистоусый рачок *Daphnia galeata*. Соотношение биомасс основных групп зоопланктона было сходным с таковым на вышележащем створе Городец–Заволжье. Бóльшая часть суммарной биомассы зоопланктона создавалась ветвистоусыми рачками *Daphnia galeata* и *Bythotrephes longimanus*. Доля последнего на этом створе усилилась по сравнению с вышележащим створом. Доля коловраток в создании общей биомассы зоопланктона оставалась по-прежнему небольшой (таблица 6.2).

Таблица 6.2

Общая численность (тыс. экз./м<sup>3</sup>), биомасса (г/м<sup>3</sup>) и соотношение основных систематических групп зоопланктона верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища от плотины Нижегородской ГЭС до п. Б. Козино в июле 2015 г.

| Показатели                                                              |           | Станции         |                  |                    |        |              |        |              |        |                |        |                |        | Средние<br>показатели по<br>участку |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|------------------|--------------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|-------------------------------------|
|                                                                         |           | ниже<br>Городца | ниже<br>Заволжья | выше<br>Правдинска |        | выше Балахны |        | ниже Балахны |        | выше Б. Козино |        | ниже Б. Козино |        |                                     |
|                                                                         |           | №1              | №2               | №3                 | №4     | №5           | №6     | №7           | №8     | №9             | №10    | №11            | №12    |                                     |
|                                                                         |           | левый           | правый           | левый              | правый | левый        | правый | левый        | правый | левый          | правый | левый          | правый |                                     |
| Численность, тыс.<br>экз./м³                                            |           | 86,25           | 86,39            | 37,78              | 41,21  | 37,22        | 33,16  | 43,47        | 21,11  | 28,79          | 37,55  | 30,06          | 23,31  | 42,19 ± 6,26                        |
| Биомасса, г/м³                                                          |           | 0,82            | 1,14             | 1,29               | 1,67   | 0,36         | 0,43   | 0,71         | 0,78   | 1,36           | 5,21   | 2,02           | 1,29   | 1,42 ± 0,37                         |
| Соотношение<br>численности<br>основных<br>групп<br>зоопланктона<br>в %: | Rotifera  | 59,7            | 50,2             | 50,2               | 54,5   | 59,5         | 58,5   | 47,8         | 41,4   | 59,0           | 63,1   | 55,5           | 44,2   | 53,6 ± 2,0                          |
|                                                                         | Cladocera | 4,8             | 15,0             | 15,1               | 16,3   | 8,9          | 11,1   | 9,8          | 13,8   | 8,5            | 12,5   | 8,3            | 13,7   | 11,5 ± 1,0                          |
|                                                                         | Copepoda  | 35,5            | 34,9             | 34,8               | 29,3   | 31,6         | 30,4   | 42,4         | 44,8   | 32,5           | 24,4   | 36,3           | 42,1   | 34,9 ± 1,7                          |
| Соотношение<br>биомассы<br>основных<br>групп<br>зоопланктона<br>в %:    | Rotifera  | 7,4             | 5,3              | 2,3                | 1,6    | 13,2         | 6,4    | 6,4          | 1,5    | 2,0            | 0,9    | 1,3            | 1,2    | 4,1 ± 1,1                           |
|                                                                         | Cladocera | 72,3            | 82,3             | 83,4               | 94,1   | 54,9         | 79,6   | 84,5         | 88,3   | 95,6           | 98,8   | 94,6           | 96,2   | 85,4 ± 3,6                          |
|                                                                         | Copepoda  | 20,3            | 12,4             | 14,2               | 4,3    | 31,9         | 14,0   | 9,1          | 10,2   | 2,4            | 0,3    | 4,1            | 2,6    | 10,5 ± 2,6                          |

На створе выше г. Балахны имело место незначительное снижение значений общей численности зоопланктона по сравнению с вышележащим створом и существенное снижение общей биомассы. Значения общей биомассы здесь были минимальными на исследуемой акватории водохранилища. Доминирование коловраток по численности сохранилось, и даже несколько увеличилось при преобладании *Euchlanis dilatata*. При этом возросла роль коловраток в создании общей биомассы зоопланктона при одновременном снижении роли ветвистоусых ракообразных, что и отразилось на суммарных значениях биомассы. В левобережье выше г. Балахны наряду с *Euchlanis dilatata* заметную роль в создании биомассы играла коловратка *Asplanchna priodonta*. Ювенильные стадии веслоногих ракообразных продолжали создавать заметную долю общей численности и биомассы зоопланктона (таблица 6.2).

На створе водохранилища ниже г. Балахны распределение численности зоопланктона было неравномерным. В правобережье численность зоопланктона была ниже, чем в левобережье, более чем в два раза и являлась минимальной на всей обследованной акватории водохранилища. При этом суммарная биомасса зоопланктона здесь возросла почти в два раза по сравнению с вышележащим створом (таблица 6.2). Существенную роль в создании общей численности играли коловратки и веслоногие рачки, преимущественно, *Euchlanis dilatata*, науплиальные стадии *Copepoda*, а в создании общей биомассы главенствующая роль принадлежала ветвистоусым рачкам (преимущественно, *Daphnia galeata* и *Bythotrephes longimanus*).

Распределение зоопланктона на створе выше н.п.Б. Козино было также неравномерным, в особенности это касалось биомассы. При незначительном изменении значений общей численности зоопланктона по сравнению с вышележащим створом, произошло существенное возрастание значений общей биомассы, достигнув рекордно высоких значений в правобережье. Основная роль в создании общей численности зоопланктона продолжала принадлежать коловраткам и веслоногим ракообразным (*Euchlanis dilatata*, науплиальным и копеподитным стадиям *Copepoda*). При этом роль ветвистоусых ракообразных в

создании суммарной биомассы зоопланктона увеличилась до 95,6-98,8% за счет массового развития *Daphnia galeata* (таблица 6.2).

На створе ниже Б. Козино наблюдались небольшие изменения общей численности зоопланктона по сравнению с вышележащим створом, и существенное изменение общей биомассы, особенно в правобережье. Вклад основных групп зоопланктона в создание суммарных значений численности и биомассы принципиально не изменился: по численности доминировали коловратки и веслоногие ракообразные, по биомассе – ветвистоусые (*Bythotrephes longimanus* и *Daphnia galeata*) (таблица 6.2).

Таким образом, на протяжении верхнего речного участка водохранилища значения общей численности и биомассы зоопланктона изменялись довольно существенно, минимальные значения численности были зарегистрированы на станциях отбора проб, расположенных в правобережье ниже г. Балахна и ниже н.п. Большое Козино. Минимальные значения биомассы были зафиксированы на створе выше г. Балахна (ниже г. Правдинск). Максимальные значения численности зоопланктона были отмечены в левобережье зоны речной гидравлики водохранилища ниже г. Городец и в правобережье ниже г. Заволжье. Рекордно высокое значение биомассы было зарегистрировано в правобережье выше н.п. Б. Козино (5,21 г/м<sup>3</sup>).

Средние показатели численности зоопланктона на исследуемом участке водохранилища составили  $42,19 \pm 6,26$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, биомассы –  $1,42 \pm 0,37$  г/ м<sup>3</sup>. Основную долю общей численности зоопланктона на всех станциях отбора проб создавали коловратки и веслоногие ракообразные, при доминировании *Euchlanis dilatata*, науплиальных и копеподитных стадий веслоногих ракообразных. Основную долю общей биомассы зоопланктона создавали ветвистоусые ракообразные, преимущественно – крупные представители Cladocera: фильтратор *Daphnia galeata*, доминирующий повсеместно, и хищник *Bythotrephes longimanus*, распределенный по исследуемой акватории неравномерно.

В целом, зоопланктон верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища до г. Н. Новгорода можно характеризовать как лимнофильный с нормальным уровнем показателей количественного развития.

Анализ сходства проб зоопланктона акватории речной части Чебоксарского водохранилища и устьевой зоны р. Оки, проведенный с использованием метода многомерного векторного анализа, показал, что, как и в летнюю межень 2011 г., на данном участке выделяется два кластера (рисунок 6.5). В первый кластер входили станции №1–15, расположенные на акватории Чебоксарского водохранилища выше устья р. Оки и в левобережье водохранилища у г. Бор. Исходя из значительной близости проб (значение  $\cos \alpha$  в пределах данного кластера достигало 0,99), можно полагать, что данную акваторию занимает дискретный зоопланктоценоз с единой видовой структурой (зоопланктоценоз «волжского потока»). В выделенном сообществе доминировали по численности коловратка *Euchlanis dilatata*, науплиальные и копеподитные стадии Cyclopoida, а также ветвистоусый рачок *Daphnia galeata* (рисунок 6.6). К группе субдоминантов относились коловратки *Keratella cochlearis*, *Polyarthra major*, *Keratella quadrata*, *Synchaeta kitina*, *Synchaeta pectinata*, *Conochilus unicornis*.

Ко второму кластеру относились пробы №16–21, расположенные на акватории устьевого участка р. Оки и ниже, в правобережье речного участка Чебоксарского водохранилища. Сходство видовой структуры в пределах данного кластера также было высоким (значения  $\cos \alpha$  изменялись от 0,90 до 0,99), что позволяет выделить данную акваторию как занятую дискретным сообществом зоопланктона (зоопланктоценоз окского потока).

Видовая структура данного зоопланктоценоза характеризовалась, фактически, монодоминированием реофильной коловратки *Brachionus calyciflorus* (рисунок 6.7). К доминирующим видам относилась также коловратка *Brachionus angularis*, в комплекс субдоминантов входили *Daphnia galeata*, науплиальные и копеподитные стадии Cyclopoida, а также *Brachionus quadridentatus*.

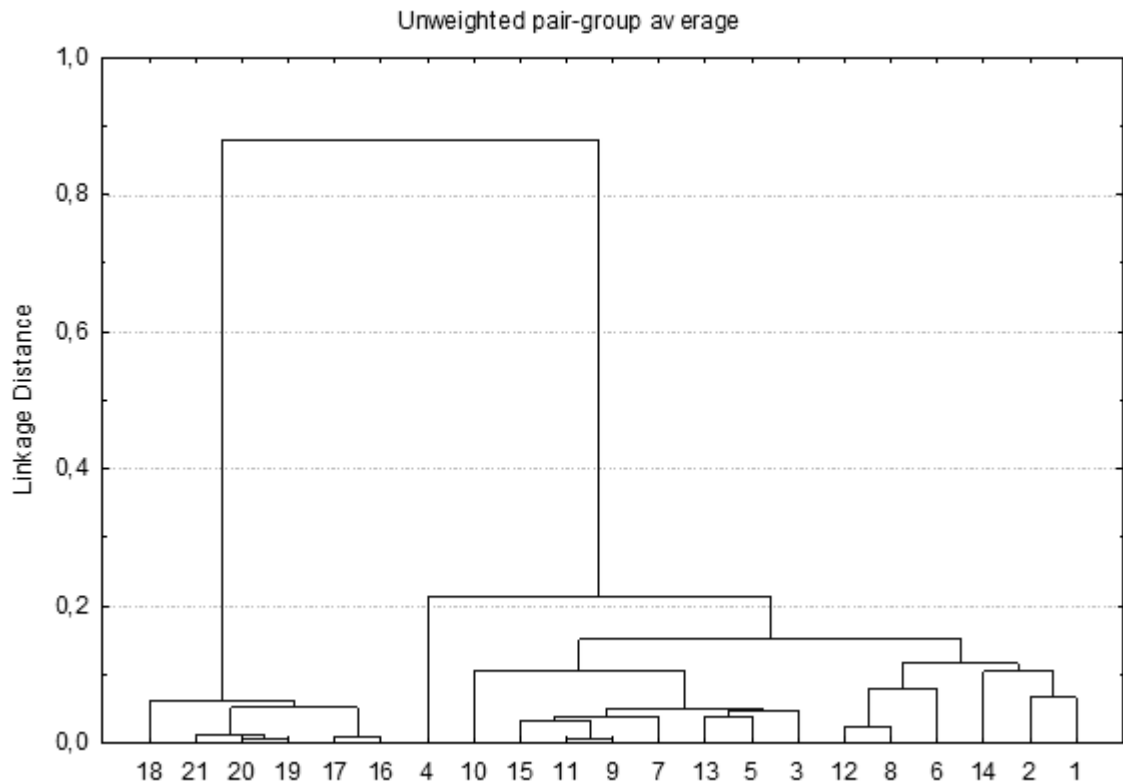


Рисунок 6.5. Кластеризация на основе многомерного векторного анализа проб зоопланктона верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища в 2015 г. 1,2 – ниже г. Городец; 3,4 – выше г. Правдинск; 5,6 – выше г. Балахна; 7,8 – ниже г. Балахна; 9,10 – выше н.п. Б. Козино; 11,12 – ниже н.п. Б. Козино; 13 – г. Н. Новгород, Сормово; 14 – г. Н. Новгород, Волжская набережная; 15 – г. Бор; 16 – устье р. Ока, левый берег; 17 – устье р. Ока, правый берег; 18 – г. Н. Новгород, Чкаловская лестница; 19-21 – Артемовские луга.

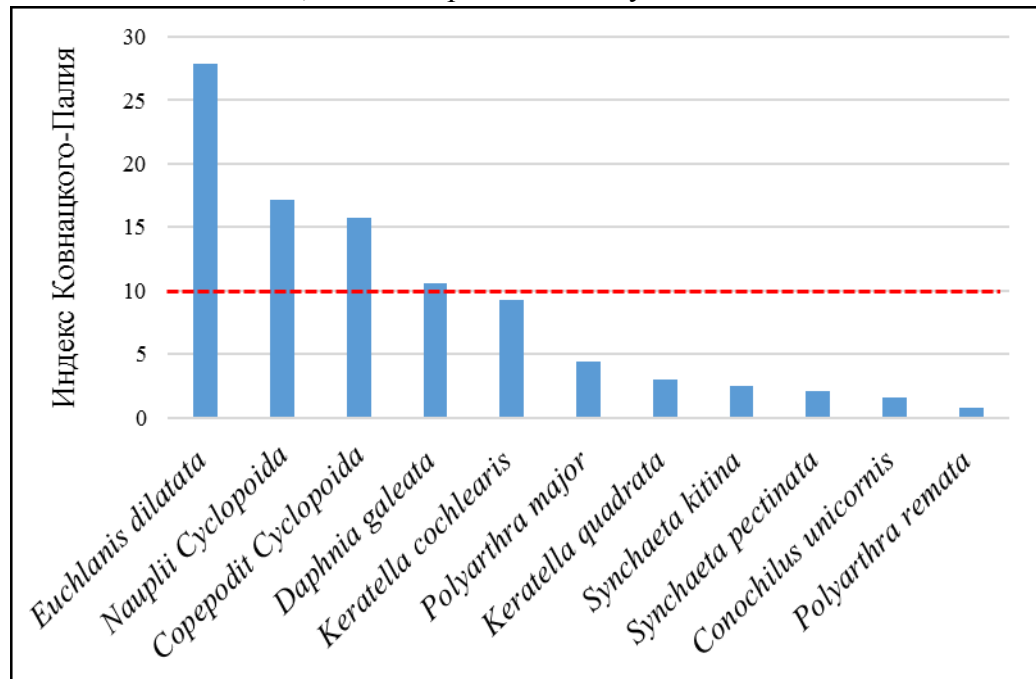


Рисунок 6.6. Доминирующие по численности виды зоопланктоценоза волжского потока Чебоксарского водохранилища в июле 2015 г. --- – нижняя граница доминирования

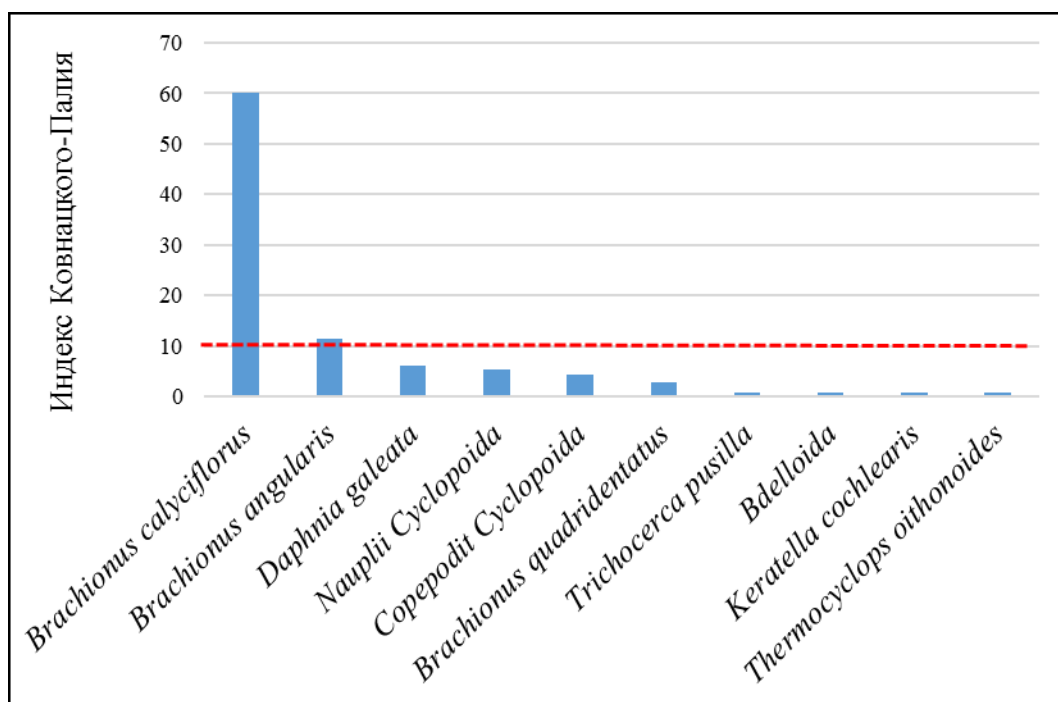


Рисунок 6.7. Доминирующие по численности виды зоопланктоценоза окского потока Чебоксарского водохранилища в июле 2015 г. --- – нижняя граница доминирования

Средняя численность зоопланктона в пределах зоопланктоценоза волжского потока составила  $38,18 \pm 5,41$  тыс. экз./м<sup>3</sup>, основную её долю (54,7%) составляли коловратки (таблица 6.3). При этом, биомассу в основном формировали представители ветвистоусых ракообразных (91% от общей биомассы планктона), как правило, за счет таких крупных видов, как ветвистоусый рачок *Bythotrephes longimanus*.

В зоопланктоценозе окского потока средняя численность зоопланктона была значительно выше (таблица 6.3). При этом, большую её часть составляли представители Rotifera (коловратки), в основном, реофильные коловратки рода *Brachionus*. В связи с этим, коловратки составляли значительную долю от общей биомассы зоопланктона, в отличие от зоопланктоценоза волжского потока, хотя основную биомассу также формировали крупные представители ветвистоусых ракообразных, в особенности – *Daphnia galeata*.

Средняя индивидуальная биомасса зоопланктона была выше в сообществе зоопланктона волжского потока (таблица 6.3), т.к. в зоопланктоценозе окского потока существенно доминировали по численности коловратки рода *Brachionus*, имеющие сравнительно низкую индивидуальную массу.

Показатели видовой структуры и количественного развития зоопланктоценоза  
волжского потока в июле 2015 г.

| Показатель                                         |                                                  | Зоопланктоценоз<br>«волжского потока» | Зоопланктоценоз<br>«окского потока» |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Средняя<br>численность                             | Общая, тыс.<br>экз./м <sup>3</sup>               | 38,18±5,41                            | 83,80±10,68                         |
|                                                    | Соотношение<br>численностей, %<br>Rot: Clad: Cop | 54,7: 11,3: 34,0                      | 80,4: 8,8: 10,8                     |
| Средняя<br>биомасса                                | Общая, г/м <sup>3</sup>                          | 1,26±0,32                             | 0,79 ±0,26                          |
|                                                    | Соотношение<br>биомасс, %<br>Rot: Clad: Cop      | 2,6:91,0:6,4                          | 16,8:75,6:7,6                       |
| Средняя индивидуальная масса<br>зоопланктера, w, г |                                                  | 0,00003                               | 0,00001                             |
| Индекс Шеннона, H, бит/экз.                        |                                                  | 2,07±0,04                             | 1,60±0,11                           |
| Индекс Пielу                                       |                                                  | 0,67±0,01                             | 0,48±0,04                           |
| Число видов, Rot: Clad: Cop                        |                                                  | 29:15:11                              | 27:20:12                            |

Значения индексов видового разнообразия, рассчитанные по численности зоопланктона, были значительно ниже в зоопланктоценозе окского потока, по сравнению с зоопланктоценозом волжского потока, что обуславливалось меньшей выравненностью представленностей видов в сообществе (таблица 6.3).

Таким образом, в период летней межени 2011 г. акваторию Чебоксарского водохранилища занимали четыре дискретных зоопланктоценоза с различной видовой структурой. По сравнению с данными прошлых лет (Шурганова, 2007), во всех зоопланктоценозах в данный период усиливалась роль лимнофильных видов зоопланктона.

В период летней межени 2011 и 2015 г. на акватории речного участка Чебоксарского водохранилища выделялось два различающихся по видовой структуре зоопланктоценоза. Акваторию верхнего речного участка и левобережья Чебоксарского водохранилища ниже устья р. Оки занимал дискретный зоопланктоценоз «волжского потока» с лимнофильной видовой структурой зоопланктона. Устьевой участок р. Оки и правобережье Чебоксарского водохранилища ниже устья р.Оки занимал зоопланктоценоз «окского потока» с доминированием реофильных коловраток рода *Brachionus*.

## 6.2. Река Линда

При анализе распределения отдельных видов зоопланктона по акватории р. Линда было выявлено, что на всей протяженности реки были достаточно равномерно распределены такие виды, как *Keratella quadrata*, *Keratella cochlearis*, *Daphnia cucullata*, *Daphnia galeata*, *Euchlanis dilatata*. Остальные виды были распределены менее равномерно: одни из них присутствовали только в верхней части реки (*Polyartra major*, *Trichotria truncata*), другие – только в нижней части реки (*Bosmina crassicornis*, *Acroperus harpae*, *Canthocamptus staphylinus*). Следует отметить, что видовое богатство *Cladocera* заметно увеличивалось в направлении от верхней речной части к нижней.

С помощью метода многомерного анализа были рассчитаны косинусы углов между векторами численностей зоопланктона отдельных проб. На основе визуализации этих данных были выделены пробы, имеющие значительное сходство видовой структуры зоопланктона (рисунок 6.8, 6.9).

Наибольшей степенью сходства видовой структуры отличались станции с №2 (д. Б.Дуброва) по №7 (д. Тарасиха, ниже устья р. Ифтенка). Исключение составляла только проба №6, которая несколько выделялась на фоне других станций, однако все они характеризовались численным преобладанием коловратки *Euchlanis dilatata*, а среди веслоногих ракообразных – науплиальных и копеподитных стадий *Copepoda* (рисунок 6.10). Эти станции также характеризовались малой представленностью ветвистоусых ракообразных. Полученные с помощью многомерного анализа сведения о степени сходства видовой структуры в этих точках позволяют выделить дискретный зоопланктоценоз в верхнем течении р. Линда (рисунок 6.8).

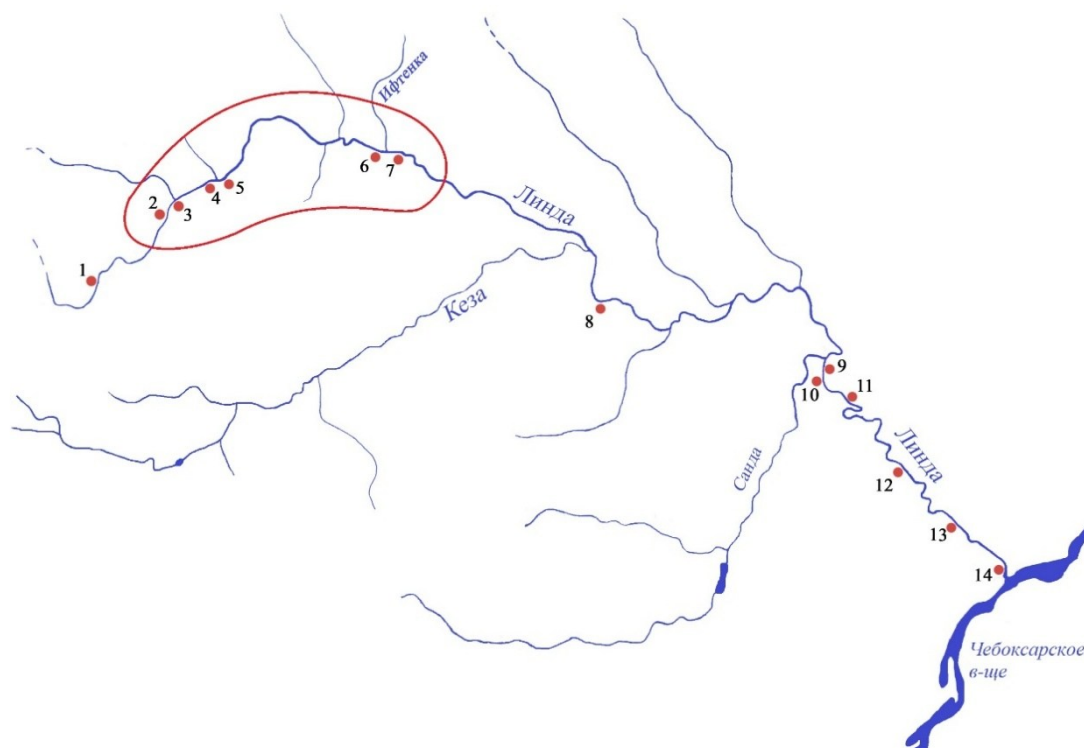


Рисунок 6.8. Схема расположения станций отбора проб на акватории р. Линды в 2012 г.

1 – н.п. Zubovo; 2 – н.п. Б.Дуброва; 3 – н.п. Клопиха; 4 – н.п. Плюхино (выше впадения р. Безымянного); 5 – н.п. Плюхино (ниже впадения р. Безымянного); 6 – н.п. Тарасиха (выше устья р. Ифтенка); 7 – н.п. Тарасиха (ниже устья р. Ифтенка); 8 – н.п. Остреево; 9 – н.п. Зуево, ниже устья р. Санда; 10 – н.п. Железнодорожный; 11 – н.п. Киселиха; 12 – н.п. Линда-Пустынь; 13 – н.п. Толоконцево; 14 – устье р. Линда.

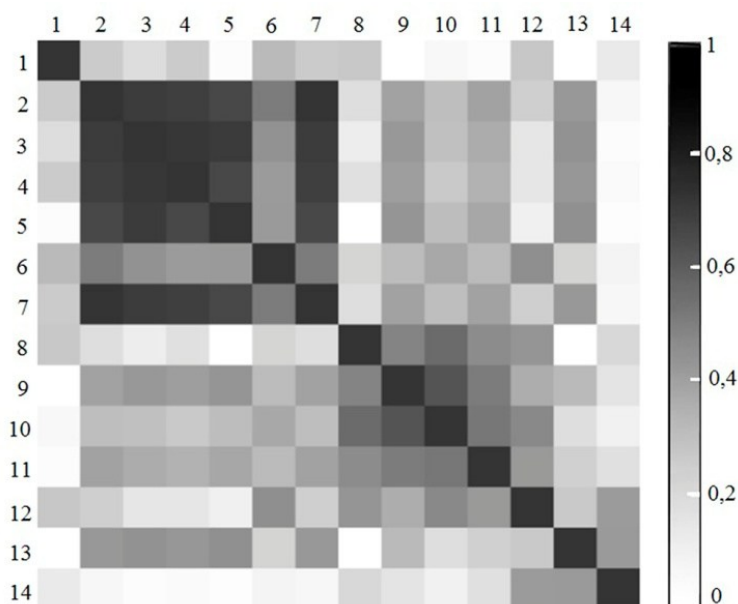


Рисунок 6.9. Визуализация мер сходства проб зоопланктона реки Линда в 2012 г. 1-14 – станции отбора проб зоопланктона (см. рисунок 1); 0–1 – величина косинуса угла между векторами численностей зоопланктона

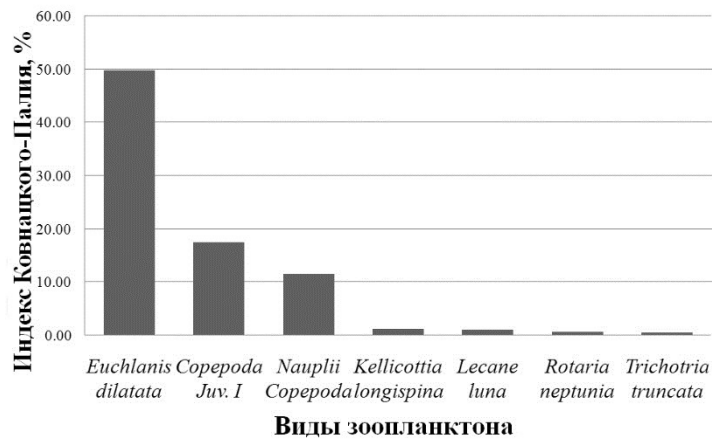


Рисунок 6.10. Индекс Ковнацкого-Паляя, рассчитанный для видов зоопланктоценоза реки Линда

Относительно высоким сходством обладала также видовая структура зоопланктона станций №9 и №10, менее четко было выражено сходство между соседними с ними станциями №№ 8, 11 и 12. Все пробы №№ 8-12 характеризовались значительным доминированием по численности коловратки *Euchlanis lyra* (20-60% от общей численности зоопланктона), чем, вероятно, и обусловлен определенное сходство данных проб между собой. Однако, это сходство недостаточно сильно ( $\cos \alpha$  менее 0,72), чтобы можно было обоснованно выделить дискретное сообщество зоопланктона.

Чтобы определить, имеет ли место направленная перестройка видовой структуры на данном участке профиля реки (станции с №8 по №13), был проведен анализ сходства векторов дискриминантной численности (Черепенников и др., 2004) (рисунок 6.11).

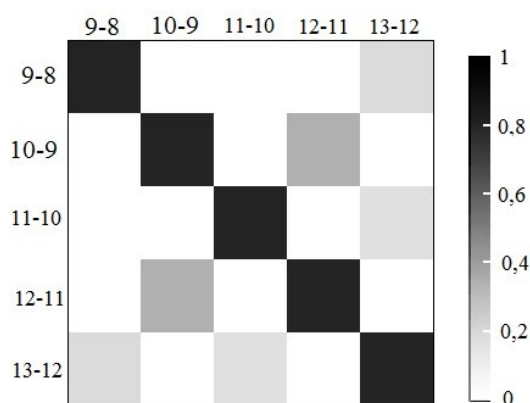


Рисунок 6.11. Визуализация мер сходства векторов дискриминантных численностей зоопланктона р. Линда по станциям отбора проб №№ 8-13

Он показал, что направления этих векторов не сходны между собой. Это позволяет сделать вывод о том, что направленного, постепенного изменения видовой структуры зоопланктона на данном участке не наблюдается, а, напротив, имели место ненаправленные, непоследовательные изменения видовой структуры.

Значения показателей количественного развития зоопланктона в пределах выделенного зоопланктоценоза верхнего течения было относительно низкими (таблица 6.4). Основную долю от численности (62,6%) занимали коловратки (в основном, *Euchlanis dilatata*), основную биомассу формировали представители веслоногих ракообразных – науплиальные и копеподитные стадии *Copepoda* (50,4%). Значения индекса Шеннона были также невысокими, что обуславливалось низким видовым богатством (таблица 6.4).

Таблица 6.4

Показатели количественного развития зоопланктона в пределах зоопланктоценоза верхнего течения р. Линда в июле 2012 г.

| Показатель                                    |                                             | Значение       |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------|
| Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup>         | Общая                                       | 0,69±0,14      |
|                                               | Соотношение численностей, %<br>Rot:Clad:Cop | 62,6:2,4:35,0  |
| Биомасса, г/м <sup>3</sup>                    | Общая                                       | 0,002±0,0006   |
|                                               | Соотношение биомасс, %<br>Rot:Clad:Cop      | 31,6:18,0:50,4 |
| Средняя индивидуальная масса зоопланктера, мг |                                             | 0,0029±0,0007  |
| Индекс Шеннона, (H <sub>n</sub> )             |                                             | 1,20±0,18      |
| Индекс Пиелу, (E <sub>n</sub> )               |                                             | 0,74±0,06      |
| Число видов                                   | Общее                                       | 13             |
|                                               | Соотношение числа видов,<br>Rot:Clad:Cop    | 9:2:2          |

Таким образом, на обследованной акватории р. Линды выделялся один участок в верхнем течении, занятый дискретным зоопланктоценозом.

### 6.3. Река Кудьма

При анализе встречаемости отдельных видов зоопланктона было выявлено, что на всем протяжении р. Кудьма присутствовали такие виды зоопланктона, как

*Asplanchna priodonta*, *Brachionus quadridentatus*, *Euchlanis dilatata*, *Alona quadrangularis*, *Chydorus sphaericus*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Leptodora kindtii*, *Eudiaptomus graciloides*.

На основе визуализации данных многомерного векторного анализа на акватории р. Кудьма были выделены пробы, близкие по видовой структуре зоопланктона (рисунки 6.12, 6.13). Наибольшей степенью сходства видовой структуры отличались три станции в нижнем течении (№№7-9). Близость векторов численностей зоопланктона этих трех станций обусловлена тем, что единственным доминантом на них являлась коловратка *B. calyciflorus*. Среди субдоминантов преобладали *K. cochlearis*, Nauplii Copepoda и *B. angularis* (рисунок 6.14). Таким образом, в устьевом участке р. Кудьма выделялся обособленный по видовой структуре зоопланктоценоз.

Высокой степенью сходства видовой структуры зоопланктона характеризовались пробы №№1-3 (участок от н.п. Митино до н.п. Кстово), и, следовательно, на данном участке реки также выделялся дискретный зоопланктоценоз с преобладанием Nauplii Copepoda, *Alona rectangula*, *Acroporus harpae* и *Asplanchna priodonta* (рисунок 6.15).



Рисунок 6.12. Схема расположения станций отбора проб на акватории р. Кудьма. 1 – н.п. Митино; 2 – н.п. Зеленый город; 3 – н.п. Кстово; 4 – выше устья р. Озерка; 5 – ниже устья р. Озерка; 6 – н.п. Ветчак; 7 – выше устья р. Шава; 8 – ниже протоки, н.п. Ленинская слобода; 9 – выше устья

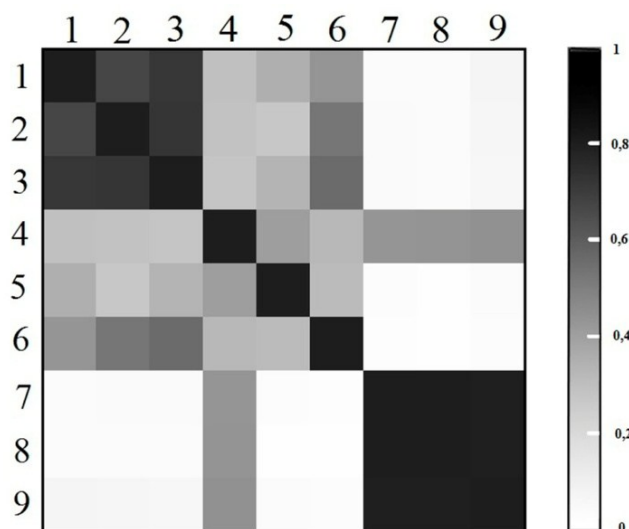


Рисунок 6.13. Визуализация мер сходства проб зоопланктона реки Кудьма в 2012 г. 1–9 – станции отбора проб зоопланктона (см. рисунок 2); 0–1 – величина косинуса угла между векторами численностей зоопланктона

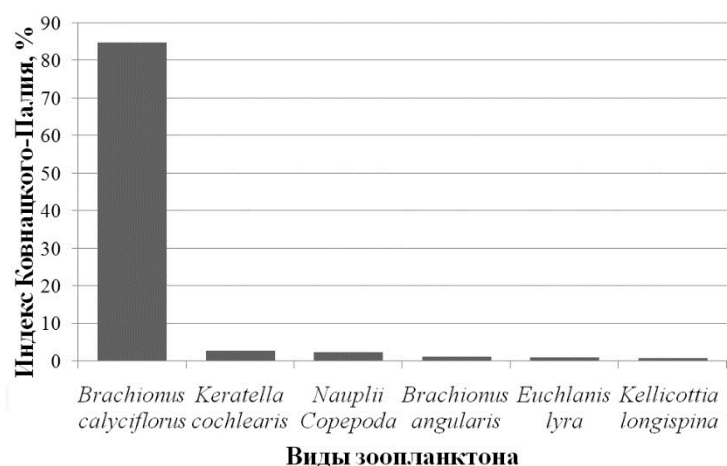


Рисунок 6.14. Индекс Ковнацкого-Паляя, рассчитанный для видов зоопланктоценоза нижнего течения реки Кудьма

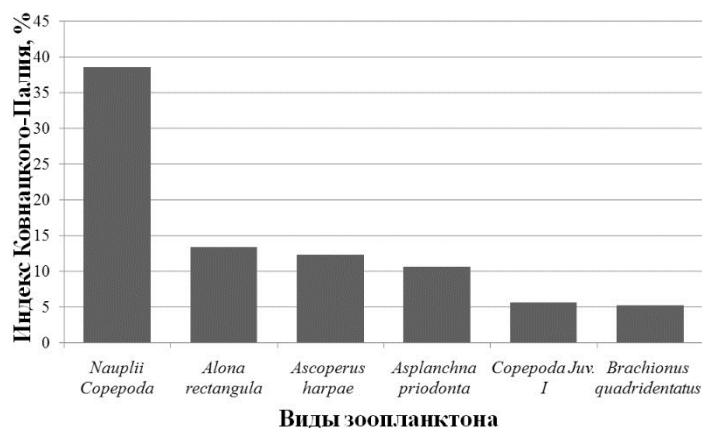


Рисунок 6.15. Индекс Ковнацкого-Паляя, рассчитанный для видов зоопланктоценоза верхнего течения реки Кудьма

Пробы №№4, 5 и 6 характеризовались довольно низким сходством видовой структуры, и на данном участке не выделялось обособленное сообщество зоопланктона.

В период летней межени 2013 г. также выделялось два зоопланктоценоза – в среднем и в верхнем течении (7.2). При этом, зоопланктоценоз среднего течения в данный период располагался на акватории от н.п. Зеленый город до устья р. Озерка (рисунок 6.16).



Рисунок 6.16. Схема расположения точек отбора проб зоопланктона и размещения зоопланктонных сообществ на акватории р. Кудьма в июле 2013 г.

1 – н.п. Митино; 2 – н.п. Зеленый город; 3 – н.п. Кстово; 4 – выше устья р. Озерка; 5 – ниже устья р. Озерка; 6 – н.п. Ветчак; 7-10 – выше устья р. Шава; 11-12 – ниже устья р. Шава; 13 – н.п. Ленинская слобода

Значения показателей количественного развития выделенных зоопланктоценозов приведены в таблице 6.5. Как в 2012, так и в 2013 г., значения показателей количественного развития зоопланктона в пределах зоопланктоценоза нижнего течения были выше, чем в зоопланктоценозе верхнего течения. Основную долю численности и биомассы во всех сообществах зоопланктона формировали коловратки (до 95,9% от общей численности, до 84,9% от общей биомассы зоопланктона). Значения индекса Шеннона в зоопланктоценозе нижнего течения в 2012 г. принимали низкие значения, что было обусловлено низкой выравненностью (таблица 6.5), обусловленной фактическим монодоминированием в данном ценозе коловратки *Brachionus calyciflorus*.

Показатели количественного развития зоопланктона в пределах зоопланктоценозов р. Кудьма в летнюю межень 2012 и 2013 гг.

| Показатели                                       |                                             | 2012 г.                        |                               | 2013 г.                        |                               |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
|                                                  |                                             | ценоз<br>«среднего<br>течения» | ценоз<br>«нижнего<br>течения» | ценоз<br>«среднего<br>течения» | ценоз<br>«нижнего<br>течения» |
| Численность,<br>тыс. экз./м <sup>3</sup>         | Общая                                       | 2,04±0,72                      | 31,10±16,46                   | 4,42±1,31                      | 27,19±5,84                    |
|                                                  | Соотношение<br>численностей,<br>%           | 24,5:25,5:50,0                 | 95,9:0,7:3,3                  | 92,2:2,1:5,7                   | 81,6:11,5:6,9                 |
|                                                  | Rot:Clad:Cop                                |                                |                               |                                |                               |
| Биомасса, г/м <sup>3</sup>                       | Общая                                       | 0,018±0,006                    | 0,049±0,030                   | 0,002±0,001                    | 0,108±0,022                   |
|                                                  | Соотношение<br>биомасс, %                   | 47,3:34,2:18,5                 | 84,9:4,1:11,0                 | 63,2:11,8:25,0                 | 63,4:29,3:7,3                 |
|                                                  | Rot:Clad:Cop                                |                                |                               |                                |                               |
| Средняя индивидуальная<br>масса зоопланктера, мг |                                             | 0,0092±0,0027                  | 0,0014±0,0003                 | 0,0005±0,0007                  | 0,0040±0,0002                 |
| Индекс Шеннона, (H <sub>n</sub> )                |                                             | 1,69±0,03                      | 0,78±0,12                     | 1,54±0,16                      | 1,45±0,11                     |
| Индекс Пielу, (E <sub>n</sub> )                  |                                             | 0,90±0,04                      | 0,28±0,05                     | 0,58±0,06                      | 0,50±0,04                     |
| Число видов                                      | Общее                                       | 9                              | 25                            | 31                             | 37                            |
|                                                  | Соотношение<br>числа видов,<br>Rot:Clad:Cop | 4:2:3                          | 17:4:4                        | 20:8:3                         | 20:10:7                       |

Таким образом, на обследованной акватории р. Кудьмы выделено три участка. Первый включает в себя станции №№1–3, и представляет собой дискретный зоопланктоценоз с обособленной видовой структурой. На станциях №№4–6 не выделяется дискретный зоопланктоценоз. И, наконец, на станциях №№7–9 также присутствует дискретный зоопланктоценоз значительным сходством видовой структуры.

#### 6.4. Малые водотоки г. Н. Новгорода

На акватории малых водотоков г. Нижнего Новгорода в середине июля 2014 г. в ходе единовременной съемки было отобрано 72 пробы зоопланктона (реки Черная, Левинка, Параша, Ржавка, Борзовка, Гниличка, Вьюница и Шуваловский канал, расположенные в заречной, низинной части города, а также реки Кова, Старка, Рахма – в нагорной части Нижнего Новгорода) (рисунки 6.17, 6.18).

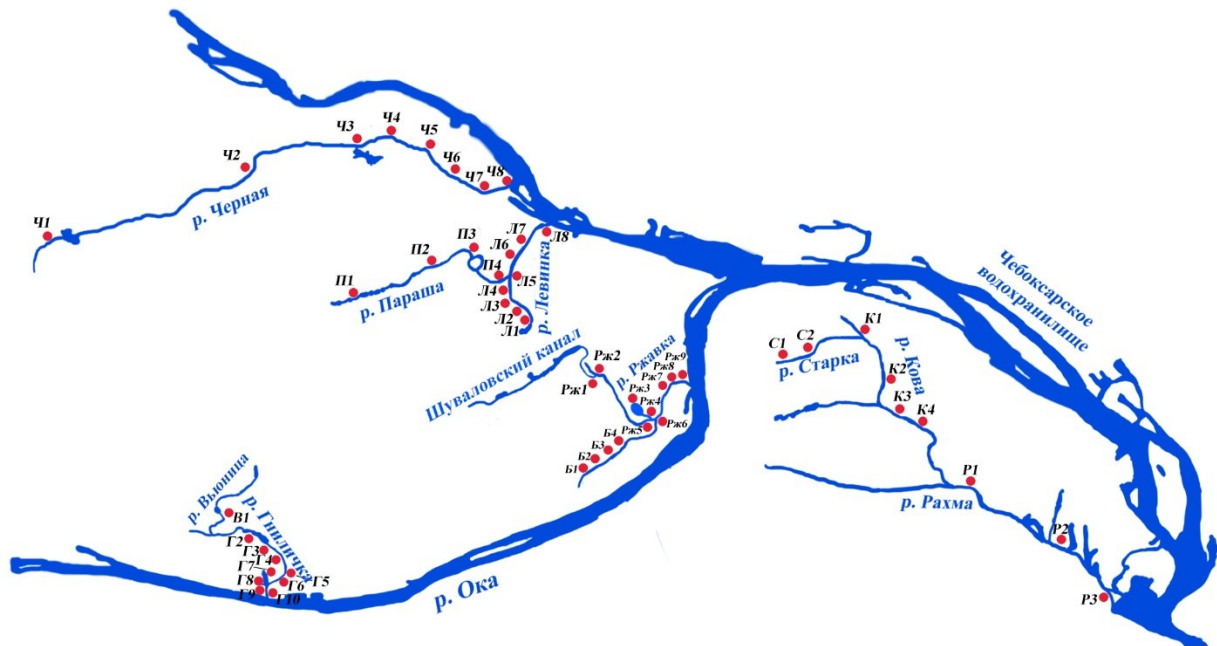


Рисунок 6.17. Схема расположения точек отбора проб зоопланктона на малых реках г. Нижнего Новгорода в июле 2014 г.

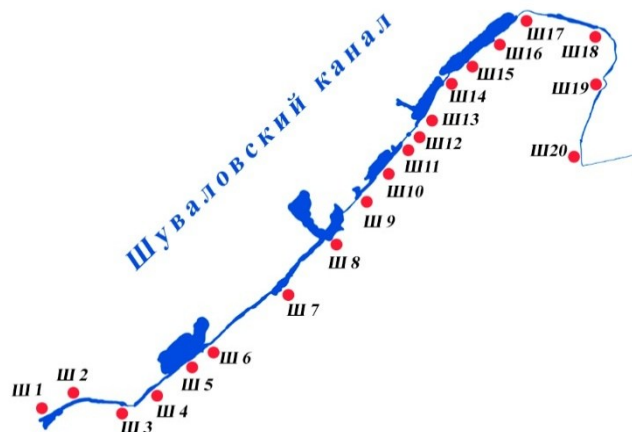


Рисунок 6.18. Схема расположения точек отбора проб зоопланктона на акватории Шуваловского канала в июле 2014 г.

Наибольшими показателями количественного развития (численностью и биомассой) зоопланктона характеризовались водотоки, на акватории которых имеются протяженные участки искусственных или естественных озерных расширений с замедленным стоком и обильным развитием макрофитов (Шуваловский канал, Левинка, Гниличка) (таблица 6.6).

Минимальными значениями показателей развития зоопланктона (численность, биомасса, видовое богатство) характеризовались реки Старка и

Ко́ва (таблица 4.2). Значения индекса Шеннона также были минимальными и находились ниже 1, что в совокупности с низкими показателями количественного развития и видовым богатством может указывать на нарушенность видовой структуры сообществ зоопланктона данных рек.

Таблица 6.6

Показатели видовой структуры зоопланктона исследуемых водотоков  
г. Н. Новгорода в июле 2014 г.

| Показатель<br>Водоток | Число<br>видов | Численность,<br>тыс. экз./м <sup>3</sup> | Биомасса, г/м <sup>3</sup> | Индекс<br>Шеннона,<br>H <sub>n</sub> , бит/экз. | Индекс<br>Пиелу, E <sub>n</sub> |
|-----------------------|----------------|------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------|
| р. Черная             | 57             | 4,05±1,83                                | 0,03±0,02                  | 1,85±0,14                                       | 0,69±0,06                       |
| р. Левинка            | 63             | 41,68±24,46                              | 0,12±0,05                  | 1,59±0,15                                       | 0,51±0,04                       |
| р. Параша             | 37             | 1,71±1,23                                | 0,006±0,005                | 1,80±0,14                                       | 0,66±0,04                       |
| Шуваловский<br>канал  | 83             | 463,87±94,63                             | 2,9±0,68                   | 2,70±0,16                                       | 0,65±0,03                       |
| р. Ржавка             | 37             | 2,11±0,96                                | 0,03±0,02                  | 2,34±0,12                                       | 0,65±0,04                       |
| р. Борзовка           | 29             | 23,92±6,66                               | 0,52±0,32                  | 1,30±0,20                                       | 0,53±0,08                       |
| р. Гниличка           | 47             | 124,08±77,35                             | 0,37±0,25                  | 1,67±0,15                                       | 0,65±0,05                       |
| р. Рахма              | 33             | 12,11±10,73                              | 0,03±0,03                  | 1,88±0,14                                       | 0,70±0,10                       |
| р. Кова               | 8              | 0,08±0,03                                | 0,0001±0,0001              | 0,99±0,13                                       | 0,83±0,06                       |
| р. Старка             | 4              | 0,23±0,02                                | 0,0004±0,00004             | 0,50±0,02                                       | 0,46±0,02                       |

Сравнительный анализ видовой структуры зоопланктона всех обследованных водотоков затруднен ввиду их биотопической неоднородности и, как следствие, неоднородности видовой структуры зоопланктона на различных участках рек. С помощью метода многомерного векторного анализа была выполнена кластеризация проб зоопланктона в пределах каждого исследуемого водотока с целью выявления характера пространственного размещения зоопланктона.

Анализ пространственного размещения зоопланктона проводился для всех исследованных водотоков. Выявлено, что характер пространственного размещения зоопланктона всех водотоков являлся, преимущественно, дискретным, что определялось их большой биотопической неоднородностью.

Так, на акватории р. Черной можно выделить три кластера (рисунок 6.19). В отдельный кластер объединялись станции №1-2 и №5-6, характеризующееся

доминированием науплиальных стадий *Copepoda*, и в меньшей степени – копепоидных стадий веслоногих рачков. Станции №3-4, формирующие другой кластер, характеризовались доминированием по численности копепоидных стадий веслоногих рачков. В третий кластер по видовой структуре зоопланктона выделялись станции №7-8, на которых степень доминирования науплиальных и копепоидных стадий снизилась, и на первое место вышла коловратка *Euchlanis dilatata*.

На акватории р. Левинка (рисунок 6.20) станции №1 и №2 в верхнем течении реки образовывали кластер с массовым доминированием коловратки *Keratella quadrata* и науплиальных стадий *Copepoda*. Станция №3 характеризовалась доминированием копепоидных стадий *Copepoda*, в число субдоминантов входили науплиальные стадии *Copepoda* и *Bosmina longirostris*. Станции №4-7, расположенные в среднем течении, формировали отдельный кластер с доминированием науплиальных стадий, субдоминантами являлись копепоидные стадии веслоногих ракообразных. Станция №8 характеризовала устьевой участок реки, на котором доминировал ветвистоусый рачок *Bosmina longirostris*.

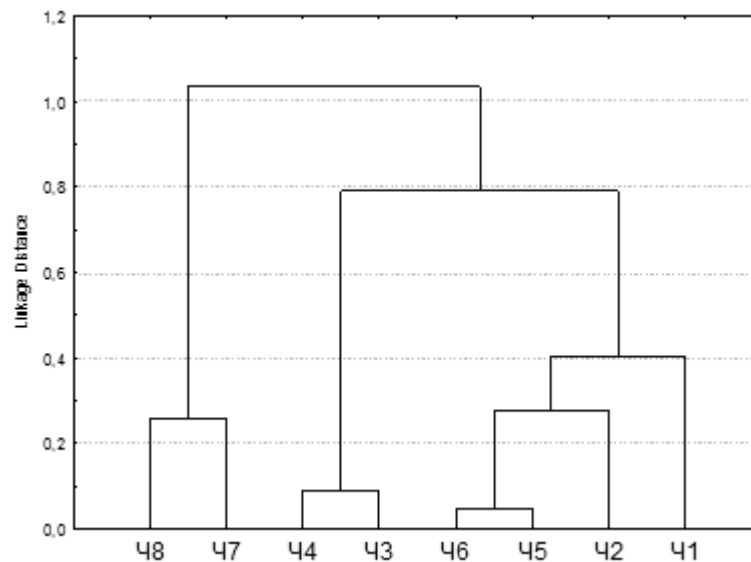


Рисунок 6.19. Кластеризация на основе многомерного векторного анализа проб зоопланктона на акватории р. Черной в 2014 г.

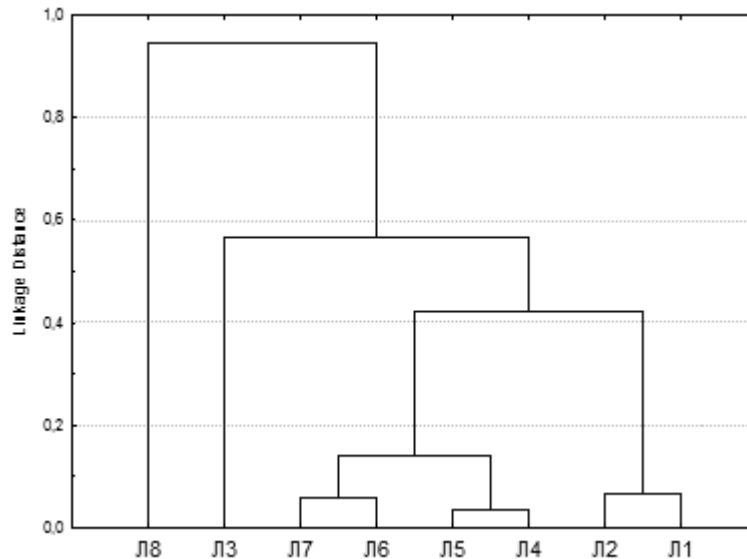


Рисунок 6.20. Кластеризация на основе многомерного векторного анализа проб зоопланктона на акватории р. Левинки в 2014 г.

На акватории р. Параша в отдельный кластер выделялись пробы №1-2 и №4 (рисунок 6.21), с преимущественным доминированием науплиальных стадий *Copepoda*. На станции №3 по численности доминировали *Disparalona rostrata* и *Alona costata*.

На акватории Шуваловского канала (рисунок 6.22) в отдельный кластер сгруппировались станции №№1, 2, 7, 8, 9, 10, 13 – представляющие озерные расширения канала №№ 1, 3, 4 и 5 с массовым доминированием *Bosmina longirostris* и станция 11 – сток из озерного расширения №4.

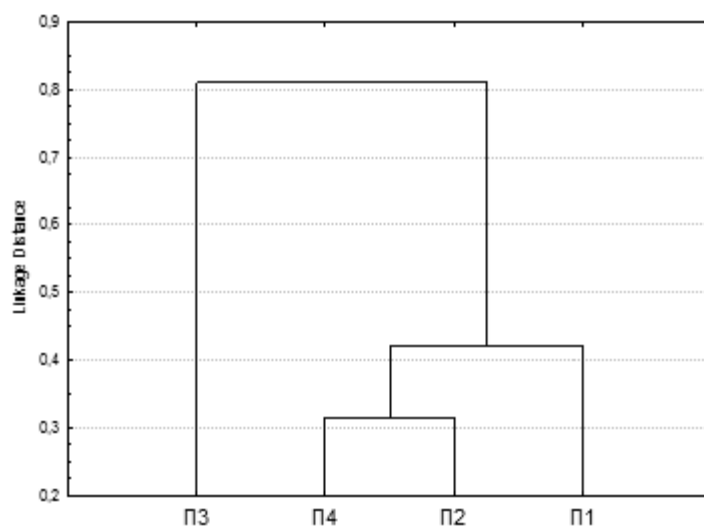


Рисунок 6.21. Кластеризация на основе многомерного векторного анализа проб зоопланктона на акватории р. Параша в 2014 г.

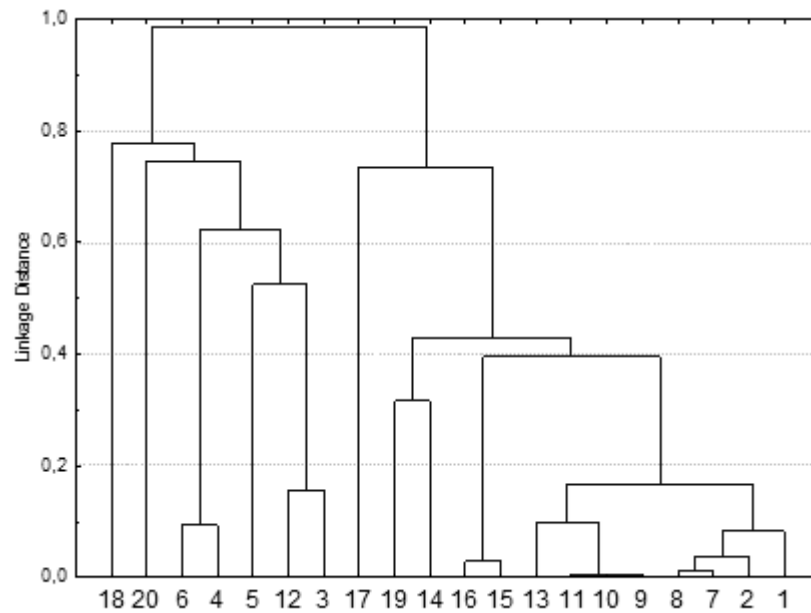


Рисунок 6.22. Кластеризация на основе многомерного векторного анализа проб зоопланктона на акватории Шуваловского канала в 2014 г.

Станции №№15-16 расположены на акватории озерного расширения №6, и характеризовались доминированием копеподитных стадий веслоногих рачков и *Bosmina longirostris*.

Достаточно близко к друг другу расположились станции №3 и 12, представляющие конец озёрного расширения №1 и проточный участок из озёрного расширения №4, характеризуются доминированием науплиальных стадий *Sopropoda*.

Станции №4 и №6 расположены по направлению течения канала до и после озерного расширения №2, сгруппированы в кластер и характеризуются доминированием *Synchaeta pectinata*. Станция №5 – озёрное расширение №2 с доминированием *Kellicottia longispina* – стоит отдельно от остальных проб.

Также особняком стоят станции №19 и №20, представляющие собой проточные участки канала с низкой численностью зоопланктона, но разными доминантами: на станции №19 – *Ceriodaphnia quadrangular*, на станции №20 – *Daphnia pulex*; и станция 14 – участок между 5 и 6 озёрными расширениями с доминированием *Bosmina longirostris* и *Filinia longiseta*.

Станция №18 представляет собой достаточно обособленный участок канала с развитой высшей водной растительностью, высокими видовым богатством (54 вида) и видовым разнообразием зоопланктона (индекс Шеннона 4,12 бит/экз.), характеризующийся полидоминантностью.

Зоопланктон нижнего течения р. Ржавка формируется посредством слияния вод р. Ржавка верхнего течения, Шуваловского канала, р. Борзовка и стока из придаточного пруда. Станция №1 представляет собой выход вод Шуваловского канала из подземного коллектора с относительно высоким видовым богатством зоопланктона (14 видов). Станция №7, формируемая потоком вод из подземного коллектора среднего течения р. Ржавка расположена после впадения в р. Ржавка реки Борзовка и придаточного пруда. Здесь наблюдалось обогащение планктона р. Ржавки её притоками, увеличение видового богатства (21 вид) и численности зоопланктона (4,16 тыс. экз./м<sup>3</sup>). Обе станции характеризовались доминированием *Keratella cochlearis*, и сгруппировались в один кластер (рисунок 6.23).

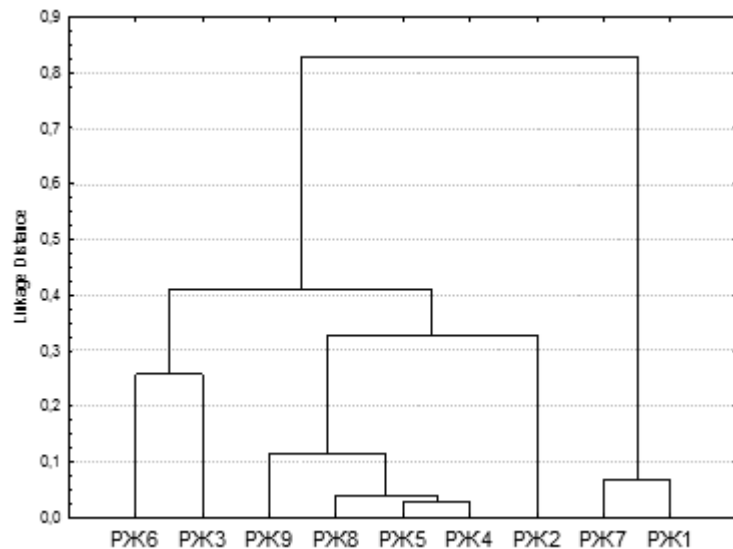


Рисунок 6.23. Дендрограмма сходства проб зоопланктона на акватории р. Ржавки

Станция №2 расположена на р. Ржавка до слияния вод Шуваловского канала и р. Ржавки и характеризует участок верхнего течения р. Ржавка с мощными отложениями илов и сильным антропогенным воздействием (почти полное замусоривание береговой зоны и течения реки). Здесь наблюдалось низкое

видовое богатство (5 видов) зоопланктона и доминирование науплиальных и взрослых стадий придонного веслоногого рачка–эврифага *Eucyclops serrulatus*.

Станция №3 расположена на участке придаточного пруда р. Ржавки и характеризовалась доминированием науплиальных стадий *Copepoda* (3,03 тыс. экз./м<sup>3</sup>), а также присутствием в большом количестве *Daphnia pulex* (1,78 тыс. экз./м<sup>3</sup>). В стоке из коллектора р. Борзовка (станция №6) были отмечены только науплиальные стадии *Copepoda* (0,002 тыс. экз./м<sup>3</sup>).

Станции №8 и №9 устьевого участка р. Ржавка, а также сток из придаточного пруда (станция №4) и выход р. Ржавка из коллектора (станция №5) сгруппировались в один кластер и характеризуются доминированием науплиальных и копеподитных стадий веслоногих рачков.

Стоит отметить, что при выходе Шуваловского канала из коллектора доля мёртвых особей *Keratella cochlearis* составляла 28%, а *Keratella quadrata* – 50%. Также в пробе отмечены только мёртвые особи *Bosmina longirostris*, Это говорит о том, что при прохождении вод по подземному коллектору на зоопланктон оказывается губительное воздействие.

На акватории р. Борзовка по видовой структуре зоопланктона выделялось два кластера (рисунок 6.24).

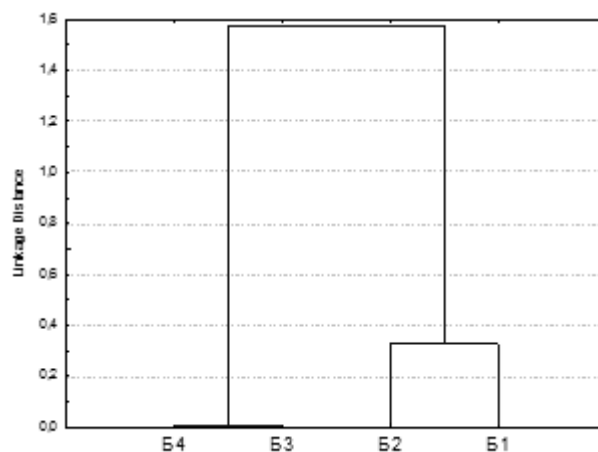


Рисунок 6.24. Дендрограмма сходства проб зоопланктона на акватории р. Борзовка

Наибольшим сходством обладали пробы №3-4 в нижнем течении реки, в которых по численности значительно преобладала *Daphnia pulex*. Другой кластер составили пробы №1-2, в которых наибольшую численность имели науплиальные

и копеподитные стадии веслоногих ракообразных, а также коловратка *Euchlanis dilatata* (в пробе №1).

На акватории р. Гниличка выделяется кластер из станций №3,4,6,7,8 (рисунок 6.25). Станции №3,4,7,8 являются прудовыми расширениями реки с доминированием науплиальных стадий веслоногих рачков, станция №6 – впадение Гнилички в пойменный пруд с доминированием копеподитных стадий веслоногих рачков.

Отдельно стоят станция №1 р. Выюница с доминированием *Scapholeberis mucronata*, станция №2 – первый пруд на р. Гниличке с доминированием *Keratella cochlearis*, станция №5 – сток из коллектора под автострадой с доминированием *Brachionus quadridentatus*, станция №9 – сток из пойменного пруда с доминированием *Ceriodaphnia pulchella*, станция №10 – устье в р. Оку с доминированием *Diaphanosoma brachyurum*.

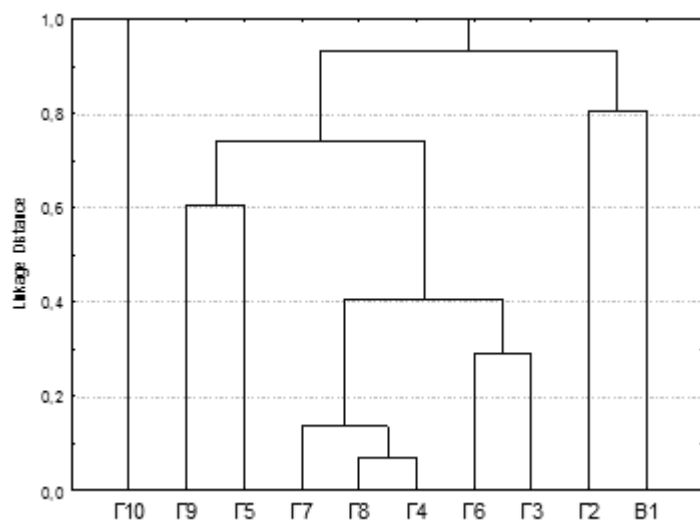


Рисунок 6.25. Дендрограмма сходства проб зоопланктона на акватории р. Гниличка

Реки нагорной части г. Н. Новгорода, особенно р. Старка и р. Кова, протекающие по центральным районам города, характеризовались нарушенной видовой структурой зоопланктона.

Ближе всего друг к другу по видовой структуре зоопланктона (рисунок 6.26) находились станции №1-2 на р. Старка, на которых встречались преимущественно науплиальные и копеподитные стадии веслоногих ракообразных, другие виды встречались лишь единично.

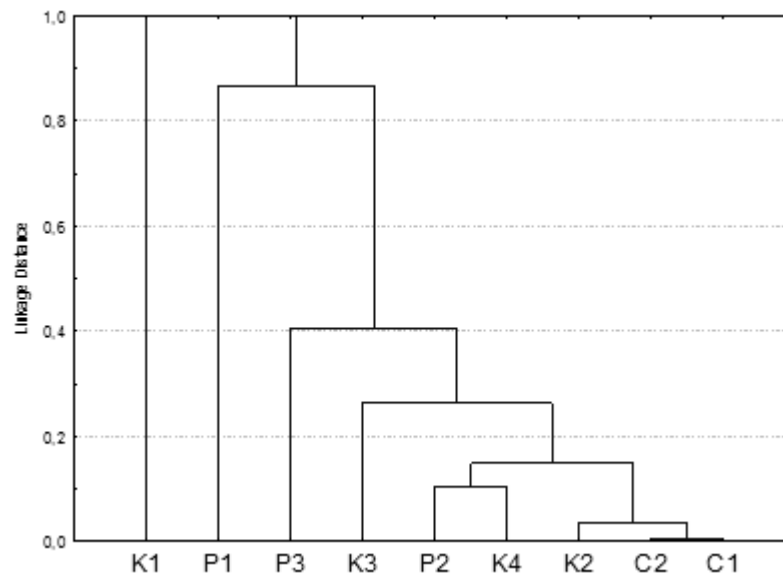


Рисунок 6.26. Дендрограмма сходства проб зоопланктона на акваториях р. Рахма, р. Кова, р. Старка

Доминированием ювенильных стадий *Copepoda* характеризовались и остальные станции, за исключением отдельно стоящей станции №1 на р. Кова, где встречались лишь *Bdelloida* и *Keratella cochlearis*, а также станция №1 на р. Рахма, где доминировала *Bosmina longirostris*.

#### ***Значение рефугиумов в видовой структуре городских малых водотоков.***

Известно, что большую роль в функционировании экосистем водотоков играют рефугиумы (лат. *refugium* – убежище) – участки реки, где вид или группа видов пережили или переживают неблагоприятный для них период времени. В качестве рефугиумов в реках выступают затишные участки русла, притоки основного русла, заросли макрофитов (Богатов, 1994; 1995; Крылов, 2005; Семенченко и др., 2013).

В качестве примера рассмотрим участок верхнего течения р. Ржавка, которых характеризовался низким видовым богатством зоопланктона (5 видов) и преобладанием науплиальных и взрослых стадий придонного веслоногого рачка – эврифага *Eucyclops serrulatus*, добывающего пищу с поверхности субстрата и способного переносить почти полное отсутствие кислорода (Крылов, 2005). Остальные виды были представлены только эврибионтными панцирными коловратками сем. *Brachionidae* с низкой численностью (0,17 тыс. экз/м³). Это

позволяет охарактеризовать верхний участок р. Ржавка по степени экологического неблагополучия как зону чрезвычайной экологической ситуации (Критерии оценки..., 1992).

Зоопланктон нижнего течения р. Ржавка формируется посредством слияния вод р. Ржавка среднего течения (15 видов зоопланктона); р. Борзовка, вытекающей из подземного коллектора, и стока из придаточного пруда. Проба устьевого участка р. Борзовка была представлена лишь науплиальными стадиями *Sopropoda* с низкой численностью (0,02 тыс. экз/м<sup>3</sup>). После впадения ручья из придаточного пруда видовое богатство зоопланктона р. Ржавка возросло до 21 вида, в пробе появились крупные ракообразные – фильтраторы *Daphnia cucullata* и *Daphnia pulex*. Таким образом, придаточный пруд р. Ржавка выполняет роль рефугиума для зоопланктона, внося большой вклад в планктонофонд нижнего течения реки и играя важную роль в поддержании её самоочищающей способности.

Шуваловский канал состоит из 6 озёрных расширений и крупной протоки с замедленным течением, а также небольших проточных участков. В озёрных расширениях канала наблюдалось высокое видовое богатство и численность зоопланктона. Однако наибольшее видовое богатство зоопланктона (54 вида) среди всех водотоков было обнаружено в протоке канала, где массово развивалась уруть мутовчатая (*Myriophyllum verticillatum* L.). Участки замедленного течения, заросли макрофитов на акватории Шуваловского канала служат рефугиумами для организмов зоопланктона (Гаврилко, 2015).

Таким образом, анализ пространственного размещения зоопланктона малых городских водотоков с помощью метода многомерного векторного анализа показал, что видовая структура зоопланктона неоднородна даже в пределах одного водотока. На акватории водотоков, как правило, не наблюдалось значительных по протяженности участков, характеризующихся сходством видовой структуры. Это связано с существенными биотопическими различиями, обусловленными как природными, так и антропогенными факторами.

Зоопланктон участков городских водотоков со значительной скоростью течения и отсутствием макрофитов (р. Старка, р. Кова, р. Ржавка) характеризовался нарушенной видовой структурой: низким видовым богатством, низкой численностью, низкой биомассой, низкими значениями индекса Шеннона. Водотоки, имеющие протяженные участки с замедленным течением и богатой высшей водной растительностью, характеризовались высокими показателями количественного развития зоопланктона (р. Левинка, р. Гниличка, Шуваловский канал).

Заросли макрофитов и озерные расширения играли роль зон рефугиумов для зоопланктона городских малых водотоков, внося существенный вклад в формирование видовой структуры сообществ.

*Таким образом, подводя итог главы 6, можно заключить, что акваторию Чебоксарского водохранилища на современном этапе его существования занимают четыре зоопланктоценоза: «волжского» и «окского» потоков, «переходный», «озерный». Усиление лимнофильных черт выделенных зоопланктоценозов в июле 2011 было связано с интенсивным прогревом воды.*

*На акваториях обследованных малых рек выделяются как участки со сходной видовой структурой, представляющие собой дискретные зоопланктоценозы, так и участки с гетерогенной видовой структурой зоопланктона, что может быть обусловлено значительной биотопической неоднородностью водотоков.*

*Кроме того, прослеживается следующая закономерность: протяженность акватории, занимаемой зоопланктоценозом, снижается в ряду: Чебоксарское водохранилище (80 – 140 км) → р. Линда, р. Кудьма (10 – 20 км) → малые реки г. Н. Новгорода (0,2 – 2,3 км), что, вероятно, определяется степенью биотопической неоднородности условий среды исследуемого водного объекта.*

## **Глава 7. Сезонные изменения видовой структуры и пространственного размещения сообществ зоопланктона**

В данном разделе на основе метода многомерного анализа на акваториях исследованных водотоков анализируется сезонная динамика видовой структуры сообществ зоопланктона и их пространственного размещения, сезонная динамика зоопланктона малых водотоков урбанизированных территорий, а также зависимость пространственно-временных изменений видовой структуры сообществ зоопланктона акватории верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища от некоторых факторов среды. Результаты наших исследований пространственного размещения сообществ зоопланктона на акваториях Чебоксарского водохранилища и его притоков приведены в ряде работ (Шурганова и др., 2012; Шурганова, Кудрин, Ильин, 2014; Шурганова и др., а, б, в, 2015 и др.).

### **7.1. Речная часть Чебоксарского водохранилища**

Для выявления сезонных изменений пространственного размещения сообществ зоопланктона на акватории верхней речной части Чебоксарского водохранилища на участке от г. Городца до г. Н. Новгорода в вегетационный сезон 2015 г. было проведено три съемки зоопланктона (май, июль, сентябрь) на 10 станциях отбора проб (рисунок 7.1).

Кластеризация проб с использованием многомерного векторного анализа (рисунки 7.2–7.4) показала, что во все три сезона исследуемые пробы делились на два кластера – пробы №1–7 и пробы №8–10.

Наиболее четко это разделение прослеживалось в период летней межени (июль). Первый кластер (станции №1–7) представляет собой зоопланктоценоз волжского потока Чебоксарского водохранилища. Станции №8–10, входящие во второй кластер, составляют зоопланктоценоз окского потока, который

представляет собой зоопланктон устьевой части р. Оки (станции №8–9) и формируемый им зоопланктон правобережного потока Чебоксарского водохранилища (станция №10).

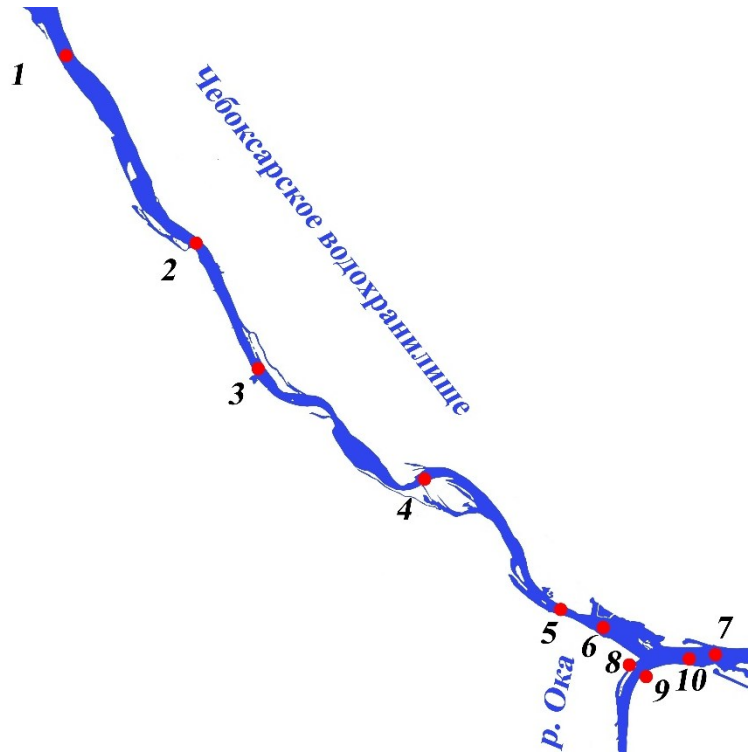


Рисунок 7.1. Станции отбора проб зоопланктона на акватории речной части Чебоксарского водохранилища в мае, июле и сентябре 2015 г. 1 – ниже г. Городец; 2 – выше г. Балахна; 3 – ниже г. Балахна; 4 – ниже н.п. Б. Козино; 5 – г. Н. Новгород, Сормово; 6 – г. Н. Новгород, Мещера; 7 – г. Бор; 8 – устье р. Оки, левый берег; 9 – устье р. Оки, правый берег; 10 – г. Н. Новгород, у Чкаловской лестницы.

В весенний период в зоопланктоценозе волжского потока доминировали коловратки – *Keratella quadrata*, *K. cohlearis*, *Synchaeta kitina*, *S. pectinata*, а также науплиальные стадии развития *Cyclopoida* (рисунок 7.5). В сообществе зоопланктона окского потока доминировали панцирные коловратки *Brachionus calyciflorus* и *K. quadrata* (рисунок 7.6).

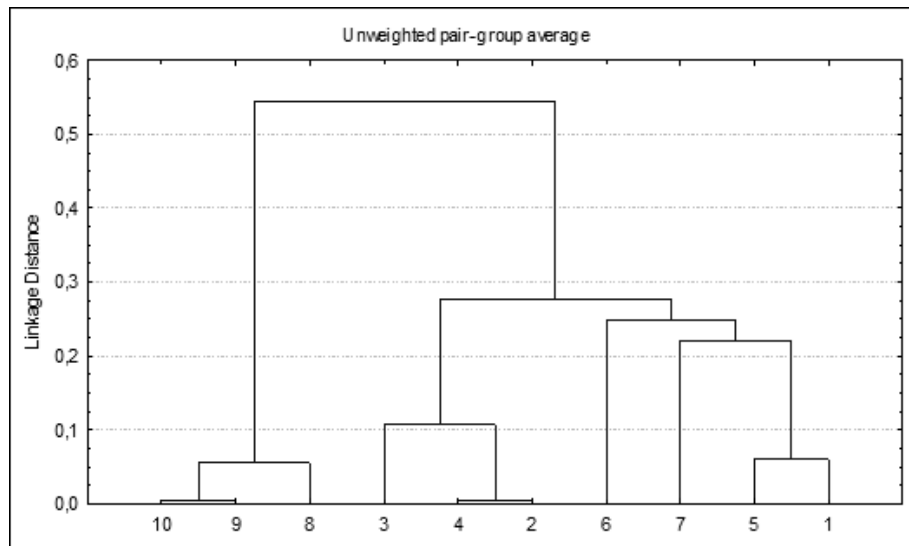


Рисунок 7.2. Кластеризация на основе многомерного векторного анализа проб зоопланктона верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища в мае 2015 г.

1 – ниже г. Городец; 2 – выше г. Балахна; 3 – ниже г. Балахна; 4 – ниже н.п. Б. Козино;  
5 – г. Н. Новгород, Сормово; 6 – г. Н. Новгород, Мещера; 7 – г. Бор; 8 – устье р. Оки, левый берег; 9 – устье р. Оки, правый берег; 10 – г. Н. Новгород, у Чкаловской лестницы.

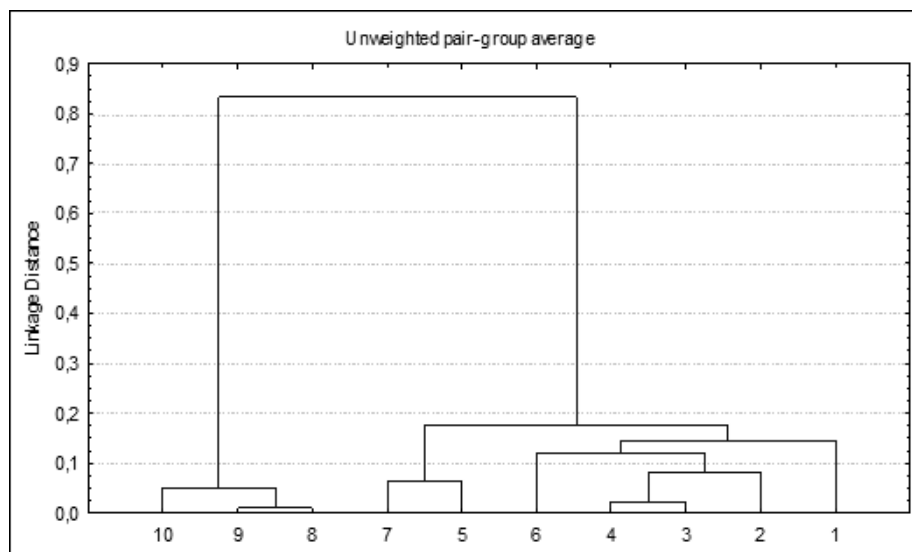


Рисунок 7.3. Кластеризация на основе многомерного векторного анализа проб зоопланктона верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища в июле 2015 г.

1 – ниже г. Городец; 2 – выше г. Балахна; 3 – ниже г. Балахна; 4 – ниже н.п. Б. Козино;  
5 – г. Н. Новгород, Сормово; 6 – г. Н. Новгород, Мещера; 7 – г. Бор; 8 – устье р. Оки, левый берег; 9 – устье р. Оки, правый берег; 10 – г. Н. Новгород, у Чкаловской лестницы.

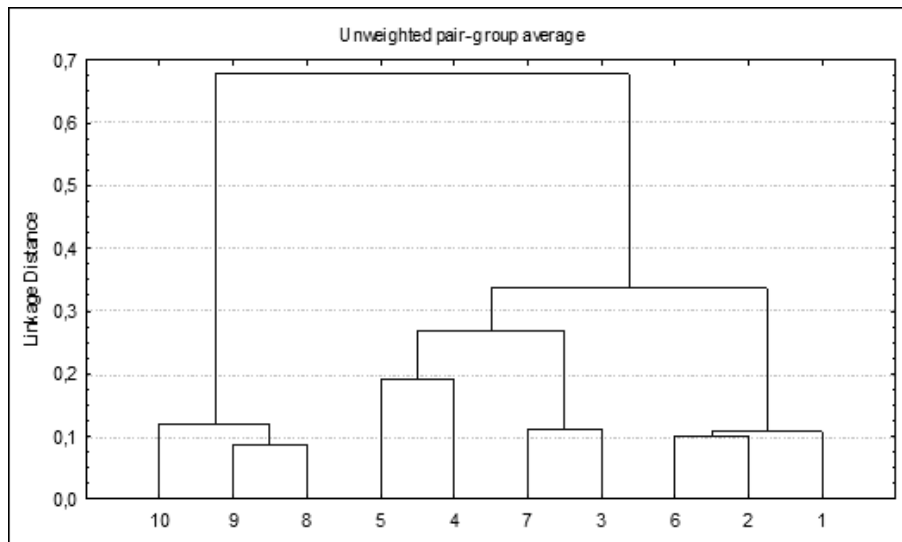


Рисунок 7.4. Кластеризация на основе многомерного векторного анализа проб зоопланктона верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища в сентябре 2015 г.

1 – ниже г. Городец; 2 – выше г. Балахна; 3 – ниже г. Балахна; 4 – ниже н.п. Б. Козино; 5 – г. Н. Новгород, Сормово; 6 – г. Н. Новгород, Мещера; 7 – г. Бор; 8 – устье р. Оки, левый берег; 9 – устье р. Оки, правый берег; 10 – г. Н. Новгород, у Чкаловской лестницы.

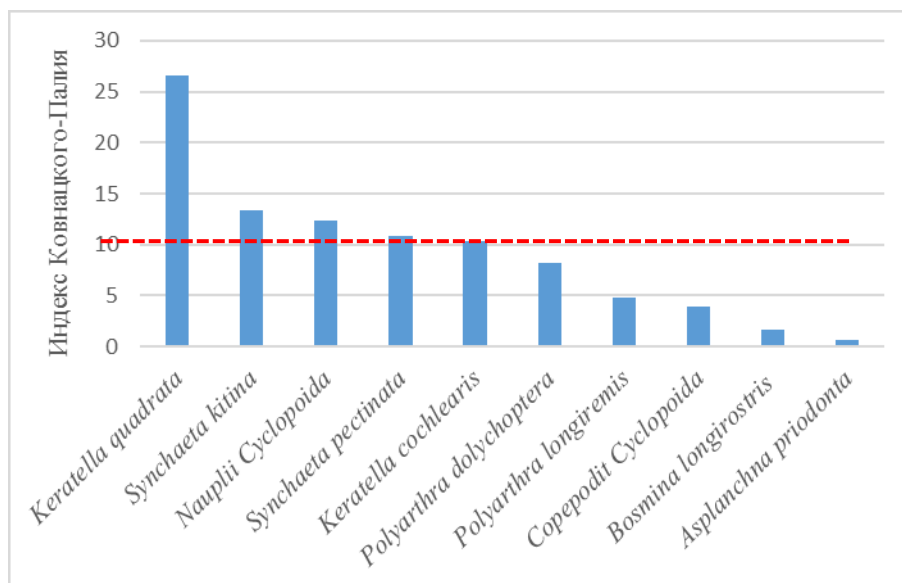


Рисунок 7.5. Доминирующие виды зоопланктоценоза волжского потока Чебоксарского водохранилища в мае 2015 г.

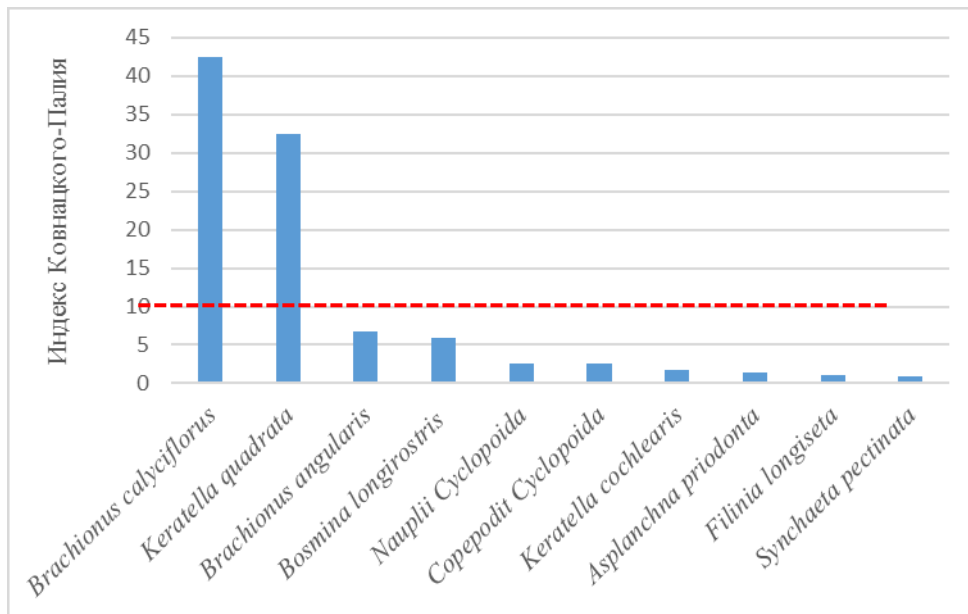


Рисунок 7.6. Доминирующие виды зоопланктоценоза окского потока Чебоксарского водохранилища в мае 2015 г.

В июле 2015 г. состав доминирующих видов зоопланктоценоза волжского потока изменился (рисунок 7.7). Наиболее многочисленными были коловратка *Euchlanis dilatata* и копеподитные стадии *Cyclopoida*. Также в состав доминантов входили науплиальные стадии *Cyclopoida* и *K. cochlearis*. В сообществе окского потока доминантами являлись коловратки рода *Brachionus*: *B. calyciflorus* и *B. angularis* (рисунок 7.8).

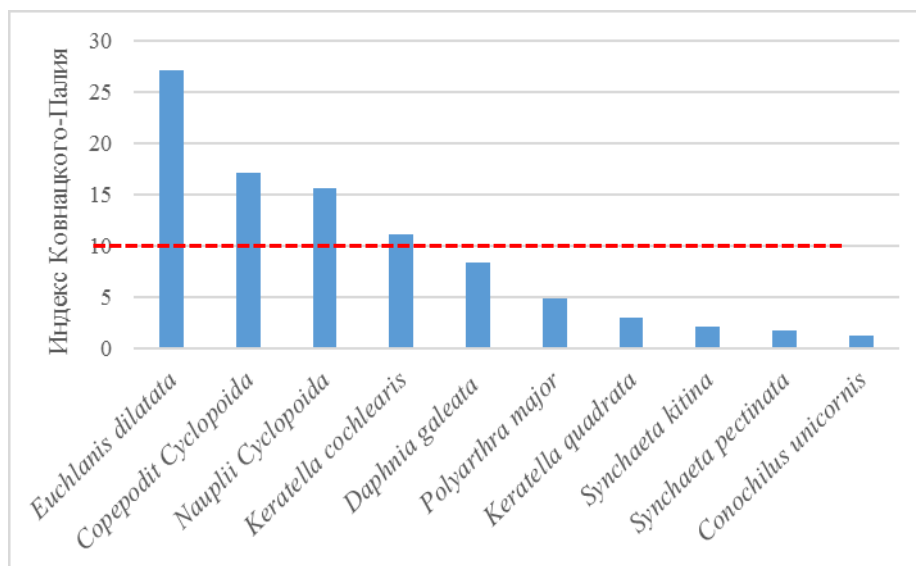


Рисунок 7.7. Доминирующие виды зоопланктоценоза волжского потока Чебоксарского водохранилища в июле 2015 г.

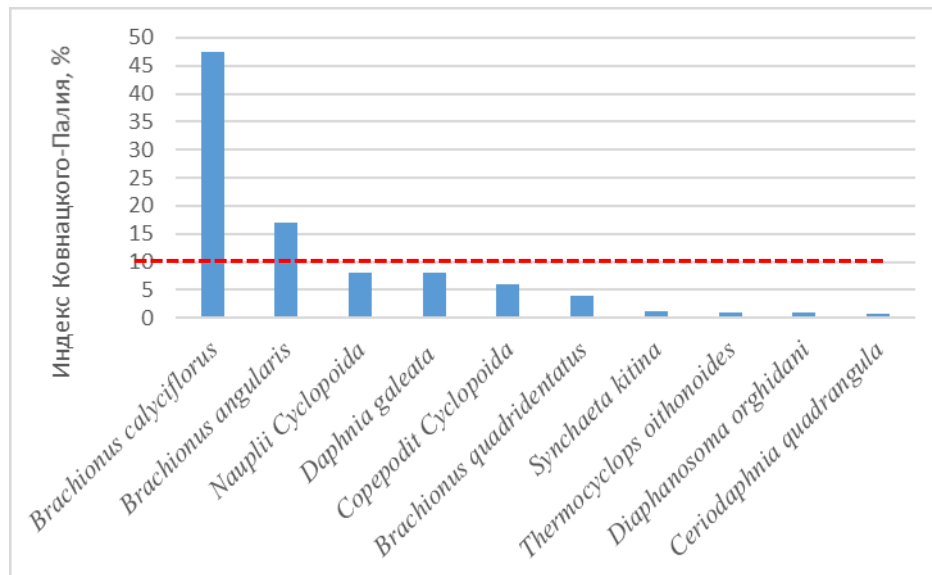


Рисунок 7.8. Доминирующие виды зоопланктоценоза окского потока Чебоксарского водохранилища в июле 2015 г.

В сентябре 2015 г. в ценозе волжского потока доминировали коловратки *Keratella cochlearis*, *S. pectinata*, *Euchlanis dilatata*, *K. quadrata* (рисунок 7.9). В сообществе окского потока по-прежнему доминировала коловратка *B. calyciflorus*, которая в данном случае была монодоминантом (рисунок 7.10).

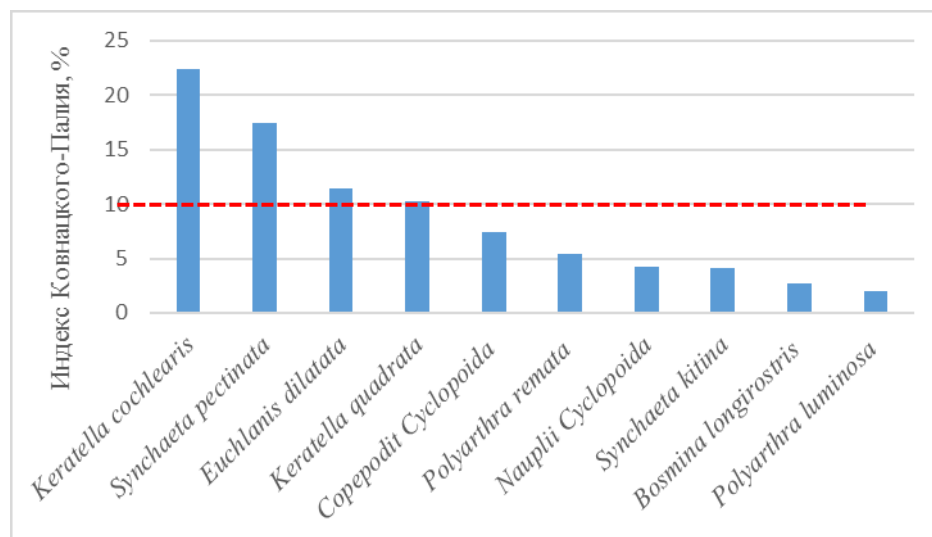


Рисунок 7.9. Доминирующие виды зоопланктоценоза волжского потока Чебоксарского водохранилища в сентябре 2015 г.

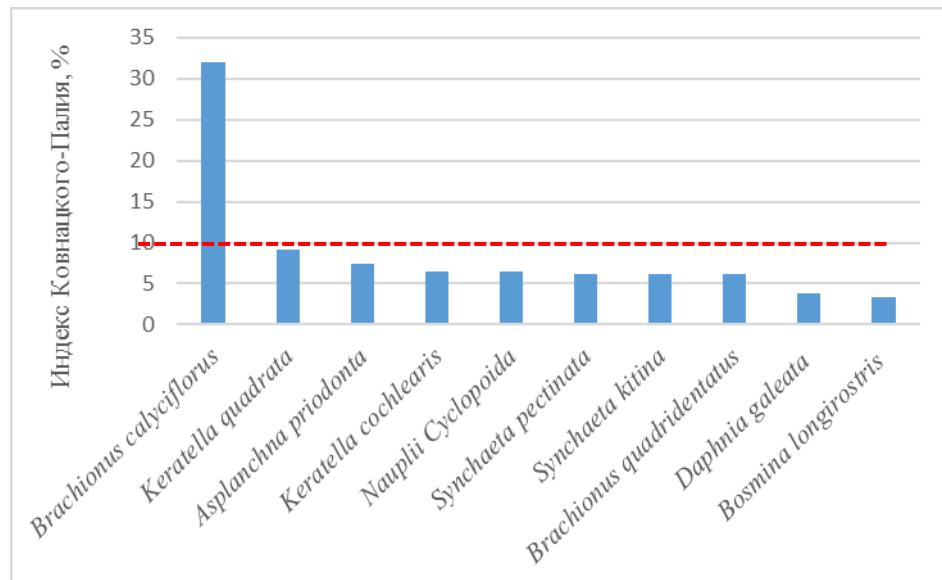


Рисунок 7.10. Доминирующие виды зоопланктоценоза окского потока Чебоксарского водохранилища в сентябре 2015 г.

Более подробные сезонные наблюдения зоопланктона проводились на участке речной части Чебоксарского водохранилища в районе г. Н. Новгорода, испытывающем наиболее интенсивное антропогенное воздействие. Пробы отбирались в период с конца мая по сентябрь 2015 г., три станции были заложены в пределах волжского потока, три – в пределах окского (3; рисунок 7.11).

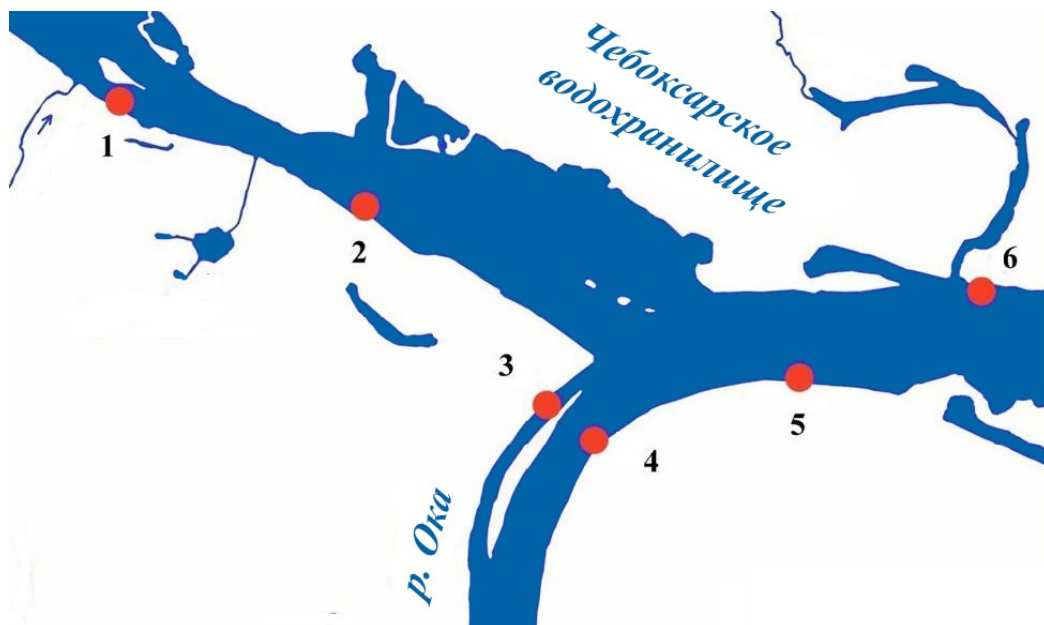


Рисунок 7.11. Станции проведения сезонных наблюдений на акватории речной части Чебоксарского водохранилища и устьевом участке р. Оки в районе г. Н. Новгорода в 2015 г. 1 – г. Н. Новгород, Сормово; 2 – г. Н. Новгород, Волжская набережная; 3 – устье р. Ока, левый берег; 4 – устье р. Ока, правый берег; 5 – г. Н. Новгород, Чкаловская лестница; 6 – г. Бор.

Анализ данных с использованием метода многомерного векторного анализа показал, что в пределах исследуемой акватории сообщества зоопланктона волжского и окского потоков на протяжении вегетационного сезона 2015 г., как правило, существенно различалась по видовой структуре. Однако, в весенний и осенний периоды данные различия были менее выраженными, чем в период летней межени, что согласуется с данными, полученными нами для акватории верхней речной части Чебоксарского водохранилища на участке от г. Городца до г. Н. Новгорода.

На протяжении всего вегетационного сезона в зоопланктоценозе окского потока значительная доля от общей численности зоопланктона принадлежала панцирным коловраткам рода *Brachionus*. При этом основным доминантом практически всегда был *Brachionus calyciflorus*, лишь в отдельные периоды времени уступая таким видам, как *Bosmina longirostris*, *Bosmina coregoni* (30 июня), *Brachionus quadridentatus* (13 сентября) (таблица 7.2).

В зоопланктоценозе волжского потока основные доминирующие виды сменялись в течении сезона. Наиболее часто доминировали коловратки *Keratella quadrata*, *K. cohlearis*, *Synchaeta pectinata*, *Conochilus hippocrepis* (Schränk, 1803), *Conochilus unicornis* (Rousselet, 1892). В летние периоды усиливалась роль рачкового планктона, в число доминантов входили *Bosmina longispina* (Leydig, 1860), науплиальные и копеподитные стадии Cyclopoida.

**В зоопланктоценозе волжского потока** значения численности и биомассы зоопланктона испытывали значительные сезонные колебания. Поскольку динамика показателей количественного развития зоопланктона на каждой станции была аналогичной в пределах одного зоопланктоценоза (рисунки 1–3, приложение), приведем в качестве примера ход сезонной динамики численности и биомассы на станции №6 (Чебоксарское вдхр, г. Бор) (рисунок 7.12).

В зоопланктоценозе волжского потока в мае доминировали исключительно коловратки, что обуславливало крайне низкую индивидуальную массу в данный период (таблица 7.1). Представители ветвистоусых и веслоногих ракообразных

были малочисленны и представлены, в основном, *B. longirostris*, *T. oithonoides*, а также науплиальными и копеподитными стадиями веслоногих рачков.

В июне был зарегистрирован первый пик численности зоопланктона (рисунок 7.12). Преобладающей группой зоопланктона были коловратки. Доминировали *Keratella quadrata* (Müller, 1786), *S. pectinata* и *Keratella cochlearis* (Gosse, 1851) – 33%, 17% и 14% от общей численности зоопланктона соответственно. Средняя численность зоопланктона для зоопланктоценоза волжского потока в этот период составляла  $28,07 \pm 1,71$  тыс. экз./м<sup>3</sup> (таблица 7.1).

В это же время был зарегистрирован пик биомассы зоопланктона (рисунок 7.12), который был обусловлен появлением крупного хищного рачка *Bythotrephes longimanus* (Leydig, 1860). Его биомасса составляла  $6,90 \pm 3,82$  г/м<sup>3</sup>, или 89% от общей биомассы зоопланктона. Среднее значение биомассы составляло  $7,73 \pm 4,38$  г/м<sup>3</sup> (максимальное значение за весь вегетационный сезон). После этого пика значения биомассы неуклонно снижались до самого конца вегетационного сезона 2015 года. Минимальное значение биомассы было зарегистрировано в третьей декаде сентября –  $0,04 \pm 0,01$  г/м<sup>3</sup>.

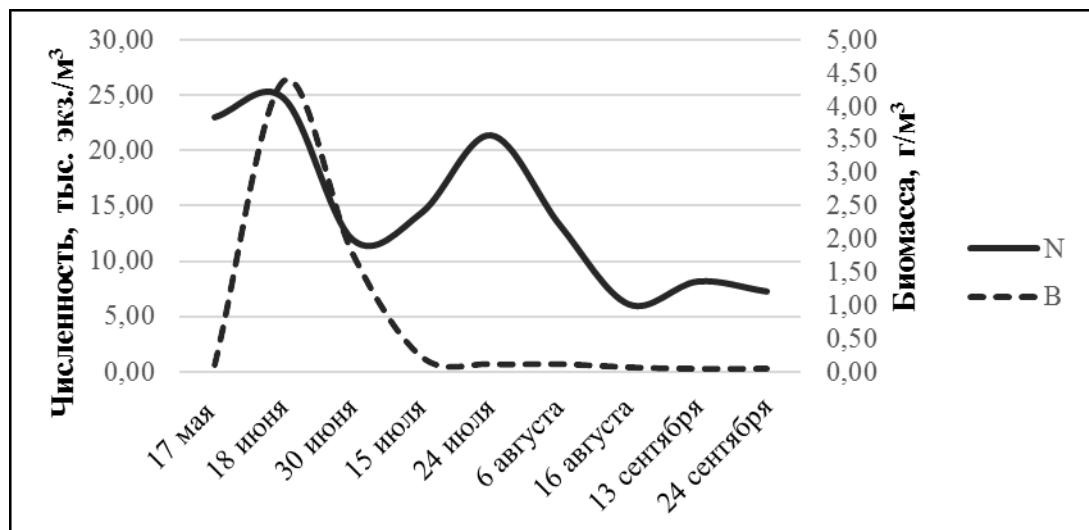


Рисунок 7.12. Сезонная динамика численности (тыс. экз./м<sup>3</sup>) и биомассы (г/м<sup>3</sup>) зоопланктона станции № 6 (Чебоксарское вдхр, г. Бор) зоопланктоценоза волжского потока в 2015 г.

Ко второй декаде июля численность зоопланктона снизилась до  $12,97 \pm 1,64$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. Преобладающей группой зоопланктона в этот период были коловратки *Conochilus unicornis* (Rousselet, 1892) и *C. hippocrepis* (Schränk, 1803). В третьей декаде июля был зарегистрирован второй пик численности

зоопланктона. Доминантами в этот период были коловратка *E. dilatata*, а также науплиальные и копеподитные стадии веслоногих ракообразных. Численность зоопланктона составляла  $22,12 \pm 1,36$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. С этого момента, с уменьшением температуры до  $15,7 \pm 0,4$  °С, численность зоопланктона начала падать, вплоть до конца вегетационного сезона ( $4,89 \pm 1,23$  тыс. экз./м<sup>3</sup>).

**В зоопланктоценозе окского потока** за период наблюдения количественные показатели зоопланктона также испытывали значительные сезонные колебания (таблица 7.2). Сезонная динамика численности и биомассы зоопланктона была аналогичной на трех станциях отбора проб в пределах окского потока (рисунки 4–6, приложение). Рассмотрим ход сезонной динамики на станции и №4 (устье р. Оки, правый берег) (рисунок 7.13).

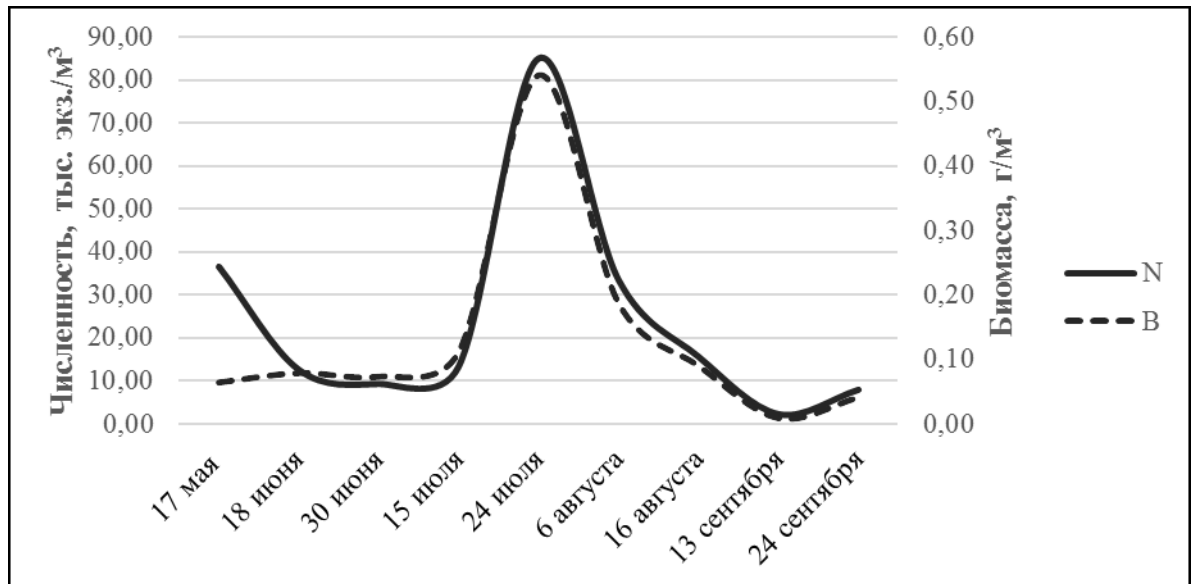


Рисунок 7.13. Сезонная динамика численности (тыс. экз./м<sup>3</sup>) и биомассы (г/м<sup>3</sup>) зоопланктона станции №4 (р. Ока, правый берег) зоопланктоценоза окского потока в 2015 г.

Первый, незначительный пик численности зоопланктона пришёлся на середину мая. Высокая численность зоопланктона была обусловлена массовым развитием коловраток *B. calyciflorus* и *K. quadrata*. Средняя численность зоопланктона в этот период времени составляла  $84,14 \pm 24,85$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. При этом биомасса зоопланктона была невысокой ( $0,18 \pm 0,06$  г/м<sup>3</sup>), что обусловлено массовым развитием коловраток, имеющих низкие индивидуальные массы.

Таблица 7.1

Показатели видовой структуры зоопланктоценоза волжского потока Чебоксарского водохранилища в 2015 г.

| Дата        | Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup> |                                              | Биомасса, г/м <sup>3</sup> |                                         | Средняя индивидуальная масса зоопланктера, мг | Индекс Шеннона, (H <sub>n</sub> ) | Индекс Пиелу, (e <sub>n</sub> ) | Число видов |                                        |
|-------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------|----------------------------------------|
|             | Общая                                 | Соотношение численностей, %<br>Rot:Clad:Cop* | Общая                      | Соотношение биомасс, %<br>Rot:Clad:Cop* |                                               |                                   |                                 | Общее       | Соотношение числа видов, Rot:Clad:Cop* |
| 17 мая      | 32,04±8,99                            | 80,7:5,3:14,0                                | 0,106±0,005                | 64,2:10,5:25,2                          | 0,0035±0,0008                                 | 1,96±0,10                         | 0,67±0,04                       | 25          | 13:04:08                               |
| 18 июня     | 28,07±1,71                            | 55,9:27,7:16,5                               | 2,298±1,046                | 1,3:86,9:11,8                           | 0,0872±0,0451                                 | 2,44±0,12                         | 0,77±0,02                       | 35          | 15:10:10                               |
| 30 июня     | 21,90±9,08                            | 77,7:13,7:8,6                                | 7,731±4,378                | 0,3:99,3:0,4                            | 0,3099±0,0810                                 | 1,88±0,46                         | 0,77±0,15                       | 39          | 21:11:07                               |
| 15 июля     | 12,97±1,64                            | 41,3:12,5:46,2                               | 1,724±1,336                | 0,4:94,6:5,0                            | 0,1232±0,0874                                 | 2,51±0,08                         | 0,76±0,02                       | 35          | 19:09:07                               |
| 24 июля     | 22,12±1,36                            | 58,0:12,1:29,9                               | 0,617±0,447                | 3,9:87,5:8,6                            | 0,0258±0,0176                                 | 2,29±0,09                         | 0,68±0,03                       | 42          | 23:12:07                               |
| 6 августа   | 8,71±2,29                             | 62,0:7,8:30,1                                | 0,274±0,132                | 5,6:91,0:3,4                            | 0,0409±0,0243                                 | 2,56±0,06                         | 0,80±0,01                       | 38          | 25:08:05                               |
| 16 августа  | 5,06±0,73                             | 63,2:8,5:28,3                                | 0,148±0,111                | 3,2:88,4:8,3                            | 0,0272±0,0202                                 | 2,53±0,13                         | 0,89±0,01                       | 29          | 16:07:06                               |
| 3 сентября  | 6,53±1,15                             | 78,0:8,0:14,0                                | 0,036±0,007                | 32,1:32,8:35,1                          | 0,0055±0,0003                                 | 2,48±0,23                         | 0,79±0,06                       | 38          | 20:10:08                               |
| 24 сентября | 4,89±1,23                             | 67,6:13,4:19,0                               | 0,038±0,007                | 14,0:33,3:52,7                          | 0,0081±0,0011                                 | 2,46±0,11                         | 0,85±0,04                       | 26          | 13:05:08                               |

Таблица 7.2

Показатели видовой структуры зоопланктоценоза окского потока Чебоксарского водохранилища в 2015 г.

| Дата        | Численность, тыс. экз./м <sup>3</sup> |                                              | Биомасса, г/м <sup>3</sup> |                                         | Средняя индивидуальная масса зоопланктера, мг | Индекс Шеннона, (H <sub>n</sub> ) | Индекс Пиелу, (e <sub>n</sub> ) | Число видов |                                        |
|-------------|---------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------|----------------------------------------|
|             | Общая                                 | Соотношение численностей, %<br>Rot:Clad:Cop* | Общая                      | Соотношение биомасс, %<br>Rot:Clad:Cop* |                                               |                                   |                                 | Общее       | Соотношение числа видов, Rot:Clad:Cop* |
| 17 мая      | 84,14±24,85                           | 88,2:6,1:5,7                                 | 0,181±0,059                | 74,4:11,4:14,2                          | 0,0021±0,0002                                 | 1,49±0,08                         | 0,52±0,03                       | 24          | 13:06:05                               |
| 18 июня     | 21,77±11,50                           | 75,3:19,6:5,2                                | 0,117±0,051                | 34,6:33,9:31,5                          | 0,0060±0,0006                                 | 2,06±0,25                         | 0,68±0,08                       | 28          | 14:07:07                               |
| 30 июня     | 7,48±0,96                             | 30,1:48,5:21,5                               | 0,106±0,023                | 7,4:57,0:35,6                           | 0,0152±0,0048                                 | 2,57±0,09                         | 0,84±0,03                       | 29          | 10:11:08                               |
| 15 июля     | 11,83±0,92                            | 83,6:8,2:8,2                                 | 0,072±0,021                | 32,4:38,5:29,1                          | 0,0059±0,0013                                 | 2,02±0,23                         | 0,62±0,06                       | 34          | 15:13:06                               |
| 24 июля     | 67,18±9,07                            | 72,7:11,3:16,0                               | 0,987±0,539                | 9,1:82,6:8,2                            | 0,0156±0,0092                                 | 1,82±0,10                         | 0,57±0,01                       | 37          | 16:13:08                               |
| 6 августа   | 30,50±3,27                            | 62,8:6,1:31,1                                | 0,193±0,014                | 25,5:31,4:43,1                          | 0,0066±0,0013                                 | 2,28±0,12                         | 0,69±0,03                       | 37          | 17:11:09                               |
| 16 августа  | 20,67±7,64                            | 92,0:4,9:3,1                                 | 0,085±0,020                | 56,3:33,9:9,8                           | 0,0045±0,0007                                 | 1,94±0,31                         | 0,60±0,10                       | 40          | 21:12:07                               |
| 3 сентября  | 4,11±1,00                             | 77,9:9,1:13,0                                | 0,017±0,006                | 46,1:22,6:31,3                          | 0,0040±0,0006                                 | 2,40±0,20                         | 0,81±0,08                       | 32          | 21:06:05                               |
| 24 сентября | 6,35±0,88                             | 81,4:8,8:9,8                                 | 0,029±0,006                | 69,0:19,2:11,8                          | 0,0040±0,0004                                 | 2,29±0,07                         | 0,77±0,02                       | 34          | 16:10:08                               |

\*Примечание: Rot – Rotifera (коловратки); Clad – Cladocera (ветвистоусые ракообразные); Cop – Copepoda (веслоногие ракообразные)

До июля численность зоопланктона уменьшалась (до  $7,48 \pm 0,96$  тыс. экз./м<sup>3</sup>), однако к середине третьей декады июля с повышением температуры воды до  $18,5 \pm 0,9^\circ\text{C}$  численность возросла до  $67,18 \pm 9,07$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. При этом биомасса изменялась от  $0,11 \pm 0,02$  г/м<sup>3</sup> до  $0,99 \pm 0,54$  г/м<sup>3</sup> (максимальное значение за весь вегетационный сезон). Главенствующая роль в планктоне принадлежала коловраткам *B. calyciflorus* и *B. angularis*.

С начала августа происходило снижение численности и биомассы зоопланктона, которые к концу сентября достигли своих минимальных значений ( $6,35 \pm 0,89$  тыс. экз./м<sup>3</sup> и  $0,02 \pm 0,01$  г/м<sup>3</sup> соответственно).

Рассчитанные для обоих зоопланктоценозов значения индексов видового разнообразия Шеннона и выравненности Пиелу в течение сезона 2015 г. изменялись в незначительных пределах. В зоопланктоценозе волжского потока в редких случаях индекс Шеннона опускался ниже 2 бит/экз. (рисунок 7.17), минимальное значение за сезон составляло 1,88 бит/экз., максимальное – 2,53 бит/экз. Индекс выравненности в данном сообществе изменялся от 0,67 до 0,89.

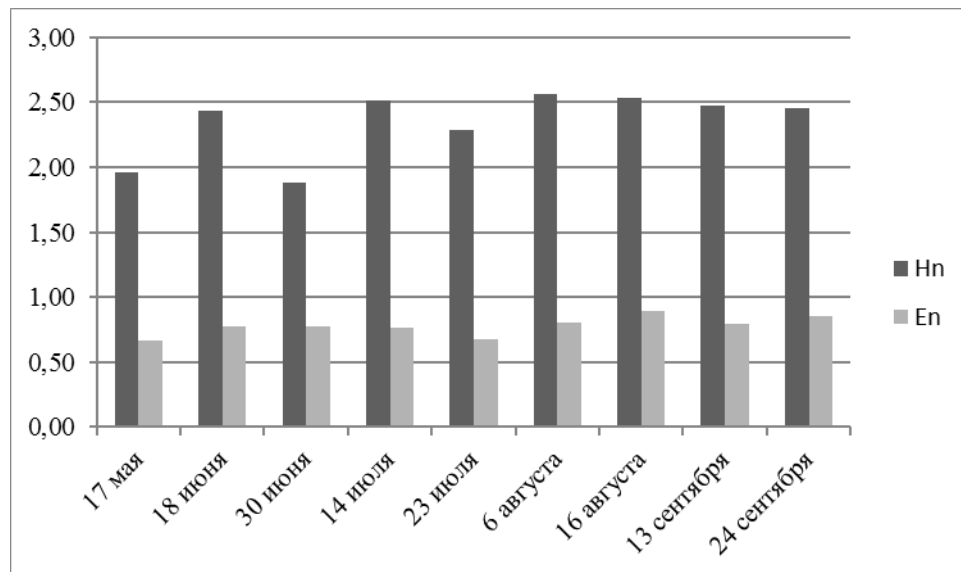


Рисунок 7.17. Сезонная динамика индексов видового разнообразия Шеннона и выравненности Пиелу для зоопланктоценоза волжского потока в 2015 г.

В зоопланктоценозе окского потока значения индекса видового разнообразия Шеннона были, как правило, несколько ниже, чем в сообществе волжского потока, и изменялись в пределах от 1,49 до 2,57 бит/экз. (рисунок 7.18).

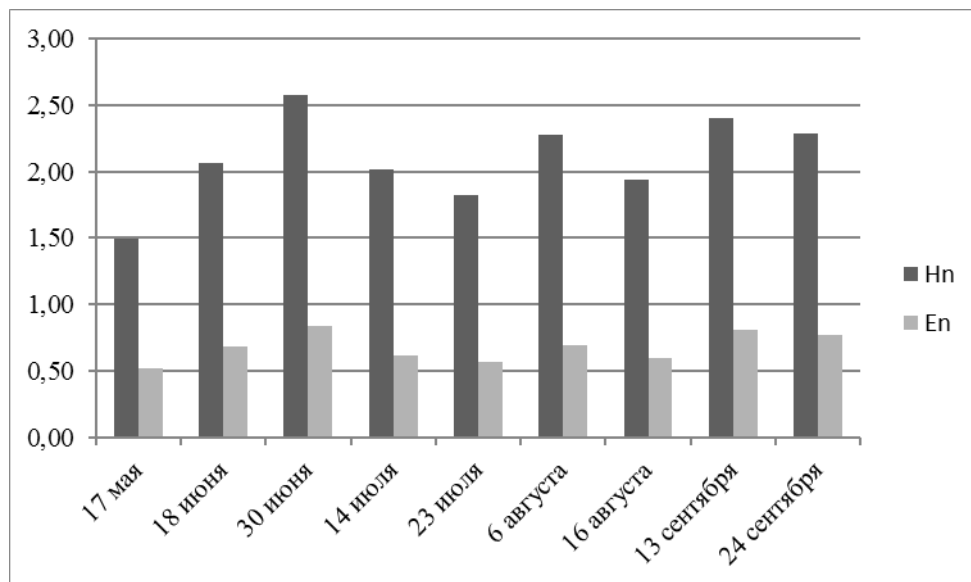


Рисунок 7.18. Сезонная динамика индексов видового разнообразия Шеннона и выравненности Пиелу для зоопланктоценоза окского потока в 2015 г.

Периоды низких значений индекса Шеннона обуславливались меньшей выравненностью (минимальное значение – 0,52) и, соответственно, более выраженным доминированием видов в сообществе.

В целом, значения индексов видового разнообразия Шеннона в обоих зоопланктоценозах на протяжении всего вегетационного сезона не принимали критических значений, что может свидетельствовать об относительной стабильности планктонных сообществ.

По нашим данным, сезонная динамика численности зоопланктона волжского потока описывается, преимущественно, двувёршинной кривой, окского потока – одновёршинной.

Аналогичные данные были получены Г.В. Шургановой (2007), обобщившей многолетние сведения и выявившей два типа сезонной динамики видовой структуры зоопланктона для основных зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища. Свойственная лимнофильным комплексам водохранилищ сезонная динамика зоопланктона с двумя максимумами имела место в левобережном речном и озерном планктонных сообществах Чебоксарского водохранилища (Шурганова, 2007). Анализ сезонной динамики зоопланктона Волжских водохранилища (Рыбинского, Куйбышевского, Горьковского) показал, что максимумы общей численности и биомассы, определяющиеся

несовпадающими во времени максимумами развития видов зоопланктона, преимущественно доминантов, и основных таксономических групп зоопланктона, приходится на середину мая-июнь и середину июля–начало сентября (Ривьер, Баканов, 1984; Тимохина, 1984; Современная экологическая..., 2000; Экологические проблемы, 2001 и др.).

Несмотря на смену доминирующих видов от года к году, характер сезонной динамики, свойственной лимнофильному сообществу зоопланктона, оставался неизменным.

Для окского потока на протяжении длительного периода времени сохранялась четко выраженная одновершинная интегральная кривая численности и биомассы зоопланктона, свойственная реофильным планктонным сообществам и приходящаяся на середину июня–начало июля. Ход сезонной динамики количественных показателей развития зоопланктона определялся сезонной ритмикой размножения реофильных коловраток (Шурганова, Махин, 1998; Шурганова, 2007).

Выявленные Г.В. Шургановой (2007) различия в сезонном ходе численности и биомассы лимнофильного и реофильного планктонных сообществ сохраняется на протяжении длительного времени, что позволяет считать их разными «типами сезонной динамики». Несмотря на значительные различия гидрометеорологических условий, определяющих сроки массового размножения гидробионтов, общая картина сезонной динамики планктонных сообществ сохранялась длительное время (Шурганова, 2007).

Таким образом, результаты наших исследований показали, что сезонная динамика количественного развития зоопланктона лимнофильного сообщества волжского потока описывается, преимущественно, двувершинной кривой, реофильного – одновершинной. Общая картина сезонных изменений численности и биомассы планктонных сообществ волжского и окского потоков Чебоксарского водохранилища на современном этапе его существования в целом соответствует сохраняющимся на протяжении длительного периода времени двум

типам сезонной динамики различающихся по видовой структуре лимнофильного и реофильного планктонных сообществ.

## 7.2. Река Кудьма

Изучение сезонной динамики зоопланктона на акватории р. Кудьмы проводилось на 13 постоянных станциях в мае, июле и сентябре 2013 г. На основе метода многомерного векторного анализа на акватории р. Кудьма был проведен анализ сходства проб зоопланктона и дано описание сезонной динамики пространственного размещения зоопланктона.

Кластерный анализ проб зоопланктона, отобранных в мае 2013 г., показал, что на акватории реки не выделялось протяженных участков, характеризующихся сходной видовой структурой зоопланктона (в большинстве случаев  $\cos \alpha$  был менее 0,79) (рисунок 7.19).

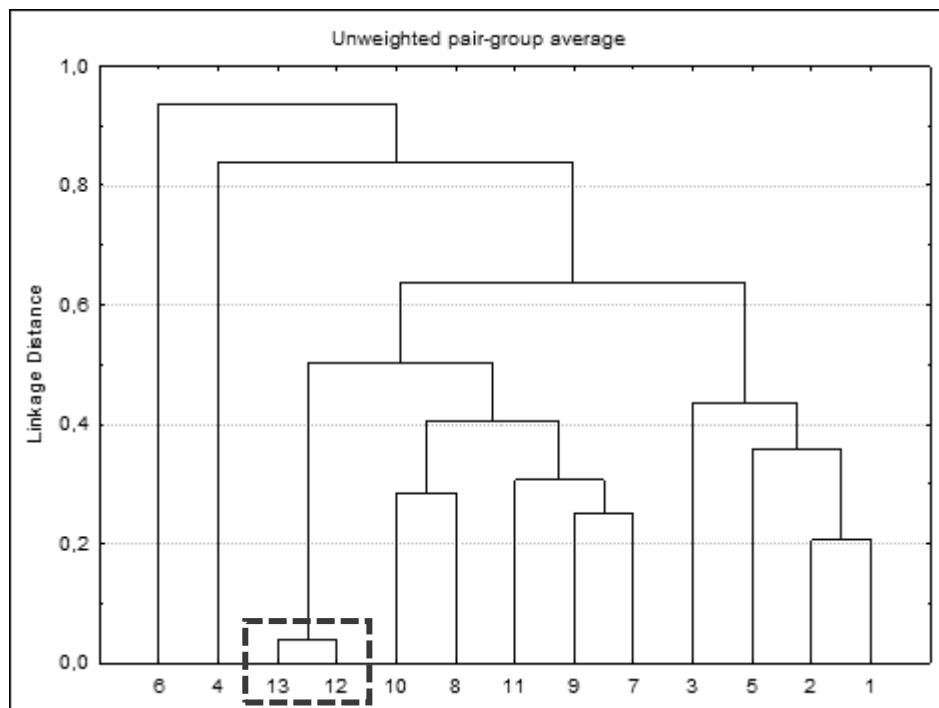


Рисунок 7.19. Кластеризация на основе многомерного векторного анализа проб зоопланктона р. Кудьма в мае 2013 г. 1 – н.п. Митино; 2 – н.п. Зеленый город; 3 – н.п. Кстово; 4 – выше устья р. Озерка; 5 – ниже устья р. Озерка; 6 – н.п. Ветчак; 7-10 – выше устья р. Шава; 11-12 – ниже устья р. Шава; 13 – н.п. Ленинская слобода

По-видимому, **в период весеннего половодья** зоопланктон р. Кудьмы не формирует сообществ с консолидированной видовой структурой, а группируется в разрозненные сообщества с «размытыми» границами, не занимающие протяженных акваторий. Достаточно высоким сходством видовой структуры зоопланктона характеризовались лишь станции №12 и №13 в нижнем течении ( $\cos \alpha$  составлял 0,96) при доминировании ветвистоусого рачка *Bosmina longirostris* (O.F. Müller, 1785), коловратки *Synchaeta pectinata*, а также науплиальных стадий Cyclopoida (рисунок 7.20). Сообщество зоопланктона здесь формируется под влиянием подпора р. Кудьмы водами правобережного потока Чебоксарского водохранилища (рисунок 7.21).

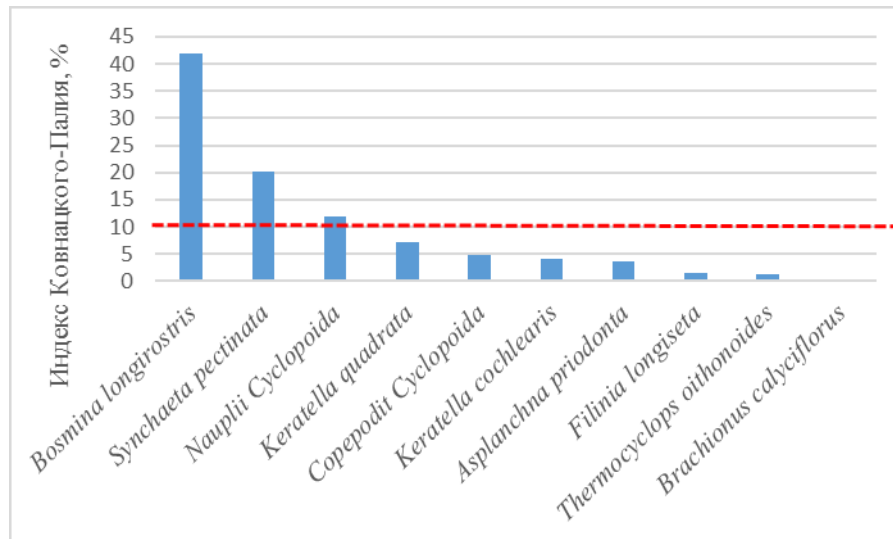


Рисунок 7.20. Доминирующие виды зоопланктоценоза нижнего течения р. Кудьма в мае 2013 г.

Отдельно от других станций отстояла станция №6, что было обусловлено монодоминированием здесь фитофильного рачка *Scapholeberis mucronata*, тогда как на других станциях значительных всплесков его развития зарегистрировано не было.

**В период летней межени** на акватории р. Кудьма выделялись два кластера проб (рисунок 7.22), характеризующихся сходной видовой структурой зоопланктона – пробы №2–5 ( $\cos \alpha$  достигал 0,98) и пробы №7–13 ( $\cos \alpha$  составлял 0,92–0,96). Другими словами, на акватории на р. Кудьма располагались два дискретных сообщества зоопланктона, имеющие значительное сходство видовой структуры (рисунок 7.23).



Рисунок 7.21. Схема расположения точек отбора проб зоопланктона и размещения зоопланктонного сообщества на акватории р. Кудьма в мае 2013 г.

1 – н.п. Митино; 2 – н.п. Зеленый город; 3 – н.п. Кстово; 4 – выше устья р. Озерка; 5 – ниже устья р. Озерка; 6 – н.п. Ветчак; 7-10 – выше устья р. Шава; 11-12 – ниже устья р. Шава; 13 – н.п. Ленинская слобода

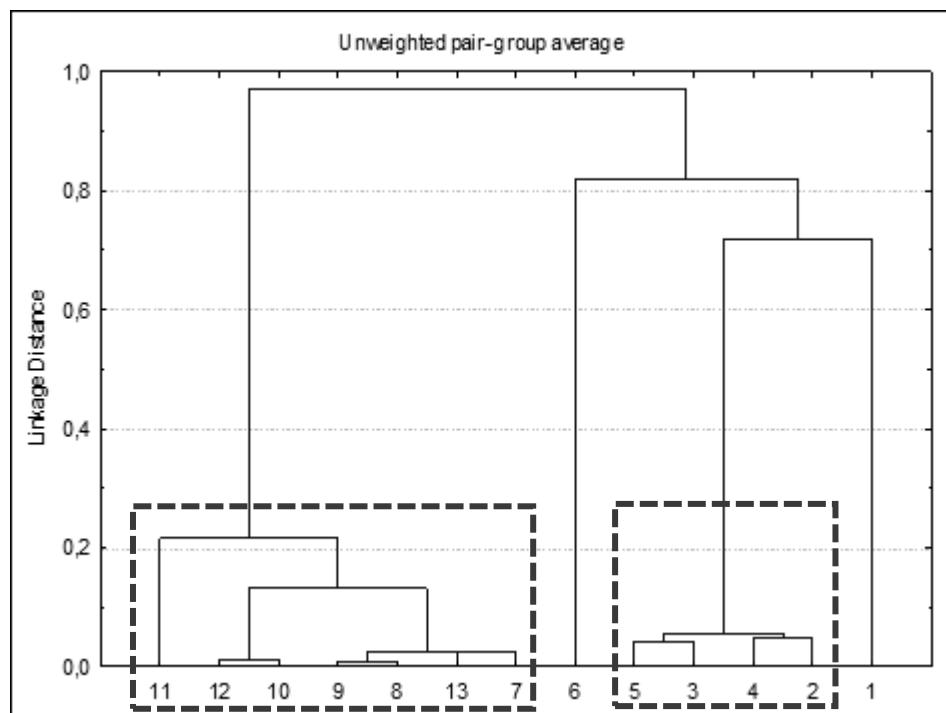


Рисунок 7.22. Кластеризация на основе многомерного векторного анализа проб зоопланктона р. Кудьма в июле 2013 г. 1 – н.п. Митино; 2 – н.п. Зеленый город; 3 – н.п. Кстово; 4 – выше устья р. Озерка; 5 – ниже устья р. Озерка; 6 – н.п. Ветчак; 7-10 – выше устья р. Шава; 11-12 – ниже устья р. Шава; 13 – н.п. Ленинская слобода



Рисунок 7.23. Схема расположения точек отбора проб зоопланктона и размещения зоопланктонных сообществ на акватории р. Кудьма в июле 2013 г.

1 – н.п. Митино; 2 – н.п. Зеленый город; 3 – н.п. Кстово; 4 – выше устья р. Озерка; 5 – ниже устья р. Озерка; 6 – н.п. Ветчак; 7-10 – выше устья р. Шава; 11-12 – ниже устья р. Шава; 13 – н.п. Ленинская слобода

Зоопланктоценоз среднего течения р. Кудьма (станции №2–5) характеризовался высокой степенью доминирования коловратки-вселенца *Kellicottia bostoniensis* и коловратки *Keratella cochlearis* (рисунок 7.24). Зоопланктоценоз нижнего течения (станции №7–13) характеризовался доминированием коловраток *Brachionus calyciflorus* и, в значительно меньшей степени, *Synchaeta pectinata* (рисунок 7.25). На станции №11 в число доминантов также входил рачок-вселенец *Diaphanosoma orghidani*, однако на остальных станциях численность этого вида была невысокой.

Достаточно сильно по видовой структуре зоопланктона от кластера станций №2–5 отличались станции №1 и №6 (рисунок 7.22). На станции №1 *Keratella cochlearis* также входила в число доминантов, однако на первом месте была коловратка *Brachionus diversicornis*, а в число доминирующих видов входили также *Kellicottia longispina* и *Testudinella patina*. Станция №6 характеризовалась низкой численностью зоопланктона, и если на предыдущих станциях значительно преобладали по численности коловратки, то здесь их численность была сопоставима с рачковым планктоном. Таким образом, станции №1 и №6 не могут быть причислены ни к одному из зоопланктоценозов.

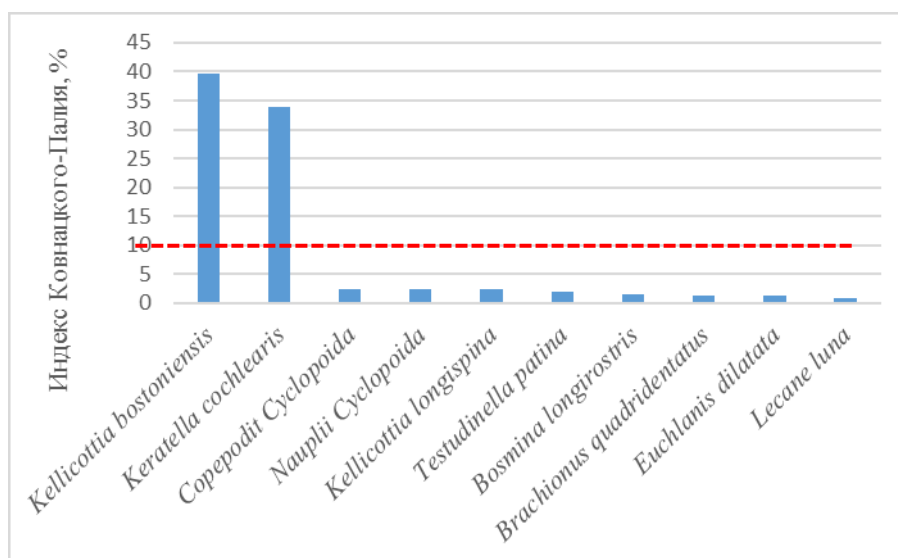


Рисунок 7.24. Доминирующие виды зоопланктоценоза среднего течения р. Кудьма в июле 2013 г.

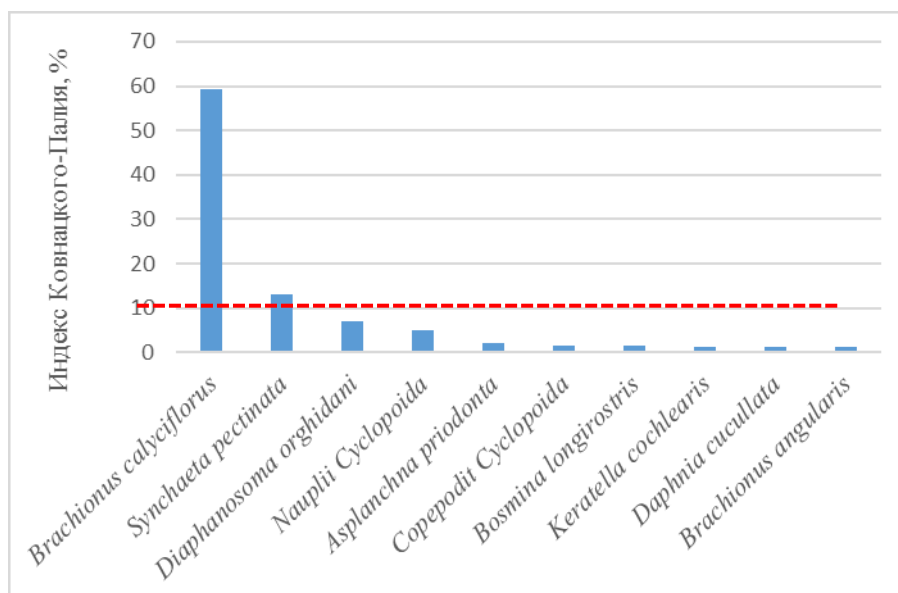


Рисунок 7.25. Доминирующие виды зоопланктоценоза нижнего течения р. Кудьма в июле 2013 г.

Следует отметить, что в июле 2012 г. пространственное размещение сообществ зоопланктона на акватории р. Кудьма было аналогичным – выделялись два зоопланктоценоза, в среднем и в нижнем течении реки (6.3). Однако в 2012 г. зоопланктоценоз среднего течения располагался выше и занимал акваторию от н.п. Митино до г. Кстово. Зоопланктоценоз нижнего течения характеризовался монодоминированием *Brachionus calyciflorus*, а в зоопланктоценозе среднего течения доминировали науплиальные стадии *Copepoda*, *Alona rectangula*, *Acroperus harpae* и *Asplanchna priodonta*. Таким образом, видовая структура

зоопланктоценоза нижнего течения в 2013 г. не претерпела значительных изменений по сравнению с 2012 г., в то время как в сообществе среднего течения состав доминирующих видов изменился.

**В осенний период** сообщество зоопланктона в нижнем течении реки (пробы №№7–13) сохранялось, при этом сходство видовой структуры в его пределах было менее выраженным (значения  $\cos \alpha$  изменялись от 0,74 до 0,95) (рисунок 7.26). Доминирование по численности коловраток рода *Brachionus* сменилось доминированием панцирных коловраток *Keratella cohlearis* и *Keratella quadrata*, а также коловратки *Synchaeta pectinata* (рисунок 7.27). В целом, подобная видовая структура была характерна для зоопланктона вод речной части Чебоксарского водохранилища в осенний период (7.1), что подтверждает наше заключение о формирующем влиянии подпорных вод водохранилища на данном участке акватории р. Кудьма.

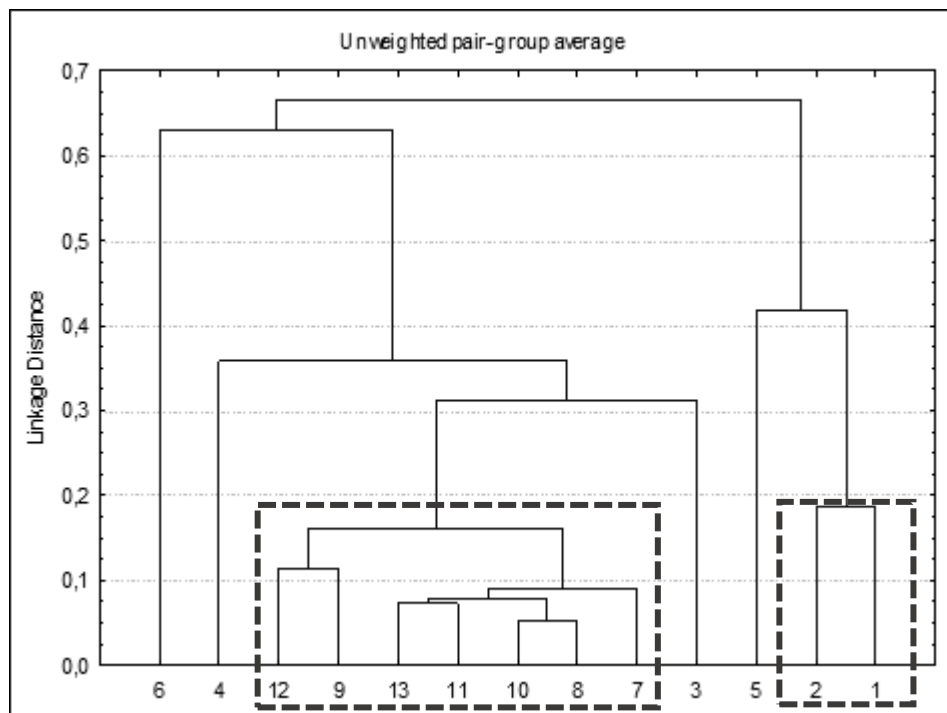


Рисунок 7.26. Кластеризация на основе многомерного векторного анализа проб зоопланктона р. Кудьма в сентябре 2013 г. 1 – н.п. Митино; 2 – н.п. Зеленый город; 3 – н.п. Кстово; 4 – выше устья р. Озерка; 5 – ниже устья р. Озерка; 6 – н.п. Ветчак; 7-10 – выше устья р. Шава; 11-12 – ниже устья р. Шава; 13 – н.п. Ленинская слобода

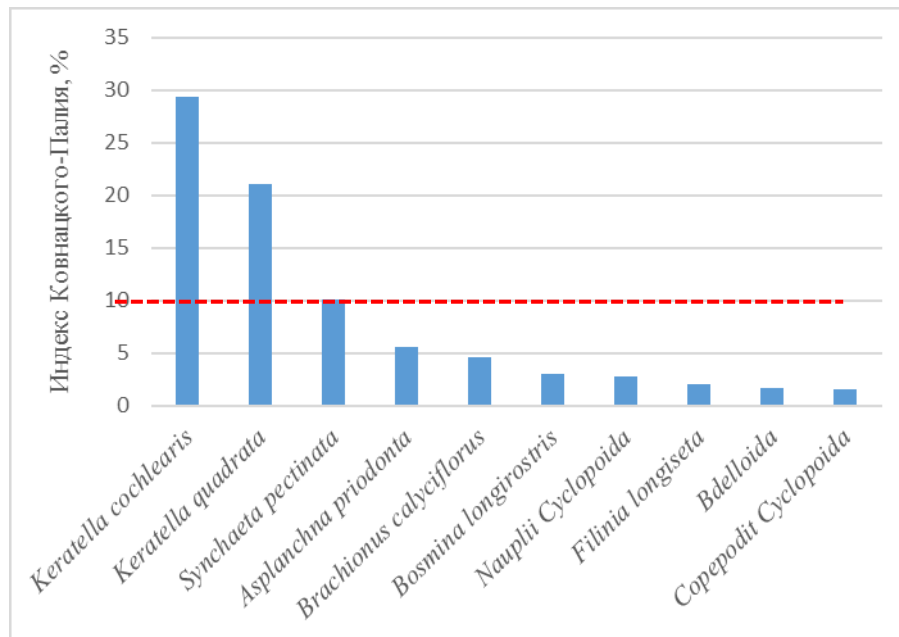


Рисунок 7.27. Доминирующие виды зоопланктоценоза нижнего течения р. Кудьма в сентябре 2013 г.

Таким образом, выделенный участок акватории р. Кудьмы характеризовался сходной видовой структурой зоопланктона и был занят отдельным зоопланктонценозом (рисунки 7.28, 7.29).

В среднем течении реки близкой видовой структурой зоопланктона характеризовались станции №1 и №2 ( $\cos \alpha$  составлял 0,81). Доминирующими видами на данных станциях были коловратки *Asplanchna priodonta*, *Synchaeta pectinata*, *Kellicottia longispina*, а также рачок *Bosmina longirostris*.

Таким образом, в течении вегетационного сезона на исследуемой акватории р. Кудьма выделялись как протяженные участки со сходной видовой структурой зоопланктона, так участки мозаичной видовой структуры, что свидетельствует о, преимущественно, «пятнистом», распределении видовой структуры сообществ зоопланктона. В среднем течении реки в июле и сентябре 2013 г. формировались дискретные сообщества зоопланктона, однако занимаемая им акватория не была стабильной, а в весенний период выделить дискретный зоопланктоценоз на данном участке не представлялось возможным.

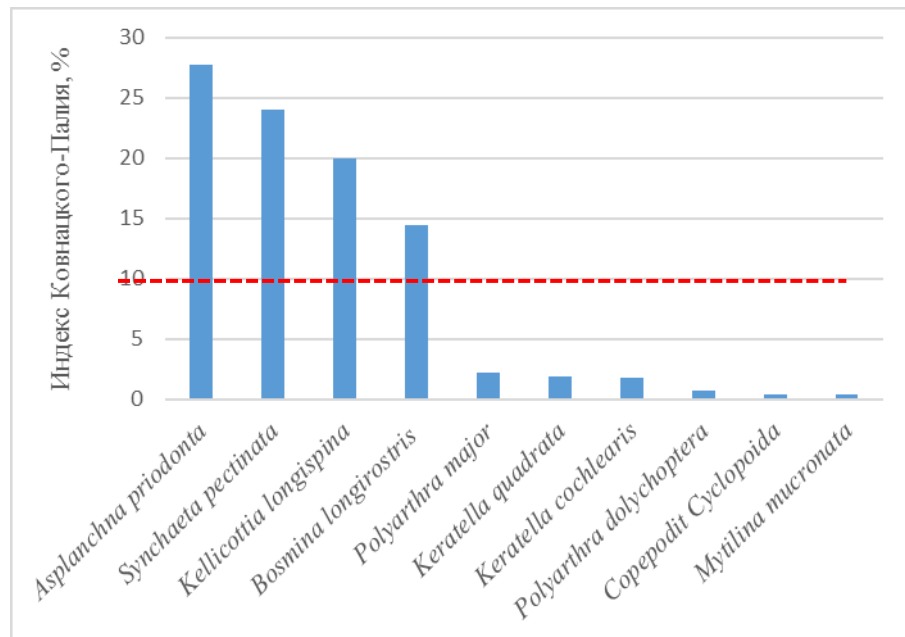


Рисунок 7.28. Доминирующие виды зоопланктоценоза среднего течения р. Кудьма в сентябре 2013 г.



Рисунок 7.29. Схема расположения точек отбора проб зоопланктона и размещения зоопланктонных сообществ на акватории р. Кудьма в сентябре 2013 г.

1 – н.п. Митино; 2 – н.п. Зеленый город; 3 – н.п. Кстово; 4 – выше устья р. Озерка; 5 – ниже устья р. Озерка; 6 – н.п. Ветчак; 7-10 – выше устья р. Шава; 11-12 – ниже устья р. Шава; 13 – н.п. Ленинская слобода

Наиболее стабильным в течение всего вегетационного 2103 г. сезона было сообщество нижнего течения р. Кудьма (пробы №7–13), формирующееся под влиянием подпора вод Чебоксарского водохранилища. В весенний период структура сообщества зоопланктона на данной акватории была значительно более

«размытой», а в сентябре была более однородной. Наиболее выражено данное сообщество выделялось в период летней межени. При этом, видовая структура сообщества зоопланктона нижнего течения р. Кудьма в июле 2013 г. была идентична его видовой структуре в июле 2012 г. (6.3).

При анализе сезонных изменений видовой структуры р. Кудьмы нами использовалась ординация полученных данных с использованием метода неметрического многомерного шкалирования (NMDS, nonmetric multidimensional scaling), который является весьма перспективным для экологических исследований по мнению ряда авторов (Шитиков, Розенберг, 2013).

На ординационной диаграмме (рисунок 7.30) отчетливо прослеживается разделение июльских проб на два значительно удаленных друг от друга кластера. У левого края диаграммы располагаются пробы №2-5 (выделяемые нами в дискретный зоопланктоценоз), значительно отдалены от них станции №1 и №6, а в правой части – станции №7-13 (соответствующие зоопланктоценозу нижнего течения р. Кудьмы). Пробы, отобранные в весенний период, располагаются между двумя летними кластерами. Наиболее близко расположены друг к другу станции №12 и №13, остальные же пробы разобщены и находятся на довольно значительном расстоянии друг от друга. Пробы, отобранные в осенний период, также расположились между двумя летними зоопланктоценозами, но менее разобщено, чем пробы, отобранные в мае. Здесь отчетливо выделяется кластер станций зоопланктоценоза нижнего течения №7-13, к которым достаточно близки станции №3 и №4.

Исходя из полученных данных можно заключить, что зоопланктоценозы малой реки Кудьма наиболее дифференцированы в период летней межени. Весной пробы зоопланктона наиболее разобщены по видовой структуре, а в осенний период отчетливо выделяется только сообщество нижнего течения, формируемого вод влиянием подпорных вод правобережного потока Чебоксарского водохранилища.

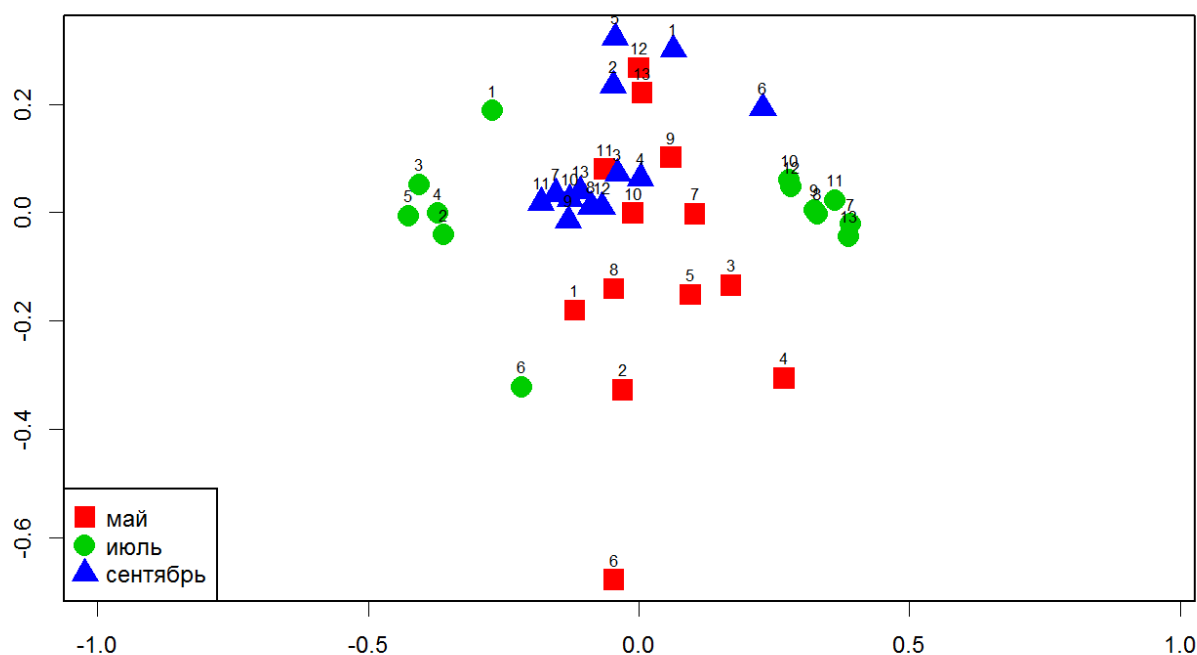


Рисунок 7.30. Построенная на основе многомерного векторного анализа диаграмма неметрического многомерного шкалирования (NMDS) проб зоопланктона р. Кудьма в 2013 г.

Полученные результаты согласуются с результатами исследований сезонной динамики размещения зоопланктоценозов на акватории малой реки Линда, проведенными Г.В. Шургановой и М.Л. Тарбеевым (2014). В весенний период границы между отдельными зоопланктонными сообществами р. Линда были «сильно размытыми», летом усиливалась мозаичность распределения сообществ, а в осенний период наблюдалось достаточно протяженное сообщество в нижнем течении и разобщенные группировки зоопланктона отдельных станций в верхнем и среднем течениях.

Показатели количественного развития зоопланктона сообщества нижнего течения р. Кудьма значительно изменялись в течении вегетационного сезона (таблица 7.3). В весенний период общая численность зоопланктона на акватории, занимаемой сообществом, значительно варьировала, в результате чего среднее значение составило  $39,90 \pm 19,87$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. В летний период средняя численность зоопланктона принимала более низкие значения, а в сентябре достигала своего минимума (таблица 7.3). В течении всего вегетационного сезона основную долю численности и биомассы зоопланктона р. Кудьма составляли

коловратки, характеризующиеся наибольшим видовым богатством по сравнению с другими группами зоопланктона (таблица 7.3).

Средняя биомасса зоопланктона коррелировала с его численностью, принимая максимальные значения в весенний период, и минимальные – осенью (таблица 7.3).

Средняя индивидуальная масса зоопланктона была наибольшей в июле (таблица 7.3), что связано с развитием крупных ракообразных в период летней межени, в особенности – рачка-вселенца *D. orghidani*.

Таблица 7.3

Показатели видовой структуры сообщества зоопланктона нижнего течения (станции №7-13) реки Кудьма в 2013 г.

|                                                 |                                               | Май            | Июль          | Сентябрь      |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| Средняя численность                             | Общая, тыс. экз./м <sup>3</sup>               | 39,90±19,87    | 27,19±5,84    | 3,93±0,66     |
|                                                 | Соотношение численностей, %<br>Rot: Clad: Cop | 74,2:14,9:10,9 | 81,6:11,5:6,9 | 89,2:6,5:4,3  |
| Средняя биомасса                                | Общая, г/м <sup>3</sup>                       | 0,115±0,05     | 0,108±0,022   | 0,010±0,002   |
|                                                 | Соотношение биомасс, %<br>Rot: Clad: Cop      | 69,9:21,4:8,7  | 63,4:29,3:7,3 | 80,7:14,3:5,0 |
| Средняя индивидуальная масса зоопланктона, w, г |                                               | 0,0029         | 0,0040        | 0,0035        |
| Индекс Шеннона, H, бит/экз.                     |                                               | 1,98±0,08      | 1,45±0,11     | 2,16±0,07     |
| Индекс Пиелу                                    |                                               | 0,69±0,03      | 0,50±0,04     | 0,74±0,02     |
| Число видов, Rot: Clad: Cop                     |                                               | 20:12:7        | 20:10:7       | 26:14:4       |

Значения индексов видового разнообразия Шеннона и выравненности Пиелу были достаточно высокими в весенний и осенний периоды, а в период летней межени принимали наиболее низкие значения (таблица 7.3), что связано с высокой степенью доминирования в летний период коловратки *Br. calyciflorus*, а также с более низким видовым богатством. Снижения индекса видового разнообразия Шеннона до критически низких значений не обнаружено.

Таким образом, зоопланктоценоз нижнего течения р. Кудьмы характеризуется значительным сходством видовой структуры и формируется под непосредственным влиянием подпорных вод правобережного потока

*Чебоксарского водохранилища. Наиболее отчетливая дифференциация видовой структуры зоопланктона р. Кудьмы отмечена в летний период.*

*На акватории р. Кудьма выделялись как участки со сходной видовой структурой зоопланктона, так участки с мозаичной (гетерогенной) видовой структурой, что свидетельствует о, преимущественно, «пятнистом» распределении видовой структуры сообществ зоопланктона.*

### **7.3. Малые водотоки г. Н. Новгорода**

Анализ зоопланктона протекающих по верхней части г. Н. Новгорода малых рек Старка и Кова в период летней межени в 2014 г. показал, что данные водотоки характеризуются нарушенной видовой структурой зоопланктона (6.4). Наибольший интерес представляет характеристика сезонных изменений видовой структуры подобных водотоков. Анализ литературных источников показывает, что подобные исследования практически не освещены. Результаты исследований по сезонной динамике количественных показателей развития планктона рек Старка, Кова и Рахма, отражены в наших работах (Голубева, Кудрин, 2015; Кудрин и др., 2015).

Пробы отбирались на восьми станциях в период с мая по сентябрь 2015 г. на акваториях рек Старка, Кова и Рахма (рисунок 7.31).

Характер сезонных изменений количественных показателей развития зоопланктона на каждой отдельно взятой станции был, в целом, сходен с другими станциями в пределах исследуемого водотока (рисунки 7–14, приложение), поэтому в работе для характеристика водотока приведен ход сезонной динамики количественных показателей зоопланктона одной станции, расположенной на его акватории.

**Река Старка.** Показатели количественного развития зоопланктона на акватории р. Старка на протяжении вегетационного сезона были низкими. За период проведения исследований было отмечено 3 пика численности зоопланктона: в середине мая, во второй половине июня и в начале сентября.

Пики биомассы, в целом, положительно коррелировали с пиками численности, однако летний подъем был более продолжительным за счет развития ветвистоусых рачков *Moina brachiata* и *Daphnia pulex* (рисунок 7.32).

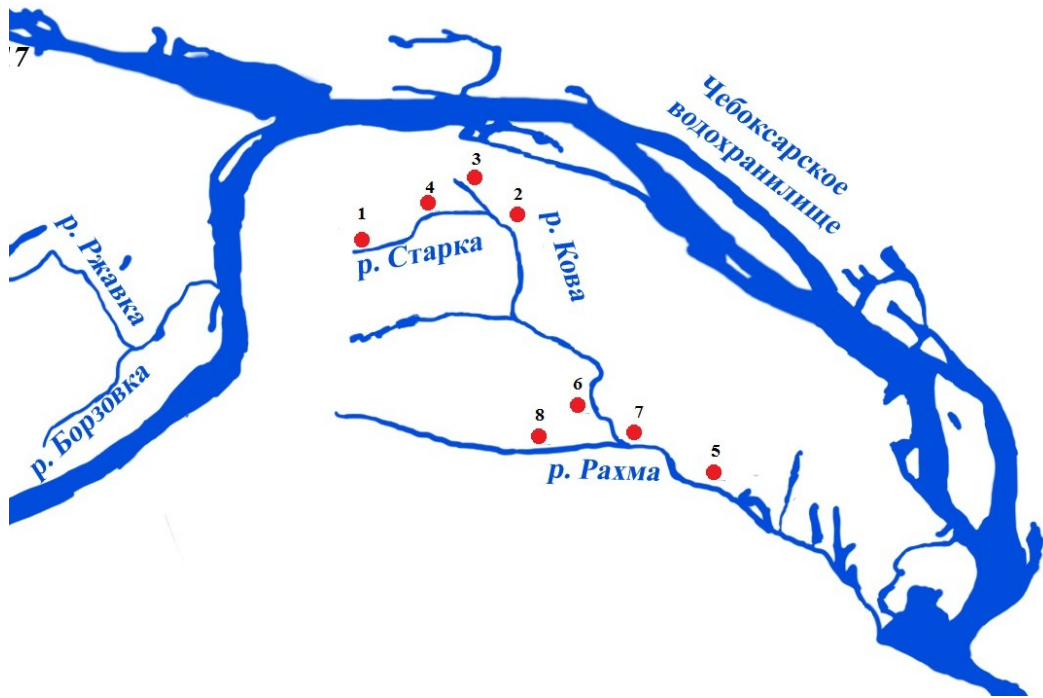


Рисунок 7.31. Схема расположения точек отбора проб на малых реках г. Н. Новгорода в 2015 г. 1 – р. Старка, верхнее течение; 2 – р. Старка, нижнее течение; 3 – р. Кова, выше устья р. Старки; 4 – р. Кова, ниже устья р. Старки; 5 – р. Рахма, ниже устья р. Кова; 6 – р. Кова, выше устья; 7 – р. Кова, устье; 8 – р. Рахма, выше устья р. Ковы.

В мае основу численности и биомассы формировали коловратки *Synchaeta pectinata*, *Asplanchna priodonta*, *Bdelloidea*. В период с середины июня до середины июля – наупиальные и копеподитные стадий *Cyclopoida*, *Moina brachiata*, *Daphnia pulex*, *Chydorus gibbus*. Во второй половине вегетационного сезона численность и биомасса, а также видовое богатство зоопланктона существенно снизились (таблица 7.4). Средняя индивидуальная масса зоопланктона принимала максимальное значение (0,0105 г/м<sup>3</sup>) в летний период, когда доминировал рачковый планктон, преимущественно наупиальные и копеподитные стадии *Cyclopoida*, *Moina brachiata* и *Daphnia pulex*.

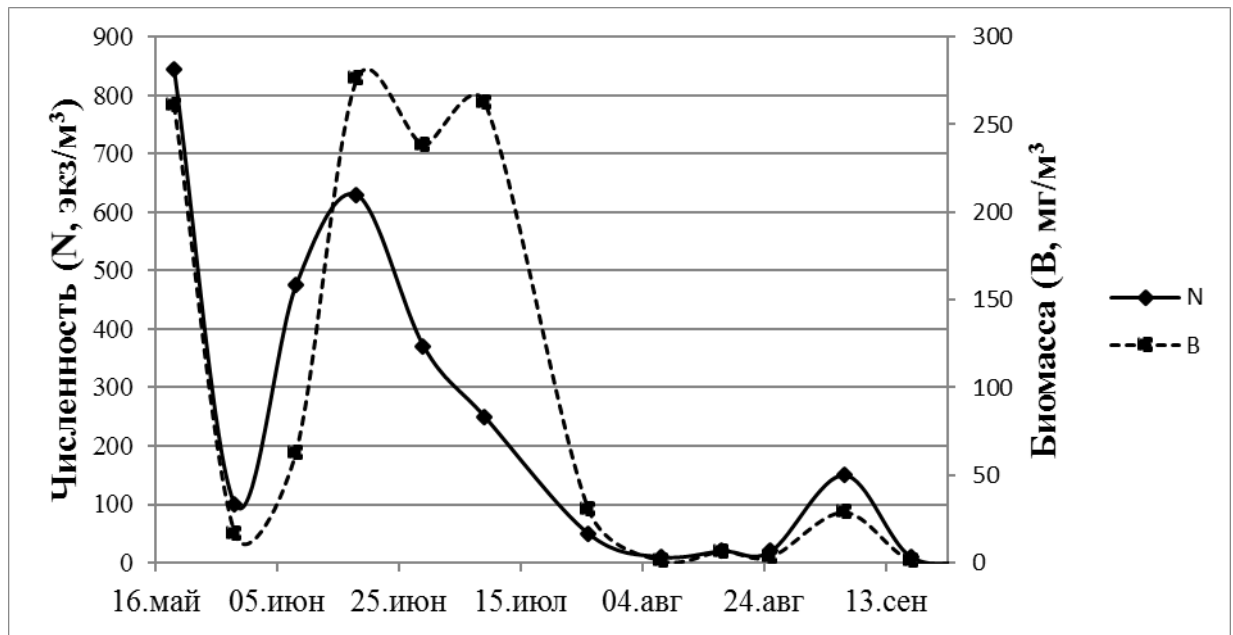


Рисунок 7.32. Численность (N, экз/м³) и биомасса (B, мг/м³) зоопланктона станции №4 р. Старка в период с мая по сентябрь 2015 г.

Таблица 7.4

Показатели видовой структуры сообщества зоопланктона станции №4 (нижнее течение р. Старка) в 2015 г.

| Дата  | Численность    |                                               | Биомасса    |                                          | Средняя индивидуальная масса зоопланктона w, г | Индекс Шеннона, H | Индекс Пielу, e | Число видов, Rot: Clad: Cop |
|-------|----------------|-----------------------------------------------|-------------|------------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
|       | Общая, экз./м³ | Соотношение численностей, %<br>Rot: Clad: Cop | Общая, г/м³ | Соотношение биомасс, %<br>Rot: Clad: Cop |                                                |                   |                 |                             |
| 19.05 | 845            | 62,1:0,6:37,3                                 | 1,611       | 81,6:4,1:14,3                            | 0,0031                                         | 1,13              | 0,66            | 3:1:2                       |
| 29.05 | 100            | 25:0:75                                       | 0,165       | 45,5:0:54,5                              | 0,0016                                         | 1,07              | 0,97            | 1:0:2                       |
| 09.06 | 475            | 3,2:0:96,8                                    | 0,628       | 0,2:0:99:8                               | 0,0013                                         | 0,63              | 0,47            | 1:0:2                       |
| 19.06 | 630            | 2,4:7,1:90,5                                  | 2,760       | 1,1:67,6:31,3                            | 0,0044                                         | 0,92              | 0,59            | 2:2:2                       |
| 30.06 | 370            | 2,7:20,3:77                                   | 2,382       | 0:52,5:47,4                              | 0,0064                                         | 1,55              | 0,80            | 1:5:3                       |
| 10.07 | 250            | 2:22:76                                       | 2,625       | 0,6:87,4:12                              | 0,0105                                         | 1,15              | 0,41            | 1:4:2                       |
| 22.07 | 50             | 10:10:80                                      | 0,315       | 4,8:76,5:18,7                            | 0,0063                                         | 0,94              | 0,54            | 1:1:2                       |
| 07.08 | 10             | 0:0:100                                       | 0,009       | 0:0:100                                  | 0,0009                                         | -                 | -               | 0:0:1                       |
| 17.08 | 20             | 0:0:100                                       | 0,062       | 0:0:100                                  | 0,0031                                         | 0,69              | 0,76            | 0:0:2                       |
| 27.08 | 20             | 75:0:25                                       | 0,033       | 79,3:0:20,7                              | 0,0017                                         | 0,56              | 0,74            | 1:0:1                       |
| 07.09 | 150            | 0:0:100                                       | 0,286       | 0:0:100                                  | 0,0019                                         | -                 | -               | 0:0:1                       |
| 17.09 | 10             | 0:0:100                                       | 0,011       | 0:0:100                                  | 0,0011                                         | -                 | -               | 0:0:1                       |
| 29.09 | 5              | 0:0:100                                       | 0,005       | 0:0:100                                  | 0,0011                                         | -                 | -               | 0:0:1                       |

Значения индексов видового разнообразия Шеннона и выравненности Пиелу, рассчитанные по численности зоопланктона, значительно варьировали в течении вегетационного сезона. Наибольшее значение индекса Шеннона для р. Старка (1,5 бит/экз.) было отмечено в середине мая, что обусловлено относительно высоким видовым богатством (12 видов). Минимальное значение индекса Шеннона (0,28 бит/экз.) было отмечено в августе, за счет чрезвычайно низкого видового богатства (2 вида). Значения индекса Пиелу изменялись от 0,35 до 0,73 (рисунок 7.33).

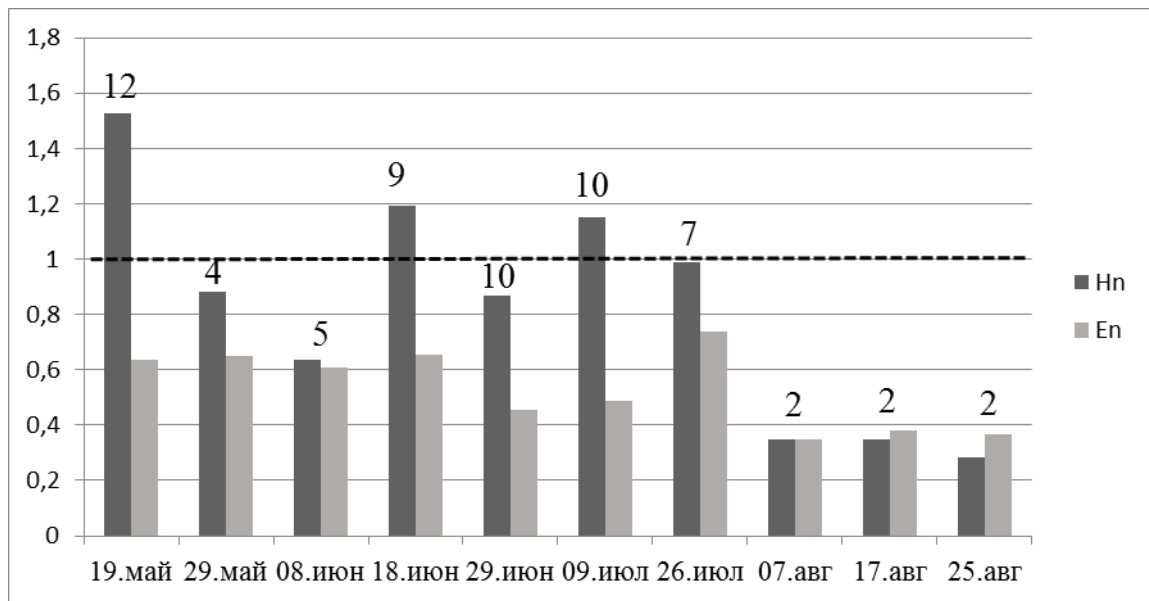


Рисунок 7.33. Видовое богатство и средние значения индексов видового разнообразия Шеннона ( $H_n$ ) и выравненности Пиелу ( $E_n$ ), рассчитанные по численности зоопланктона р. Старка в 2015 г.

В целом, индекс видового разнообразия Шеннона в течении большей части периода исследований, принимал значения ниже 1, что было обусловлено низким видовым богатством и выравненностью. Известно, что значения индекса Шеннона могут свидетельствовать о напряженной экологической ситуации в водотоке (Андроникова, 2007), и (или) соответствуют грязным водам (Методические рекомендации..., 1982).

**Река Кова.** За вегетационный сезон 2015 г. на р. Кова был отмечен один крупный пик численности зоопланктона – в середине июня, и значительно меньший – в конце августа. Первый, июльский, пик биомассы зоопланктона

несколько запаздывал относительно соответствующего пика численности за счет появления наупиальных и копеподитных стадий *Cyclopoida*, и ветвистоусых ракообразных *Moina brachiata* и *Daphnia pulex*. Второй пик биомассы, обусловленный повторным появлением ветвистоусого рачка *Moina brachiata*, практически совпадал со вторым пиком численности, обусловленным преобладанием коловраток *Synchaeta pectinata* и Bdelloida (рисунок 7.34).

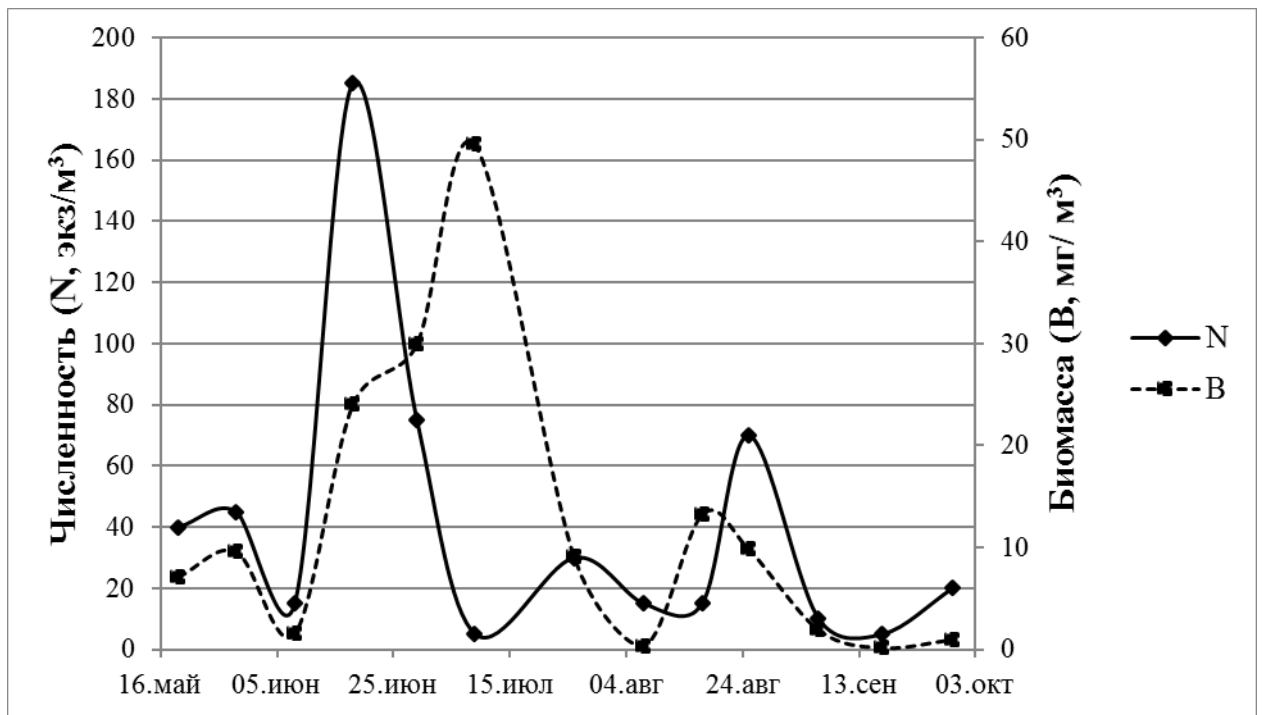


Рисунок 7.34. Численность (N, экз/м³) и биомасса (B, мг/ м³) зоопланктона станции №6 р. Кова в период с мая по сентябрь 2015 г.

В целом, на протяжении периода исследований значения численности и биомассы зоопланктона, а также видового богатства, были низкими (таблица 7.5). Средняя индивидуальная масса зоопланктона принимала максимальные значения в середине июля (0,099 г) вследствие развития ветвистоусого рачка *Moina brachiata*.

Значения индексов видового разнообразия Шеннона и выравненности Пиелу, рассчитанные на основе численности зоопланктона, были низкими ввиду низкого видового богатства и выравненности. Наибольшее значение индекса Шеннона для р. Кова (1,4 бит/экз.) было отмечено в середине мая, это обусловлено относительно высоким видовым богатством (10 видов). Минимальное значение

индекса Шеннона (0,14 бит/экз.) было отмечено в конце сентября, когда наблюдалось наименьшее число видов (5 видов). Значения индекса Пielу изменялись от 0,16 до 0,76 (рисунок 7.35). В целом значения индекса Шеннона, за некоторыми исключениями, были ниже 1, что свидетельствует о напряженной экологической ситуации в водотоке.

Таблица 7.5

Показатели видовой структуры сообщества зоопланктона станции №6 р. Кова в вегетационный сезон 2015 г.

| Дата  | Численность               |                                               | Биомасса               |                                          | Средняя индивидуальная масса зоопланктона, w, г | Индекс Шеннона, H | Индекс Пielу, e | Число видов, Rot: Clad: Cop |
|-------|---------------------------|-----------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
|       | Общая экз./м <sup>3</sup> | Соотношение численностей, %<br>Rot: Clad: Cop | Общая г/м <sup>3</sup> | Соотношение биомасс, %<br>Rot: Clad: Cop |                                                 |                   |                 |                             |
| 19.05 | 40                        | 37,5:0:62,5                                   | 0,071                  | 54,8:0:45,2                              | 0,0018                                          | 1,32              | 1,294           | 2:0:2                       |
| 29.05 | 45                        | 55,6:0:44,4                                   | 0,96                   | 56,9:0:43,1                              | 0,0021                                          | 1,52              | 0,78            | 3:0:2                       |
| 09.06 | 15                        | 0:0:100                                       | 0,15                   | 0:0:100                                  | 0,0010                                          | 0,64              | 1               | 0:0:2                       |
| 19.06 | 185                       | 2,7:2,7:94,6                                  | 0,240                  | 6,3:21:72,8                              | 0,0013                                          | 0,87              | 0,88            | 1:1:2                       |
| 30.06 | 75                        | 13,3:6,7:80                                   | 0,300                  | 5,1:14,9:79,9                            | 0,0040                                          | 1,26              | 0,56            | 2:1:2                       |
| 10.07 | 5                         | 0:100:0                                       | 0,495                  | 0:100:0                                  | 0,0990                                          | -                 | -               | 0:1:0                       |
| 22.07 | 30                        | 83,3:0:16,7                                   | 0,090                  | 78,8:0:21,2                              | 0,0030                                          | 0,87              | 0,78            | 2:0:1                       |
| 07.08 | 15                        | 100:0:0                                       | 0,003                  | 100:0:0                                  | 0,0002                                          | -                 | -               | 1:0:0                       |
| 17.08 | 15                        | 66,7:33,3:0                                   | 0,132                  | 1,5:98,5:0                               | 0,0088                                          | 0,64              | 0,11            | 1:1:0                       |
| 27.08 | 70                        | 100:0:0                                       | 0,098                  | 100:0:0                                  | 0,0014                                          | 0,68              | 0,41            | 2:0:0                       |
| 07.09 | 10                        | 50:0:50                                       | 0,19                   | 81:0:19                                  | 0,0019                                          | 0,69              | 0,70            | 1:0:1                       |
| 17.09 | 5                         | 100:0:0                                       | 0,001                  | 100:0:0                                  | 0,0002                                          | -                 | -               | 1:0:0                       |
| 29.09 | 20                        | 75:0:25                                       | 0,009                  | 33,1:0:66,9                              | 0,0005                                          | 0,56              | 0,92            | 1:0:1                       |

**Река Рахма.** За период отбора проб на р. Рахма было отмечено 2 пика численности зоопланктона: начале июля и в начале сентября. Один пик биомассы зоопланктона был отмечен в середине июля (рисунок 7.36). Первый пик численности и биомассы был обусловлен монодоминированием наупиальных и копеподитных стадий Cyclopoida. Начиная с августа, в планктоне доминировали представители коловраток *Euchlanis dilatata* и *Synchaeta pectinata*, которые имели

низкую индивидуальную массу, в связи с чем в период пика их численности не формировался пик биомассы (таблица 7.6).

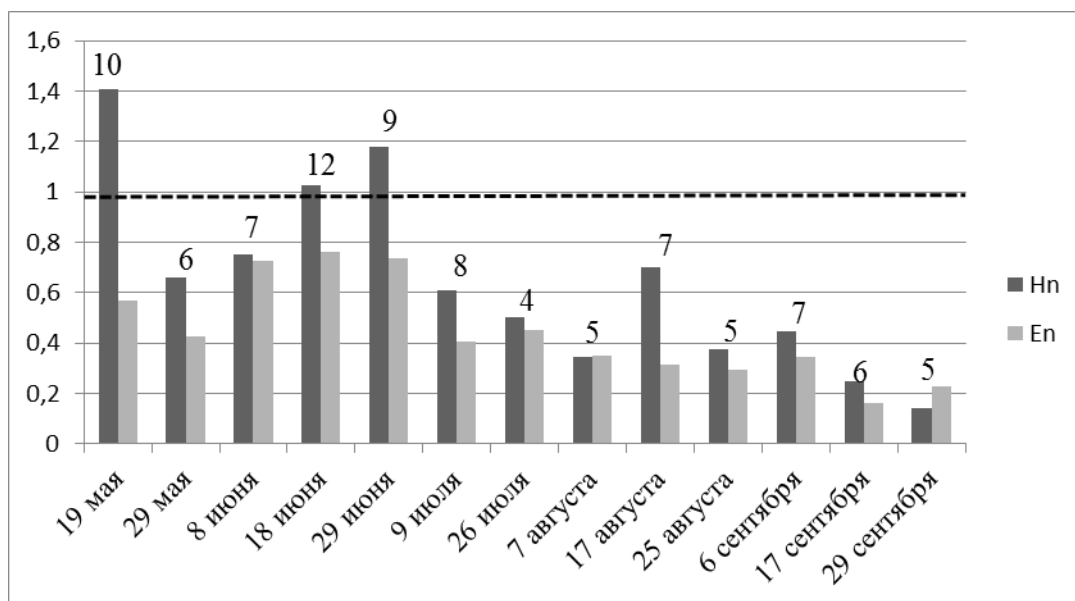


Рисунок 7.35. Видовое богатство и средние значения индексов видового разнообразия Шеннона ( $H_n$ ) и выравненности Пиелу ( $E_n$ ), рассчитанные по численности зоопланктона р. Кова в 2015 г.

Таблица 7.6

Показатели видовой структуры сообщества зоопланктона станции №5 р. Рахма в вегетационный сезон 2015 г.

| Дата  | Численность   |                                               | Биомасса   |                                          | Средняя индивидуальная масса зоопланктона, w, г | Индекс Шеннона, H | Индекс Пиелу, e | Число видов, Rot: Clad: Cop |
|-------|---------------|-----------------------------------------------|------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|
|       | Общая экз./м³ | Соотношение численностей, %<br>Rot: Clad: Cop | Общая г/м³ | Соотношение биомасс, %<br>Rot: Clad: Cop |                                                 |                   |                 |                             |
| 19.05 | 130           | 3,8:0:96,2                                    | 0,260      | 37,9:0:62,1                              | 0,0020                                          | 0,77              | 0,97            | 1:0:2                       |
| 29.05 | 5             | 100:0:0                                       | 0,009      | 100:0:0                                  | 0,0017                                          | -                 | -               | 1:0:0                       |
| 09.06 | 25            | 20:0:80                                       | 0,035      | 43,3:0:56,7                              | 0,0014                                          | 1,05              | 0,92            | 1:0:2                       |
| 19.06 | 40            | 0:12,5:87,5                                   | 0,216      | 0:11,2:88,8                              | 0,0054                                          | 1,21              | 0,57            | 0:1:3                       |
| 30.06 | 10            | 0:0:100                                       | 0,016      | 0:0:100                                  | 0,0016                                          | -                 | -               | 0:0:1                       |
| 10.07 | 5             | 0:0:100                                       | 0,005      | 0:0:100                                  | 0,0009                                          | -                 | -               | 0:0:1                       |
| 22.07 | 10            | 0:0:100                                       | 0,014      | 0:0:100                                  | 0,0014                                          | -                 | -               | 0:0:1                       |
| 07.08 | 20            | 100:0:0                                       | 0,018      | 100:0:0                                  | 0,0009                                          | 0,56              | 0,65            | 2:0:0                       |
| 17.08 | 55            | 72,7:18,2:9,1                                 | 0,357      | 10,1:86,3:3,6                            | 0,0065                                          | 1,53              | 0,33            | 3:1:1                       |
| 27.08 | 105           | 90,5:0:9,5                                    | 0,270      | 91,2:0:8,8                               | 0,0026                                          | 0,78              | 0,33            | 2:0:2                       |
| 07.09 | 115           | 91,3:0:8,7                                    | 0,300      | 91,5:0:8,5                               | 0,0026                                          | 0,92              | 0,37            | 3:0:2                       |
| 17.09 | 115           | 91,3:0:8,7                                    | 0,248      | 93,1:0:6,9                               | 0,0022                                          | 0,96              | 0,27            | 3:0:1                       |
| 29.09 | 125           | 96:0:4                                        | 0,172      | 95:0:5                                   | 0,0014                                          | 1,11              | 0,31            | 4:0:1                       |

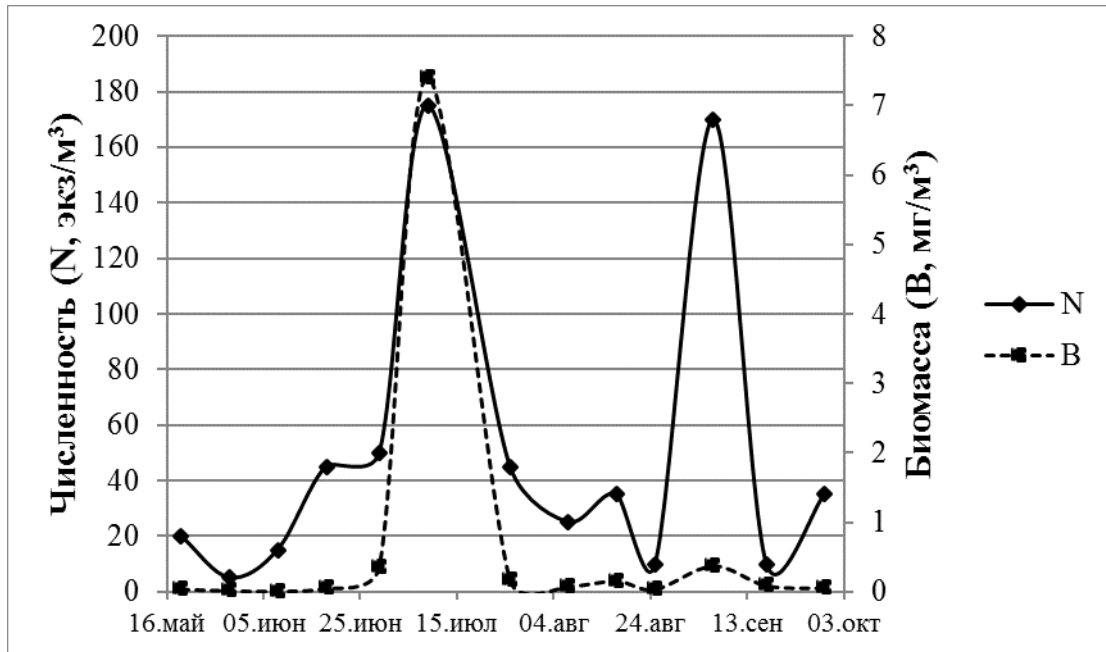


Рисунок 7.36 Численность (N, экз/м³) и биомасса (B, мг/ м³) зоопланктона станции №8 р. Рахма в период с мая по октябрь 2015 г.

Значения индивидуальной массы зоопланктона на протяжении всего периода исследований были низкими (таблица 7.6). Значения индексов видового разнообразия Шеннона и выравненности Пielу на протяжении сезона также были низкими, что было обусловлено низким видовым богатством. На протяжении вегетационного сезона они, как правило, были меньше 1, что свидетельствует о напряженной экологической ситуации на исследуемом участке р. Рахма. Максимальное значение индекса Шеннона было отмечено в середине августа (1,33 бит/экз.), минимальное (0,34 бит/экз.) – в конце июня, когда наблюдалось наименьшее видовое богатство (3 вида). Значения индекса Пielу изменялись в пределах от 0,16 до 0,81 (рисунок 7.37).

Таким образом, анализ сезонной динамики количественного развития зоопланктона обследованных водотоков показал следующее. Зоопланктон всех исследованных водотоков формировал два пика численности – в летний период (июнь – июль), и в начале осеннего периода. На акватории р. Старка был зарегистрирован также пик численного развития в мае. Количество пиков биомассы зоопланктона варьировало от одного до трёх. В целом, значения

показателей количественного развития зоопланктона (численности и биомассы), а также видового богатства и видового разнообразия, во всех обследованных водотоках были чрезвычайно низкими.

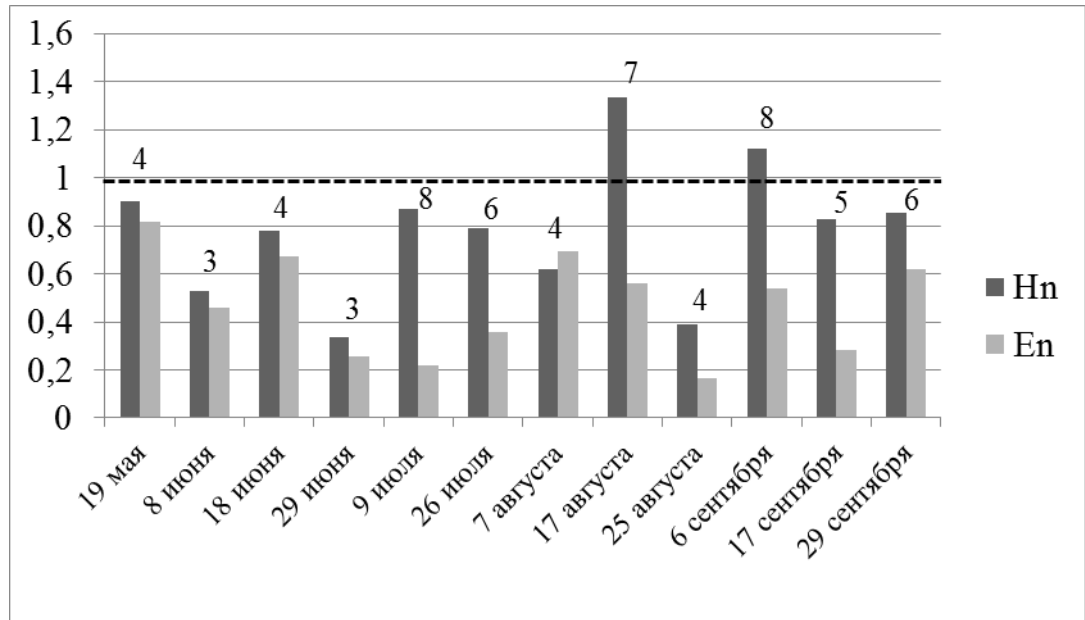


Рисунок 7.37. Видовое богатство и средние значения индексов видового разнообразия Шеннона ( $H_n$ ) и выравненности Пиелу ( $E_n$ ), рассчитанные по численности зоопланктона р. Рахма в 2015 г.

Известно, что показатель видового разнообразия складывается из двух компонентов (Одум, 1986): видового богатства и выравненности (меры сходства относительных представленностей видов). При этом, количественные показатели разнообразия отражают оба эти компонента (Якимов, 2015), которые могут изменяться при значительных воздействиях на сообщества гидробионтов.

Значения индексов видового разнообразия Шеннона и выравненности Пиелу, рассчитанные по численности зоопланктона, принимали наибольшее значение на реках Старка и Кова в середине мая, а на р. Рахме в середине августа. Минимальные значения индекса Шеннона были отмечены в конце июня на р. Рахма, в конце августа на р. Старка и на р. Кова в конце сентября. Значения индекса Пиелу в целом изменялись от 0,16 до 0,81. Таким образом, значения индекса Шеннона, рассчитанные по численности зоопланктона исследуемых рек, на протяжении сезона наблюдений были, за некоторыми исключениями, ниже 1, что свидетельствует о неблагоприятном экологическом состоянии исследуемых

водотоков и (или) загрязнении вод (Андроникова, 2007; Свирская, 1992). Нарушенность видовой структуры зоопланктона исследуемых водотоков проявляется, также, в снижении показателей количественного развития зоопланктона до нуля в отдельные периоды времени.

Таким образом, характерной особенностью малых рек верхней части г. Н. Новгорода является резкое снижение численности и биомассы в отдельные периоды времени, а также низкие значения индекса видового разнообразия Шеннона, обусловленные уменьшением видового богатства и выравненности. По комплексу характеристик видовой структуры зоопланктона исследованных малых рек г. Н. Новгорода их экосистемы можно охарактеризовать как деградирующие, а исследуемые водотоки характеризуются экстремальными экологическими условиями, что обусловлено значительным антропогенным прессом. Кроме токсического загрязнения вод, напряженную экологическую ситуацию усугубляет то, что на значительной протяженности воды исследуемых рек (в особенности, рек Старка и Кова) проходят по подземным коллекторам. Это способствует гибели организмов планктона и снижению способности рек к самоочищению. Для восстановления экосистем малых рек урбанизированных территорий необходимо осуществление комплекса мер, направленных на их реабилитацию и оздоровление.

#### **7.4. Взаимосвязь видовой структуры зоопланктоценозов с факторами окружающей среды**

Для установления зависимости видовой структуры зоопланктона верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища от факторов среды были построены модели на основе анализа избыточности (redundancy analysis, RDA) с использованием следующих переменных, описывающих параметры среды: электропроводность, pH, температура, прозрачность, глубина. Модели строились сначала для отдельных переменных, затем для их комплекса. Для каждого случая

проводился анализ значимости канонических осей с использованием перестановочной процедуры (Borcard et al., 2012; Шитиков, Розенберг, 2014).

Первая модель была построена для проб зоопланктона, отобранных на акватории верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища и р. Оки в мае, июле и сентябре 2015 г. (рисунок 6.1). Статистический анализ значимости объяснения изменчивости видовой структуры с использованием перестановочного теста для каждого отдельного фактора показал, что статистической значимостью ( $p < 0,05$ ) характеризуются электропроводность, температура и pH (таблица 7.7). Полная модель значимо объясняет 55,8% от общей дисперсии видовой структуры зоопланктона. Статистически значимыми в модели являлись первые три оси (таблица 7.8).

Таблица 7.7

Статистический анализ данных анализа избыточности (RDA) для каждого из исследуемых факторов окружающей среды (\* –  $p < 0.05$ )

| Фактор             | Скорректированная доля объясняемой дисперсии, % | Значение критерия Фишера, $F$ | Уровень значимости, $p$ |
|--------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Электропроводность | 24,5                                            | 10,40                         | 0,001*                  |
| Температура        | 17,6                                            | 7,19                          | 0,001*                  |
| pH                 | 13,9                                            | 5,68                          | 0,001*                  |
| Прозрачность       | 2,9                                             | 1,86                          | 0,083                   |

Таблица 7.8

Статистический анализ данных полной модели на основе анализа избыточности (RDA) (\* –  $p < 0.05$ )

|                      | Скорректированная доля объясняемой дисперсии, % | Значение критерия Фишера, $F$ | Уровень значимости, $p$ |
|----------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| <i>Полная модель</i> | 55,8                                            | 10,17                         | 0,001*                  |
| Ось I                | 28,4                                            | 20,69                         | 0,001*                  |
| Ось II               | 19,6                                            | 14,29                         | 0,001*                  |
| Ось III              | 5,8                                             | 4,25                          | 0,001*                  |
| Ось IV               | 2,0                                             | 1,44                          | 0,116                   |

Расположение станций на ординационной диаграмме, построенной по результатам анализа избыточности, подтверждает полученные с помощью многомерного векторного анализа данные о различии видовой структуры сообществ зоопланктона окского и волжского потоков в каждый из

сезонов (рисунок 7.38). Пробы, соответствующие двум потокам, располагаются вдоль горизонтальной оси ординации, объясняющей 28,4% от общей дисперсии структуры зоопланктона (таблица 7.8).

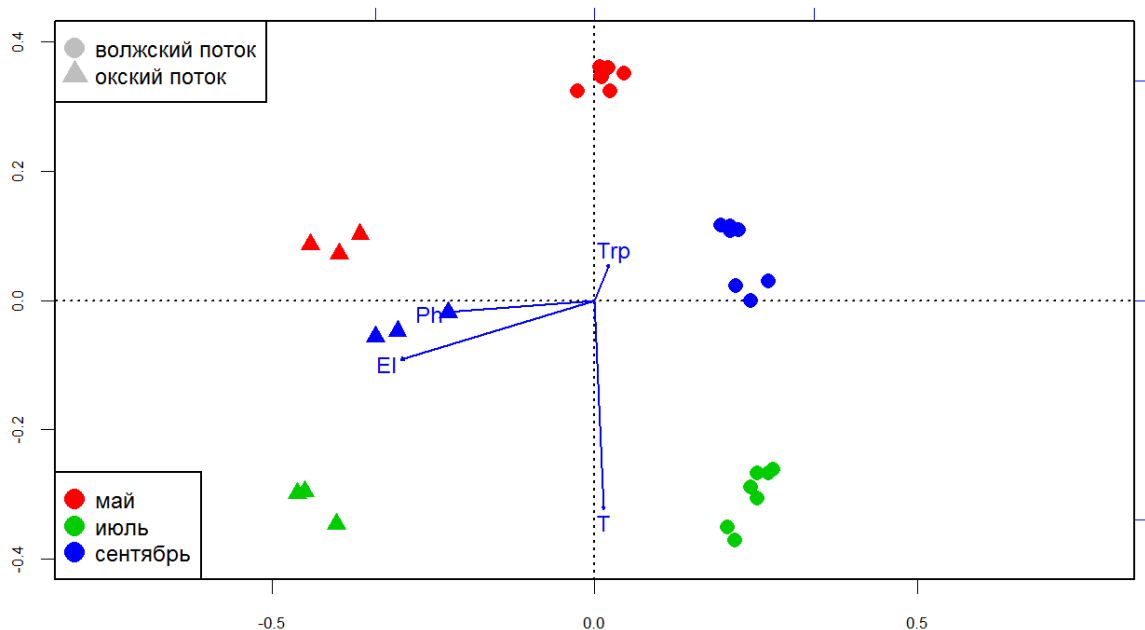


Рисунок 7.38. Результаты анализа избыточности (RDA) для проб зоопланктона отобранных на акватории верхней речной части Чебоксарского водохранилища в мае, июле и сентябре 2015 г.

Положение вдоль вертикальной оси связано с сезонными изменениями структуры исследуемых сообществ, зоопланктона, причем осенний период (сентябрь) на диаграмме занял промежуточное положение между летним и весенним. Вертикальная ось объясняет 19,6% от общей дисперсии видовой структуры зоопланктона (таблица 7.8).

Принадлежность к определенному потоку в большей мере определялась коррелирующими между собой электропроводностью и рН, значения которых были значительно выше в окском потоке. Сезонные же изменения видовой структуры объяснялись, в основном, температурой и, в меньшей степени, прозрачностью воды.

Таким образом, на исследуемой акватории выделяются два пространственно стабильных сообщества зоопланктона, приуроченных к волжскому и окскому

потоку. Видовая структура этих сообществ в весенний, летний и осенний период существенно различалась.

Для установления зависимости видовой структуры зоопланктона волжского и окского потоков от факторов окружающей среды на участке акватории речной части Чебоксарского водохранилища и р. Оки в районе г. Н. Новгорода также была построена модель на основе анализа избыточности (RDA), в которой учитывались следующие параметры: глубина, прозрачность, температура, pH, электропроводность. Статистический анализ вспомогательных моделей, построенных для каждого отдельного фактора, показал, что уровнем значимости  $p < 0.05$  обладали электропроводность, pH и температура (таблица 7.9).

Полная модель, построенная с использованием всех пяти факторов, объясняла 26,1% от общей дисперсии видовой структуры зоопланктона, статистически значимыми были первые три оси ординации (таблица 7.10).

Таблица 7.9

Статистический анализ данных анализа избыточности (RDA) для каждого из исследуемых факторов окружающей среды (\* –  $p < 0.05$ )

| Фактор             | Скорректированная доля объясняемой дисперсии, % | Значение критерия Фишера, $F$ | Уровень значимости, $p$ |
|--------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Электропроводность | 20,2                                            | 12,87                         | 0,001*                  |
| pH                 | 11,0                                            | 6,78                          | 0,001*                  |
| Температура        | 3,9                                             | 2,90                          | 0,006*                  |
| Глубина            | 1,8                                             | 1,84                          | 0,057                   |
| Прозрачность       | 1,1                                             | 1,52                          | 0,107                   |

Таблица 7.10

Статистический анализ данных полной модели на основе анализа избыточности (RDA) (\* –  $p < 0.05$ )

|               | Скорректированная доля объясняемой дисперсии, % | Значение критерия Фишера, $F$ | Уровень значимости, $p$ |
|---------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Полная модель | 26,1                                            | 4,31                          | 0,001*                  |
| Ось I         | 16,9                                            | 14,02                         | 0,001*                  |
| Ось II        | 4,8                                             | 3,97                          | 0,001*                  |
| Ось III       | 2,4                                             | 1,96                          | 0,015*                  |
| Ось IV        | 1,2                                             | 1,01                          | 0,432                   |
| Ось V         | 0,7                                             | 0,60                          | 0,913                   |

На построенной по результатам анализа избыточности ординационной диаграмме (рисунок 7.39) явно выделяются две группы, принадлежащие к правобережному и к левобережному потокам Чебоксарского водохранилища, которые располагаются вдоль первой (горизонтальной) оси. Вдоль второй (вертикальной) оси прослеживается градиент сезонных изменений структуры зоопланктона, т.е. видовая структура зоопланктона в обеих группах (в правобережном и левобережном потоках) последовательно сменяется в период исследований (от начала лета до конца сентября). Первая и вторая ось объясняют 16,9% и 4,8% вариабельности структуры зоопланктона соответственно. Направления векторов параметров среды свидетельствуют о том, что видовую структуру двух потоков определяют, в основном, кислотность и электропроводность, а сезонные изменения структуры зоопланктона зависят от температуры, глубины, и обратно коррелирующей с ними прозрачности.

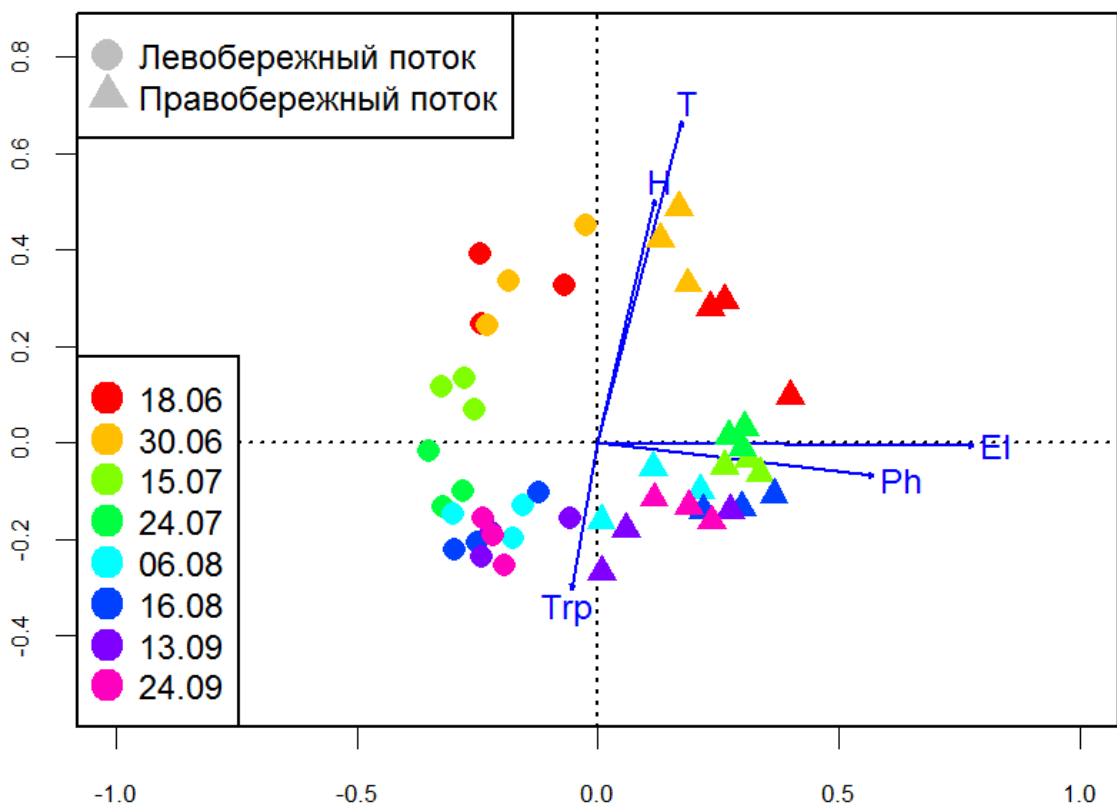


Рисунок 7.39. Результаты ординации станций отбора проб, отобранных на акваториях волжского и окского потоков Чебоксарского водохранилища в 2015 г., и их связь с факторами среды

Статистический анализ вспомогательных моделей, построенных с использованием анализа избыточности для каждого из исследуемых факторов, выявил, что значимо объясняют вариацию видовой структуры зоопланктона показатели электропроводности, pH, температуры и глубины. Общая доля объясненной дисперсии видовой структуры для данной модели была несколько выше – 29,0%, первая и вторая оси значимо объясняли 19,5% и 5,0% дисперсии соответственно, значимыми были первые три оси (таблица 7.11). Таким образом, данная «упрощенная» модель в целом соответствует данным анализа избыточности с использованием полного списка видов зоопланктона.

Таблица 7.11

Статистический анализ данных RDA для каждого из исследуемых факторов окружающей среды с использованием списка доминирующих видов (\* –  $p < 0.05$ )

| Фактор             | Скорректированная доля объясняемой дисперсии, % | Значение критерия Фишера, $F$ | Уровень значимости, $p$ |
|--------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Электропроводность | 22,7                                            | 14,78                         | 0,001*                  |
| pH                 | 12,1                                            | 7,46                          | 0,001*                  |
| Температура        | 4,1                                             | 2,99                          | 0,007*                  |
| Глубина            | 2,1                                             | 1,99                          | 0,05*                   |
| Прозрачность       | 1,2                                             | 1,59                          | 0,133                   |

Таблица 7.12

Статистический анализ данных RDA с использованием списка доминирующих видов (\* –  $p < 0.05$ )

|                      | Скорректированная доля объясняемой дисперсии, % | Значение критерия Фишера, $F$ | Уровень значимости, $p$ |
|----------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| <i>Полная модель</i> | 29,0                                            | 4,84                          | 0,001*                  |
| Ось I                | 19,5                                            | 16,26                         | 0,001*                  |
| Ось II               | 5,0                                             | 4,20                          | 0,002*                  |
| Ось III              | 2,6                                             | 2,16                          | 0,022*                  |
| Ось IV               | 1,2                                             | 1,03                          | 0,395                   |
| Ось V                | 0,6                                             | 0,52                          | 0,921                   |

Общая картина расположения станций отбора проб зоопланктона не изменилась, на ординационной диаграмме также сохраняется разбиение левобережного и правобережного потоков Чебоксарского водохранилища на две

соответствующие группы вдоль горизонтальной оси, а градиент сезонных изменений прослеживается вдоль вертикальной оси (рисунок 7.40).

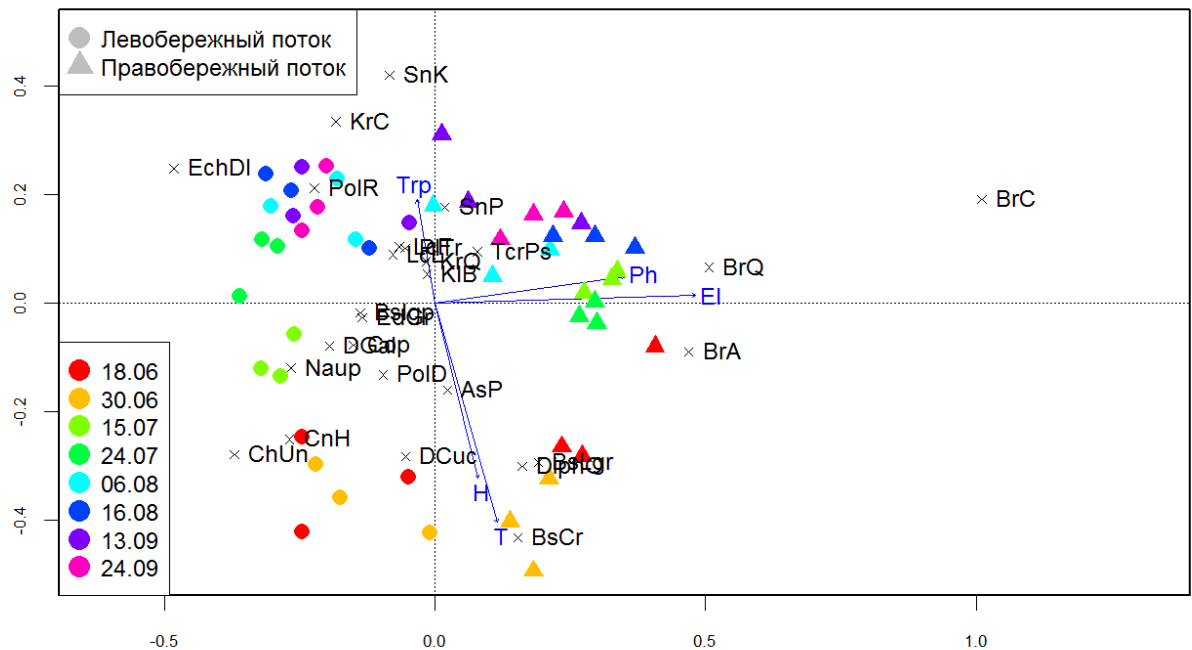


Рисунок 7.40. Результаты анализа избыточности (RDA) на основе доминирующих на акваториях правобережного и левобережного потоков речной части Чебоксарского водохранилища видов зоопланктона

Анализ результатов ординации показывает, что реофильные коловратки рода *Brachionus* характерны для вод правобережного потока с его высокими значениями pH и электропроводности. Напротив, к левобережному потоку больше тяготеют такие лимнофильные виды, как *Euchlanis dilatata*, *Conochilus unicornis*, *C. hippocrepis*, а также науплиальные стадии Cyclopoida. Что касается сезонной изменчивости, то к более высоким температурам летнего периода тяготеют в основном ветвистоусые рачки *Bosmina coregoni*, *B. longirostris*, *Daphna cucullata*, *D. galeata*, *Diaphanosoma orghidani*, а также коловратки *Conochilus unicornis*, *C. hippocrepis*, *Asplanchna priodonta*. В осенний период при более низких температурах и возросшей прозрачности наибольшее обилие формируют коловратки *Keratella cohelearis*, *Euchlanis dilatata*, *Polyarthra remata*, *Synchaeta kitina*, *S. pectinata*.

Таким образом, построенная для установления зависимости видовой структуры зоопланктонных сообществ исследуемого участка от факторов среды

RDA-модель показала следующее. На исследуемой акватории выделяются два пространственно стабильных сообщества зоопланктона, приуроченных к волжскому и окскому потокам. Видовая структура зоопланктона этих сообществ в весенний, осенний и летний периоды существенно различалась. Принадлежность проб зоопланктона к определенному потоку (волжскому или окскому) определялась коррелирующими между собой факторами – электропроводностью и уровнем pH, значения которых были выше в окском потоке. Сезонные же изменения видовой структуры объяснялись, в основном, температурой и, в меньшей степени, прозрачностью воды.

«Упрощенная» модель, построенная на основе анализа избыточности по 27 доминирующим видам зоопланктона, соответствует данным анализа избыточности с использованием полного списка видов зоопланктона. Анализ результатов ординации показывает, что реофильные коловратки тяготеют к правобережному, окскому потоку с его высокими значениями pH и электропроводности. Представители лимнофильной фауны, напротив, характерны для левобережного, волжского потока. Показана приуроченность видов зоопланктона к определенным сезонам года с характерными для них показателями температуры и прозрачности воды.

*Таким образом, подводя итог главы 7, можно заключить, что зоопланктоценозы «волжского» и «окского» потоков Чебоксарского водохранилища занимают стабильные на протяжении вегетационного сезона (май, июль, сентябрь) акватории.*

*Анализ зависимости видовой структуры зоопланктоценозов «волжского» и «окского» потоков Чебоксарского водохранилища от факторов среды показал, что учитываемые факторы (pH, электропроводность, температура, прозрачность и глубина) значимо объясняют от 26,1% до 55,8% от общей дисперсии видовой структуры зоопланктона. Наибольшее влияние оказывают электропроводность (20,2% – 24,5%) и pH (11,0% – 13,6%), которые значимо обуславливают различия видовой структуры зоопланктоценозов «волжского» и*

«окского» потоков. Сезонные изменения видовой структуры сообществ значимо определяются температурой (3,9% – 17,6%).

Кроме того, установлено, что сезонная динамика зоопланктона рек Старка и Кова характеризуется продолжительными периодами деградации, что выражается в снижении количественных характеристик (численности до  $\leq 20$  экз./м<sup>3</sup>, биомассы – до  $\leq 0,02$  г/м<sup>3</sup>, числа видов – до 1–2), видового разнообразия (индекс Шеннона до  $\leq 1$  бит/экз.), преобладании наиболее устойчивых к условиям многофакторного антропогенного воздействия организмов (коловратки отр. *Bdelloida*, *Synchaeta pectinata*, науплиальные и копеподитные стадии *Cyclopoida*).

## Глава 8. Вклад видов-вселенцев в видовую структуру сообществ зоопланктона водных объектов в условиях антропогенного воздействия

В составе зоопланктона исследуемых водных объектов обнаружено четыре вида-вселенца – ветвистоусый рачок *Diaphanosoma orghidani* (Negrea, 1982), веслоногий рачок *Eurytemora velox* (Lilljeborg, 1853), коловратки *Synchaeta kitina* (Rousselet, 1902) и *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (рисунок 8.1). Результаты исследований распространения видов-вселенцев зоопланктона в исследованных водотоках опубликованы в ряде наших работ (Шурганова и др., 2014а, 2015; Кудрин и др., 2015 и др.).

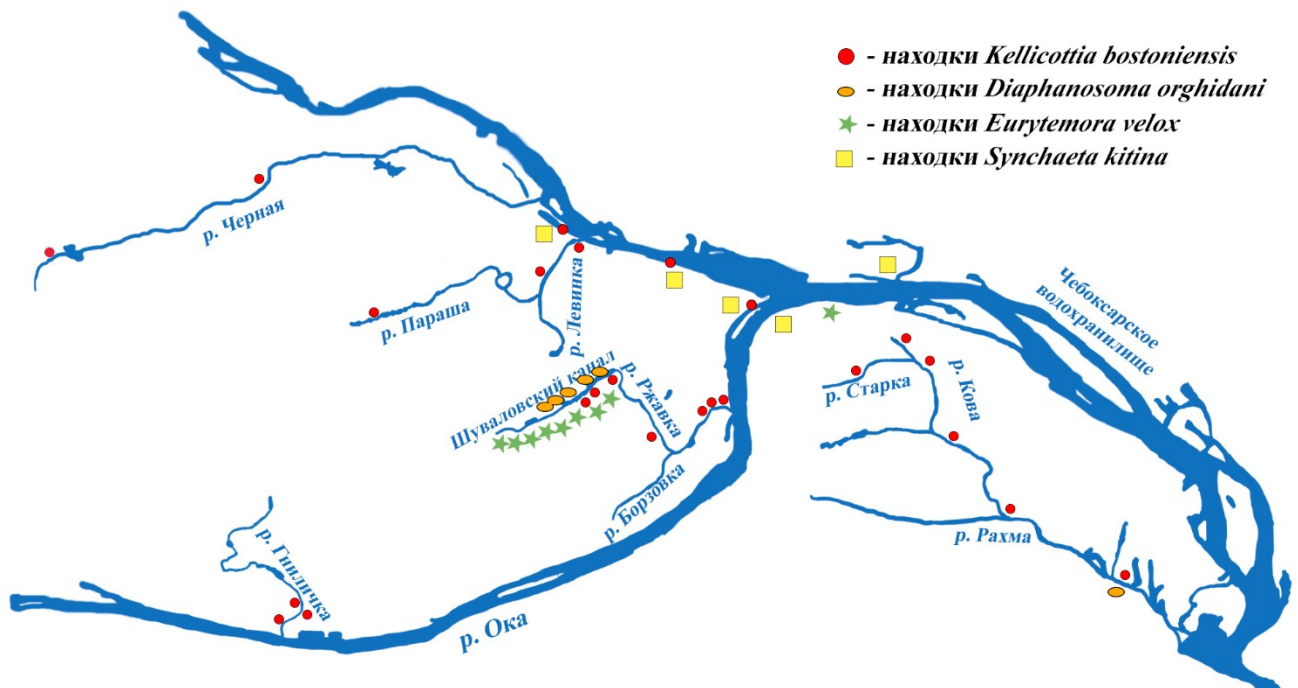


Рисунок 8.1. Находки видов-вселенцев на акваториях исследуемых водных объектов в 2014-2015 г.

*Diaphanosoma orghidani* – пелагический рачок, вселенец южного происхождения (рисунок 8.1). Данный вид описан в 1982 году в озёрах Румынии. В.И. Лазарева (2008) приводит сведения о его расселении. Впервые в России этот вид был найден Н.М. Коровчинским в окрестностях г. Казани в 1986 году. Затем этот вид был обнаружен в водоемах дельты Волги, Краснодарского края и Средней Азии. В 2005 году этот вид найден в Волго-Балтийской водной системе.

На 2008 год самая северная находка зарегистрирована в Новинкинском водохранилище (север Вологодской области). Центрами расселения *D. orghidani* служит Средняя Волга, особенно Чебоксарское водохранилище, а на Верхней Волге Ивановское и в последнее время Шекснинское водохранилища (Лазарева, 2013). В устьевом участке реки Оки этот вид был зарегистрирован Г.В. Шургановой в 2010 году (Шурганова и др., 2015а).

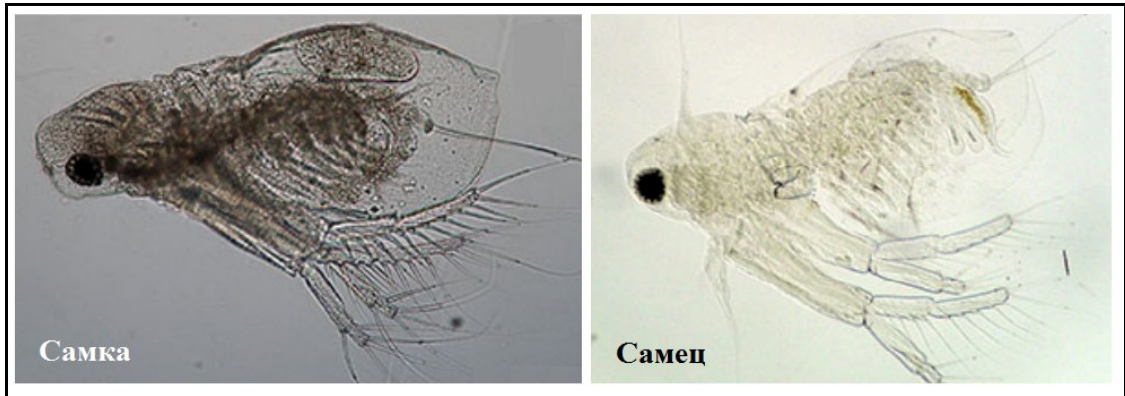


Рисунок 8.2. Вид-вселенец южного происхождения, пелагический рачок *Diaphanosoma orghidani* (Negrea, 1982) (фото: В.И. Лазарева, 2008 г.)

Аборигенным видом из рода *Diaphanosoma* является *Diaphanosoma brachyurum* (Lievin, 1848). Вид широко распространён в западной части Палеарктики, в южных регионах относительно редок (Определитель зоопланктона..., 2010).

В соответствии с полученными нами данными, в 2014-2015 г. ветвистоусый рачок *Diaphanosoma orghidani* обитал в зоопланктоне Шуваловского канала г. Н. Новгорода, устьевых участков рек Кудьма и Рахма, а также в сообществах зоопланктона волжского и окского потоков Чебоксарского водохранилища (рис. 8.1). Вид-вселенец *D. orghidani*, в основном, не вносил значительного вклада в формирование общей численности зоопланктона исследуемых водотоков (таблица 8.1). Исключение составлял устьевой участок р. Кудьмы, зоопланктон которого определяется воздействием подпорных вод правобережного («окского») потока Чебоксарского водохранилища. Здесь доля вселенца достигала 32,0%. В зоопланктоне Чебоксарского водохранилища, р. Оки и р. Кудьмы *D. orghidani* формировал бóльшую численность, чем аборигенный вид *D. brachyurum* (таблица 8.1).

Таблица 8.1

Численность ( $N$ , тыс. экз./м<sup>3</sup>) и доля от общей численности ( $N/N_{\text{tot}}$ , %) вида-вселенца *D. orghidani* и аборигенного вида *D. brachyurum* в зоопланктоне исследуемых водных объектов

| Водоток, год исследования                 | <i>D. orghidani</i>            |                        | <i>D. brachyurum</i>           |                        |
|-------------------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|
|                                           | $N$ , тыс. экз./м <sup>3</sup> | $N/N_{\text{tot}}$ , % | $N$ , тыс. экз./м <sup>3</sup> | $N/N_{\text{tot}}$ , % |
| Чебоксарское вдхр. (волжский поток), 2015 | 0,15±0,08                      | 0,99                   | 0,01                           | 0,07                   |
| р. Ока (устье), 2015                      | 0,41±0,08                      | 1,45                   | 0,11±0,05                      | 0,39                   |
| р. Кудьма, 2013                           | 0,39 – 9,44                    | 1,92 – 31,99           | 0,01 – 0,39                    | 0,23 – 0,66            |
| Шуваловский канал, 2014                   | 0,03 – 1,46                    | 0,003 – 0,24           | 0,03 – 10,98                   | 0,1 – 7,89             |
| Р. Рахма, 2014                            | 0,34                           | 1,01                   | 1,02                           | 3,03                   |

*Eurytemora velox* – эвригалинный веслоногий рачок, обитающий, главным образом, в солоноватых водах, где предпочитает устья рек (Боруцкий и др, 1991) (рисунок 8.3). В пресных водах к настоящему времени этот вид известен из бассейнов всех основных рек Европы, в которых он является инвазийным видом (Литвинова, Вежновец, 2015). Ранее этот вид был найден в Чебоксарском водохранилище Г.В. Шургановой (2007б).

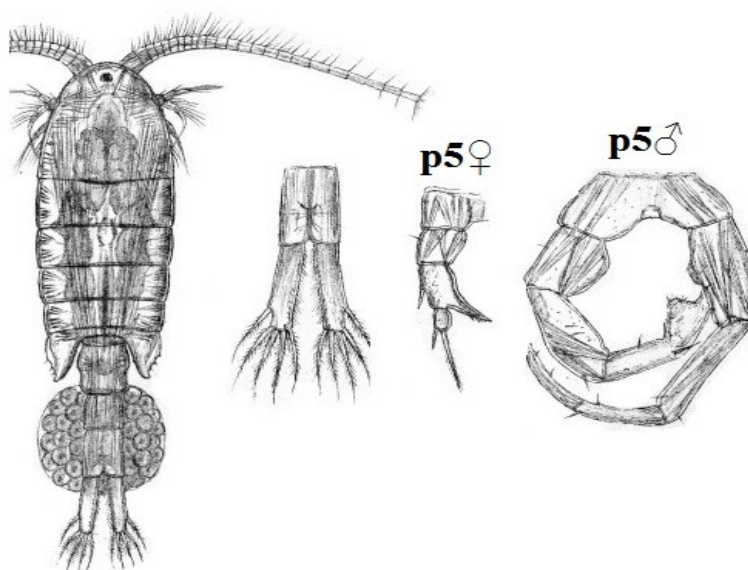


Рисунок 8.3. Вид-вселенец, представитель понтокаспийской фауны, рачок *Eurytemora velox* (Lilljeborg, 1853) (по: Боруцкий и др., 1991).

*E. velox* относится к фильтраторам и специализируется на потреблении диатомовых водорослей прибрежья, предположительно с поверхности обрастаний и дна. В данном случае питание *E. velox* диатомеями в литорали помогло, очевидно, найти свою нишу в пресных водах и успешно избежать конкуренции с аборигенными растительноядными видами рода *Eudiaptomus*, обитающими в пелагической части подобных водоёмов (Вежновец и др., 2012).

Аборигенным видом из рода *Eurytemora* является реликтовый *Eurytemora lacustris* (Porpe, 1887), который проник и адаптировался к обитанию в пресных водах во время последнего оледенения (Сущеня, Семенченко, Вежновец, 1984). *E. lacustris* с конца прошлого столетия отмечался в водоёмах бассейна Волги, а также во многих водоемах и водотоках России (Вежновец и др., 2012).

В планктоне исследуемых водных объектов *E. velox* был нами зарегистрирован на акватории Шуваловского канала, а также в сообществах зоопланктона «окского потока» Чебоксарского водохранилища (рисунок 8.1), где он встречался в августе-сентябре 2015 г. Для зоопланктона Шуваловского канала вид указан впервые.

На акватории Чебоксарского водохранилища *E. velox* встречался единично (таблица 8.2), в то время как аборигенный вид *E. lacustris* был более распространенным и формировал более высокую численность.

Таблица 8.2

Численность (N, тыс. экз./м<sup>3</sup>) и доля от общей численности (N/N<sub>tot</sub>, %) вида-вселенца *E. velox* и аборигенного вида *E. lacustris* в зоопланктоне исследуемых водных объектов

| Водоток, год исследования                 | <i>E. velox</i>             |                        | <i>E. lacustris</i>         |                        |
|-------------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|
|                                           | N, тыс. экз./м <sup>3</sup> | N/N <sub>tot</sub> , % | N, тыс. экз./м <sup>3</sup> | N/N <sub>tot</sub> , % |
| Чебоксарское вдхр. («окский поток»), 2015 | 0,01                        | 0,04                   | 0,12±0,02                   | 0,91±0,31              |
| Шуваловский канал, 2014                   | 0,007 – 2,01                | 0,007 – 0,14           | –                           | –                      |

На акватории Шуваловского канала вид *E. velox* был повсеместно распространен, его численность достигала 2,01 экз./м<sup>3</sup> (таблица 8.2). Однако, вселенец вносил незначительный вклад в общую численность зоопланктона.

Коловратка *Synchaeta kitina* – типичный представитель холодноводного пелагического комплекса (Аров, Шевелева, Мишарина, 2009) (рисунок 8.4). На территории Европейской части России вид был найден, в основном, в северной её части в водотоках и водоёмах Республики Карелия (Куликова, 2015). В период с 2001 по 2004 год вид впервые был зарегистрирован в Рыбинском водохранилище (Лазарева, 2010).

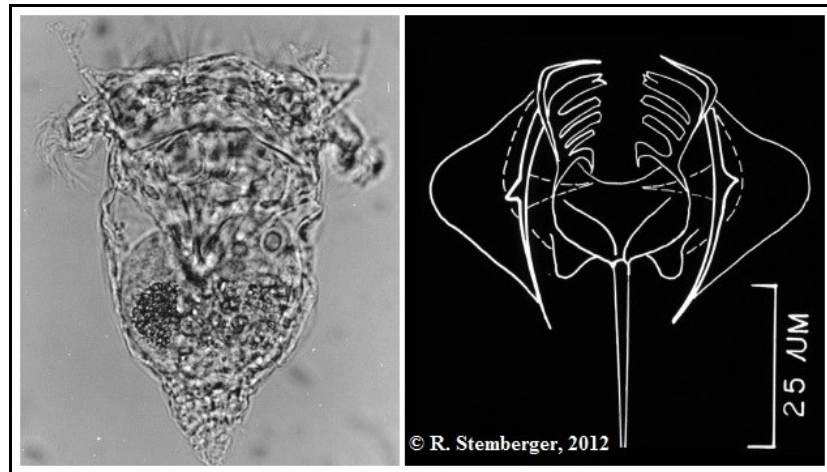


Рисунок 8.4. Вид-вселенец холодноводного пелагического комплекса *Synchaeta kitina* (Rousselet, 1902) (фото: R. Stemberger, 2012).

Аборигенным видом из рода *Synchaeta* для Европейской части России является *Synchaeta pectinata* (Ehrenberg, 1832). Вид широко распространён в планктоне разнотипных водоёмов (пресных, солоноватых и кислых), космополит (Определитель зоопланктона..., 2010; Кутикова, 1970).

Для Чебоксарского водохранилища и устьевое участка р. Оки *S. kitina* ранее не была описана. Вид-вселенец регистрировался на их акваториях на протяжении всего вегетационного сезона и на всех станциях отбора проб (рис. 8.1). Вид не вносил существенного вклада в видовую структуру сообществ зоопланктона исследуемых водных объектов (таблица 8.3).

*Kellicottia bostoniensis* – коловратка североамериканского происхождения (рис. 8.5). В Европе она была впервые зарегистрирована в 1943 году. К настоящему моменту обнаружена в Швейцарии, Нидерландах, Финляндии и Франции. Также этот вид-вселенец был зарегистрирован в Европейской части России: в нескольких озёрах Ленинградской области, а также в некоторых

водоёмах и водотоках Северо-Западного региона – Новгородская область. (Vezhnavets, 2015).

Таблица 8.3

Численность ( $N$ , тыс. экз./м<sup>3</sup>) и доля от общей численности ( $N/N_{\text{tot}}$ , %) вида-вселенца *S. kitina* и аборигенного вида *S. pectinata* в зоопланктоне исследуемых водных объектов

| Водоток, год исследования                | <i>S. kitina</i>               |                        | <i>S. pectinata</i>            |                        |
|------------------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|
|                                          | $N$ , тыс. экз./м <sup>3</sup> | $N/N_{\text{tot}}$ , % | $N$ , тыс. экз./м <sup>3</sup> | $N/N_{\text{tot}}$ , % |
| Чебоксарское вдхр. (вожский поток), 2015 | 0,39±0,06                      | 1,38                   | 1,42±0,40                      | 5,02                   |
| р. Ока (устье), 2015                     | 0,75±0,15                      | 4,95                   | 1,21±0,26                      | 7,98                   |

В Нижегородской области вид *K. bostoniensis* был обнаружен в озерах запада и юго-запада области Н.Г. Баяновым (2014), в среднем течении р. Керженец в 2013 году (Ильин, Шурганова, Кудрин, 2014), а также в зоопланктоне Шуваловского канала и р. Левинка в июле 2013 г. (Макеев, Гаврилко, 2014). Находки этого вида в разнотипных водоёмах свидетельствуют о широком диапазоне толерантности и приспособительных возможностях этой коловратки (Vezhnavets, 2015).



Рисунок 8.5. Вид-вселенец североамериканского происхождения *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (фото: Д. Кулаков, 2009)

Вид *K. bostoniensis* был наиболее широко распространенным вселенцем в зоопланктоне исследуемых водных объектов. Он встречался как в планктоне речного участка Чебоксарского водохранилища, так и в планктоне рек Ока, Кудьма, Черная, Левинка, Параша, Гниличка, Кова, Рахма, Ржавка, а также Шуваловского канала (рисунок 8.1; таблица 1, приложение). На акватории Чебоксарского водохранилища, устьевом участке р. Оки и ряда малых рек (Кудьма, Черная, Параша, Гниличка, Кова, Рахма, Ржавка) вид-вселенец зарегистрирован нами впервые. Нахождение *K. bostoniensis* в значительно загрязненных реках урбанизированных территорий подтверждает предположение о высокой экологической пластичности данного вида.

На акватории речной части Чебоксарского водохранилища и устьевом участке р. Оки коловратка встречалась лишь во второй декаде сентября 2015 на трёх станциях отбора проб (рис. 8.1): Чебоксарское водохранилище (правый берег у Сормовской ТЭЦ), Чебоксарское водохранилище (правый берег, в районе Волжской набережной) и устье р. Оки (левый берег). На данных станциях вид-вселенец входил в комплекс субдоминантов, доля от общей численности зоопланктона составляла в среднем 1,5% для зоопланктоценоза волжского потока и 2,6% для зоопланктоценоза окского потока (таблица 8.1). Среднее значение численности вселенца на акватории зоопланктоценоза «волжского потока» составляло  $0,43 \pm 0,30$  тыс. экз./м<sup>3</sup>. Значение численности на акватории зоопланктоценоза «окского потока» составляло 0,39 тыс. экз./м<sup>3</sup> (таблица 8.1). Численность аборигенного вида *Kellicottia longispina* была также невелика, его доля от общей численности сообществ зоопланктона волжского и окского потоков составляла 0,9% и 1,0% соответственно (таблица 8.4).

В планктоне р. Кудьма в 2013 г. *K. bostoniensis* встречалась на всей акватории водотока в июле, а также в устьевом участке – в сентябре. Наибольшие значения численности вселенца (до 3,28 тыс. экз./м<sup>3</sup>) регистрировались в среднем течении реки в период летней межени (июль) на участках с замедленным стоком, где *K. bostoniensis* являлась доминирующим видом. Ее доля достигала 45,6% от общей численности зоопланктона (таблица 8.4). Аборигенный вид *Kellicottia*

*longispina* на данных участках также входил в комплекс видов–доминантов, при этом его численность не превышала 1,31 тыс. экз./м<sup>3</sup>.

Среди водотоков урбанизированных территорий наибольшее количественное развитие *K. bostoniensis* было характерно для эвтрофированных участков водотоков с замедленным течением и обильным развитием макрофитов. Так, на участке прудового расширения р. Гниличка максимальная численность *K. bostoniensis* достигала 134,5 тыс. экз./м<sup>3</sup> (таблица 8.4). В зоопланктоценозах участков с замедленным течением вид-вселенец входил в число доминантов, его доля от общей численности зоопланктона достигала 17,7%. На проточных участках р. Гниличка *K. bostoniensis* зарегистрирована не была.

Таблица 8.4

Численность (N, тыс. экз./м<sup>3</sup>) и доля от общей численности (N/N<sub>tot</sub>, %) вида-вселенца *K. bostoniensis* и аборигенной коловратки *K. longispina* в зоопланктоне исследуемых водных объектов

| Водоток, год исследования                 | <i>Kellicottia bostoniensis</i> |                          |                          | <i>Kellicottia longispina</i> |                          |                          |
|-------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                                           | N, тыс. экз./м <sup>3</sup>     | N / N <sub>tot</sub> , % | N / N <sub>rot</sub> , % | N, тыс. экз./м <sup>3</sup>   | N / N <sub>tot</sub> , % | N / N <sub>rot</sub> , % |
| Чебоксарское вдхр. (волжский поток), 2015 | 0,43±0,03                       | 1,5                      | 10,0                     | 0,25±0,06                     | 0,9                      | 5,8                      |
| р. Ока (устье), 2015                      | 0,39                            | 2,6                      | 10,1                     | 0,15±0,03                     | 1,0                      | 3,9                      |
| р. Кудьма, 2013                           | 0,01–3,28                       | 0,2–45,6                 | 0,2–49,9                 | 0,01–1,31                     | 0,2–18,6                 | 0,2–17,1                 |
| Р. Гниличка, 2014                         | 13,1 – 134,5                    | 12,5 – 17,7              | 28,2 - 38,2              | 0,0                           | 0,0                      | 0,0                      |
| Шуваловский канал, 2014                   | 0,02 – 7,13                     | 0,8 – 1,6                | 1,8 - 3,6                | 0,007 – 51,12                 | 0,06 – 19,9              | 0,2 – 42,7               |
| Р. Левинка, 2014                          | 0,03 – 0,82                     | 0,39 – 4,87              | 11,6 – 22,6              | 0,02 – 0,03                   | 0,15 – 0,23              | 0,69 – 6,98              |
| Р. Чёрная, 2014                           | 0,3                             | 4,5                      | 8,9                      | 2,15                          | 32,3                     | 64,2                     |
| Р. Параша, 2014                           | 0,005 – 0,17                    | 1,3 – 27,4               | 12,5 – 49,3              | 0,0                           | 0,0                      | 0,0                      |
| Р. Рахма, 2014                            | 0,007                           | 0,26                     | 0,66                     | 0,007                         | 0,26                     | 0,66                     |
| Р. Ржавка, 2014                           | 0,007 – 0,06                    | 1,2 - 1,4                | 1,9 – 4,7                | 0                             | 0                        | 0                        |
| Р. Кова, 2015                             | 0,013                           | 7,2                      | 65,0                     | 0                             | 0                        | 0                        |

Примечание: N – численность вида; N<sub>tot</sub> – общая численность зоопланктона; N<sub>rot</sub> – численность коловраток (Rotifera).

На участках озёрных расширений Шуваловского канала численность *Kellicottia bostoniensis* достигала 7,13 тыс. экз/м<sup>3</sup>, что составляло не более 1,6% от общего числа зоопланктона (таблица 8.4). При этом, численность аборигенной коловратки *Kellicottia longispina* составляла 0,4 тыс. экз/м<sup>3</sup>. В то же время, на тех участках Шуваловского канала, где *Kellicottia bostoniensis* отсутствовала, численность аборигенной *Kellicottia longispina* достигала 51,12 тыс. экз/м<sup>3</sup>. Участок Шуваловского канала с обильным развитием урути мутовчатой (*Myriophyllum verticillatum* L.) характеризовался отсутствием коловратки *K. longispina*, численность *K. bostoniensis* составляла здесь 6,8 тыс. экз/м<sup>3</sup>. На проточных участках Шуваловского канала численность *K. bostoniensis* не превышала 0,03 тыс. экз/м<sup>3</sup>.

На акваториях рек Черная, Левинка, Параша, Ржавка, Рахма, Кова *Kellicottia bostoniensis* встречалась лишь эпизодически (рисунок 8.1). Водотоки с относительно быстрым течением и нарушенной видовой структурой (р. Кова, р. Ржавка, среднее течение р. Рахма) характеризовались низкой численностью *K. bostoniensis* – 0,007 – 0,013 тыс. экз/м<sup>3</sup>. Коловратка *Kellicottia longispina* на акватории данных водотоков зарегистрирована не была. На участке замедленного течения реки Параша *K. bostoniensis* входила в число доминантов, на отдельных участках с замедленным стоком рек Левинка и Черная вид относился к субдоминантам (таблица 8.1). При этом, в планктоне участка верхнего течения р. Черная аборигенная коловратка *Kellicottia longispina* сохраняла доминирующее положение, составляя 32,2% от общей численности планктона, в то время, как доля от общей численности планктона *K. bostoniensis* составляла всего 4,5%.

Таким образом, в составе зоопланктона исследуемых водных объектов идентифицировано четыре вида-вселенца: южный рачок *Diaphanosoma orghidani* (Negrea, 1982) (для зоопланктона Шуваловского канала, р. Кудьма, р. Рахма указан впервые), веслоногий рачок *Eurytemora velox* (Lilljeborg, 1853) (для зоопланктона Шуваловского канала указан впервые), коловратка-обитатель холодноводных вод *Synchaeta kitina* (Rousselet, 1902) (для зоопланктона

Чебоксарского водохранилища и р. Оки указана впервые) и североамериканская коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (в зоопланктоне Чебоксарского водохранилища, р. Кудьмы и ряда малых водотоков г. Н. Новгорода обнаружена впервые).

Виды *D. orghidani*, *E. velox* и *S. kitina* встречались не повсеместно и играли, за рядом исключений, незначительную роль в видовой структуре исследуемых сообществ зоопланктона. *K. bostoniensis* встречалась в планктоне большинства (83%) исследованных водных объектов (включая загрязненные малые реки урбанизированных территорий), что свидетельствует о её широкой экологической пластичности. Наибольшего количественного развития *K. bostoniensis* достигала на участках водотоков с замедленным течением и развитием макрофитов (р. Гниличка, Шуваловский канал, р. Кудьма, р. Черная, р. Левинка; до 45,6% от общей численности зоопланктона). Численность вселенца в ряде местообитаний на порядок превышала численность родственной аборигенной коловратки *Kellicottia longispina* (Kellicott, 1879).

## Глава 9. Оценка качества вод Чебоксарского водохранилища и его притоков на основе показателей зоопланктона

Задачей данного раздела работы была оценка качества вод на основе индикаторных видов зоопланктона водных объектов, находящихся в условиях антропогенной нагрузки – речного участка Чебоксарского водохранилища, устьевой зоны р. Оки в районе г. Н. Новгорода, рек Линда, Кудьма, а также малых водотоков г. Н. Новгорода (рек Черная, Левинка, Параша, Ржавка, Борзовка, Гниличка, Рахма, Кова, Старка, Шуваловского канала).

Результаты исследований по оценке качества вод водных объектов в условиях антропогенного воздействия на основе анализа количественного развития индикаторных видов зоопланктона опубликованы в ряде наших работ (Шурганова и др., 2014а, 2014б, 2014в, 2015; Шурганова, Ильин, Кудрин, 2014; Голубева, Кудрин, 2015 и др.).

Как показали наши исследования, в бассейнах изученных водных объектов доля индикаторных видов составляла, как правило, 85–95% от общего числа видов зоопланктона. Исключение составляли деградирующие сообщества рек Старка и Кова в период летней межени 2014 г., видовое богатство которых было крайне низким (таблица 9.1). Большинство идентифицированных нами индикаторных видов относилось к  $\beta$ -мезосапробам (таблица 2, приложение), доминирующие индикаторные виды были широко распространены во всех исследуемых водотоках (таблица 9.1). Выявлен только один вид–показатель полисапробной зоны – *Rotaria neptunia*, обитающий в зоопланктоне р. Борзовка.

Качество вод крупных водных объектов – речной части Чебоксарского водохранилища и устьевой зоны р. Оки, – оцененное с на основе индикаторных видов зоопланктона, по сравнению с прошлыми годами не претерпело существенных изменений (таблица 9.2). Уровень сапробности верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища, как и в прошлые годы (Шурганова, 2007), находился в районе нижней границы  $\beta$ -мезосапробной зоны, хотя и опускался ниже этой границы в отдельные периоды вегетационного сезона 2015 г. (таблица 9.2).

Видовое богатство и доминирующие индикаторные виды зоопланктона некоторых водотоков Нижегородской области  
(по: Шурганова, 2007; собственные данные)

| Водные объекты                             | Периоды наблюдений |              | Видовое богатство | Доминирующие индикаторные виды                                                             | Источник        |
|--------------------------------------------|--------------------|--------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|                                            | Год                | Месяц        |                   |                                                                                            |                 |
| Речной участок Чебоксарского водохранилища | 2002               | Июль         | 91                | <i>Brachionus calyciflorus</i> ; <i>Chydorus sphaericus</i> ; <i>Euchlanis dilatata</i>    | Шурганова, 2007 |
|                                            | 2011               | Июль         | 65                | <i>Bosmina longispina</i> ; <i>Daphnia galeata</i>                                         | Наши данные     |
|                                            | 2015               | Май-сентябрь | 82                | <i>Conochilus hippocrepis</i> ; <i>Synchaeta pectinata</i> ; <i>Keratella quadrata</i>     | Наши данные     |
| Устьевой участок р. Оки                    | 2011               | Июнь-октябрь | 35                | <i>Brachionus calyciflorus</i> ; <i>Bosmina longirostris</i>                               | Наши данные     |
|                                            | 2015               | Май-сентябрь | 51                | <i>Brachionus calyciflorus</i> ; <i>Keratella quadrata</i> ; <i>Brachionus angularis</i>   | Наши данные     |
| р. Кудьма                                  | 2012               | Июль         | 42                | <i>Brachionus calyciflorus</i> ; <i>Keratella cochlearis</i>                               | Наши данные     |
|                                            | 2013               | Май-сентябрь | 84                | <i>Brachionus calyciflorus</i> ; <i>Synchaeta pectinata</i> ; <i>Keratella cochlearis</i>  | Наши данные     |
| р. Линда                                   | 2012               | Июль         | 30                | <i>Euchlanis dilatata</i>                                                                  | Наши данные     |
| р. Черная                                  | 2014               | Июль         | 57                | <i>Camptocercus rectirostris</i> ; <i>Kellicottia longispina</i> ; <i>Acroperus harpae</i> | Наши данные     |
| р. Левинка                                 | 2014               | Июль         | 63                | <i>Keratella quadrata</i> ; <i>Bosmina longirostris</i>                                    | Наши данные     |
| р. Параша                                  | 2014               | Июль         | 37                | <i>Bosmina longirostris</i>                                                                | Наши данные     |
| Шуваловский канал                          | 2014               | Июль         | 83                | <i>Bosmina longirostris</i> ; <i>Filinia longiseta</i> ; <i>Keratella quadrata</i>         | Наши данные     |
| р. Ржавка                                  | 2014               | Июль         | 37                | <i>Keratella cochlearis</i> ; <i>Daphnia pulex</i>                                         | Наши данные     |
| р. Борзовка                                | 2014               | Июль         | 29                | <i>Daphnia pulex</i> ; <i>Euchlanis dilatata</i>                                           | Наши данные     |
| р. Гниличка                                | 2014               | Июль         | 47                | <i>Keratella cochlearis</i> ; <i>Daphnia cucullata</i>                                     | Наши данные     |
| р. Рахма                                   | 2014               | Июль         | 33                | <i>Bosmina longirostris</i> ; <i>Ceriodaphnia reticulata</i>                               | Наши данные     |
|                                            | 2015               | Май-сентябрь | 21                | <i>Synchaeta pectinata</i> ; <i>Bdelloida</i> ; <i>Euchlanis dilatata</i>                  | Наши данные     |
| р. Кова                                    | 2014               | Июль         | 8                 | <i>Brachionus calyciflorus</i>                                                             | Наши данные     |
|                                            | 2015               | Май-сентябрь | 27                | <i>Synchaeta pectinata</i> ; <i>Bdelloida</i> ; <i>Moina brachiata</i>                     | Наши данные     |
| р. Старка                                  | 2014               | Июль         | 4                 | <i>Synchaeta pectinata</i>                                                                 | Наши данные     |
|                                            | 2015               | Май-сентябрь | 28                | <i>Synchaeta pectinata</i> ; <i>Moina brachiata</i> ; <i>Daphnia pulex</i>                 | Наши данные     |

Значения индекса сапробности устьевой зоны р. Оки, которая формирует правобережный (окский) поток речной части Чебоксарского водохранилища, было стабильно выше по сравнению аналогичным индексом для верхней речной части Чебоксарского водохранилища (выше устья р. Оки), в основном, за счет доминирования  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапробной коловратки *Brachionus calyciflorus*.

На акватории малой реки Линды в 2012 году значения индексов сапробности, рассчитанные по численности индикаторных видов зоопланктона, на разных станциях отбора проб изменялись незначительно – от 1,33 до 1,9 (рисунок 9.1), при среднем значении  $S_n=1,58\pm0.03$ . Среднее значение индекса сапробности, рассчитанного по биомассе, составило  $1,57\pm0.04$  (минимальное значение - 1,18, максимальное – 1,9). Судя по полученным данным, воды р. Линды относились к III классу качества вод («умеренно загрязненные»).

На акватории малой реки Кудьмы в 2012 г. значения индексов сапробности, рассчитанных по численности и по биомассе индикаторных видов зоопланктона, варьировали от 1,33 до 1,82 (среднее значение  $1,65\pm0.05$ ), и от 1,5 до 1,8 (среднее значение –  $1,64\pm0.03$ ) соответственно (рисунок 9.2).

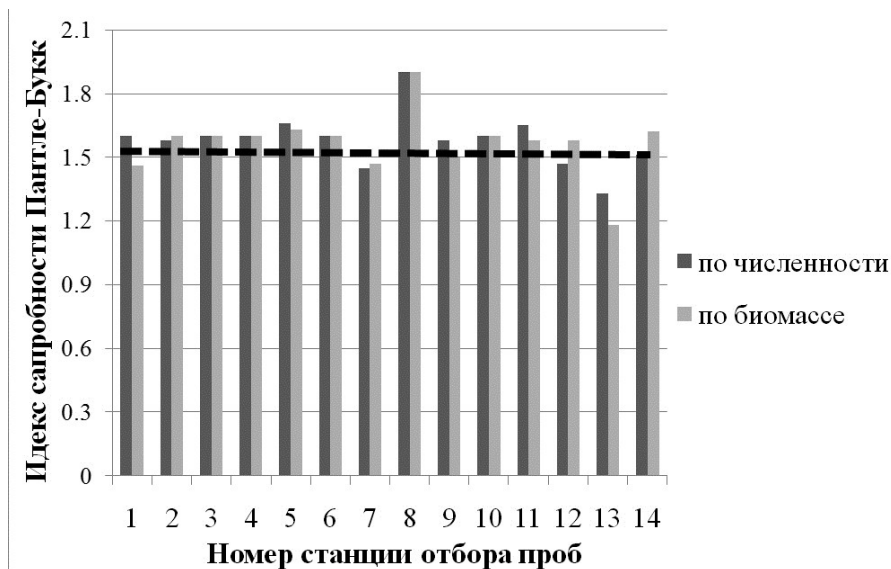


Рисунок 9.1. Значения индекса сапробности Пантле и Букк в модификации Сладечека, рассчитанные по численности и биомассе индикаторных видов зоопланктона для станций р. Линда.  $S=1,5$  – нижняя граница  $\beta$ -мезосапробной зоны. 1 – н.п. Zubovo; 2 – н.п. Б.Дуброва; 3 – н.п. Клопиха; 4 – н.п. Плюхино (выше впадения р. Безымянного); 5 – н.п. Плюхино (ниже впадения р. Безымянного); 6 – н.п. Тарасиха (выше устья р. Ифтенка); 7 – н.п.Тарасиха (ниже устья р. Ифтенка); 8 – н.п. Остреево; 9 – н.п. Зуево, ниже устья р. Санда; 10 – н.п. Железнодорожный; 11 – н.п. Киселиха; 12 – н.п. Линда-Пустынь; 13 - н.п. Толоконцево; 14 – устье р. Линда.

В вегетационный сезон 2013 г. индекс сапробности, рассчитанный по численности, принимал более высокие значения (от  $1,64 \pm 0,02$  до  $1,91 \pm 0,08$ ), однако не выходил за пределы  $\beta$ -мезосапробной зоны. На основе этих данных воды р. Кудьмы можно отнести к III классу качества вод («умеренно загрязненные»).

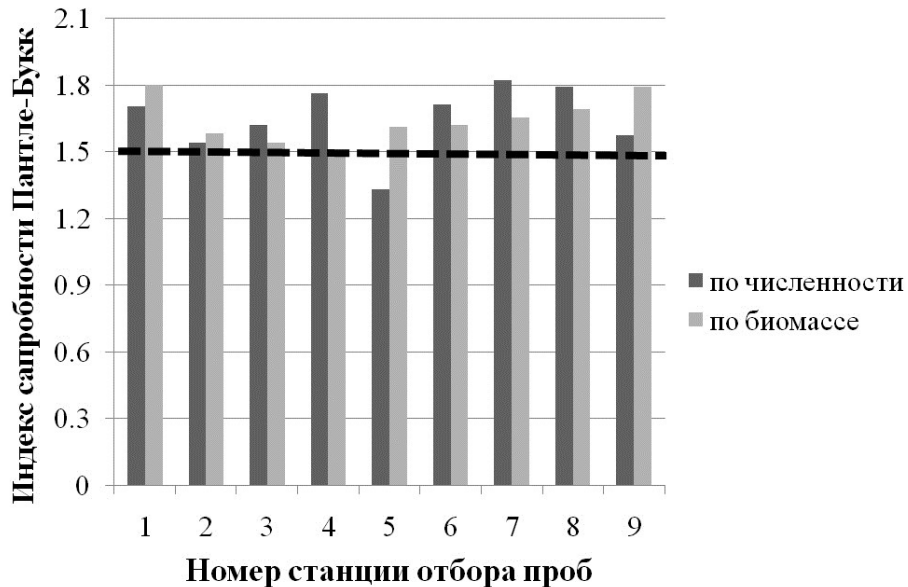


Рисунок 9.2. Значения индекса сапробности Пантле и Букк в модификации Сладечека, рассчитанные по численности и биомассе индикаторных видов зоопланктона для станций р. Кудьма.  $S=1,5$  – нижняя граница  $\beta$ -мезосапробной зоны. 1 – н.п. Митино; 2 – н.п. Зеленый город; 3 – н.п. Кстово; 4 – выше устья р. Озерка; 5 – ниже устья р. Озерка; 6 – н.п. Ветчак; 7 – выше устья р. Шава; 8 – ниже протоки, н.п. Ленинская слобода; 9 – выше устья.

Уровень сапробности малых водотоков г. Н. Новгорода, как правило, не выходил за пределы  $\beta$ -мезосапробной зоны (таблица 9.2). Наименьшие значения индекса сапробности были зарегистрированы на акватории р. Черная, отдельные участки которой характеризовались олигосапробностью. При этом, на некоторых участках акватории р. Черной индекс сапробности находился в пределах  $\beta$ -мезосапробной зоны, а среднесезонное значение индекса близко к её нижней границе (таблица 9.2).

Наиболее высокие значения индекса сапробности принимал на акватории р. Борзовка (таблица 9.2) за счет доминирования на отдельных станциях вида *Daphnia pulex* (характеризуется высокой индикаторной значимостью – 2,8), тем не менее, индекс сапробности находился у верхней границы  $\beta$ -мезосапробной зоны.

Качество вод подавляющего большинства исследуемых водотоков оценивалось III классом («умеренно загрязненные») (таблица 9.2).

Таблица 9.2

Результаты оценки качества вод некоторых водотоков Нижегородской области на основе индикаторных видов зоопланктона (по: Шурганова, 2007; собственные данные)

| Водный объект                              | Период наблюдений |              | Средний индекс сапробности ( $J_{S(N)}$ , у.е.) | Зона сапробности | Класс качества вод | Источник        |
|--------------------------------------------|-------------------|--------------|-------------------------------------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| Речной участок Чебоксарского водохранилища | 2002              | Июль         | 1,79±0,02                                       | β-мезосапробная  | III                | Шурганова, 2007 |
|                                            | 2011              | Июль         | 1,55±0,06                                       | β-мезосапробная  | III                | Наши данные     |
|                                            | 2015              | Май          | 1,52±0,01                                       | β-мезосапробная  | III                | Наши данные     |
|                                            |                   | Июль         | 1,4±0,02                                        | олигосапробная   | II–III             |                 |
|                                            |                   | Сентябрь     | 1,39±0,06                                       | олигосапробная   | II–III             |                 |
| Устьевой участок р. Оки                    | 2002              | Июль         | 2,42±0,03                                       | β-мезосапробная  | III                | Шурганова, 2007 |
|                                            | 2011              | Июнь–октябрь | 1,5–2,2                                         | β-мезосапробная  | III                | Наши данные     |
|                                            | 2015              | Май          | 2,04±0,01                                       | β-мезосапробная  | III                | Наши данные     |
|                                            |                   | Июль         | 2,2±0,05                                        | β-мезосапробная  | III                |                 |
|                                            |                   | Сентябрь     | 1,77±0,07                                       | β-мезосапробная  | III                |                 |
| р. Кудьма                                  | 2012              | Июль         | 1,65±0,05                                       | β-мезосапробная  | III                | Наши данные     |
|                                            | 2013              | Май          | 1,72±0,05                                       | β-мезосапробная  | III                | Наши данные     |
|                                            |                   | Июль         | 1,91±0,08                                       | β-мезосапробная  | III                |                 |
|                                            |                   | Сентябрь     | 1,64±0,02                                       | β-мезосапробная  | III                |                 |
| р. Линда                                   | 2012              | Июль         | 1,58±0,03                                       | β-мезосапробная  | III                | Наши данные     |
| р. Черная                                  | 2014              | Июль         | 1,47±0,05                                       | олигосапробная   | II–III             | Наши данные     |
| р. Левинка                                 | 2014              | Июль         | 1,58±0,03                                       | β-мезосапробная  | III                | Наши данные     |
| р. Параша                                  | 2014              | Июль         | 1,50±0,04                                       | β-мезосапробная  | II–III             | Наши данные     |
| Шуваловский кан.                           | 2014              | Июль         | 1,75±0,07                                       | β-мезосапробная  | III–IV             | Наши данные     |
| р. Ржавка                                  | 2014              | Июль         | 1,83±0,07                                       | β-мезосапробная  | III                | Наши данные     |
| р. Борзовка                                | 2014              | Июль         | 2,20±0,29                                       | β-мезосапробная  | III                | Наши данные     |
| р. Гниличка                                | 2014              | Июль         | 1,72±0,06                                       | β-мезосапробная  | II–III             | Наши данные     |
| р. Рахма                                   | 2014              | Июль         | 1,69±0,09                                       | β-мезосапробная  | III                | Наши данные     |
|                                            | 2015              | Май–сентябрь | 2,45**                                          | β-мезосапробная  | III                | Наши данные     |
| р. Кова                                    | 2014              | Июль         | —*                                              | —*               | —*                 | Наши данные     |
|                                            | 2015              | Май–сентябрь | 1,60–2,49**                                     | β-мезосапробная  | III                | Наши данные     |
| р. Старка                                  | 2014              | Июль         | —*                                              | —*               | —*                 | Наши данные     |
|                                            | 2015              | Май–сентябрь | 1,71–2,01**                                     | β-мезосапробная  | III                | Наши данные     |

Примечание: \* – число индикаторных видов зоопланктона меньше 5, расчет индекса сапробности невозможен; \*\* – в течение вегетационного сезона расчет индекса сапробности не всегда был возможен ввиду малого числа индикаторных видов.

Лишь отдельные участки акватории речного участка Чебоксарского водохранилища и городских рек Черная, Параша, Гниличка характеризовались II классом качества вод («чистые»). Для акваторий малых водотоков это может быть объяснено интенсивным протеканием процессов самоочищения на этих участках и, соответственно, улучшением качества воды (Шурганова, 2015). Класс качества вод IV («грязные воды») был зарегистрирован лишь на одной станции в нижнем течении Шуваловского канала, что обуславливалось доминированием ветвистоусого рачка *D. pulex*, имеющего высокую индикаторную значимость.

В результате сравнения качества вод ряда водотоков урбанизированных территорий, оцененного по гидрохимическим показателям и видовой структуре зоопланктона (таблица 9.3), выявлено, что класс качества воды по гидрохимическим показателям выше, т.е. вода более загрязненная, чем по биологическим. Подобная ситуация была отмечена для некоторых озер и малых рек, а также водохранилищ (Мингазова, Деревенская, 1991; Макеев, Шурганова, Гелашвили, 1997; Соколов и др., 1996; Шибаева, 1997, Кумани, 2003; Карандашова, 2004, Шурганова 2007, и др.).

Таблица 9.3

Удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ), индекс сапробности, рассчитанный по численности индикаторных видов зоопланктона ( $S_n$ ), и класс качества вод некоторых водотоков г. Н. Новгорода

| Водоток     | УКИЗВ  | $S_n$           | Класс качества воды по гидрохимическим показателям |                      | Класс качества воды по гидробиологическим показателям |                                    |
|-------------|--------|-----------------|----------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------|
| р. Старка   | 6,38   | 1,71–2,01       | 5                                                  | экстремально грязная | III                                                   | умеренно загрязненная              |
| р. Кова     | 3,42   | 1,98–2,20       | 4a                                                 | грязная              | III                                                   | умеренно загрязненная              |
| р. Левинка  | 8,53   | 1,51–1,77       | 5                                                  | экстремально грязная | III                                                   | умеренно загрязненная              |
| р. Параша   | 3,35   | $1,50 \pm 0,04$ | 4a                                                 | грязная              | III                                                   | умеренно загрязненная              |
| р. Ржавка   | 203,22 | 1,68–1,77       | 5                                                  | экстремально грязная | III                                                   | умеренно загрязненная              |
| р. Борзовка | 5,61   | 1,59–2,74       | 5                                                  | экстремально грязная | III-IV                                                | умеренно загрязненная-загрязненная |

Примечание. Оценка класса качества вод по УКИЗВ проводилась с учетом числа критических показателей загрязненности воды. Расчет УКИЗВ проводился на основе данных по 18 загрязняющим веществам, предоставленных МКУ "Горкомэкологии Нижнего Новгорода" в 2013 г.

Сапробиологический анализ изначально был направлен только на оценку органического загрязнения. Комбинированное загрязнение (органическое и токсическое) может приводить как к увеличению сапробности, так и к ее снижению (Кумани, Кичигин, 1999; Кумани, 2003; Шитиков, Розенберг, Зинченко, 2003). Действие загрязнений, поступающих с площади водосбора, проявляется в деградации планктонных сообществ, существенном снижении численности и биомассы, видового богатства и разнообразия сообществ водотока, что отражается на уровне сапробности. В связи с этим, метод сапробиологического анализа, предложенный для оценки органического загрязнения, может неадекватно оценивать качество вод в условиях токсического и комбинированного загрязнения водоемов и водотоков, и при оценке качества вод на основе индексов сапробности необходимо учитывать данный фактор. Имеется также необходимость уточнения методики сапробиологического анализа качества вод, в первую очередь – региональной адаптации индивидуальных индексов индикаторной значимости видов, а также более дробной градации системы сапробности.

На наш взгляд, для адекватной оценки экологического состояния гидробиоценозов водотоков антропогенно нарушенных территорий необходимо проводить не только сапробиологический анализ, но и анализ показателей видовой структуры сообществ, не ограничиваясь разовыми съемками, а используя сезонные мониторинговые наблюдения.

*Таким образом, на основе анализа количественного развития индикаторных видов зоопланктона выявлено, что воды водохранилища и его притоков оцениваются, в основном, III классом качества («умеренно загрязненные» воды). Так, отдельные акватории обследованных малых водотоков г. Н. Новгорода (р. Черная, р. Параши, р. Гниличка) оцениваются II классом качества вод («чистые» воды). Класс качества вод IV («грязные воды») был зарегистрирован лишь на одной станции Шуваловского канала. Установлено, что результаты оценки качества вод малых водотоков г. Н. Новгорода, находящихся в условиях интенсивной антропогенной нагрузки, по показателям количественного развития индикаторных видов зоопланктона не*

*соответствуют результатам, полученным на основе гидрохимической оценки качества вод.*

## Выводы

1. На примере кластерного анализа проб зоопланктона малой р. Линда показано, что для оценки сходства видовой структуры зоопланктона наиболее адекватным алгоритмом классификации является метод средней связи, который меньше всего искажает матрицу расстояний между объектами. Наиболее осмысленные с биологической точки зрения результаты классификации получены с использованием двух метрик сходства видовой структуры зоопланктона – косинуса угла между векторами и индекса Ренконена.

2. В зоопланктоне исследуемых водных объектов идентифицировано 192 вида зоопланктонных организмов: 94 вида (49,0%) принадлежит коловраткам (Rotifera), 73 вида (38,0%) – ветвистоусым ракообразным (Cladocera), 25 видов (13,0%) – веслоногим ракообразным (Copepoda). Анализ экологической приуроченности идентифицированных видов зоопланктона показал, что фитофильные виды составляют 40,0% от общего числа видов, эупланктонные – 38,4%, планкто-бентические – 18,4%, эвритопные – 3,2%. Сравнительный анализ сходства видового состава зоопланктона водотоков г. Н. Новгорода не выявил влияния зонального фактора на его формирование.

3. На основе метода многомерного векторного анализа установлено, что акваторию Чебоксарского водохранилища на современном этапе его существования занимают четыре зоопланктоценоза: «волжского» и «окского» потоков, «переходный», «озерный». Усиление лимнофильных черт выделенных зоопланктоценозов в июле 2011 обусловлено интенсивным прогревом воды. Показано, что зоопланктоценозы «волжского» и «окского» потоков Чебоксарского водохранилища занимают стабильные на протяжении вегетационного сезона (май, июль, сентябрь) акватории.

4. Установлено, что на акваториях обследованных малых рек выделяются как участки со сходной видовой структурой, представляющие собой дискретные зоопланктоценозы, так и участки с гетерогенной видовой структурой

зоопланктона, что обусловлено значительной биотопической неоднородностью водотоков.

5. Выявлено, что протяженность акватории, занимаемой зоопланктоценозом, снижается в ряду: Чебоксарское водохранилище (80 – 140 км) → р. Линда, р. Кудьма (10 – 20 км) → малые реки г. Н. Новгорода (0,2 – 2,3 км), и определяется биотопической неоднородностью исследуемого водного объекта.

6. Установлено, что сезонная динамика зоопланктона городских рек Старка и Кова характеризуется продолжительными периодами деградации, что выражается в снижении количественных характеристик (численности до  $\leq 20$  экз./м<sup>3</sup>, биомассы – до  $\leq 0,02$  г/м<sup>3</sup>, числа видов – до 1–2), видового разнообразия (индекс Шеннона до  $\leq 1$  бит/экз.), преобладании наиболее устойчивых к условиям многофакторного антропогенного воздействия организмов (коловратки отр. Bdelloida, *Synchaeta pectinata*, науплиальные и копеподитные стадии Cyclopoida).

7. Анализ зависимости видовой структуры зоопланктоценозов «волжского» и «окского» потоков Чебоксарского водохранилища от факторов среды показал, что учитываемые факторы (рН, электропроводность, температура, прозрачность и глубина) значимо объясняют от 26,1% до 55,8% от общей дисперсии видовой структуры зоопланктона. Наибольшее влияние оказывают электропроводность (20,2% – 24,5%) и рН (11,0% – 13,6%), которые значимо обуславливают различия видовой структуры зоопланктоценозов «волжского» и «окского» потоков. Сезонные изменения видовой структуры сообществ значимо определяются температурой (3,9% – 17,6%).

8. В составе зоопланктона исследуемых водных объектов идентифицировано четыре вида-вселенца: южный рачок *Diaphanosoma orghidani* (Negrea, 1982) (для зоопланктона Шуваловского канала, р. Кудьма, р. Линда указан впервые), веслоногий рачок *Eurytemora velox* (Lilljeborg, 1853) (для зоопланктона Шуваловского канала указан впервые), коловратка-обитатель холодноводных водоемов *Synchaeta kitina* (Rousselet, 1902) (для зоопланктона Чебоксарского водохранилища и р. Оки указана впервые) и североамериканская

коловатка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (в зоопланктоне Чебоксарского водохранилища, р. Кудьмы и большинства малых водотоков г. Н. Новгорода обнаружена впервые). Виды *D. orghidani*, *E. velox* и *S. kitina* играют незначительную роль в видовой структуре исследуемых сообществ зоопланктона в отличие от *K. bostoniensis*, которая достигает наибольшего количественного развития на участках водотоков с замедленным течением и развитием макрофитов (до 45,6% от общей численности зоопланктона).

9. На основе анализа количественного развития индикаторных видов зоопланктона выявлено, что воды большинства исследованных водотоков и водохранилища оцениваются III классом качества («умеренно загрязненные» воды). Отдельные акватории обследованных малых водотоков г. Н. Новгорода (р. Черная, р. Параша, р. Гниличка) оцениваются II классом качества вод («чистые» воды). Класс качества вод IV («грязные воды») был зарегистрирован лишь на одной станции Шуваловского канала. Установлено, что результаты оценки качества вод малых водотоков г. Н. Новгорода, находящихся в условиях интенсивной антропогенной нагрузки, по показателям количественного развития индикаторных видов зоопланктона не соответствуют результатам, полученным на основе гидрохимической оценки качества вод.

## Заключение

Полученные в диссертационной работе результаты имеют значение для развития представлений о структуре и функционировании водных сообществ и экосистем, а также для целей экологического мониторинга и решения ряда прикладных проблем.

Разработка и использование современных методических подходов к выделению сообществ в пределах водотоков необходимы для корректного анализа структуры взаимосвязей и процессов, происходящих в их экосистемах. Так, использованные в работе методы позволяют существенно снизить субъективность результатов кластерного анализа. Проведенный в работе анализ подходов к оценке сходства видовой структуры зоопланктона позволяет рекомендовать использование для этой цели метода многомерного векторного анализа, подробно описанного в работах Г.В. Шургановой (2007 а, б).

На основе единого подхода к оценке сходства видовой структуры в работе выделены области пространственного размещения сообществ зоопланктона на акваториях Чебоксарского водохранилища, р. Оки, р. Кудьмы, р. Линды, а также малых водотоков, протекающих по территории г. Н. Новгорода. Анализ видовой структуры, её сезонных изменений и зависимости от факторов среды, динамики показателей количественного развития зоопланктона проводился в пределах выделенных сообществ. Выявлено, что протяженность акватории, занимаемой зоопланктоценозом, зависит от степени биотопической однородности изучаемого водного объекта и снижается в ряду: Чебоксарское водохранилище (80 – 140 км) – > р. Линда, р. Кудьма (10 – 20 км) –> малые реки г. Н. Новгорода (0,2 – 2,3 км).

Проведенная оценка динамики показателей видовой структуры зоопланктоценозов верхней речной части Чебоксарского водохранилища при многоплановом антропогенном воздействии на них дает возможность прогнозировать состояние экосистем водохранилища с учетом разных вариантов завершения строительства Чебоксарского гидроузла, включая вариант строительства Низконапорного гидроузла в районе н.п. Б. Козино.

Масштабное антропогенное воздействие повышает уязвимость сообществ зоопланктона к вселению новых, более экологически пластичных видов. Так, в работе выявлено широкое распространение коловратки североамериканского происхождения *Kellicottia bostoniensis* на акватории верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища и абсолютного большинства его притоков, включая загрязненные малые водотоки г. Н. Новгорода. Известно, что успешное вселение одного или нескольких видов может способствовать новым иммиграциям (Орлова, 2015), что обуславливает необходимость проведения дальнейшего мониторинга выявленных местообитаний вселенцев зоопланктона.

Особого внимания заслуживают нарушенные экосистемы водных объектов, расположенных в пределах урбанизированных территорий, поскольку малые реки являются важными звеньями эколого-природного каркаса города (Мингазова, 2014). В работе установлено, что сезонная динамика зоопланктона ряда малых рек, протекающих по территории г. Нижнего Новгорода, характеризуется продолжительными периодами деградации, в связи с чем необходимы восстановление и реабилитация их экосистем. Положительный опыт работы в данном направлении в настоящее время получен для ряда водоемов и водотоков г. Казань (Деревенская и др., 2012; Мингазова и др., 2013). Накопленный нами материал по видовой структуре сообществ зоопланктона водотоков бассейна Чебоксарского водохранилища может явиться основой для успешной реализации инициатив по их экологической реабилитации.

### Список литературы

1. Абакумов, В.А. Гидробиологический мониторинг пресных вод и пути его совершенствования / В.А.Абакумов, Л.М.Суцень // Экологические модификации и критерии экологического нормирования: Тр. Междунар. симпоз. –Л.: Гидрометеиздат, 1991. – С.41 –51.
2. Абакумов, В.А. Многолетние изменения характеристик биоценоза Иваньковского водохранилища / В.А.Абакумов, В.Ф.Бреховских, Г.Н.Вишневская, С.В.Обридко // Водные ресурсы. – 2000. – Т.27. – № 3. – С. 344–356.
3. Авакян, А.Б. Опыт 60-летней эксплуатации Рыбинского водохранилища / А.Б.Авакян, А.С.Литвинов, И.К.Ривьер // Водные ресурсы. – 2002. – Т. 29. – №1. – С. 5–16.
4. Алексеевский, Н.И. Малые реки как объект исследования / Н.И.Алексеевский, В.М.Евстигнеев, Н.И.Коронкевич, С.В.Ясинский // Малые реки Волжского бассейна. – М., 1998. – С. 7-20.
5. Алимов, А.Ф. Разнообразие, сложность, стабильность, выносливость экологических систем / А.Ф.Алимов // Журнал общей биологии. –1994. –Т. 55. – №3. – С. 285–302.
6. Алимов, А.Ф. Элементы теории функционирования водных экосистем / А.Ф.Алимов. – СПб.: Наука, 2000. – 147 с.
7. Андроникова, И.Н. Использование показателей зоопланктона в оценке экологического состояния прибрежной зоны Ладожского озера / И.Н.Андроникова // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем II: Сборник материалов международной конференции. – СПб.: Любавич, 2011. – С 168-174
8. Андроникова, И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем разных трофических типов / И.Н.Андроникова. – СПб.: Наука, 1996. – 189 с.
9. Аров, И.В. Ротаториофауна потамопланктона притоков оз. Байкал / И.В.Аров, Н.Г.Шевелева, Е.А.Мишарина // Известия Иркутского

государственного университета. Серия: Биология. Экология. Иркутск: Иркутский государственный университет. 2009. – Т. 2. – № 1. – С. 19–25.

10. Бакаева, Е.Н. Пространственная токсичность вод и донных отложений урбоэкосистемы малой реки (р. Темерник, ЮФО) / Е.Н.Бакаева, Н.А.Игнатова, Г.Г.Черникова, Т.А.Цурупа, Н.В.Вишневская, К.В.Шабанова, С.В.Леженпёкова // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Материалы лекций II-й Всероссийской школы-конференции, 18 – 22 ноября 2014 г. Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина. В двух томах. Том II. – Ярославль: Филигрань, 2014. – 32–35 с

11. Балушкина, Е.В. Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных / Е.В.Балушкина, Г.Г. Винберг // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озёр. – Л., 1979. – С. 58–79.

12. Бикбулатов, Э.С. Гидролого-гидрохимические условия в Горьковском и Чебоксарском водохранилищах в летнюю межень 2001 г. / Э.С.Бикбулатов, А.С.Литвинов, И.Э.Степанова, Е.М.Бикбулатова, М.Ю.Кочеткова // Экологическая химия, 2006. № 15 (2). С. 82–94.

13. Богатов, В.В. Комбинированная концепция функционирования речных систем / В.В.Богатов // Вестник ДВО РАН. – 1995. – №3. –С.51–61

14. Богатов, В.В. Основные итоги изучения структурно–функциональной организации пресноводных экосистем Дальнего Востока России / В.В.Богатов // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. – 2003. – №2. – С.5–11.

15. Богатов, В.В. Соотношение биоразнообразия фито– и зообентоса в континууме модельной горной реки Комаровки (приморский край, Россия) / В.В.Богатов, Т.В.Никулина, Т.С.Вшивкова // Экология. – 2010. – №2. – С.134–140.

16. Богатов, В.В. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока / В.В.Богатов. – Владивосток: Дальнаука, 1994. – 218 с

17. Болотов С.Э. Модуль экологического анализа сообществ пресноводного зоопланктона «*FW-Zooplankton*» / С.Э.Болотов // Свидетельство Роспатента об официальной регистрации программы для ЭВМ №2012617486 от 17.08.2012.

18. Брагазин, А.А. Экологическое зонирование Нижегородской области / А.А.Брагазин, И.Н.Маркелов, А.А.Нижегородцев, В.А.Басуров // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2014. – №1 – С.157–161.
19. Брагазин, А.А. Экологическое зонирование Нижегородской области / А.А.Брагазин, И.Н.Маркелов, А.А.Нижегородцев, В.А.Басуров // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2014. – №1 – С.157–161.
20. Бурдова, В.А. Зоопланктон рек Пензенской области / В.А.Бурдова, Т.Г.Стойко // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Материалы лекций II-й Всероссийской школы-конференции, 18-22 ноября 2014 г. Ярославль. Том II. – 2014. – С.57–58.
21. Валькова, О.В. Современное состояние зоопланктона городских малых рек-притоков Чебоксарского водохранилища / О.В.Валькова, Г.В.Шурганова // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия Биология. – 2005. – Вып. 2(10). – С. 129-133.
22. Варенов, А.Л. Русловые процессы на малых реках староосвоенной территории (на примере рек бассейна р. Кудьма (Проволжская возвышенность) / А.Л.Варенов, Д.В.Ботавин, А.С.Завадский, А.М.Тарбеева, Р.С.Чалов // Эрозионные и русловые процессы. – Вып. 6. – М.: Географ. ф–т МГУ. – С. 131–160.
23. Вежновец, В.В.Особенности биологии двух видов копепод (CRUSTACEA, COPEPODA, CALANOIDA) как возможные причины изменения их ареалов / В.В.Вежновец, И.Ю.Зайдыков, Е.Ю.Наумова, Е.А.Сысова // Российский Журнал биологических инвазий. – 2012. – №2. – С. 16 – 28.
24. Веницианов, Е.В. Загрязнение и самоочищение малых рек: процессы, мониторинг, охрана / Е.В.Веницианов, Г.В.Аджиенко, Н.М.Щеголькова // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Материалы лекций II-й Всероссийской школы-конференции, 18–22 ноября 2014 г. Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина. В двух томах. Том I. – Ярославль: Филигрань, 2014. – С. 23–41.

25. Воденеева, Е.Л. Структурные особенности речного фитопланктона Средневолжского бореально-неморального экотона / Е.Л.Воденеева, А.Г.Охапкин, Н.А.Старцева // XI съезд Гидробиологического общества при Российской академии наук: тез. докл., Красноярск, 22–26 сент. 2014 г. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – С. 33–34.
26. Волга и ее жизнь. – Л.: Наука, 1978. – 348 с.
27. Волгоградское водохранилище (население, биологическое продуцирование и самоочищение) / Под ред. проф. А.С. Константинова. – Саратов: изд-во Саратовского ун-та, 1977. – 222 с.
28. Гаврилко, Д.Е. Участие планктонных фильтраторов в самоочищении малых водотоков г. Н. Новгорода (на примере Шуваловского канала) / Д.Е. Гаврилко // 68-я научная конференции "Биосистемы: организация, поведение, управление". – Нижний Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2015. – С. 17.
29. Гелашвили, Д.Б. Фракталы и мультифракталы в биоэкологии / Д.Б.Гелашвили, Г.С.Розенберг, Д.И.Иудин, В.Н.Якимов, Л.А.Солнцев. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2013. – 370 с.
30. Гелашвили, Д.Б. Экологическое зонирование административных районов Нижнего Новгорода по степени интегральной антропогенной нагрузки / Д.Б.Гелашвили, Н.И.Зазнобина // Экология Нижнего Новгорода / Под общ. ред. Д.Б. Гелашвили. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2008. – С. 451–459.
31. Гидроэкология устьевых областей притоков равнинного водохранилища / ред. А.В. Крылов. Ин-т биологии внутр. вод им. И. Д. Папанина РАН. – Ярославль: Филигрань, 2015. – 466 с.
32. Гиляров, А.М. В поисках универсальных закономерностей организации сообществ: прогресс на пути нейтрализма / А.М.Гиляров // Журнал общей биологии. – 2010. – Т. 71. – № 5. – С. 386–401.
33. Голованова, В.К. Сравнительный анализ температурных критериев жизнедеятельности у видов–вселенцев и видов–аборигенов из региона верхней Волги / В.К.Голованова // Труды Мордовского государственного природного

- заповедника имени П.Г. Смидовича. – Саранск: Пушта, 2014. – Вып. 12. – С.289–296.
34. Голубева Д.О. Видовой состав зоопланктона малых рек г. Нижнего Новгорода и оценка качества их вод (по данным 2014 года) / Д.О.Голубева, И.А.Кудрин // 68-я научная конференции "Биосистемы: организация, поведение, управление". – Нижний Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2015. – С. 19.
35. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды в водоемах и водотоках. – М.: Гос. ком. СССР по стандартам, 1982. – 10 с.
36. Деревенская, О.Ю. Сообщество зоопланктона малой реки в аномальных климатических условиях (на примере р. Казанки, РФ) / О.Ю.Деревенская, Н.М.Мингазова, В.В.Яковлев // Гидробиологический журнал. – Киев: Институт гидробиологии НАНУ, 2015. – Т. 51 – № 2. – С. 13–22.
37. Деревенская, О.Ю. Экологическое состояние озер системы Кабан г. Казани и концепция их восстановления / О.Ю.Деревенская, Н.М.Мингазова, Э.Г.Набеева, О.В.Палагушкина, Л.Р.Павлова, Ф.Ф.Бариева // Экологические системы и приборы. – №9. – 2012. – С. 20-25.
38. Дзюбан, Н.А. Зоопланктон / Н.А.Дзюбан // Куйбышевское водохранилище. – Л.: Наука, 1983. – С. 119-130.
39. Дзюбан, Н.А. Зоопланктон зарегулированной Волги / Н.А.Дзюбан // Биологическая продуктивность и качество воды Волги и ее водохранилищ. – М.: Наука, 1984. – С. 60–73.
40. Дзюбан, Н.А. Формирование фауны беспозвоночных крупных водохранилищ / Н.А.Дзюбан, Ф.Л.Мордухай-Болтовской // Вопросы гидробиологии: Тезисы докладов 1 съезда ВГБО. – М.: Наука, 1965. – С. 127–129
41. Жданова, С.М. *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) в водоёмах Европейской России / С.М.Жданова, А.Э.Добрынин // Биология внутренних вод. – 2011. – № 1. – С. 45 – 52.

42. Звягинцев, А.Ю. Исследования балластных вод коммерческих судов в морских портах России / А.Ю.Звягинцев, Ж.П.Селифанова // Российский журнал биологических инвазий. – № 2. – 2008. – С.22–33.
43. Кадочников, Д.А. Оценка экологического состояния малых рек г. Перми (р. Егошихи и р. Данилихи) по биологическим показателям / Д.А.Кадочников, Е.М.Кузнецова, Н.Б.Овчанкова // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Материалы лекций II-й Всероссийской школы-конференции 18-22 ноября 2014 г. Ярославль. Том II. – 2014. – С. 172–174.
44. Карандашова, А.А. Интегральная оценка экологического состояния малых рек крупного промышленного центра по структурно-функциональным показателям макрозообентоса (на примере Нижнего Новгорода): дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Карандашева Алла Александровна. – Нижний Новгород, 2003. 148 с.
45. Карташева, Н.В. Оценка экологического состояния реки москвы по структурным характеристикам зоопланктона / Н.В.Карташева // Материалы III Всероссийской конференции по водной токсикологии, посвященной памяти Б.А. Флерова, «Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы», конференции по гидроэкологии «Критерии оценки качества вод и методы нормирования антропогенных нагрузок» и школы-семинара «Современные методы исследования и оценки качества вод, состояния водных организмов и экосистем в условиях антропогенной нагрузки». Часть 3. – Борок, 2008. – С. 197.
46. Карташева, Н.В. Структурные изменения зоопланктона верховья реки Москвы в летне-осенний период / Н.В.Карташева, В.М.Хромов, Н.А.Шидловская // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Материалы лекций II-й Всероссийской школы-конференции 18-22 ноября 2014 г. Ярославль. Том II. – 2014. – С. 185–187.
47. Комулайнен, С.Ф. Экология фитоперифитона малых рек Восточной Финноскандии / С.Ф.Комулайнен. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2004. – 182 с.

48. Кренева, С.В. Возможности использования коловраток в оценке состояния водных экосистем / С.В.Кренева, К.В.Кренева, Л.Д.Свистунова // Коловратки (таксономия, биология и экология). – Борок: ИБВВ РАН, 2005. – С.104–114.
49. Крылов, А.В. Влияние деятельности бобров как экологического фактора на зоопланктон малых рек / А.В.Крылов // Экология. – 2002 б. – №5. – С. 350–357.
50. Крылов, А.В. Зоопланктон малых рек в условиях различной антропогенной нагрузки: автореф. дис. ... кан. биол. наук: 03.00.18 / Крылов Александр Витальевич. – Москва:, 2003. – 25с.
51. Крылов, А.В. Зоопланктон равнинных малых рек / А.В.Крылов. – М.: Наука, 2005. – 263 с.
52. Крылов, А.В. Зоопланктон равнинных малых рек в изменяющихся условиях среды: автореф. дис. ... док. биол. наук: 03.00.18 / Крылов Александр Витальевич. – Борок:, 1996. – 41с.
53. Крылов, А.В. Изменение структурной организации зоопланктона малой реки в условиях различной проточности / А.В.Крылов // Биология внутренних вод. – 2002 а. – №2. – С. 51–54.
54. Крылов, А.В. Планктон и экологическое состояние водотоков на разных типах территорий (на примере Воронежской области) / А.В.Крылов, А.В.Романенко, Д.В.Транквилевский, М.И.Чубирко, Ю.И.Степкин // Поволжский экологический журнал. – 2010. – № 1. – С. 52–61.
55. Кудрин, И.А. Видовая и пространственная структура зоопланктона малых рек–притоков Чебоксарского водохранилища / И.А.Кудрин, М.Ю.Ильин, Г.В.Шурганова, М.Л.Тарбеев // Биология внутренних вод: Материалы XV школы–конференции молодых ученых (Борок, 19–24 октября 2013 г). – Кострома: ООО «Костромской печатный дом», 2013. – С.231–235.
56. Кудрин, И.А. Видовая и пространственная структура зоопланктона малых рек–притоков Чебоксарского водохранилища / И.А.Кудрин, М.Ю.Ильин, Г.В.Шурганова, М.Л.Тарбеев // Биология внутренних вод: Материалы XV школы–конференции молодых ученых (Борок, 19–24 октября 2013 г). – Кострома: ООО «Костромской печатный дом», 2013. – С.231–235.

57. Кудрин, И.А. Зоопланктон водотоков урбанизированных территорий на примере г. Нижний Новгород / И.А.Кудрин, Г.В.Шурганова, М.Ю.Ильин, Д.О.Голубева // II Международная конференция «Актуальные проблемы планктонологии». – Калининград: Изд. КГТУ, 2015. – С.120–121.
58. Кудрин, И.А. Оценка качества воды притоков речного участка Чебоксарского водохранилища на основе анализа индикаторных видов зоопланктона / И.А.Кудрин, М.Ю.Ильин, Е.В.Полянцева, И.А.Заева // Материалы VI Всероссийской научной экологической конференции школьников, студентов, молодежи и педагогов, посвященная Всемирным дням Воды и Земли "Вода – источник жизни на Земле" (Санкт–Петербург, 27–29 марта 2013 г.). – СПб.: ООО «Копи–Р Групп», 2013. – С.192–195.
59. Кудрин, И.А. Пространственное размещение зоопланктона и оценка качества воды реки Линда Нижегородской области / И.А.Кудрин, Г.В.Шурганова, М.Ю.Ильин, Е.В.Полянцева // Труды второй международной научно–практической конференции молодых ученых "Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование" (Москва, 25–28 апреля 2013 года): сборник статей / Отв. ред. С.Д. Иванов. – М.: ООО «Буки Веди», 2013. – С.201–210.
60. Кудрин, И.А. Роль видов–вселенцев в зоопланктоне малых водотоков г. Н. Новгорода / И.А. Кудрин, Г.В.Шурганова, М.Ю.Ильин, Д.Е.Гаврилко // XX Нижегородская сессия молодых ученых. – Княгинино: НГИЭУ, 2015. – С.131–132.
61. Кузнецова М.А. Изменение структурно-функциональных характеристик зоопланктона в ходе эвтрофикации разнотипных озер в аспекте концепции сукцессии (на примере озер Восточно-Европейской равнины): автореф. дисс... д-ра биол. наук / Кузнецова Майя Андреевна. – Нижний Новгород, 2002. – 38 с.
62. Кузнецова, М.А. Структурные перестройки в зоопланктонном сообществе эвтрофированных водоёмов с позиции представлений о сукцессии / М.А.Кузнецова // Экология. – 1996. – № 1. – С. 77–80.
63. Куликова, Т.П. Зоопланктон водных объектов города Петрозаводска (Карелия) / Т.П.Куликова // Труды Карельского научного центра РАН. – 2015. – №2. – С. 71–88.

64. Кумани, М.В. Способности регулирования почвенно–эрозионных процессов и гидрологического режима агроландшафтов центрально–черноземной зоны: автореф. дис. ... док. сельхоз. наук: 06.01.03, 03.00.16 / Кумани Михаил Владимирович. – Курск:, 2003. – 49 с.
65. Курашов, Е.А. Популяционная динамика *Gmelinoides fasciatus* (Stebb) в Ладожском озере / Е.А.Курашов, Д.В.Барков // Чужеродные виды в Голарктике: Тез. докл II междунар. симпоз. (ИБВВ РАН, Борок, 27 сентября – 1 октября 2005). – С. 84.
66. Кухарская, Е.В. Распределение зоопланктона в болотных экосистемах бассейна среднего течения р. Чулым (Томская область) / Е.В.Кухарская, В.Н.Долгин // Вестник Томского государственного педагогического университета. – Томск: ТГПУ, 2009. – № 3. – С. 70–76.
67. Лазарева, В.И. Американская коловратка *Kellicottia bostoniensis* (Rousselet, 1908) (Rotifera: Brachionidae) в водохранилищах бассейна Верхней Волги / / В.И.Лазарева, Жданова С.М. // Биология внутренних вод. Москва: Наука, 2014. №3. С. 64–78.
68. Лазарева, В.И. Распространение новых и редких видов зоопланктона в водоемах бассейна Верхней Волги в начале XXI века / В.И.Лазарева // Российский Журнал Биологических Инвазий. – 2008. – №1. – С. 26–31.
69. Лазарева, В.И. Сравнительный анализ состава и обилия летнего зоопланктона Рыбинского водохранилища в 1987 – 1988 и 1987 – 2004 г.г. / В.И.Лазарева // Биологические ресурсы пресных вод: беспозвоночные. – Рыбинск: Изд-во ОАО «Рыбинский дом печати», 2005. – С. 182 – 224.
70. Лазарева, В.И. Структура и динамика зоопланктона Рыбинского водохранилища / В.И.Лазарева / Под ред. Копылова А.И. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. – 183 с.
71. Лазарева, В.И. Анализ сосуществования недавнего вселенца *Diaphanosoma orghidani* Negrea с аборигенным видом *D. brachyurum* Lievin (Crustacea, Cladocera) в Рыбинском водохранилище / В.И.Лазарева, С.Э.Болотов // Российский журнал биологических инвазий. – № 2. – 2013. – С.18–34.

72. Левин, Ю.Ю. Динамика современного состояния воды Чебоксарского водохранилища на территории Нижегородской области / Ю.Ю.Левин // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 2. – С. 94–100. – Режим доступа: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=33234>
73. Левич, А.П. Структура экологических сообществ / А.П.Левич. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 182 с.
74. Макеев, И.С. Метазойный планктон как показатель экологического состояния малых водотоков Нижнего Новгорода / И.С.Макеев, Д.Е.Гаврилко // Зоологические исследования регионов России и сопредельных территорий: Материалы III Международной научной конференции (Н. Новгород, 14–15 января 2014 г.) / Под ред. проф. А.И. Дмитриева. – Нижний Новгород: НГПУ им. К. Минина, 2014. – С. 123–127.
75. Малинина, Ю.А. Гидробиологическая оценка качества воды Волгоградского водохранилища в зоне влияния промышленного центра / Ю.А.Малинина, И.Н.Далечина, Е.И.Филинова // Актуальные проблемы рационального использования биологических ресурсов водохранилищ. – Рыбинск: Изд-во ОАО «Рыбинский Дом печати», 2005. – С. 200–212.
76. Матишов, Г.Г. «Вселенцы» и «невселенцы»: причины их появления / Г.Г.Матишов, П.Р.Макаревич, Д.Г.Ишкулов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – № 16. – Т. 13. – Самара. – 2011. – С.1357–1366.
77. Мельников, Г.Б. Закономерности формирования и становления зоопланктона в водохранилищах СССР / Г.Б.Мельников // Гидробиол. журнал. – 1966. – Т.2. – №2. – С. 56–65.
78. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Определение удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) и класса качества воды / Н.Новгород: НГТУ, 2011. – 19 с.

79. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах // Зоопланктон и его продукция. – Л.: Гос. НИИ озер. и реч. рыб. хоз-ва, 1982. – 33 с.
80. Мингазова, Н.М. Концепция и методология восстановления малых озер / Н.М.Мингазова, О.Ю.Деревенская // Гидробиологический журнал. 1998. – Т. 34. – №34. – №5. – С. 22–31.
81. Мингазова, Н.М. Мониторинг состояния реки Казанка в городе Казани и разработка компенсационных мероприятий / Н.М.Мингазова, О.Ю.Деревенская, С.Г.Мухачев, Э.Г.Набеева, О.В.Палагушкина, Е.Н.Унковская, Н.Р. Зарипова // Экология урбанизированных территорий. – №2. – 2013 г. – С. 121–126.
82. Мингазова, Н.М. Биоразнообразие водных объектов г. Казани / Н.М.Мингазова, О.Ю.Деревенская, О.В.Палагушкина, Л.Р.Павлова, Э.Г.Набеева, Н.Р.Зарипова, Р.И.Замалетдинов, Т.А.Кондратьева, Ю.И.Павлов, Е.Н.Унковская, М.Г.Борисович, Л.Ю.Халиуллина // Ученые записки Казанского государственного университета. – 2008. – Т.150. – №4. – С.252–260.
83. Мингазова, Н.М. Инвентаризация и экологическая паспортизация водных объектов как способ сохранения и оптимизации их состояния / Н.М.Мингазова, О.Ю.Деревенская, О.В.Палагушкина, Л.Р.Павлова, Э.Г.Набеева, А.И.Галеева, И.С.Шигапов, Н.Р.Зарипова, Р.И.Замалетдинов, Р.Р.Мингалиев // Астраханский вестник экологического образования. – 2014. – №2(28). – С.37–43.
84. Мингазова, Н.М. Мониторинг состояния реки Казанка в городе Казани и разработка компенсационных мероприятий / Н.М.Мингазова, О.Ю.Деревенская, С.Г.Мухачев, Э.Г.Набеева, О.В.Палагушкин, Е.Н.Унковская, Н.Р.Зарипова // Экологический мониторинг и нормирование. – 2013. – №2. – С.121–126.
85. Михайлов, Р.А. Моллюски–вселенцы реки Большой Иргиз (Нижняя Волга) / Р.А.Михайлов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – В.5–1, Т. 16. – Самара. – 2014. – С.528–532.
86. Мухортова, О.В. Некоторые особенности распространения видов–вселенцев зоопланктона в прибрежных биотопах (заросли макрофитов, галечное побережье)

Саратовского водохранилища / О.В.Мухортова // Известия Самарского научного центра РАН, 2011. – Т. 13. – № 1. – С.188–193.

87. Никитин, А.В. Проблемы формирования эколого-природного каркаса урбанизированных территорий (на примере г. Казани) / А.В.Никитин, Н.И.Мингазова, Г.А.Юпина // Известия КазГАСУ. – 2010. – № 2 (14). – С. 88–96.

88. Одум, Ю. Основы экологии / Ю.Одум. – М.: Мир, 1975. – 740 с.

89. Олдендерфер, М.С., Блэшфилд Р.К. Кластерный анализ / М.С.Олдендерфер, Р.К.Блэшфилд // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1989. – С.139–214.

90. Орлова М.И. Функциональное разнообразие чужеродных видов беспозвоночных и «обвал» ивazий: континентальные водоемы голарктики / М.И.Орлова // Функционирование и динамика водных экосистем в условиях климатических изменений и антропогенных воздействий. Материалы 5-й Международной конференции, посвященной памяти выдающегося гидробиолога Г.Г. Винберга (12–17 октября 2015 г., г. Санкт-Петербург, Россия). – СПб.: Издательство «ЛЕМА», 2015. – С. 193.

91. Охапкин, А.Г. Таксономическая структура фитопланктона как показатель стадии сукцессии равнинных водохранилищ / А.Г.Охапкин // Ботанический журнал. –1997. – Т. 82. – №1. – С. 46–54.

92. Песенко, Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Ю.А.Песенко. – М.: Наука, 1982. 288 с.

93. Пидгайко, М.Л. Зоопланктон водоемов европейской части СССР./ М.Л.Пидгайко. – М.: Наука, 1984. 207 с.

94. Подшивалина, В.Н. Распределение зоопланктона по продольному профилю малой реки в условиях высокой антропогенной нагрузки (на примере р. Цивиль, Среднее Поволжье) / В.Н.Подшивалина // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т.15. – №3(1). – С. 503-506.

95. Попов, А.И. Современная структура зоопланктона Саратовского водохранилища и экология биоинвазионных видов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Попов Алексей Игоревич. – Тольятти, 2006. – 18 с.

96. Протасов, А.А. Жизнь в гидросфере. Очерки по общей гидробиологии / А.А.Протасов. – Киев: Академперіодика, 2011. – 724 с.
97. Протасов, А.А. Пресноводный перифитон / А.А.Протасов. – Киев: Наук. думка, 1994. – 307 с.
98. Ривьер, И.К. Определение качества воды Верхней Волги по состоянию зоопланктонного сообщества / И.К.Ривьер / Верхневолжье: судьба реки и судьбы людей. Тр. III Мышкинской межобластной экологической конференции. Вып. 3. – Мышкин: «Тройка-Фото», 2003. – С. 9–15.
99. Родионова, Н.В. Зоопланктон трех разнотипных систем урбанизированных ландшафтов г. Санкт-Петербурга и ленинградской области / Н.В.Родионова // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Материалы лекций II-й Всероссийской школы-конференции 18-22 ноября 2014 г. Ярославль. Том II. – 2014. – С. 332–335.
100. Розенберг, Г.С. Волжский бассейн: на пути к устойчивому развитию / Г.С.Розенберг. – Тольятти: Кассандра, 2009. – 478 с.
101. Розенберг, Г.С. Волжский бассейн. Устойчивое развитие: опыт, проблемы, перспективы / Г.С.Розенберг. – М.: Институт устойчивого развития Общественной палаты РФ, 2011. – 2011. – 104с.
102. Свирская, Н.Л. Мониторинг зоопланктона / Н.Л.Свирская // Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – СПб: Гидрометеиздат, 1992. – С. 103–130.
103. Семейкина, П.И. Таксономическая и эколого-географическая структура фитопланктона двух малых рек г. Перми / П.И.Семейкина // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Материалы лекций II-й Всероссийской школы-конференции, 18 – 22 ноября 2014 г. Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина. В двух томах. Том II. – Ярославль: Филигрань, 2014. – 341–343 с.
104. Семенова, А.А. Оценка качества воды малых рек Калининградской области по показателям зоопланктона / А.А.Семенова // Вода: химия и экология. –2012. – №6. – С. 61–69.

105. Семенова, А.С. индикаторная роль зоопланктона в оценке экологического состояния Куршского залива: автореф. дис. ... кан. биол. наук: 03.02.08 / Семенова Анна Сергеевна. – Борок, 2010. – 21с.
106. Смирнов, Н.Н. Chydoridae фауны мира. Фауна СССР. Ракообразные / Н.Н.Смирнов. – Л.: Наука, 1971. Т.1, вып. 2. – 553 с.
107. Смирнов, Н.Н. Chydoridae фауны мира. Фауна СССР. Ракообразные / Н.Н.Смирнов. – Т.1. – Вып. 2. – Л.: Наука, 1971. – 553 с.
108. Современные ландшафты Нижегородской области / под ред. Н.Ф.Винокуровой, О.В. Глебовой. – Н.Новгород: Изд-во Волго-Вятской академии гос. Службы, 2006. – 288с.
109. Старцева, Н.А. Водоросли планктона малой реки с антропогенно-трансформированным водосбором (на примере реки Кова, г. Нижний Новгород) / Н.А.Старцева, А.Г.Охапкин, Е.Л.Воденеева, А.А.Рябова // II Международная конференция «Актуальные проблемы планктонологии». Тезисы докладов. – Калининград: Изд. КГТУ, 2015. – С. 129–130.
110. Старцева, Н.А. Таксономическая и эколого-географическая структура фитопланктона некоторых правобережных малых рек г. Нижнего Новгорода / Н.А.Старцева, А.Г.Охапкин, Е.Л.Воденеева, А.А.Рябова // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. – 2012. – №2–3. – С. 177–182.
111. Столбунова, В.Н. Изменения в сообществе зоопланктона Иваньковского водохранилища в связи с антропогенным воздействием и эвтрофированием / В.Н. Столбунова // Актуальные проблемы водохранилищ. Всеросс. конф. с участием специалистов из стран ближнего и дальнего зарубежья. – Борок, Россия: Тез. докл. Ярославль, 2002. – С. 296–297.
112. Столбунова, В.Н. Многолетние изменения зоопланктонного комплекса в Иваньковском и Угличском водохранилищах / В.Н.Столбунова // Биология внутренних вод. – 1999. – № 1–3. – С. 92–100.
113. Тарбеев, М.Л., Сезонные изменения пространственного размещения и видовой структуры зоопланктонных сообществ малой реки (на примере р. Линда

- Нижегородской области) / М.Л.Тарбеев, Г.В.Шурганова, В.В.Черепенников // Вода: химия и экология. – 2014. – №12. – С. 48-56.
114. Тарбеев, М.Л. Видовой состав зоопланктона малых и средних рек Нижегородского Поволжья и некоторых сопредельных территорий. / М.Л.Тарбеев, Г.В.Шурганова // Вестник Нижегородского госуниверситета. – 2011. – №2(2). – С.72–75.
115. Телеш, И.В. Видовое разнообразие и функционирование сообществ зоопланктона в озерах, реках и эстуариях / И.В.Телеш // IX Съезд Гидробиологического общества РАН (г. Тольятти, 18-22 сентября 2006 г., тезисы докладов, т. II. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2006. С. 185.
116. Тимохина, А.Ф. Зоопланктон как компонент экосистемы Куйбышевского водохранилища / А.Ф.Тимохина. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2000. – 193 с
117. Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы / Р.Уиттекер. – М.: Прогресс, 1980. – 328 с.
118. Федоров, В.Д. Концепция устойчивости экологических систем / В.Д.Федоров // Всесторонний анализ окружающей природной среды: Труды. сов.-амер. симпоз. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – С. 207 – 217.
119. Фролова, Л.Л. Методология выбора технологии восстановления водоемов на основе нечетких множеств / Л.Л. Фролова, А.Г.Закиров, О.Ю.Деревенская // Вестник ТГУ, т.1, вып. 1, 1996. С. 78-81.
120. Фролова, Л.Л. Методология выбора технологии восстановления водоемов на основе нечетких множеств / Л.Л.Фролова, А.Г.Закиров, О.Ю.Деревенская // Вестник ТГУ. – 1996. – Т.1. – №4. – С.78–81.
121. Халафян, А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных: Учебник / А.А.Халафян. – М.: Бином, 2007. – 512 с.
122. Харитонычев А.Т. Природные зоны и ландшафты / А.Т.Харитонычев // Природа Горьковской области. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1974. – С. 11–50.
123. Хулбарян, М.Г.Качество воды / М.Г.Хулбарян, Т.И.Моисеенко // Вестник Российской академии наук. – 2009. – Т. 79. –№5. – С. 403–410.

124. Цееб, Я.Я. Зоопланктон / Я.Я.Цееб // Каховское водохранилище. – Киев: Наук. думка, 1964 – С. 60 – 111.
125. Черевичко, А.В. Зоопланктон малых рек Псковской области в условиях активного загрязнения / А.В.Черевичко // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Материалы лекций II-й всероссийской школы-конференции 18-22 ноября 2014г. Ярославль. Том II. – 2014. – С. 398–401.
126. Черепенников, В.В. Использование многомерного векторного анализа для оценки пространственного размещения зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища / В.В.Черепенников, Г.В.Шурганова, Е.В.Артельный // Экологические проблемы бассейнов крупных рек: Тез. докл. Междунар. конф. Тольятти, 2003. – С.303.
127. Черепенников, В.В. Исследование различий видовой структуры основных зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища методом многомерного анализа / В.В.Черепенников, Г.В.Шурганова, Д.Б.Гелашвили, Е.В.Артельный // Известия Самарского научного центра РАН. – 2004. – Т. 6. – №2 (12). – С. 328–333.
128. Черепенников, В.В. Исследование различий видовой структуры основных зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища методом многомерного анализа / В.В.Черепенников, Г.В.Шурганова, Д.Б.Гелашвили, Е.В.Артельный // Изв. Самарск. науч. центра РАН. – 2004. – Т. 6. – № 2 (12). – С.328–333.
129. Шитиков, В.К. Количественная гидроэкология / В.К.Шитиков, Г.С.Розенберг, Т.Д.Зинченко. – Тольятти: ИЭВБ РАН, 2003. – 463с.
130. Шитиков, В.К. Макроэкология речных сообществ: концепции, методы, модели / В.К.Шитиков, Т.Д.Зинченко, Г.С.Розенберг. – Тольятти: Кассандра, 2011. – 255с.
131. Шитиков, В.К. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R / В.К.Шитиков, Г.С.Розенберг. – Тольятти: кассандра, 2013. – 314с.
132. Шурганова, Г. В. Изменение некоторых характеристик видовой структуры зоопланктоценозов речного участка Чебоксарского водохранилища в ходе

экзогенной сукцессии / Г.В.Шурганова, Л.И.Ахметов // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия Биология. – Н. Новгород: ННГУ, 2001. – Вып. 1 (2). – С. 103–108.

133. Шурганова, Г.В. Биоиндикационная характеристика качества воды Чебоксарского водохранилища (по данным 2011 года) / Г.В.Шурганова, М.Ю.Ильин, И.А.Кудрин // Вестник ННГУ им. Н.И. Лобачевского. – 2014 а. – №2(1). – С.106–111.

134. Шурганова, Г.В. Видовая структура зоопланктона водотоков антропогенно нарушенных территорий мегаполиса (г. Нижний Новгород) / Г.В.Шурганова, И.А.Кудрин, И.С.Макеев, Д.Е.Гаврилко, М.Ю.Ильин // Пятая международная конференция памяти Г.Г. Винберга «Функционирование и динамика водных экосистем в условиях климатических изменений и антропогенных воздействий». – 12–17 октября 2015 г., Санкт–Петербург: Изд. «Лема», 2015 а. – С244–245.

135. Шурганова, Г.В. Видовая структура речной части Чебоксарского водохранилища как показатель антропогенного пресса / Г.В.Шурганова // Тезисы докл. Международного конгресса “Великие реки–2001”. Проблемы гидрометеорологии и мониторинга загрязнения окружающей среды в бассейнах Великих рек. Н. Новгород, 15–18 мая 2001. – Н.Новгород: Нижегород. гос. архитект. строит. ин–т, 2002. – С.130–132.

136. Шурганова, Г.В. Динамика антропогенной сукцессии основных зоопланктоценозов Чебоксарского водохранилища / Г.В.Шурганова, В.В.Черепенников, Е.В.Артельный // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Серия Биология. – Н. Новгород: ННГУ, 2005. – Вып.2 (10). – С. 107–114.

137. Шурганова, Г.В. Динамика видовой структуры зоопланктоценозов в процессе их формирования и развития (на примере водохранилищ средней Волги: Горьковского и Чебоксарского): автореф. дисс. докт. биол. наук: 03.00.18 / Шурганова Галина Васильевна. – Н. Новгород, 2007 а. – 48 с.

138. Шурганова, Г.В. Динамика видовой структуры зоопланктоценозов в процессе их формирования и развития (на примере водохранилищ средней Волги:

Горьковского и Чебоксарского): дисс. докт. биол. наук: 03.00.18 / Шурганова Галина Васильевна. – Н. Новгород, 2007 б. – 48 с.

139. Шурганова, Г.В. Зоопланктон / Г.В.Шурганова, И.С.Макеев // Экологическое состояние водных объектов Нижнего Новгорода. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. – С. 89–98.

140. Шурганова, Г.В. Зоопланктон малых водотоков урбанизированных территорий (на примере г. Нижний Новгород) / Г.В.Шурганова, И.А.Кудрин, Д.Е.Гаврилко, И.С.Макеев, М.Ю.Ильин, А.С.Горьков // Вода: химия и экология. – 2015 б. – №12. – С.48–55.

141. Шурганова, Г.В. Многолетняя динамика структуры зоопланктоценозов водохранилища в условиях антропогенного пресса / Г.В.Шурганова // VII съезд гидробиологического об-ва РАН. Материалы. Т.1. – Казань, 1996. – С. 223– 224.

142. Шурганова, Г.В. Планктонные виды–вселенцы водоёмов и водотоков Нижегородской области / Г.В.Шурганова, М.Ю.Ильин, И.А.Кудрин, Д.Е.Гаврилко // II Международная конференция «Актуальные проблемы планктонологии». – Калининград: Изд. КГТУ, 2015 в. – С. 135–136.

143. Шурганова, Г.В. Пространственное размещение зоопланктона малых рек Нижегородского Поволжья / Г.В.Шурганова, В.В.Черепенников, М.Л.Тарбеев, И.А.Кудрин, М.Ю.Ильин // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Материалы лекций II–й Всероссийской школы–конференции, 18–22 ноября 2014 г. Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина. – Том I. – Ярославль: Филигрань, 2014 б. – С.125–133.

144. Шурганова, Г.В. Пространственное размещение сообществ зоопланктона пресноводных водоёмов и водотоков / Г.В.Шурганова, В.В.Черепенников, И.А.Кудрин, М.Ю.Ильин // Экологический мониторинг. Часть VIII. Современные проблемы мониторинга пресноводных экосистем. – Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского Госуниверситета, 2014 в. – С.335–345.

145. Шурганова, Г.В. Сезонные изменения пространственного размещения сообществ зоопланктона верхней речной части Чебоксарского водохранилища и устьевого участка р. Оки / Г.В.Шурганова, И.А.Кудрин, В.С.Жихарев,

М.Ю.Ильин, Д.Е.Гаврилко, Т.В.Куклина // Современные проблемы науки и образования. – 2015 г. – №6. – Режим доступа: [www.science-education.ru/130-23310](http://www.science-education.ru/130-23310)

146. Шурганова, Г.В. Современное состояние зоопланктона водотоков антропогенно нарушенных территорий г. Нижнего Новгорода / Г.В.Шурганова, И.С.Макеев, И.А.Кудрин, М.Ю.Ильин, Д.Е.Гаврилко // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Материалы II-й Всероссийской школы-конференции, 18–22 ноября 2014 г. Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина. – Том II. – Ярославль: Филигрань, 2014 г. – С.419–422.

147. Шурганова, Г.В. Участие зоопланктона в самоочищении малого водотока г. Нижнего Новгорода / Г.В.Шурганова, И.С.Макеев, Д.Е.Гаврилко, А.И.Голикова // Современные проблемы науки и образования. – 2015 д. – №6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23563>

148. Шурганова, Г.В. Характеристика видовой структуры и пространственное размещение зоопланктона Чебоксарского водохранилища в 2011 году / Г.В.Шурганова, В.В.Черепенников, И.А.Кудрин, М.Ю.Ильин // Актуальные проблемы современной биологии и здоровья человека. – Материалы научных трудов XII Междунар. научно-практич. конф. – Николаев: МНУ им. В.О. Сухомлинского, 2012. – Вып. 12. – С. 186 – 189.

149. Шурганова, Г.В. Характеристика современного состояния видовой структуры и пространственного размещения сообществ зоопланктона Чебоксарского водохранилища / Г.В.Шурганова, В.В.Черепенников, И.А.Кудрин, М.Ю.Ильин // Поволжский экологический журнал. – 2014 д. – №3. – С.417–421.

150. Шурганова, Г.В., Видовая структура зоопланктона верхнего речного участка Чебоксарского водохранилища как показатель антропогенного пресса / Г.В.Шурганова, И.С.Макеев, Л.И.Ахметов // Экология и жизнь. Материалы Междунар. конф. – Новгород Великий, 2000. – С. 53–54.

151. Шурганова, Г.В., Гидрохимический режим и современное состояние сообществ зоопланктона Горьковского и Чебоксарского водохранилищ / Г.В.Шурганова, М.Ю.Кочеткова // Вестник Нижегородского университета им. Н.

И. Лобачевского. Серия Биология. Н. Новгород: ННГУ, 2006. – Вып. 1(11). – С. 63–68.

152. Шурганова, Г.В. Методы выделения и идентификации сообществ гидробионтов / Г.В.Шурганова, В.В.Черепенников // Экологический мониторинг. Методы биологического и физико–химического мониторинга. Часть VII. – Уч. пос. Нижний Новгород: Нижегород. гос. ун–т, 2011. – С.121–155.

153. Шурганова, Г.В. Характеристика пространственной и видовой структуры зоопланктона и оценка качества вод рек Кудьма и Линда Нижегородской области / Г.В.Шурганова, И.А.Кудрин, М.Ю.Ильин, В.В.Черепенников // Вода: химия и экология. – 2014 г. – № 1. – С.28–35.

154. Экологическое состояние водных объектов Нижнего Новгорода. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2005. – 414 с.

155. Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразие, глобальные изменения и восстановление экосистем. Тезисы докладов Всероссийской конференции с международным участием (г. Тольятти, 5-8 сентября 2011 г.) / отв. ред. Т.Д. Зинченко, Г.С. Розенберг. – Тольятти: Кассандра, 2011. – 204 с.

156. Экосистемы малых рек: биоразнообразие, биология, охрана. Тезисы докладов Всероссийской конференции. 16–19 ноября 2004 г. – Борок, 2004. – 115 с.

157. Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Лекции и материалы докладов Всероссийской школы-конференции. Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина. 18–21 ноября 2008 г. – Ярославль: ООО «Ярославский печатный двор», 2008. – 368 с.

158. Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Материалы лекций II-й Всероссийской школы-конференции, 18–22 ноября 2014 г. Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина. В двух томах. Том I. – Ярославль: Филигрань, 2014 г. – 136 с.

159. Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Материалы лекций II-й Всероссийской школы-конференции, 18 – 22 ноября 2014 г. Институт

биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина. В двух томах. Том II. – Ярославль: Филигрань, 2014 б. – 428 с.

160. Якимов, В.Н. Методология анализа скейлинга тексономического, филогенетического и функционального разнообразия биотических сообществ: дис. ... доктора. биол. наук: 03.02.08 / Якимов Василий Николаевич. – Нижний Новгород, 2015. – 392 с.

161. Яковлев, В.Н. Экспансия видов-вселенцев и эволюция экосистем крупных водохранилищ / В.Н. Яковлев // Чужеродные виды в Голарктике: Тез. докл II междунар. симпоз. (ИБВВ РАН, Борок, 27 сентября – 1 октября 2005). – С. 34–35.

162. Borcard, D. Numerical ecology with R / D.Borcard, F.Gillet, P.Legendre. – New York: Springer, 2011. – 306 p.

163. Carlton, J.T. Ecological roulette: the global transport and invasion of nonindigenous marine organisms / J.T.Carlton, J.B.Geller // Science. – 1993. – V.261. – P.78–82.

164. Carlton, J.T., Geller J.B. Ecological roulette: the global transport and invasion of nonindigenous marine organisms / J.T.Carlton, J.B. Geller // Science. – 1993. – V.261. – P. 78–82.

165. Gollasch, S. Assessment of the introduction potential of aquatic alien species in new environments / S.Gollasch // Assessment and Control of Biological Invasion Risks / Eds Koike F., Clout M.N., Kawamichi M., De Poorter M. and Iwatsuki K. Kyoto: Shoukadoch Book Sellers and Gland: IUCN, 2006. – P.88–91.

166. Gower, J.C. Comparing classifications / J.C.Gower // Numerical Taxonomy. Berlin: Springer–Verlag, 1983. – P.137–155.

167. Jain, A.K. Algorithms for clustering data / A.K.Jain, R.C.Dubes. – New Jersey: Prentice Hall, 1988. – 320 p.

168. Jost, L. Compositional similarity and  $\beta$  (beta) diversity / L.Jost, A.Chao, R.L.Chazdon // Biological diversity. Frontiers in measurement and assessment. Oxford: Oxford Univ. Press, 2011. – P.66–84.

169. Kotov, A., Forró, L., Korovchinsky, N.M. and A. Petrusek , World checklist of freshwater Cladocera species. – 2013 Jan 25. – World Wide Web electronic publication. Available online at <http://fada.biodiversity.be/group/show/17>
170. Legendre, P. Numerical ecology / P.Legendre, L.Legendre. – Oxford: Elsevier, 2012. – 990 p.
171. Lohman, K. Effects of nutrient enrichment and flood frequency on periphyton biomass in northern Ozark streams / K.Lohman, J.R.Jones, B.D.Perkins // Can. J. Fish. Aquat. Sci. – 1992. – № 49. – P. 1198–1205.
172. Pantle, R. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse / R.Pantle, H.Buck // Gasund Wasserfach. – 1955. – Bd. 96. – №18. – 604 s.
173. Peterson, C.G. Response of benthic algal communities to natural physical disturbance / C.G.Peterson // Algal ecology: freshwater benthic ecosystem. – London, 1996. – P. 375–402.
174. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing / R Core Team. – 2015. – URL: <http://www.R-project.org/>.
175. Rousseeuw, P.J. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis / P.J.Rousseeuw // J. Comp. Appl. Math. – 1987. – V. 20. – P.53–65.
176. Shepard, R.N. The analysis of proximities: multidimensional scaling with an unknown distance function / R.N.Shepard // Psychometrika. – 1962. – V. 27. – P.125–139.
177. Sladeček, V. System of water quality from biological point of view. Ergebnisse Limnologiae / V.Sladeček – Arch. Hydrobiol., 1973. – Bd 7. – №7. – 218 s.
178. Sokal, R.R., Rohlf F.J. The comparison of dendrograms by objective methods / R.R.Sokal, F.J.Rohlf // Taxon. – 1962. – V. 11. – P.33–40.
179. Vannote, R.L. The river continuum concept / R.L.Vannote, G.W.Minshall, K.W.Cummins, J.R.Sedell, C.E.Cushing // Can. J. Fish. Aquat. Sci. – 1980. –V. 37. – №1. –P. 130–137.
180. Townsend, C.R. The patch dynamics concept of stream community ecology / C.R.Townsend // J.N. Am. Benthol. Soc. – 1989. – V.8. – №1. –P. 36–50.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

Видовой состав зоопланктона Чебоксарского водохранилища и его притоков по данным 2012–2015 гг.

| Вид                                              | Водоток | Чебоксарское<br>водохранилище | Верхняя речная<br>часть Чебоксарского | р. Ока | р. Кудьма | р. Линда | р. Черная | р. Левинка | р. Параша | Шуваловский канал | р. Ржавка | р. Борзовка | р. Гниличка | р. Рахма | р. Кова | р. Старка |
|--------------------------------------------------|---------|-------------------------------|---------------------------------------|--------|-----------|----------|-----------|------------|-----------|-------------------|-----------|-------------|-------------|----------|---------|-----------|
|                                                  |         |                               |                                       |        |           |          |           |            |           |                   |           |             |             |          |         |           |
| 1                                                | 2       | 3                             | 4                                     | 5      | 6         | 7        | 8         | 9          | 10        | 11                | 12        | 13          | 14          | 15       | 16      |           |
| Rotifera                                         |         |                               |                                       |        |           |          |           |            |           |                   |           |             |             |          |         |           |
| <i>Anuraeopsis fissa</i> (Gosse, 1851)           | —       | —                             | —                                     | —      | —         | —        | —         | —          | —         | —                 | —         | —           | +           | —        | —       | —         |
| <i>Ascomorpha ecaudis</i> (Perty, 1850)          | —       | —                             | —                                     | —      | —         | —        | —         | —          | —         | +                 | +         | —           | —           | —        | —       | —         |
| <i>Asplanchna girodi</i> (de Guerne, 1888)       | —       | —                             | —                                     | —      | —         | —        | —         | —          | —         | +                 | —         | —           | —           | —        | —       | —         |
| <i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850)        | +       | +                             | +                                     | +      | +         | +        | +         | +          | +         | +                 | +         | —           | +           | +        | +       | +         |
| Bdelloidea                                       | +       | +                             | +                                     | +      | +         | —        | +         | +          | —         | +                 | +         | +           | +           | +        | +       | +         |
| <i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof, 1891)            | +       | +                             | —                                     | —      | —         | —        | —         | —          | —         | —                 | —         | —           | —           | —        | —       | —         |
| <i>Brachionus angularis</i> (Gosse, 1851)        | +       | +                             | +                                     | +      | —         | —        | —         | +          | —         | +                 | —         | —           | —           | +        | —       | —         |
| <i>Brachionus bidentata</i> (Anderson, 1889)     | +       | —                             | +                                     | —      | —         | —        | —         | —          | —         | —                 | —         | —           | —           | —        | —       | —         |
| <i>Brachionus calyciflorus</i> (Pallas, 1776)    | +       | +                             | +                                     | +      | —         | —        | —         | +          | —         | —                 | —         | +           | —           | +        | +       | +         |
| <i>Brachionus diversicornis</i> (Daday, 1883)    | —       | —                             | +                                     | +      | —         | —        | —         | —          | +         | —                 | —         | +           | —           | +        | +       | —         |
| <i>Brachionus leydigi</i> (Cohn, 1862)           | —       | —                             | +                                     | +      | —         | —        | —         | —          | —         | —                 | —         | —           | —           | —        | —       | —         |
| <i>Brachionus nilsoni</i> (Ahlstrom, 1940)       | —       | —                             | —                                     | +      | —         | —        | —         | —          | —         | —                 | —         | —           | —           | —        | —       | —         |
| <i>Brachionus quadridentatus</i> (Hermann, 1783) | +       | +                             | +                                     | +      | —         | +        | +         | +          | —         | +                 | —         | +           | +           | +        | —       | —         |
| <i>Brachionus urceus</i> (Linnaeus, 1758)        | —       | —                             | —                                     | —      | —         | —        | —         | —          | —         | +                 | —         | —           | —           | —        | —       | —         |

Продолжение таблицы 1

| 1                                                      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Brachionus variabilis</i> (Hempel, 1896)            | – | – | – | + | – | – | – | – | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Cephalodella megalcephala</i> (Glasscott, 1893)     | + | + | – | – | – | – | – | – | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Cephalodella catellina</i> (Muller, 1786)           | – | – | – | + | – | – | – | – | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Cephalodella gibba</i> (Ehrenberg, 1830)            | + | – | – | + | – | – | + | – | +  | +  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Conochiloides coenobasis</i> (Skorikov 1914)        | – | – | – | – | – | – | + | – | +  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Conochilus hippocrepis</i> (Schränk, 1803)          | + | + | – | – | – | – | – | – | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Conochilus unicornis</i> (Rousselet, 1892)          | + | + | + | – | – | – | – | – | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Dicranophorus grandis</i> (Ehrenberg, 1832)         | + | + | – | – | – | – | – | – | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Dissotrocha aculeata</i> (Ehrenberg 1832)           | – | – | – | – | – | – | – | – | +  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Epiphanes senta</i> (Müller, 1773)                  | + | – | – | – | – | – | – | – | +  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Euchlanis deflexa</i> (Gosse, 1851)                 | – | – | – | – | + | – | – | – | +  | –  | –  | –  | +  | –  | –  |
| <i>Euchlanis dilatata</i> (Ehrenberg, 1832)            | + | + | – | + | + | + | + | + | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |
| <i>Euchlanis insica</i> (Carlin, 1939)                 | – | – | – | – | – | + | + | + | +  | +  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Euchlanis lyra</i> (Hudson, 1886)                   | + | + | – | + | + | – | – | – | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Euchlanis meneta</i> (Myers, 1930)                  | – | – | – | – | – | – | + | – | +  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Euchlanis triquerta</i> (Ehrenberg, 1838)           | – | – | – | – | – | + | + | + | +  | –  | –  | –  | +  | –  | –  |
| <i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)             | + | + | + | + | + | – | + | + | +  | –  | –  | +  | +  | –  | +  |
| <i>Gastropus hyptopus</i> (Ehrenberg, 1838)            | – | – | + | – | – | – | – | – | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Hexarthra mira</i> (Hudson, 1871)                   | – | – | – | – | – | – | – | – | +  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Kellicottia bostoniensis</i> (Rousselet, 1908)      | + | + | + | + | – | + | + | + | +  | +  | –  | +  | +  | +  | +  |
| <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)        | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | –  | +  | –  | +  | –  | –  |
| <i>Keratella cochlearis cochlearis</i> (Gosse, 1851)   | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  | –  | +  | +  | +  | –  |
| <i>Keratella cochlearis hispida</i> (Lauterborn, 1898) | + | – | – | – | – | – | – | – | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Keratella cochlearis tecta</i> (Gosse, 1851)        | + | + | + | – | – | – | – | – | –  | –  | –  | –  | –  | –  | –  |
| <i>Keratella quadrata</i> (Müller, 1786)               | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  | –  | +  | +  | +  | –  |

Продолжение таблицы 1

| 1                                              | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Keratella testudo</i> (Ehrenberg, 1832)     | — | — | — | — | — | — | — | — | +  | +  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Keratella valga</i> (Ehrenberg, 1834)       | — | — | + | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Lecane arcuata</i> (Bryce, 1891)            | — | — | — | — | — | — | — | — | +  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Lecane brachydactyla</i> (Stenroos, 1898)   | — | — | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Lecane bulla</i> (Gosse, 1851)              | — | — | — | + | — | + | — | — | —  | —  | —  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Lecane closterocerca</i> (Schmarda, 1859)   | + | — | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Lecane cornuta</i> (Fadeev, 1927)           | + | + | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Lecane flexilis</i> (Gosse, 1886)           | + | + | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Lecane hamata</i> (Stokes, 1896)            | — | — | — | — | — | — | — | — | +  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Lecane luna</i> (Müller, 1776)              | + | + | + | + | + | + | + | — | —  | +  | —  | +  | +  | —  | —  |
| <i>Lecane lunaris</i> (Ehrenberg, 1832)        | + | — | — | + | — | — | — | — | —  | —  | +  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Lecane quadridentata</i> (Ehrenberg 1832)   | — | — | — | — | — | — | + | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Lecane scutata</i> (Harring & Myers, 1926)  | + | + | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Lecane stenroosi</i> (Meissner, 1908)       | — | — | — | — | — | — | + | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Lecane unguolata</i> (Gosse, 1887)          | — | — | — | — | — | + | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Lepadella acuminata</i> (Ehrenberg, 1834)   | — | — | — | — | — | — | — | — | +  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Lepadella ovalis</i> (Müller, 1786)         | + | — | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Lepadella patella</i> (Müller, 1773)        | + | + | + | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Mytilina mucronata</i> (O. F. Muller 1773)  | — | — | — | + | — | + | — | — | +  | —  | +  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Mytilina ventralis</i> (Ehrenberg, 1832)    | — | — | — | + | — | — | — | — | —  | +  | —  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Notholca acuminata</i> (Ehrenberg, 1832)    | — | — | + | + | — | + | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Notholca caudate</i> (Carlin, 1943)         | — | — | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | +  | —  | —  |
| <i>Notholca. foliacea</i> (Ehrenberg, 1838)    | + | + | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Notommata aurita</i> (O. F. Muller, 1786)   | — | — | — | + | — | — | + | — | —  | —  | —  | —  | +  | +  | +  |
| <i>Platytas patulus</i> (Mueller, 1786)        | — | — | — | — | — | + | — | + | +  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Platytas quadricornis</i> (Ehrenberg, 1832) | — | — | — | + | — | + | + | + | —  | +  | +  | +  | —  | +  | —  |

Продолжение таблицы 1

| 1                                                          | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Ploesoma truncatum</i> (Levander, 1894)                 | + | + | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Polyarthra dolichoptera</i> (Idelson, 1925)             | + | + | + | + | — | — | — | — | —  | —  | —  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Polyarthra euryptera</i> (Wierzejski, 1891)             | + | + | — | + | — | — | — | + | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Polyarthra longiremis</i> (Carlin, 1943)                | + | + | + | + | — | + | + | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Polyarthra luminosa</i> (Kutikova, 1962)                | + | + | + | + | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Polyarthra major</i> (Burckhardt, 1900)                 | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  | —  | —  | +  | +  | +  |
| <i>Polyarthra minor</i> (Voigt 1904)                       | — | — | — | — | — | — | — | — | +  | —  | +  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Polyarthra remata</i> (Skorikov, 1896)                  | + | + | + | + | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Polyarthra vulgaris</i> (Carlin, 1943)                  | — | — | — | + | + | — | + | — | +  | +  | —  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Rotaria neptunia</i> (Ehrenberg, 1830)                  | — | — | — | + | + | — | — | — | —  | —  | +  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Rotaria rotatoria</i> (Pallas, 1766)                    | + | + | + | — | — | — | — | — | +  | —  | —  | —  | +  | +  | —  |
| <i>Synchaeta kitina</i> (Rousselet, 1902)                  | + | + | + | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Synchaeta oblonga</i> (Ehrenberg, 1831)                 | + | — | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Synchaeta pectinata</i> (Ehrenberg, 1832)               | + | + | + | + | — | + | + | + | +  | —  | +  | +  | +  | +  | +  |
| <i>Testudinella bidentata</i> (Ternetz, 1892)              | — | — | — | — | — | — | + | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Testudinella patina</i> (Hermann, 1783)                 | + | + | — | + | — | + | + | + | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |
| <i>Trichocerca bidens</i> (Lucks, 1912)                    | + | — | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Trichocerca brachyura</i> (Gosse, 1851)                 | — | — | — | + | — | — | — | — | —  | +  | —  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Trichocerca capucina</i> (Wierzejski & Zacharias, 1893) | — | — | + | + | — | + | + | — | +  | +  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Trichocerca cylindrica</i> (Imhof, 1891)                | + | + | + | + | + | — | + | + | +  | —  | —  | —  | +  | —  | —  |
| <i>Trichocerca elongata</i> (Gosse, 1886)                  | — | — | — | — | — | + | + | — | +  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Trichocerca longiseta</i> (Schränk, 1802)               | — | — | — | — | — | + | — | + | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Trichocerca pusilla</i> (Jennings, 1903)                | + | + | + | + | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Trichocerca similis</i> (Wierzejski, 1893)              | — | — | — | — | — | — | + | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Trichocerca stylata</i> (Gosse, 1851)                   | — | — | + | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Trichocerca weberi</i> (Jennings, 1903)                 | + | — | — | — | — | — | — | — | +  | —  | —  | —  | —  | +  | —  |

Продолжение таблицы 1

[illegible]

Продолжение таблицы 1

| 1                                                 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Ceriodaphnia megops</i> (Sars, 1862)           | + | + | — | + | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Ceriodaphnia pulchella</i> (Sars, 1862)        | + | + | — | + | — | + | + | + | —  | —  | —  | +  | —  | —  | +  |
| <i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (Müller, 1785)    | + | + | + | + | — | + | + | + | +  | +  | +  | —  | —  | —  | +  |
| <i>Ceriodaphnia reticulata</i> (Jurine, 1820)     | + | + | + | + | — | + | + | + | —  | —  | —  | —  | +  | —  | —  |
| <i>Ceriodaphnia rotunda</i> (Sars, 1862)          | — | — | — | + | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Ceriodaphnia setosa</i> (Matile, 1890)         | — | — | — | — | — | — | — | — | —  | +  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Ceriodaphnia sp.</i>                           | — | — | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Chydorus gibbus</i>                            | — | — | — | + | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | +  | —  | +  |
| <i>Chydorus ovalis</i> (Kurz, 1874)               | — | — | — | — | — | + | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Chydorus sphaericus</i> (Müller, 1776)         | + | + | + | + | + | — | + | — | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |
| <i>Daphnia cristata</i> (Sars, 1862)              | — | — | — | + | — | + | — | — | —  | —  | —  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Daphnia cucullata</i> (Sars, 1862)             | + | + | + | + | + | + | + | — | +  | +  | +  | +  | +  | —  | +  |
| <i>Daphnia curvirostris</i> (Eylmann, 1887)       | — | — | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | +  | —  |
| <i>Daphnia galeata</i> (Sars, 1864)               | + | + | + | + | + | + | — | — | —  | —  | —  | +  | —  | +  | —  |
| <i>Daphnia hyalina</i> (Leydig, 1860)             | — | — | — | — | — | + | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Daphnia longiremis</i> (Sars, 1862)            | + | — | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Daphnia longispina</i> (Müller, 1785)          | + | + | — | — | — | — | — | — | —  | +  | —  | —  | —  | —  | +  |
| <i>Daphnia pulex</i> (Leydig, 1860)               | — | — | — | — | — | — | — | — | +  | +  | +  | —  | +  | +  | +  |
| <i>Daphnia sp.</i>                                | — | — | — | — | — | — | — | + | —  | —  | —  | —  | —  | +  | +  |
| <i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liévin, 1848)     | + | + | + | + | + | + | + | — | +  | —  | —  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Diaphanosoma orghidani</i> (Negrea, 1982)      | + | + | + | + | — | — | — | — | +  | —  | —  | —  | +  | —  | —  |
| <i>Diaphanosoma sp.</i>                           | — | — | — | — | — | — | + | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Disparalona rostrata</i> (Koch, 1841)          | + | + | + | + | — | + | — | + | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Eurycercus lamellatus</i> (O.F. Müller, 1776)  | — | — | — | + | — | + | + | — | +  | —  | —  | —  | +  | —  | —  |
| <i>Graptoleberis testudinaria</i> (Fischer, 1851) | + | — | — | + | — | + | — | — | +  | —  | —  | +  | +  | +  | —  |
| <i>Ilyocryptus agilis</i> (Kurz, 1878)            | — | — | — | — | — | — | — | — | —  | —  | +  | —  | —  | —  | —  |

Продолжение таблицы 1

[illegible]

Продолжение таблицы 1

| 1                                                 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>Copepoda</b>                                   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |
| <i>Acanthocyclops vernalis</i> (Fischer, 1853)    | — | — | — | — | — | — | — | — | +  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Canthocamptus staphylinus</i> (Jurine, 1820)   | — | — | — | + | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Cyclops kolensis</i> (Lilljeborg, 1901)        | + | — | + | — | + | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Cyclops strenuus</i> (Fischer, 1851)           | + | + | — | + | — | — | — | — | +  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Cyclops vicinus</i> (Uljanin, 1875)            | + | + | + | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus, 1857)      | + | + | — | — | — | — | — | — | +  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Eucyclops macruroides</i> (Lilljeborg, 1901)   | — | — | — | — | — | — | — | — | +  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Eucyclops macrurus</i> (Sars, 1863)            | + | — | + | — | — | — | — | — | +  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer, 1851)       | + | + | + | + | — | — | + | — | +  | +  | +  | +  | +  | —  | +  |
| <i>Eucyclops speratus</i> (Lilljeborg, 1901)      | — | — | — | + | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Eudiaptomus gracilis</i> (Sars, 1863)          | + | + | + | + | — | — | + | — | +  | —  | —  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Eudiaptomus graciloides</i> (Lilljeborg, 1888) | + | + | + | + | + | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Eurytemora lacustris</i> (Poppe, 1887)         | + | + | + | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Eurytemora velox</i> (Lilljeborg, 1853)        | + | + | + | — | — | — | — | — | +  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Heterocope appendiculata</i> (Sars, 1863)      | + | + | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Macrocyclus albidus</i> (Jurine, 1820)         | — | — | — | + | — | — | + | — | +  | +  | +  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Megacyclops viridis</i> (Jurine, 1820)         | — | — | — | — | — | + | + | — | +  | +  | —  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Mesocyclops leukarti</i> (Claus, 1857)         | + | + | + | + | + | + | + | + | +  | +  | +  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Paracyclops chiltoni</i> (Thomson, 1882)       | — | — | — | — | — | — | — | — | —  | —  | —  | —  | +  | —  | —  |
| <i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer, 1853)     | — | — | — | + | — | — | — | — | —  | +  | +  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Paracyclops poppei</i> (Rehberg, 1880)         | — | — | — | — | — | — | — | — | —  | +  | +  | —  | —  | —  | —  |
| <i>Thermocyclops oithonoides</i> (Sars, 1863)     | + | + | + | + | — | — | + | — | +  | —  | —  | +  | —  | —  | —  |
| <i>Thermocyclops crassus</i> (Fischer, 1853)      | + | — | — | — | — | — | — | — | +  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |

Окончание таблицы 1

| 1                         | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| <i>Copepodit Copepoda</i> | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |
| <i>Nauplii Copepoda</i>   | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  | +  |
| <b>СУММА:</b>             | 93 | 75 | 69 | 91 | 30 | 57 | 62 | 37 | 83 | 37 | 29 | 46 | 44 | 27 | 28 |

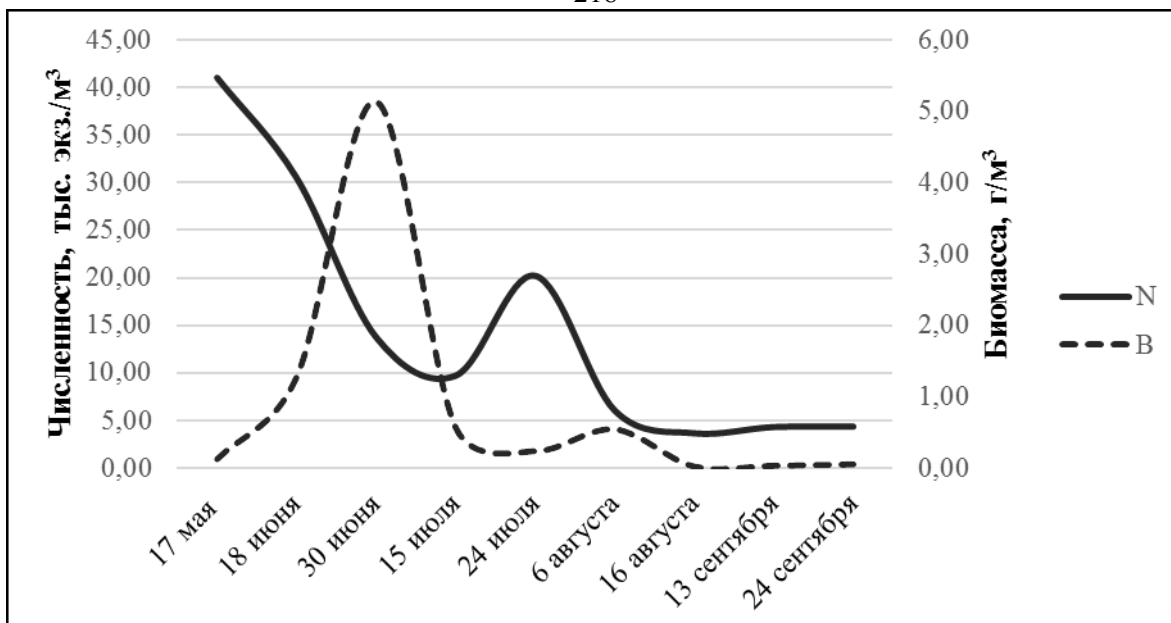


Рисунок 1. Сезонная динамика численности (тыс. экз./м³) и биомассы (г/м³) зоопланктона станции № 1 (Чебоксарское вдхр, Сормово) зоопланктоценоза волжского потока в 2015 г.

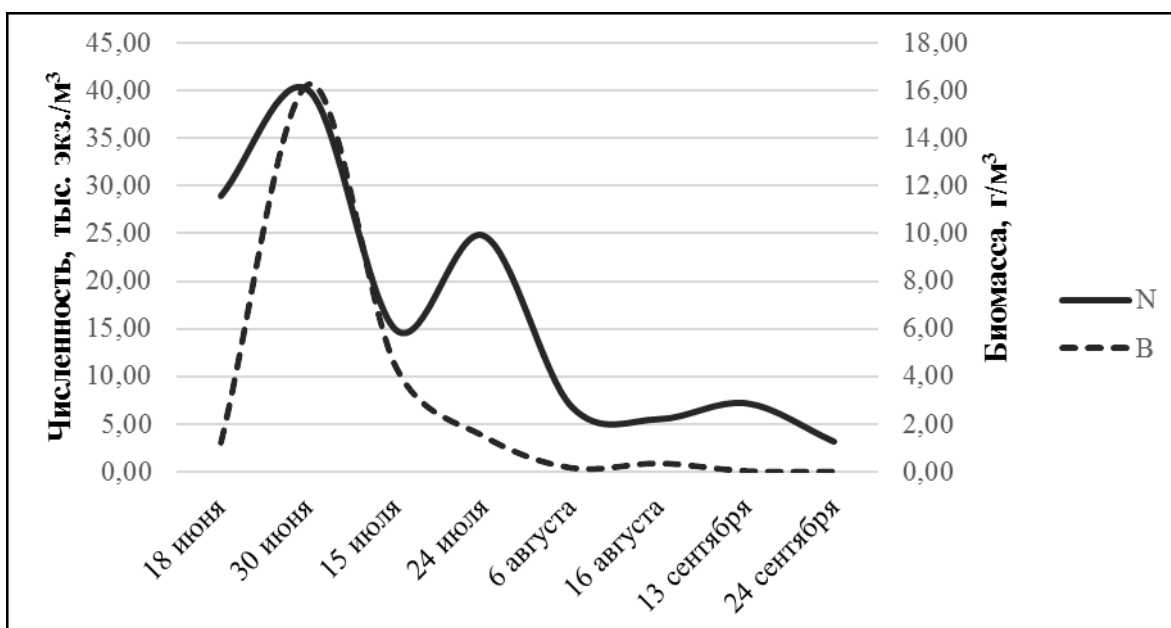


Рисунок 2. Сезонная динамика численности (тыс. экз./м³) и биомассы (г/м³) зоопланктона станции № 2 (Чебоксарское вдхр, Волжская набережная) зоопланктоценоза волжского потока в 2015 г.

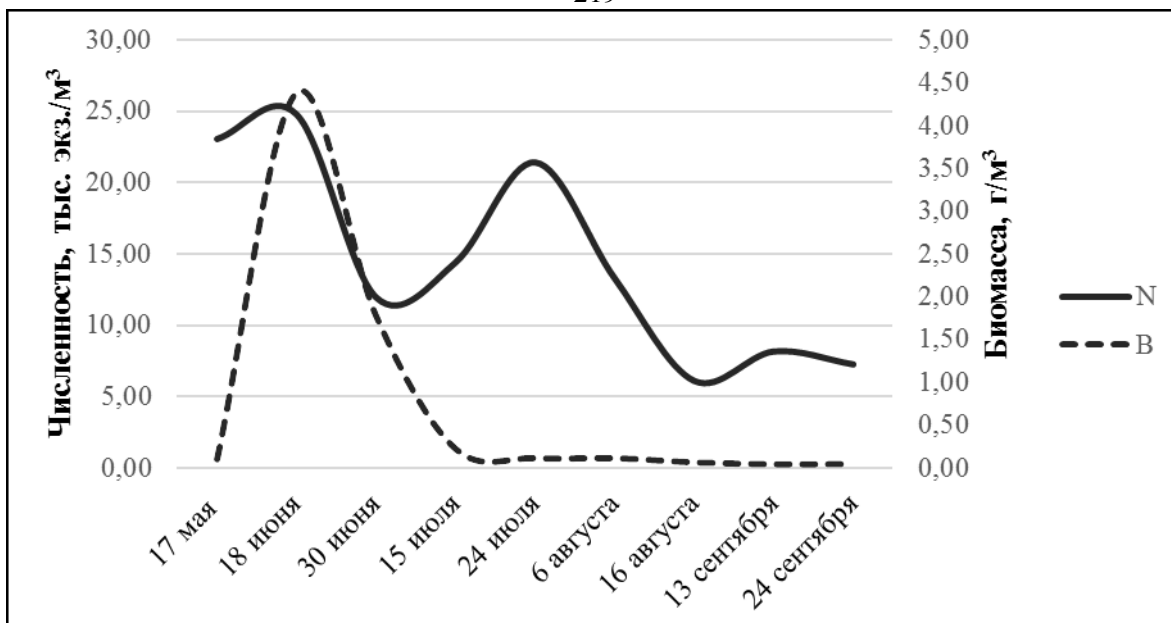


Рисунок 3. Сезонная динамика численности (тыс. экз./м³) и биомассы (г/м³) зоопланктона станции № 6 (Чебоксарское вдхр, г. Бор) зоопланктоценоза волжского потока в 2015 г.

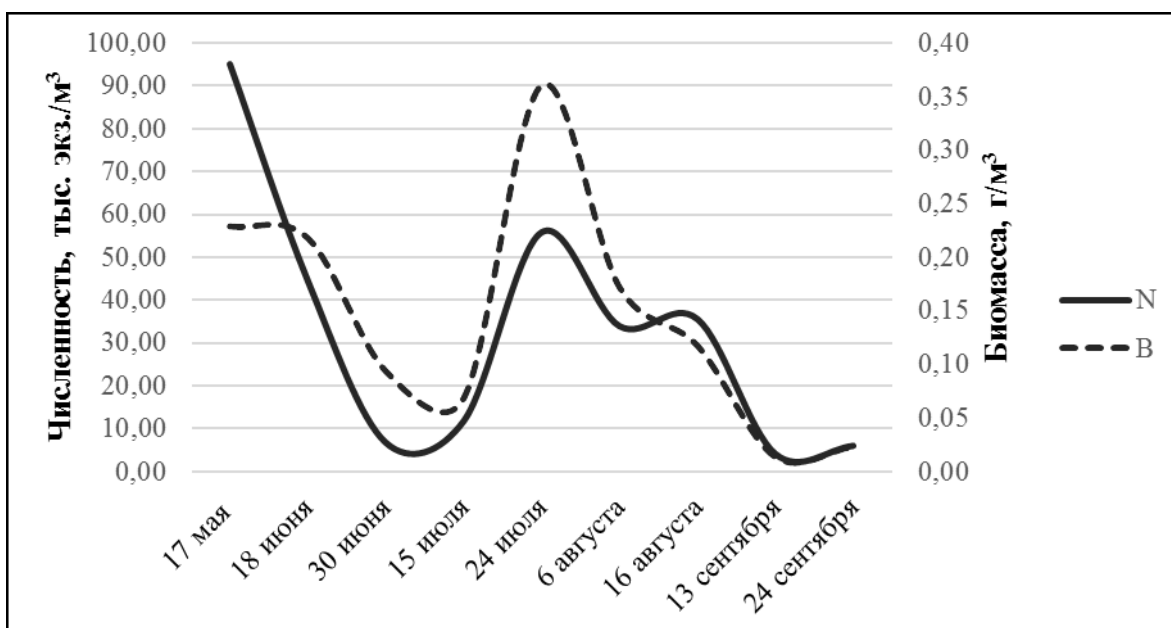


Рисунок 4. Сезонная динамика численности (тыс. экз./м³) и биомассы (г/м³) зоопланктона станции № 3 (Чебоксарское вдхр, г. Бор) зоопланктоценоза волжского потока в 2015 г.

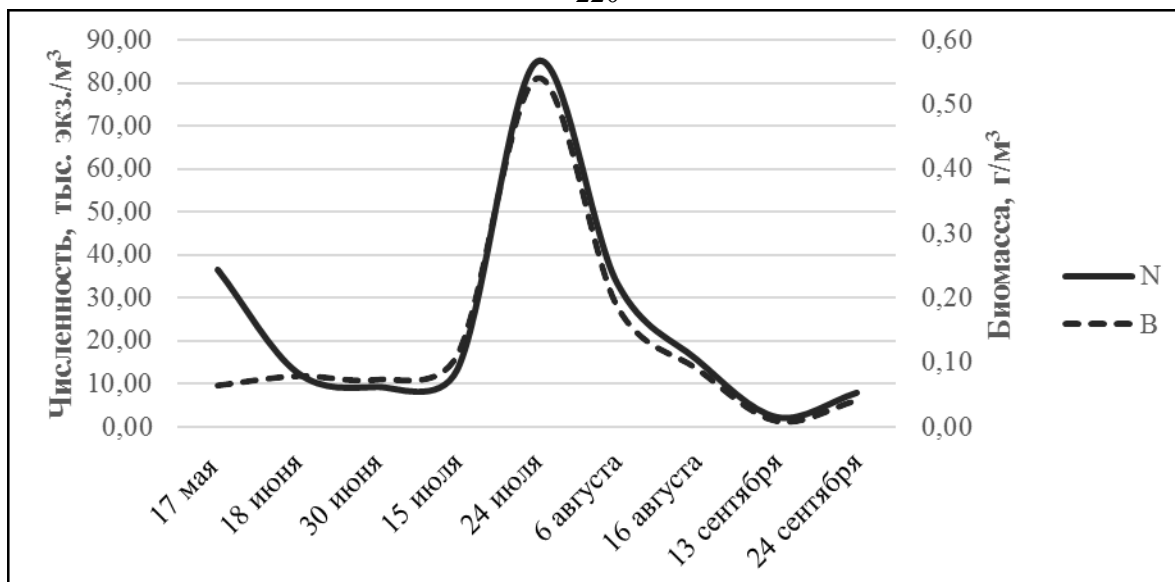


Рисунок 5. Сезонная динамика численности (тыс. экз./м³) и биомассы (г/м³) зоопланктона станции №4 (р. Ока, правый берег) зоопланктоценоза окского потока в 2015 г.

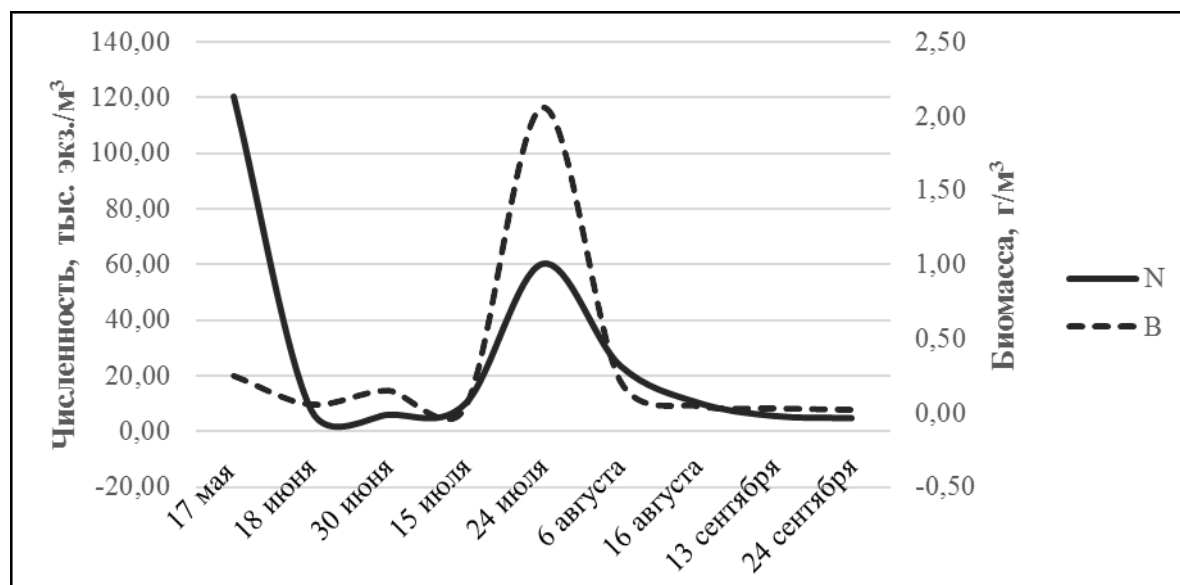


Рисунок 6. Сезонная динамика численности (тыс. экз./м³) и биомассы (г/м³) зоопланктона станции № 5 (Чебоксарское вдхр, г. Бор) зоопланктоценоза волжского потока в 2015 г.

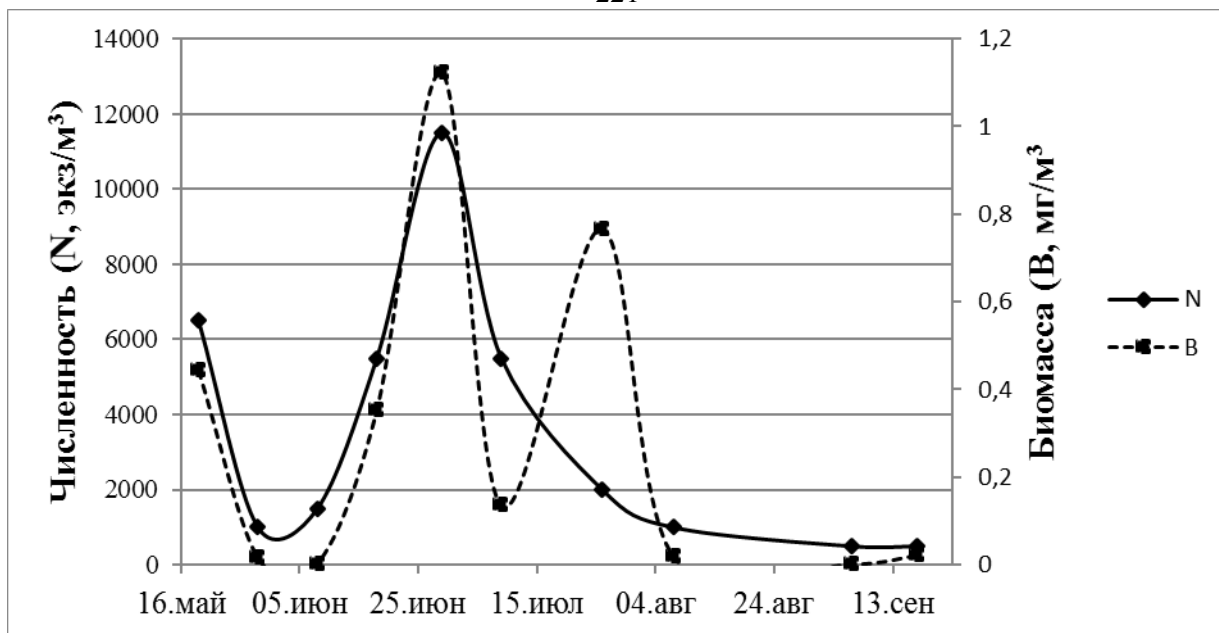


Рисунок 7. Численность (N, экз/м³) и биомасса (B, мг/ м³) зоопланктона станции №1 р. Старка в период с мая по сентябрь 2015 г.

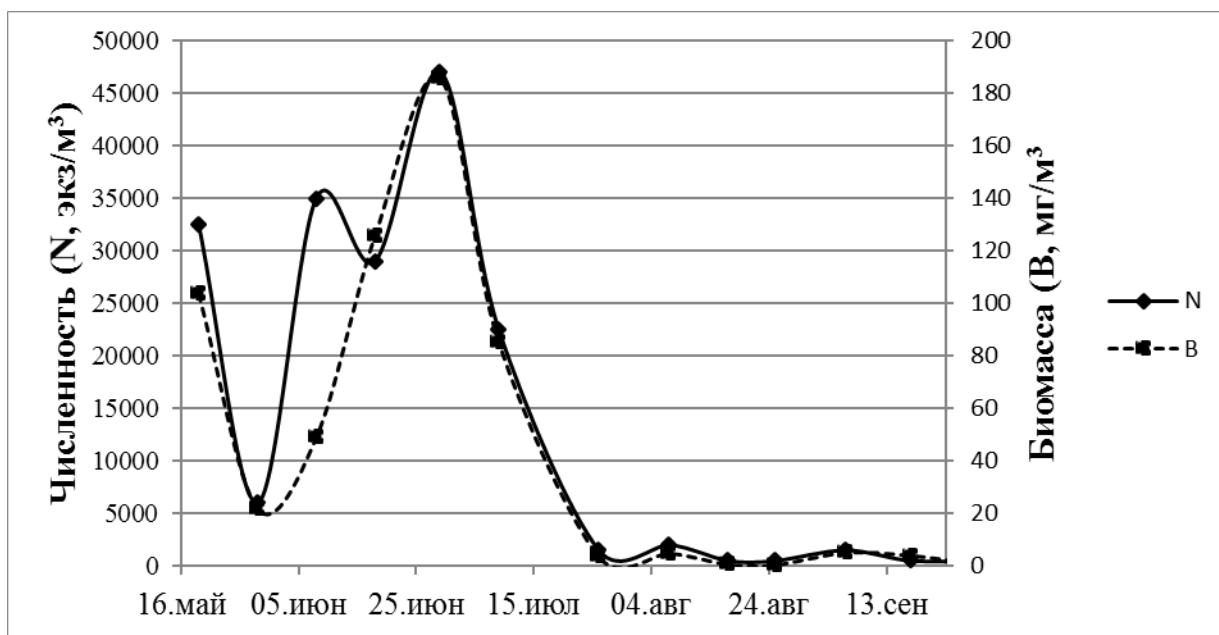


Рисунок 8. Численность (N, экз/м³) и биомасса (B, мг/ м³) зоопланктона станции №2 р. Кова в период с мая по сентябрь 2015 г.

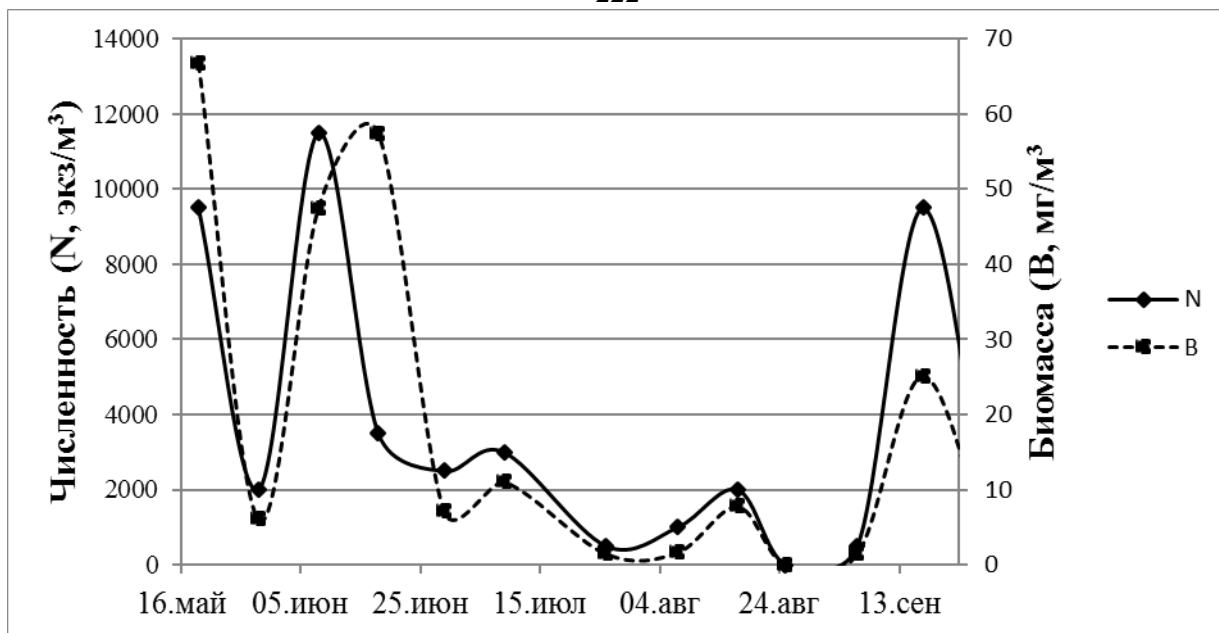


Рисунок 9. Численность (N, экз/м³) и биомасса (B, мг/ м³) зоопланктона станции №3 р. Кова в период с мая по сентябрь 2015 г.

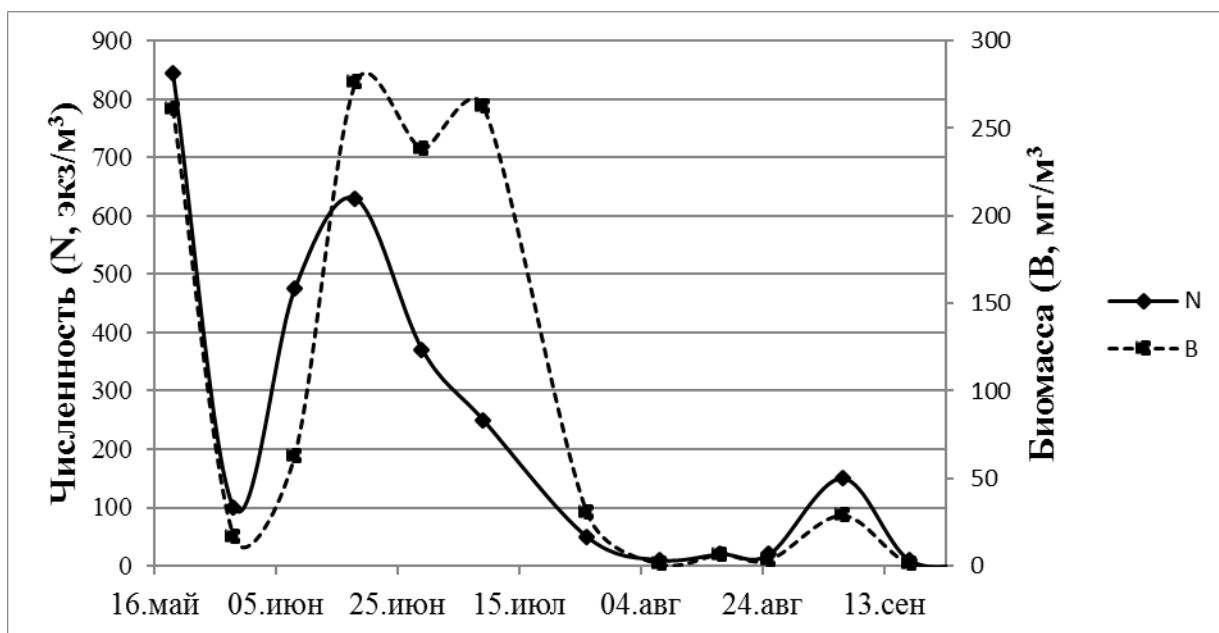


Рисунок 10. Численность (N, экз/м³) и биомасса (B, мг/ м³) зоопланктона станции №4 р. Старка в период с мая по сентябрь 2015 г.

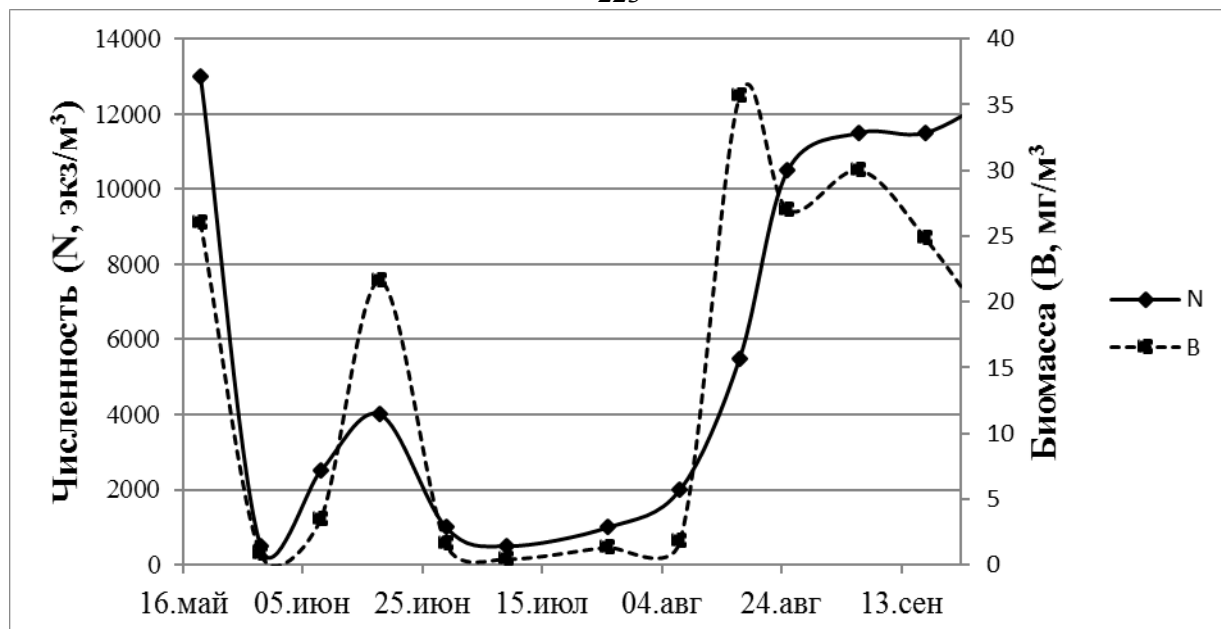


Рисунок 11. Численность (N, экз/м³) и биомасса (B, мг/ м³) зоопланктона станции №5 р. Рахма в период с мая по сентябрь 2015 г.

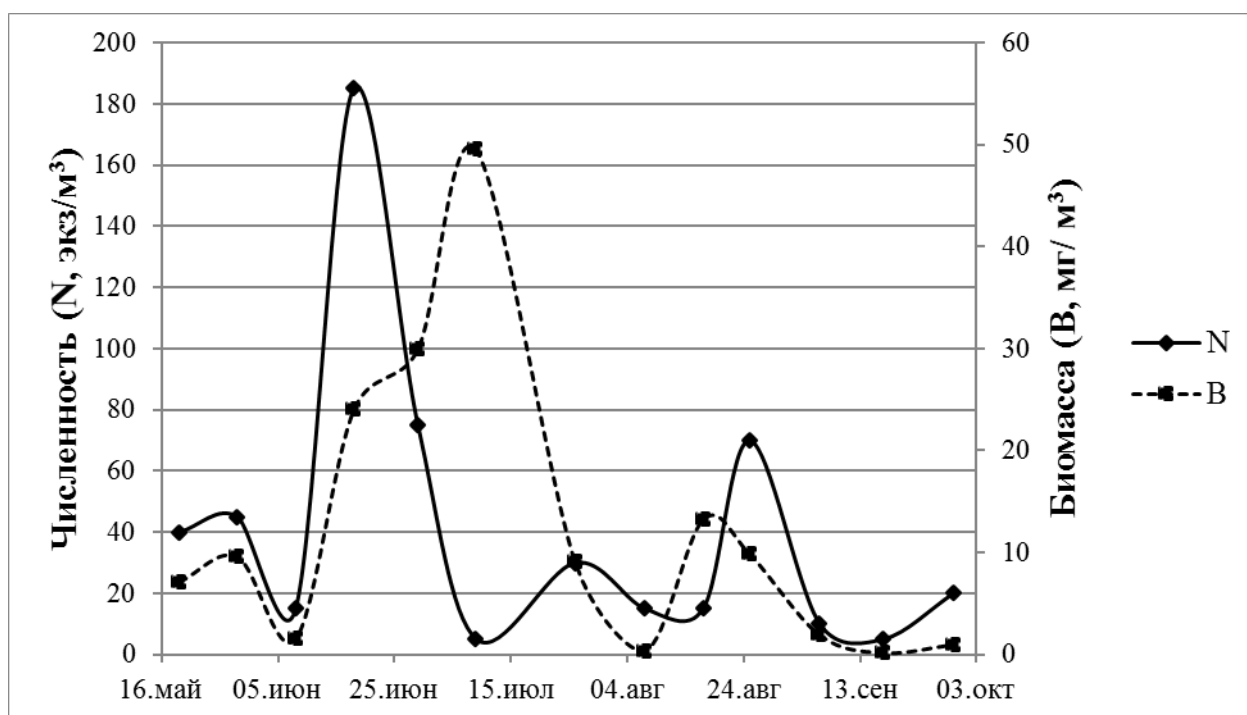


Рисунок 12. Численность (N, экз/м³) и биомасса (B, мг/ м³) зоопланктона станции №6 р. Кова в период с мая по сентябрь 2015 г.

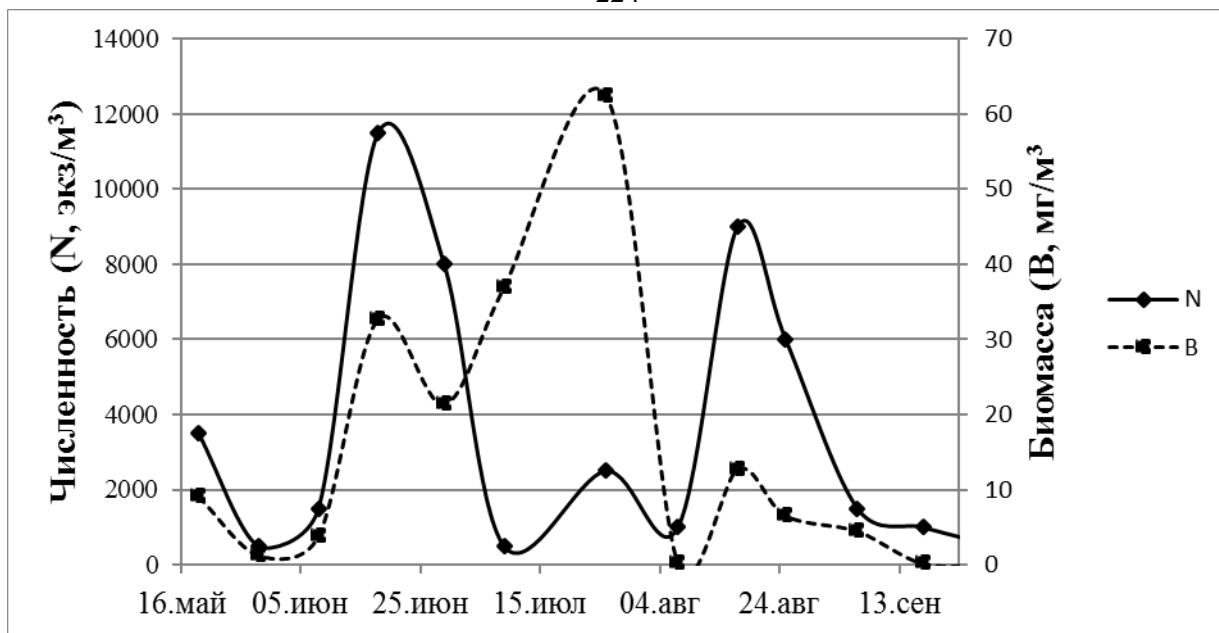


Рисунок 13. Численность (N, экз/м³) и биомасса (B, мг/ м³) зоопланктона станции №7 р. Кова в период с мая по сентябрь 2015 г.

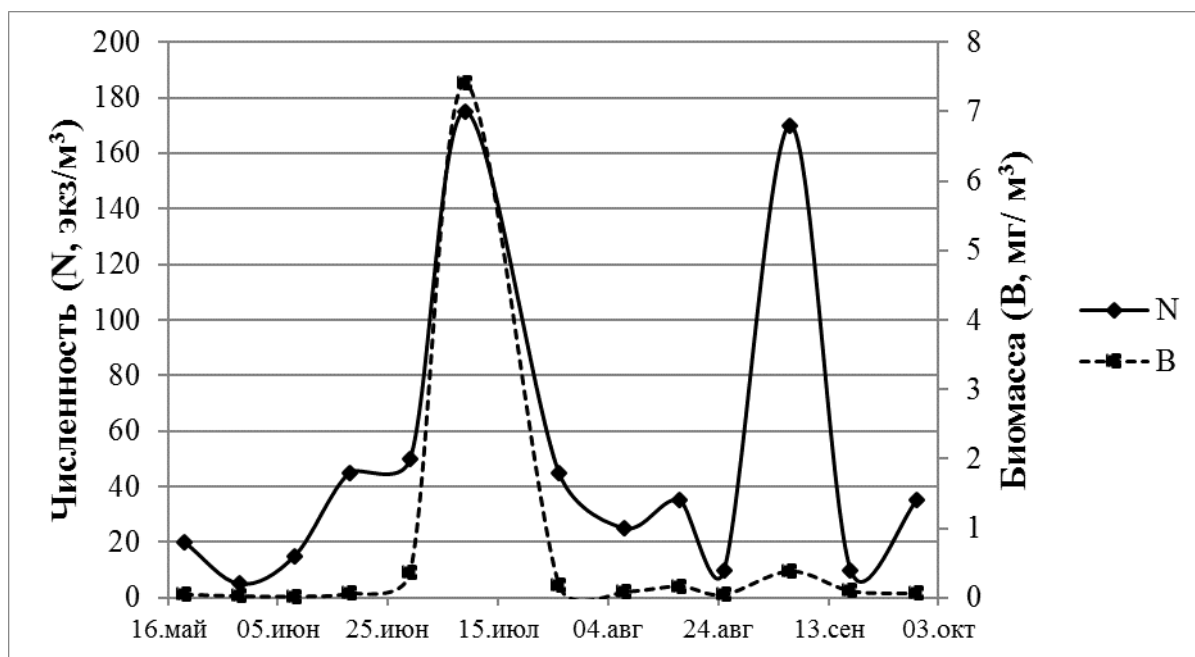


Рисунок 14. Численность (N, экз/м³) и биомасса (B, мг/ м³) зоопланктона станции №8 р. Рахма в период с мая по сентябрь 2015 г.

Таблица 2

Экологическая характеристика видов зоопланктона, идентифицированных за вегетационный сезон 2015 года на акватории Чебоксарского водохранилища, р. Оки, р. Линды, р. Кудьмы и малых водотков г. Нижнего Новгорода (по: Кутикова, 1970; Чуйков, 1978, 2000; Алексеев, Цалолихина, 2010; Kotov, Forró, Korovchinsky, Petrusek, 2013)

| №                                                                                                     | Таксон                                     | Способ передвижения | Способ захвата пищи | Трофический уровень и основная пища                                  | Распространение | Значение индекса сапробности (S) | Экогруппировка* | Другая информация                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                     | 2                                          | 3                   | 4                   | 5                                                                    | 6               | 7                                | 8               | 9                                                                     |
| <b>Тип – Rotifera (Cuvier, 1817)</b><br><b>Класс – Eurotatoria (De Ridder, 1957)</b>                  |                                            |                     |                     |                                                                      |                 |                                  |                 |                                                                       |
| 1                                                                                                     | <i>Bdelloida sp.</i> (non det.)            | –                   | –                   | –                                                                    | –               | 2,20                             | ПБ              | –                                                                     |
| <b>Отряд – Ploima (Hudson &amp; Gosse, 1886)</b><br><b>Семейство – Asplanchnidae (Eckstein, 1883)</b> |                                            |                     |                     |                                                                      |                 |                                  |                 |                                                                       |
| 2                                                                                                     | <i>Asplanchna girodi</i> (de Guerne, 1888) | –                   | –                   | –                                                                    | –               | 1,40                             | ЭП              | встречается преимущественно в прудах и озерах умеренных и южных широт |
| 3                                                                                                     | <i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850)  | плавание            | захват и всасывание | II, III, фито-, бактерио- и мелкий зоопланктон, добычу не преследуют | космополит      | 1,50                             | ЭП              | встречается повсеместно, а также в солоноватых и морских водах        |
| <b>Семейство – Synchaetidae (Hudson &amp; Gosse, 1886)</b>                                            |                                            |                     |                     |                                                                      |                 |                                  |                 |                                                                       |
| 4                                                                                                     | <i>Bipalpus hudsoni</i> (Imhof, 1891)      | плавание            | захват и всасывание | III; зоопланктон                                                     | космополит      | 1,00                             | ЭП              | –                                                                     |
| 5                                                                                                     | <i>Ploesoma truncatum</i> (Levander, 1894) | –                   | –                   | –                                                                    | космополит      | –                                | ЭП              | лимнофил                                                              |

\*Примечание. ЭП – эупланктонный вид; Ф – фитофильный вид; ПБ – планктобентический вид; Б – бентический вид; ЭТ – эвритопный вид.



| 1  | 2                                                       | 3                      | 4          | 5                                                                            | 6          | 7    | 8     | 9                                                                    |
|----|---------------------------------------------------------|------------------------|------------|------------------------------------------------------------------------------|------------|------|-------|----------------------------------------------------------------------|
| 17 | <i>Anuraeopsis fissa</i><br>(Gosse, 1851)               | –                      | –          | –                                                                            | космополит | 1,20 | ЭП    | встречается в<br>небольших водоемах,<br>теплолюбивый                 |
| 18 | <i>Brachionus<br/>angularis</i> (Gosse, 1851)           | плавание и<br>ползание | вертикация | II, бактерио- и<br>фитопланктон,<br>взвешенный<br>мелкодисперсн<br>ый детрит | космополит | 2,50 | ЭП    | встречается в пресных<br>и солоноватых водах                         |
| 19 | <i>Brachionus bidentata</i><br>(Anderson, 1889)         |                        |            |                                                                              | космополит | –    | ЭП    | встречается в прудах,<br>озерах, реках,<br>теплолюбивый южный<br>вид |
| 20 | <i>Brachionus<br/>calyciflorus</i> (Pallas,<br>1766)    |                        |            |                                                                              | космополит | 2,50 | ЭП    | реофил                                                               |
| 21 | <i>Brachionus<br/>diversicornis</i> (Daday,<br>1883)    |                        |            |                                                                              | космополит | 2,00 | ЭП    | распространен в<br>южных областях                                    |
| 22 | <i>Brachionus<br/>quadridentatus</i><br>(Hermann, 1783) |                        |            |                                                                              | космополит | 2,00 | ЭП, Ф | встречается среди<br>макрофитов и<br>пелагиали                       |
| 23 | <i>Brachionus<br/>leydigi</i> (Cohn, 1862)              |                        |            |                                                                              | космополит | –    | ЭП    | встречается в<br>небольших эвтрофных<br>водоемах                     |
| 24 | <i>Brachionus nilsoni</i><br>(Ahlstrom, 1940)           |                        |            |                                                                              | космополит | –    | ЭП    | индикатор загрязнения<br>вод                                         |
| 25 | <i>Brachionus urceus</i><br>(Linnaeus, 1758)            |                        |            |                                                                              | космополит | 2,20 | ЭП    | встречается в<br>водоемах с<br>повышенной<br>сапробностью            |
| 26 | <i>Brachionus variabilis</i><br>(Hempel, 1896)          |                        |            |                                                                              | космополит | –    | ЭП    | встречается как<br>комменсал на рачках,<br>теплолюбив                |

## Продолжение таблицы 2

| 1     | 2                                                      | 3                   | 4          | 5                                                               | 6                                   | 7    | 8  | 9                                                                    |
|-------|--------------------------------------------------------|---------------------|------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------|----|----------------------------------------------------------------------|
| 27    | <i>Kellicottia bostoniensis</i> (Rousselet, 1908)      | плавание и ползание | вертикация | II, бактерио- и фитопланктон, взвешенный мелкодисперсный детрит | неарктика, неотропики               | –    | ЭП | североамериканский вид-вселенец                                      |
| 28    | <i>Kellicottia longispina</i> (Kellicott, 1879)        |                     |            |                                                                 | космополит                          | 1,25 | ЭП | холоднолюбивый                                                       |
| 29. 1 | <i>Keratella cochlearis cochlearis</i> (Gosse, 1851)   |                     |            |                                                                 | космополит                          | 1,55 | ЭП | встречается в разнотипных водоемах                                   |
| 29. 2 | <i>Keratella cochlearis hispida</i> (Lauterborn, 1898) |                     |            |                                                                 | космополит                          | 1,55 | ЭП | встречается в разнотипных водоемах                                   |
| 29. 3 | <i>Keratella cochlearis tecta</i> (Gosse, 1851)        |                     |            |                                                                 | космополит                          | 1,55 | ЭП | встречается в разнотипных водоемах                                   |
| 30    | <i>Keratella quadrata</i> (O.F. Muller, 1786)          |                     |            |                                                                 | космополит                          | 1,55 | ЭП | наиболее распространенный вид в планктоне водоемов и побережья морей |
| 31    | <i>Keratella testudo</i> (Ehrenberg, 1832)             |                     |            |                                                                 | афротропики, неарктика, палеарктика | 1,55 | ЭП | распространен в небольших водоемах и болотах                         |
| 32    | <i>Keratella valga</i> (Ehrenberg, 1834)               |                     |            |                                                                 | космополит                          | 1,40 | ЭП | теплолюбивый (умеренные широты)                                      |
| 33    | <i>Notholca acuminata</i> (Ehrenberg, 1832)            |                     |            |                                                                 | афротропики, палеарктика            | 1,20 | ЭП | распространен в пресных и солоноватых водах северных широт           |
| 34    | <i>Notholca caudata</i> (Carlin, 1943)                 |                     |            |                                                                 | неарктика, палеарктика              | –    | ЭП | обычно встречается в озера                                           |
| 35    | <i>Notholca foliacea</i> (Ehrenberg, 1838)             |                     |            |                                                                 | космополит                          | –    | ЭП | –                                                                    |

| 1                                           | 2                                              | 3                   | 4                       | 5                                                                  | 6          | 7    | 8  | 9                                                                                                            |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------|------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 36                                          | <i>Platyias patulus</i> (Muller, 1786)         | плавание и ползание | вертикация              | П, бактерио- и фитопланктон, взвешенный мелкодисперсн<br>ый детрит | космополит | 1,80 | ПБ | встречается в небольших водоемах                                                                             |
| 37                                          | <i>Platyias quadricornis</i> (Ehrenberg, 1832) |                     |                         |                                                                    | космополит | 1,80 | Ф  | встречается в прибрежной зоне различных водоемах                                                             |
| Семейство – <i>Lecanidae</i> (Remane, 1933) |                                                |                     |                         |                                                                    |            |      |    |                                                                                                              |
| 38                                          | <i>Lecane arcuata</i> (Bryce, 1891)            | плавание и ползание | вертикация и всасывание | П, бактерио- и фитопланктон, взвешенный мелкодисперсн<br>ый детрит | космополит | –    | ЭП | встречается в ручьях, родниках, реже в болотах, иногда в термальных источниках                               |
| 39                                          | <i>Lecane brachydactyla</i> (Stenroos, 1898)   |                     |                         |                                                                    | космополит | –    | ПБ | обычен среди сфагнома, в болотах, мягкой кислой воде прудов                                                  |
| 40                                          | <i>Lecane bulla</i> (Gosse, 1851)              |                     |                         |                                                                    | космополит | 1,35 | Ф  | обитает в разнотипных водоемах, особенно часто в заросших                                                    |
| 41                                          | <i>Lecane closterocerca</i> (Schmarda, 1859)   |                     |                         |                                                                    | космополит | –    | Ф  | убиквист, встречается во мху, песке, стоячих водоемах, термальных источниках и жаберной полости речных раков |
| 42                                          | <i>Lecane cornuta</i> (O.F. Muller, 1786)      |                     |                         |                                                                    | космополит | 1,50 | Ф  | распространен в мелких водоемах и прибрежных зонах                                                           |
| 43                                          | <i>Lecane flexilis</i> (Gosse, 1886)           |                     |                         |                                                                    | космополит | 1,10 | Ф  | распространен среди мха и растительности                                                                     |

| 1                                                | 2                                             | 3                   | 4                       | 5                                                               | 6          | 7    | 8  | 9                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------|------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 44                                               | <i>Lecane hamata</i> (Stokes, 1896)           | плавание и ползание | вертикация и всасывание | II, бактерио- и фитопланктон, взвешенный мелкодисперсный детрит | космополит | 1,20 | Ф  | встречается в заросших водоемах, иногда в планктоне и в песке                                                     |
| 45                                               | <i>Lecane luna</i> (Müller, 1776)             |                     |                         |                                                                 | космополит | 1,55 | ПБ | β-мезосапроб, распространен чаще в прибрежной зоне                                                                |
| 46                                               | <i>Lecane lunaris</i> (Ehrenberg, 1832)       |                     |                         |                                                                 | космополит | 1,35 | ПБ | встречается в небольших водоемах, болотах, иногда в солоноватых и термальных водах, встречается также в планктоне |
| 47                                               | <i>Lecane quadridentata</i> (Ehrenberg 1832)  |                     |                         |                                                                 | космополит | —    | Ф  | в разнотипных водоемах                                                                                            |
| 48                                               | <i>Lecane scutata</i> (Harring & Myers, 1926) |                     |                         |                                                                 | космополит | 1,00 | ПБ | распространен в болотах и береговом песке                                                                         |
| 49                                               | <i>Lecane stenroosi</i> (Meissner, 1908)      |                     |                         |                                                                 | космополит | —    | ПБ | широко распространен среди растительности текущих и стоячих вод, также на рисовых полях                           |
| 50                                               | <i>Lecane unguolata</i> (Gosse, 1887)         |                     |                         |                                                                 | космополит | 1,15 | Ф  | распространен в стоячих небольших водоемах                                                                        |
| Семейство – <i>Epiphanidae</i> (Ehrehberg, 1832) |                                               |                     |                         |                                                                 |            |      |    |                                                                                                                   |
| 51                                               | <i>Epiphanes senta</i> (Müller, 1773)         | —                   | —                       | —                                                               | космополит | —    | Ф  | во временных водоемах, загрязненных и солоноватых водах                                                           |

| 1                                                 | 2                                                           | 3                   | 4          | 5                                                        | 6          | 7    | 8  | 9                                                                                           |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------|------------|----------------------------------------------------------|------------|------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Семейство - Trichotriidae (Harring, 1913)</b>  |                                                             |                     |            |                                                          |            |      |    |                                                                                             |
| 52                                                | <i>Trichotria curta</i><br>(Skorikov, 1914)                 | —                   | —          | —                                                        | космополит | —    | ПБ | встречается в водотоках                                                                     |
| 53                                                | <i>Trichotria pocillum</i><br>(Müller, 1766)                | —                   | —          | —                                                        | —          | 1,10 | ПБ | встречается в пресных и солоноватых водах                                                   |
| 54                                                | <i>Trichotria truncata</i><br>(Whitelegge, 1889)            | —                   | —          | —                                                        | космополит | 1,20 | ПБ | встречается в кислых водах, в сфагнуме                                                      |
| <b>Семейство – Trichocercidae (Harring, 1913)</b> |                                                             |                     |            |                                                          |            |      |    |                                                                                             |
| 55                                                | <i>Trichocerca bidens</i><br>(Lucks, 1912)                  | ползание и плавание | всасывание | II, детрит и бактерии с поверхности подводных субстратов | космополит | 1,60 | Ф  | встречается в торфяных болот, водоемов заболоченных районов, прудах, старицах и заводях рек |
| 56                                                | <i>Trichocerca brachyura</i><br>(Gosse, 1851)               |                     |            |                                                          | космополит | 1,60 | Ф  | встречается в прудах иногда в псаммоне и в болотах                                          |
| 57                                                | <i>Trichocerca elongata</i><br>(Gosse, 1886)                |                     |            |                                                          | космополит | 1,00 | Ф  | встречается в разнотипных водоемах                                                          |
| 58                                                | <i>Trichocerca longiseta</i><br>(Schränk, 1802)             |                     |            |                                                          | космополит | 1,60 | Ф  | встречается в разнотипных водоемах                                                          |
| 59                                                | <i>Trichocerca similis</i> (Wierzejski, 1893)               |                     |            |                                                          | космополит | 1,30 | Ф  | в придонных слоях, среди водной растительности и болотах                                    |
| 60                                                | <i>Trichocerca capucina</i><br>Wierzejski & Zacharias, 1893 |                     |            |                                                          | космополит | 1,00 | Ф  | —                                                                                           |
| 61                                                | <i>Trichocerca cylindrica</i> (Imhof, 1891)                 | ползание и плавание | всасывание | II, детрит и бактерии с поверхности                      | космополит | 1,00 | Ф  | лимнофил (озера, пруды и болота)                                                            |

| 1                                                | 2                                             | 3 | 4 | 5                    | 6          | 7    | 8  | 9                                                                                      |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---|---|----------------------|------------|------|----|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 62                                               | <i>Trichocerca pusilla</i> (Lauterborn, 1898) |   |   | подводных субстратов | космополит | 1,30 | Ф  | распространен в озерах, болотистых и солоноватых водах                                 |
| 63                                               | <i>Trichocerca stylata</i> (Gosse, 1851)      |   |   |                      | космополит | 1,30 | Ф  | лимнофил (озера, пруды и болота)                                                       |
| 64                                               | <i>Trichocerca weberi</i> (Jennings, 1903)    |   |   |                      | космополит | —    | Ф  | встречается в прудах и болотах                                                         |
| Семейство - <i>Mytilinidae</i> (Harring, 1913)   |                                               |   |   |                      |            |      |    |                                                                                        |
| 65                                               | <i>Mytilina mucronata</i> (O.F. Muller 1773)  | — | — | —                    | космополит | 1,85 | ПБ | широко распространен в разнотипных водоемах                                            |
| 66                                               | <i>Mytilina ventralis</i> (Ehrenberg, 1832)   | — | — | —                    | космополит | 1,00 | Ф  | встречается в небольших водоемах                                                       |
| Семейство – <i>Lepadellidae</i> (Harring, 1913)  |                                               |   |   |                      |            |      |    |                                                                                        |
| 67                                               | <i>Lepadella acuminata</i> (Ehrenberg, 1834)  | — | — | —                    | космополит | 1,30 | Ф  | встречается в разнотипных водоемах и в почве                                           |
| 68                                               | <i>Lepadella ovalis</i> (Müller, 1786)        | — | — | —                    | космополит | 1,25 | ПБ | встречается в разнотипных водоемах, в том числе и минерализованных (серных) источниках |
| 69                                               | <i>Lepadella patella</i> (O.F. Muller, 1773)  | — | — | —                    | космополит | 1,25 | ПБ | широко распространен в том числе в солоноватых и кислых водах                          |
| Семейство – <i>Gastropodidae</i> (Harring, 1913) |                                               |   |   |                      |            |      |    |                                                                                        |
| 70                                               | <i>Ascomorpha ecaudis</i> (Perty, 1850)       | — | — | —                    | космополит | 1,30 | Ф  | распространен в разнотипных водоемах                                                   |

| 1                                                        | 2                                            | 3                   | 4          | 5                                                               | 6          | 7    | 8  | 9                                                                                         |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------|------------|-----------------------------------------------------------------|------------|------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 71                                                       | <i>Gastropus hyptopus</i> (Ehrenberg, 1838)  | —                   | —          | —                                                               | космополит | 1,00 | Ф  | —                                                                                         |
| Семейство – <i>Euchlanidae</i> (Ehrenberg, 1838)         |                                              |                     |            |                                                                 |            |      |    |                                                                                           |
| 72                                                       | <i>Euchlanis deflexa</i> (Gosse, 1851)       | ползание и плавание | вертикация | II, бактерио- и фитопланктон, взвешенный мелкодисперсный детрит | космополит | 1,50 | Ф  | встречается в России повсеместно                                                          |
| 73                                                       | <i>Euchlanis dilatata</i> (Ehrenberg, 1832)  |                     |            |                                                                 | космополит | 1,50 | ЭП | распространен в прибрежной зоне                                                           |
| 74                                                       | <i>Euchlanis insica</i> (Carlin, 1939)       |                     |            |                                                                 | космополит | 1,50 | Ф  | встречается в различных небольших и в прибрежных зонах больших водоемов                   |
| 75                                                       | <i>Euchlanis lyra</i> (Hudson, 1886)         |                     |            |                                                                 | космополит | 1,00 | Ф  | в прибрежной зоне крупных водоемов                                                        |
| 76                                                       | <i>Euchlanis meneta</i> (Myers, 1930)        |                     |            |                                                                 | космополит | 1,00 | Ф  | в небольших водоемах, болотах                                                             |
| 77                                                       | <i>Euchlanis triquerta</i> (Ehrenberg, 1838) |                     |            |                                                                 | космополит | 1,60 | Ф  | в болотах и прибрежных зонах различных водоемов                                           |
| Семейство – <i>Notommatidae</i> (Hudson and Gosse, 1886) |                                              |                     |            |                                                                 |            |      |    |                                                                                           |
| 78                                                       | <i>Cephalodella catellina</i> (Muller, 1786) | —                   | —          | —                                                               | космополит | —    | ПБ | в пресных, солоноватых, соленых морских и термальных водах, также среди прибрежного песка |

| 1                                                                                                                  | 2                                                     | 3 | 4 | 5 | 6                         | 7    | 8  | 9                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---|---|---|---------------------------|------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 79                                                                                                                 | <i>Cephalodella gibba</i><br>(Ehrenberg, 1830)        | — | — | — | космополит                | 1,35 | ПБ | Встречается в прибрежном песке различных водоемов, а также в болотистых, солоноватых и минерализованных термальных вод |
| 80                                                                                                                 | <i>Cephalodella megalcephala</i><br>(Glasscott, 1893) | — | — | — | космополит                | 1,50 | ПБ | встречается в заросших водоемах среди прибрежного песка                                                                |
| 81                                                                                                                 | <i>Notommata aurita</i> (O.F. Muller, 1786)           | — | — | — | неарктика,<br>палеарктика | 1,00 | ЭП | встречается в пресных и солоноватых водах                                                                              |
| <b>Семейство – <i>Dicranophoridae</i> (Harring, 1913)</b>                                                          |                                                       |   |   |   |                           |      |    |                                                                                                                        |
| 82                                                                                                                 | <i>Dicranophorus grandis</i> (Ehrenberg, 1832)        | — | — | — | космополит                | —    | Ф  | распространен среди растений в канавах и лужах                                                                         |
| <b>Отряд – <i>Philodinida</i> (Melone &amp; Ricci, 1995)<br/>Семейство – <i>Philodinidae</i> (Ehrenberg, 1838)</b> |                                                       |   |   |   |                           |      |    |                                                                                                                        |
| 83                                                                                                                 | <i>Dissotrocha aculeata</i><br>(Ehrenberg 1832)       | — | — | — | космополит                | —    | Ф  | встречается в различных водоемах                                                                                       |
| 84                                                                                                                 | <i>Rotaria rotatoria</i> (Pallas, 1766)               | — | — | — | космополит                | 3,25 | ПБ | встречается в термальных источниках и как эпибионт на водных животных                                                  |
| 85                                                                                                                 | <i>Rotaria neptunia</i><br>(Ehrenberg, 1830)          | — | — | — | космополит                | —    | ПБ | встречается в загрязненных водоемах, а также как эврибионт на водных животных                                          |

| 1                                                                                                 | 2                                               | 3                        | 4          | 5                                                               | 6          | 7    | 8  | 9                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------|------------|------|----|------------------------------------------------------------------------|
| Отряд – <i>Flosculariaceae</i> (Harring, 1913)<br>Семейство – <i>Conochilidae</i> (Harring, 1913) |                                                 |                          |            |                                                                 |            |      |    |                                                                        |
| 86                                                                                                | <i>Conochiloides coenobasis</i> (Skorikov 1914) | –                        | –          | –                                                               | космополит | –    | ЭП | встречается летом в озерах, прудах, летом                              |
| 87                                                                                                | <i>Conochilus hippocrepis</i> (Schrank, 1803)   | прикрепление к субстрату | вертикация | П, бактерио- и фитопланктон, взвешенный мелкодисперсн ый детрит | космополит | 1,15 | ЭП | теплолюбивый                                                           |
| 88                                                                                                | <i>Conochilus unicornis</i> (Rousselet, 1892)   |                          |            |                                                                 | космополит | 1,30 | ЭП | холодноводный                                                          |
| Семейство – <i>Testudinellidae</i> (Harring, 1913)                                                |                                                 |                          |            |                                                                 |            |      |    |                                                                        |
| 89                                                                                                | <i>Testudinella bidentata</i> (Ternetz, 1892)   | –                        | –          | –                                                               | космополит | 1,20 | Ф  | широко распространен в небольших водоемах                              |
| 90                                                                                                | <i>Testudinella patina</i> (Hermann, 1783)      | –                        | –          | –                                                               | космополит | 1,85 | ПБ | –                                                                      |
| Семейство – <i>Filiniidae</i> (Harring & Myers, 1926)                                             |                                                 |                          |            |                                                                 |            |      |    |                                                                        |
| 91                                                                                                | <i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)      | плавание                 | вертикация | П, взвешенный мелкодисперсн ый детрит, бактерио- и фитопланктон | космополит | 2,35 | ЭП | –                                                                      |
| Семейство – <i>Hexarthridae</i> (Bartos, 1959)                                                    |                                                 |                          |            |                                                                 |            |      |    |                                                                        |
| 92                                                                                                | <i>Hexarthra mira</i> (Hudson, 1871)            | –                        | –          | –                                                               | –          | 1,80 | Ф  | встречается в разнотипных водоемах умеренных и южных широт, теплолюбив |

| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2                                               | 3                      | 4                       | 5                                                                   | 6                                          | 7    | 8  | 9                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------|----|--------------------------------------------------------|
| <b>Тип – <i>Arthropoda</i> (Latreille, 1829)</b><br><b>Класс – <i>Branchiopoda</i> (Latreille, 1817)</b><br><b>Отряд – <i>Diplostraca</i> (Gerstaecker, 1866)</b><br><b>Подотряд – <i>Cladocera</i> (Latreille, 1829)</b><br><b>Семейство – <i>Chydoridae</i> (Stebbing, 1902)</b> |                                                 |                        |                         |                                                                     |                                            |      |    |                                                        |
| 93                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <i>Acroperus angustatus</i> (Sars 1863)         | –                      | –                       | –                                                                   | неарктика,<br>палеарктика                  | –    | Ф  | –                                                      |
| 94                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <i>Acroperus harpae</i> (Baird, 1834)           | –                      | –                       | –                                                                   | неарктика,<br>палеарктика                  | 1,40 | Ф  | встречается в<br>некоторых<br>тропических регионах     |
| 95                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <i>Alona affinis</i> (Leydig, 1860)             | ползание и<br>плавание | вторичная<br>фильтрация | П, детрит и<br>бактерии с<br>поверхности<br>подводных<br>субстратов | палеарктика                                | 1,10 | ПБ | –                                                      |
| 96                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <i>Alona costata</i> (Sars, 1862)               |                        |                         |                                                                     | неарктика,<br>палеарктика                  | 1,30 | Ф  | –                                                      |
| 97                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <i>Alona guttata</i> (Sars, 1862)               |                        |                         |                                                                     | палеарктика                                | 1,50 | Ф  | –                                                      |
| 98                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <i>Alona intermedia</i> (Sars 1862)             |                        |                         |                                                                     | неарктика,<br>палеарктика,<br>палеотропики | 1,20 | ПБ | встречается<br>преимущественно на<br>открытой литорали |
| 99                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <i>Alona quadrangularis</i> (O.F. Müller, 1776) |                        |                         |                                                                     | неарктика,<br>палеарктика                  | 1,40 | ПБ | распространен в<br>прибрежье на илистых<br>грунтах     |
| 100                                                                                                                                                                                                                                                                                | <i>Alona rectangula</i> (Sars, 1862)            | –                      | –                       | –                                                                   | палеарктика,<br>палеотропики               | 1,30 | ПБ | встречается в<br>разнообразных<br>водоемах             |
| 101                                                                                                                                                                                                                                                                                | <i>Alonella excisa</i> (Fischer, 1854)          |                        |                         |                                                                     | космополит                                 | 1,20 | Ф  | –                                                      |
| 102                                                                                                                                                                                                                                                                                | <i>Alonella exigua</i> (Lilljeborg 1853)        |                        |                         |                                                                     | неарктика,<br>палеарктика,<br>палеотропики | 1,20 | Ф  | –                                                      |

| 1   | 2                                                  | 3                      | 4                       | 5                                                                   | 6                                          | 7    | 8  | 9                                                                                    |
|-----|----------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|------|----|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 103 | <i>Alonella nana</i> (Baird, 1850)                 | —                      | —                       | —                                                                   | неарктика,<br>палеарктика,                 | 1,60 | Ф  | —                                                                                    |
| 104 | <i>Chydorus gibbus</i> (Sars, 1862)                | ползание и<br>плавание | вторичная<br>фильтрация | П, детрит и<br>бактерии с<br>поверхности<br>подводных<br>субстратов | неарктика,<br>палеарктика                  | 1,00 | ПБ | встречается в<br>открытой литорали<br>озер,<br>преимущественно на<br>песчаном грунте |
| 105 | <i>Chydorus ovalis</i> (Kurz, 1874)                |                        |                         |                                                                     | неарктика,<br>палеарктика                  | 1,20 | ПБ | обычен в водоемах<br>сфагновых болот                                                 |
| 106 | <i>Chydorus sphaericus</i> (O.F. Mueller, 1785)    |                        |                         |                                                                     | космополит                                 | 1,75 | ЭТ | эврибионтный вид                                                                     |
| 107 | <i>Leydigia leydigii</i> (Schoedler, 1863)         | —                      | —                       | —                                                                   | неарктика,<br>палеарктика                  | 2,20 | ПБ | —                                                                                    |
| 108 | <i>Monospilus dispar</i> (G.O. Sars, 1861)         | —                      | —                       | —                                                                   | неарктика,<br>палеарктика                  | 1,30 | ПБ | обитает в открытой<br>литорали озер                                                  |
| 109 | <i>Disparalona rostrata</i> (Koch, 1841)           | —                      | —                       | —                                                                   | палеарктика                                | 1,40 | Ф  |                                                                                      |
| 110 | <i>Camptocercus rectirostris</i> (Schoedler, 1862) | —                      | —                       | —                                                                   | неарктика,<br>палеарктика                  | 1,20 | Ф  | —                                                                                    |
| 111 | <i>Camptocercus uncinatus</i> (Smirnov, 1971)      | —                      | —                       | —                                                                   | неарктика,<br>палеарктика,<br>палеотропики | —    | Ф  | —                                                                                    |
| 112 | <i>Graptoleberis testudinaria</i> (Fischer, 1851)  | —                      | —                       | —                                                                   | космополит                                 | 1,50 | Ф  | —                                                                                    |
| 113 | <i>Oxyurella tenuicaudis</i> (Sars, 1862)          | —                      | —                       | —                                                                   | палеарктика                                | —    | Ф  | —                                                                                    |
| 114 | <i>Picripleuroxus denticulatus</i> (Birge, 1879)   | —                      | —                       | —                                                                   | неарктика,<br>палеарктика                  | —    | Ф  | —                                                                                    |

[illegible]

| 1                                                        | 2                                                 | 3                                   | 4                    | 5                                                               | 6                          | 7    | 8  | 9                                                                                |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------|------|----|----------------------------------------------------------------------------------|
| 125                                                      | <i>Sida crystallina</i> (O.F. Müller 1776)        | плавание и прикрепление к субстрату | первичная фильтрация | II, бактерио- и фитопланктон, взвешенный мелкодисперсный детрит | палеарктика                | 1,30 | Ф  | распространен в прибрежье озер, водохранилищ и рек среди макрофитов              |
| 126                                                      | <i>Diaphanosoma brachyurum</i> (Liévin, 1848)     | плавание                            |                      |                                                                 | западная часть палеарктики | 1,40 | ЭП | —                                                                                |
| 127                                                      | <i>Diaphanosoma orghidani</i> (Negrea, 1982)      |                                     |                      |                                                                 | юг палеарктики             | —    | ЭП | вид-вселенец                                                                     |
| Семейство – <i>Bosminidae</i> (Baird, 1845)              |                                                   |                                     |                      |                                                                 |                            |      |    |                                                                                  |
| 128                                                      | <i>Bosmina longirostris</i> (O.F. Müller, 1776)   | плавание                            | первичная фильтрация | II, взвешенный мелкодисперсный детрит, бактерио- и фитопланктон | космополит                 | 1,55 | ЭТ | распространен в небольших постоянных водоемов и прибрежной зоне больших водоемов |
| 129                                                      | <i>Bosmina coregoni</i> (Baird, 1857)             |                                     |                      |                                                                 | 0,95                       | ЭП   | —  |                                                                                  |
| 130                                                      | <i>Bosmina crassicornis</i> (Lilljeborg, 1887)    |                                     |                      |                                                                 | —                          | ЭП   | —  |                                                                                  |
| 131                                                      | <i>Bosmina longispina</i> (Leydig, 1860)          |                                     |                      |                                                                 | —                          | ЭП   | —  |                                                                                  |
| 132                                                      | <i>Bosminopsis deitersi</i> (Richard, 1895)       | —                                   | —                    | —                                                               | неарктика, палеарктика     | —    | ЭП | встречается в заводях на стремнинах рек                                          |
| Семейство – <i>Macrothricidae</i> (Norman & Brady, 1867) |                                                   |                                     |                      |                                                                 |                            |      |    |                                                                                  |
| 133                                                      | <i>Lathonura rectirostris</i> (O.F. Müller, 1776) | —                                   | —                    | —                                                               | неарктика, палеарктика     | 1,40 | Ф  | —                                                                                |
| 134                                                      | <i>Macrothrix laticornis</i> (Jurine, 1820)       | ползание и плавание                 | собираение           | II; фитодетритофаг                                              | неарктика, палеарктика     | 1,70 | ПБ | —                                                                                |

| 1                                                  | 2                                                   | 3        | 4                    | 5                                                               | 6                      | 7    | 8  | 9                                                     |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------|----------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------|------|----|-------------------------------------------------------|
| Семейство – <i>Polyphemidae</i> (Baird, 1845)      |                                                     |          |                      |                                                                 |                        |      |    |                                                       |
| 135                                                | <i>Polyphemus pediculus</i> (Linnaeus, 1761)        | плавание | активный захват      | II; зоопланктон                                                 | неарктика, палеарктика | 1,30 | Ф  | распространен в прибрежной зоне, активный хищник      |
| Семейство – <i>Leptodoridae</i> (Lilljeborg, 1861) |                                                     |          |                      |                                                                 |                        |      |    |                                                       |
| 136                                                | <i>Leptodora kindtii</i> (Focke, 1844)              | плавание | активный захват      | II; зоопланктон                                                 | палеарктика            | 1,70 | ЭП | активный хищник                                       |
| Семейство – <i>Moinidae</i> (Goulden, 1968)        |                                                     |          |                      |                                                                 |                        |      |    |                                                       |
| 137                                                | <i>Moina micrura</i> (Kurz, 1874)                   | плавание | первичная фильтрация | II, взвешенный мелкодисперсный детрит, бактерио- и фитопланктон | космополит             | 2,20 | ПБ | теплолюбивый вид, обычен в Причерноморье и на Кавказе |
| 138                                                | <i>Moina brachiata</i> (Jurine, 1820)               |          |                      |                                                                 | палеарктика            | 2,50 | ПБ | –                                                     |
| Семейство – <i>Daphniidae</i> (Straus, 1820)       |                                                     |          |                      |                                                                 |                        |      |    |                                                       |
| 139                                                | <i>Ceriodaphnia dubia</i> (Richard, 1894)           | плавание | первичная фильтрация | II, взвешенный мелкодисперсный детрит, бактерио- и фитопланктон | космополит             | –    | Ф  | –                                                     |
| 140                                                | <i>Ceriodaphnia megops</i> (G.O. Sars, 1861)        |          |                      |                                                                 | палеарктика            | 1,40 | ЭП | –                                                     |
| 141                                                | <i>Ceriodaphnia pulchella</i> (G.O. Sars, 186)      |          |                      |                                                                 | неарктика, палеарктика | 1,40 | Ф  | –                                                     |
| 142                                                | <i>Ceriodaphnia quadrangula</i> (O.F. Müller, 1785) |          |                      |                                                                 | космополит             | 1,15 | ЭТ | –                                                     |
| 143                                                | <i>Ceriodaphnia laticaudata</i> (O.F. Müller, 1867) | плавание | первичная фильтрация | II, взвешенный мелкодисперсный детрит,                          | неарктика, палеарктика | 1,60 | Ф  | –                                                     |

| 1   | 2                                                  | 3                                         | 4                      | 5                                                                           | 6                                        | 7    | 8  | 9                                                              |
|-----|----------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------|----|----------------------------------------------------------------|
| 144 | <i>Ceriodaphnia reticulata</i> (Jurine, 1820)      |                                           |                        | бактерио- и<br>фитопланктон                                                 | космополит                               | 1,70 | ЭТ | –                                                              |
| 145 | <i>Ceriodaphnia rotunda</i> (Sars, 1862)           |                                           |                        |                                                                             | палеарктика                              | 1,50 | Ф  | –                                                              |
| 146 | <i>Ceriodaphnia setosa</i> (Matile, 1890)          |                                           |                        |                                                                             | палеарктика                              | 1,60 | Ф  | –                                                              |
| 147 | <i>Daphnia cristata</i> (G.O. Sars, 1862)          |                                           |                        |                                                                             | палеарктика                              | 1,10 | ЭП | –                                                              |
| 148 | <i>Daphnia cucullata</i> (Sars, 1862)              |                                           |                        |                                                                             | неарктика,<br>палеарктика                | 1,75 | ЭП | весьма обычен в<br>крупных водоемах<br>различного типа         |
| 149 | <i>Daphnia curvirostris</i> (Eylmann, 1887)        |                                           |                        |                                                                             | палеарктика                              | 2,30 | ЭП | –                                                              |
| 150 | <i>Daphnia galeata</i> (G.O. Sars, 1864)           |                                           |                        |                                                                             | неарктика,<br>палеарктика                | 1,30 | ЭП | –                                                              |
| 151 | <i>Daphnia hyalina</i> (Leydig, 1860)              |                                           |                        |                                                                             | палеарктика                              | 1,40 | ЭП | –                                                              |
| 152 | <i>Daphnia longiremis</i> (Sars, 1862)             |                                           |                        |                                                                             | неарктика                                | –    | ЭП | –                                                              |
| 153 | <i>Daphnia longispina</i> (O.F. Mueller, 1785)     |                                           |                        |                                                                             | палеарктика                              | 2,00 | ЭП | распространен в<br>средних и мелких<br>водоемах                |
| 154 | <i>Daphnia pulex</i> (Leydig, 1860)                |                                           |                        |                                                                             | неарктика,<br>палеарктика                | 2,80 | ЭТ | предпочитает<br>временные и<br>небольшие<br>постоянные водоемы |
| 155 | <i>Scapholeberis mucronata</i> (O.F. Müller, 1776) | плавание и<br>прикрепление<br>к субстрату | первичная<br>филтрация | П, взвешенный<br>мелкодисперсн<br>ый детрит,<br>бактерио- и<br>фитопланктон | неарктика,<br>палеарктика,<br>неотропики | 2,00 | Ф  | –                                                              |

| 1                                                                                                                                                                                         | 2                                                      | 3                                   | 4                    | 5                                                               | 6                      | 7    | 8  | 9                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------|------|----|---------------------------------------------------------|
| 156                                                                                                                                                                                       | <i>Simocephalus congener</i> (Koch, 1841)              | плавание и прикрепление к субстрату | первичная фильтрация | II, взвешенный мелкодисперсный детрит, бактерио- и фитопланктон | палеарктика            | –    | Ф  | –                                                       |
| 157                                                                                                                                                                                       | <i>Simocephalus serrulatus</i> (Koch, 1841)            |                                     |                      |                                                                 | космополит             | 1,40 | Ф  | –                                                       |
| 158                                                                                                                                                                                       | <i>Simocephalus vetulus</i> (O.F. Müller, 1776)        |                                     |                      |                                                                 | палеарктика            | 1,80 | Ф  | –                                                       |
| Семейство – <i>Acantholeberidae</i> (Smirnov, 1976)                                                                                                                                       |                                                        |                                     |                      |                                                                 |                        |      |    |                                                         |
| 159                                                                                                                                                                                       | <i>Acantholeberis curvirostris</i> (O.F. Müller, 1876) | –                                   | –                    | –                                                               | неарктика, палеарктика | –    | Ф  | встречается в кислых, верховых и сфагновых болотах      |
| Семейство - <i>Eurycercidae</i> (Kurz, 1875 sensu Dumont & Silva-Briano, 1998)                                                                                                            |                                                        |                                     |                      |                                                                 |                        |      |    |                                                         |
| 160                                                                                                                                                                                       | <i>Eurycercus lamellatus</i> (O.F. Müller, 1776)       | –                                   | –                    | –                                                               | палеарктика            | 1,20 | Ф  | –                                                       |
| Класс – <i>Maxillopoda</i> (Dahl, 1956)<br>Подкласс – <i>Copepoda</i> (Milne-Edwards, 1840)<br>Отряд – <i>Cyclopoida</i> (Burmeister, 1834)<br>Семейство – <i>Cyclopidae</i> (Dana, 1846) |                                                        |                                     |                      |                                                                 |                        |      |    |                                                         |
| 161                                                                                                                                                                                       | <i>Acanthocyclops vernalis</i> (Fischer, 1853)         | плавание                            | активный захват      | II; зоопланктон                                                 | –                      | 1,90 | ЭП | мейобентос разнотипных водоемов, обычен весной и осенью |
| 162                                                                                                                                                                                       | <i>Cyclops strenuus</i> (Fischer, 1851)                |                                     |                      |                                                                 | космополит             | 2,20 | ПБ | литоральный мейобентический вид                         |
| 163                                                                                                                                                                                       | <i>Cyclops kolensis</i> (Lilljeborg, 1901)             |                                     |                      |                                                                 | палеарктика            | –    | –  | ледниковый реликт, холодноводный                        |
| 164                                                                                                                                                                                       | <i>Cyclops vicinus</i> (Ulyanin, 1875)                 |                                     |                      |                                                                 | космополит             | 2,10 | ЭП | –                                                       |
| 165                                                                                                                                                                                       | <i>Megacyclops viridis</i> (Jurine, 1820)              | –                                   | –                    | –                                                               | –                      | 1,70 | ЭП | мейобентос разнотипных водоемов                         |

| 1   | 2                                                        | 3                      | 4                  | 5                                                                                          | 6                         | 7    | 8  | 9                                                                  |
|-----|----------------------------------------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------|----|--------------------------------------------------------------------|
| 166 | <i>Diacyclops bicuspidatus</i><br>(Claus, 1857)          | плавание               | активный<br>захват | II; зоопланктон                                                                            | —                         | —    | —  | распространен в<br>литорали озер и рек, а<br>также в эстуариях рек |
| 167 | <i>Eucyclops macruioides</i><br>(Lilljeborg, 1901)       | ползание и<br>плавание | собираение         | II, III; эврифаги                                                                          | палеарктика               | 1,20 | Ф  | —                                                                  |
| 168 | <i>Eucyclops macrurus</i><br>(G.O. Sars, 1863)           |                        |                    |                                                                                            | палеарктика               | 1,40 | —  | теплолюбивый,<br>распространен в<br>литорали озер и рек            |
| 169 | <i>Eucyclops serrulatus</i><br>(Fischer, 1851)           |                        |                    |                                                                                            | палеарктика               | 1,80 | —  | распространен в<br>литорали<br>пресноводных и<br>соленоводных вод  |
| 170 | <i>Eucyclops speratus</i><br>(Lilljeborg, 1901)          |                        |                    |                                                                                            | палеарктика               | —    | ПБ | встречается на<br>литорали текучих<br>водоемов и озер              |
| 171 | <i>Mesocyclops leuckarti</i><br>(Claus, 1857)            | ползание и<br>плавание | активный<br>захват | III, крупные<br>беспозвоночны<br>е, живущие на<br>подводном<br>субстрате или<br>вблизи его | космополит                | 1,70 | —  | распространен в<br>озерах (лимнофил)                               |
| 172 | <i>Thermocyclops crassus</i><br>(Fischer, 1853)          |                        |                    |                                                                                            |                           | —    | ЭП |                                                                    |
| 173 | <i>Thermocyclops<br/>oithonoides</i><br>(G.O. Sars 1863) |                        |                    |                                                                                            |                           | 1,30 | —  |                                                                    |
| 174 | <i>Macrocyclus albidus</i><br>(Jurine, 1820)             |                        |                    |                                                                                            | космополит                | 2,00 | Ф  | встречается на<br>литорали разнотипных<br>водоемов                 |
| 175 | <i>Paracyclops chiltoni</i><br>(Thomson, 1882)           | —                      | —                  | —                                                                                          | —                         | —    | Ф  | редкий вид литорали и<br>озер                                      |
| 176 | <i>Paracyclops fimbriatus</i><br>(Fischer, 1853)         | —                      | —                  | —                                                                                          | неарктика,<br>палеарктика | 2,60 | ЭП | часто встречается в<br>озерах и реках                              |
| 177 | <i>Paracyclops poppei</i><br>(Rehberg, 1880)             | —                      | —                  | —                                                                                          | —                         | 1,00 | Ф  | обычен в литоральной<br>части озер и рек                           |

| 1                                                                                            | 2                                                 | 3        | 4                                  | 5                                                                                 | 6                          | 7    | 8  | 9                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------|----|-----------------------------------------------------|
| Отряд – <i>Calanoida</i> (Sars, 1903)<br>Семейство – <i>Diaptomidae</i> (Baird, 1850)        |                                                   |          |                                    |                                                                                   |                            |      |    |                                                     |
| 178                                                                                          | <i>Eudiaptomus gracilis</i> (G.O. Sars, 1862)     | плавание | фильтрация                         | II, взвешенный<br>мелкодисперсн<br>ый детрит,<br>бактерио- и<br>фитопланктон      | палеарктика                | 2,10 | –  | распространен в<br>озерах, реках и лужах            |
| 179                                                                                          | <i>Eudiaptomus graciloides</i> (Lilljeborg, 1888) |          |                                    |                                                                                   |                            | 1,70 | –  |                                                     |
| Семейство – <i>Temoridae</i> (Giesbrecht, 1893)                                              |                                                   |          |                                    |                                                                                   |                            |      |    |                                                     |
| 180                                                                                          | <i>Eurytemora lacustris</i> (Poppe, 1887)         | плавание | фильтрация и<br>захват             | II, III фито-<br>бактерио- и<br>мелкий<br>зоопланктон,<br>добычу не<br>преследуют | палеарктика                | –    | –  | распространен в<br>озерах и дельтах рек             |
| 181                                                                                          | <i>Eurytemora velox</i> (Lilljeborg, 1853)        |          |                                    |                                                                                   | неарктика,<br>палеарктика, | –    | –  | вид-вселенец,<br>понтотакспийский вид,<br>устья рек |
| 182                                                                                          | <i>Heterocope appendiculata</i> (Sars, 1863)      |          | фильтрация и<br>активный<br>захват |                                                                                   | палеарктика                | 1,40 | –  | холодноводный                                       |
| Отряд – <i>Harpacticoida</i> (Sars, 1903)<br>Семейство – <i>Canthocamptidae</i> (Sars, 1906) |                                                   |          |                                    |                                                                                   |                            |      |    |                                                     |
| 183                                                                                          | <i>Canthocamptus staphylinus</i> (Jurine, 1820)   | –        | –                                  | –                                                                                 | палеарктика                | –    | ПБ | встречается в<br>водоемах                           |