

УДК УДК 574.583, 574.632, 574.21

ОСОБЕННОСТИ ЗООПЛАНКТОННОГО СО- ОБЩЕСТВА ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ИЖОРА (БАССЕЙН БАЛТИЙСКОГО МОРЯ) В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО АНТРОПОГЕН- НОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

ЛИТВИНЧУК
Лариса Федоровна

Зоологический институт РАН, *larisalitvinchuk@yandex.ru*

Ключевые слова:
зоопланктон
реки
антропогенное
воздействие
виды-индикаторы

Аннотация: В условиях возрастающей антропогенной нагрузки на экосистемы особую актуальность приобретает изучение особенностей изменения водных сообществ под воздействием неблагоприятных факторов. При оценке состояния водоемов используются биоиндикационные свойства зоопланктонных организмов. Для каждого водоема важно учитывать интенсивность и продолжительность воздействия неблагоприятных факторов. На примере реки Ижора (Ленинградская область, бассейн Балтийского моря), в течение длительного периода испытывающей значительный пресс со стороны промышленных предприятий и сельскохозяйственного производства, в 2014 г. исследовалось сообщество зоопланктона. Результаты сравнивались с данными 1973–1975 гг., причем схема и методы отбора проб совпадали в оба периода исследований. Показано, что на протяжении всего района исследования произошло значительное сокращение численности и биомассы коловраток и ракообразных (более чем в сто раз) по сравнению с исследованиями 40-летней давности. Снижение количественных показателей и нарушение структуры – признаки угнетенного состояния сообщества зоопланктона. По мере увеличения степени загрязнения и обеднения видового состава уменьшалось разнообразие типов питания. В наиболее загрязненных участках оставались собиратели-полифаги и небольшое количество хватателей. Среди ракообразных полностью исчезали виды-фильтраторы, способствующие повышению роли зоопланктона в очищении вод реки от взвешенных веществ. Анализ трофической структуры ракообразных (с учетом типов питания), проведенный в 2014 г., а также использование индекса сапробности позволяют рассматривать качество вод на исследованном участке реки (протяженность 26 км) как «умеренно загрязненные» и «загрязненные воды» органическим веществом. В то же время наблюдались признаки, свидетельствующие о токсическом загрязнении. В ходе работы установлено, что зоопланктонное сообщество реки Ижора продолжает испытывать значительное воздействие неблагоприятных факторов.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: И. В. Филоненко

Получена: 09 декабря 2018 года

Подписана к печати: 25 марта 2019 года

Введение

В настоящее время проблема восстановления качества поверхностных вод, в прошлом подвергнувшихся интенсивному антропогенному воздействию, становится одной из основных экологических проблем (Vorosmarty et al., 2010). Мировой опыт показывает, что во многих случаях, несмотря на принимаемые меры, биологические сообщества не возвращаются в первоначальное близкое к естественному состояние (Sala et al., 2000; Malmqvist, Rundle, 2002; Woodward et al., 2012).

Биоиндикационные свойства зоопланктонных организмов и их сообществ используются для определения состояния водоемов. Причем при загрязнении биогенными веществами, происходящем в основном за счет поступления в водоем бытовых стоков и отходов сельскохозяйственного производства, наблюдаются структурные изменения в сообществе зоопланктона и повышение интенсивности его функционирования. При техногенном загрязнении, происходящем в основном при поступлении в водоем промышленных стоков, идет процесс деградации сообщества, в том числе сокращение видового состава, изменение таксономической структуры, снижение численности и биомассы, при стрессовых ситуациях – гибель сообщества, т. е. полная утрата всех его функций в экосистеме (Андроникова, 2011).

Для зоопланктонных сообществ малых рек при органическом загрязнении отмечается повышение доли видов-индикаторов эвтрофных и гиперэвтрофных условий, видов, устойчивых к загрязнению, увеличение числа видов – вторичных фильтраторов и собирателей, добывающих пищу с поверхности субстрата, увеличение численности и биомассы зоопланктона (Филимонова, Куликова, 1984; Куликова, 2007; Афонина, Ташлыкова, 2011; Карташева и др., 2011; Подшивалина, 2011; Шурганова и др., 2011; Алешина, Афанасьева, 2014; Семенова, 2014; Черевичко, 2014; Куликова, 2015; Крылов, 2016; Xiong et al., 2016; 2017; Yang et al., 2018). При длительном загрязнении малых рек промышленными и бытовыми стоками снижаются число видов, численность и биомасса зоопланктона (Полищук и др., 1975; Калинкина и др., 2007; Кондратьева и др., 2011; Albanese et al., 2013; Шурганова и др., 2014; Деревенская и др., 2015).

Наряду с составом и качеством загрязняющих водоемы веществ, необходимо учи-

тывать степень интенсивности и длительность воздействия загрязнений (De Pippo et al., 2006; Игнатьева и др., 2011). Важно также учитывать, что в ходе длительного поступления сточных вод возможна аккумуляция вредных веществ в донных отложениях, которые со временем могут переходить из донных отложений в растворенном состоянии в водную толщу, и влияние на планктонное население может проявляться без видимых источников загрязнения.

Необходимо изучать состояние гидросети, начиная с ее истоков. В последние десятилетия большое внимание уделяется изучению состояния Финского залива Балтийского моря. При этом активно исследуются все компоненты гидросистемы, начиная с Ладожского озера и его притоков, реки Невы, являющейся основным источником водоснабжения Санкт-Петербурга и Ленинградской области, подробно изучаются различные участки акватории Финского залива.

Важно также оценивать состояние небольших рек, протекающих через густонаселенные урбанизированные районы Ленинградской области, таких как река Ижора. На территории Гатчинского и Тосненского районов Ленинградской области, а также Колпинского района г. Санкт-Петербурга на берегах р. Ижоры расположено 35 населенных пунктов, включающих промышленные предприятия, животноводческие комплексы и сельскохозяйственные угодья.

Немаловажным является факт преобразования водосбора реки. Буквально за последние 100–150 лет произошло изменение типа растительности. Преобладающие на берегах Ижоры таежные леса (преимущественно сосновые) были сведены человеком (Миронова, Слепян, 1983). В настоящее время основным является травянистый тип растительности.

При исследовании гидросети р. Ижора в 2010 и 2011 гг. (Игнатьева и др., 2011) были выявлены значительные различия в состоянии водных объектов и качестве их вод по мере продвижения по течению от истока к устью. При оценке трофического статуса водоема и степени загрязнения по состоянию сообщества зоопланктона оз. Белое (г. Гатчина, верховье р. Ижора, исток р. Теплая, притока Ижоры) было отнесено к мезотрофным и чистым водоемам. Водоем Ижорский пруд (г. Колпино, низовье р. Ижоры, 7 км до места впадения в р. Неву) оценивался уже как олиго-мезотрофный и умеренно загрязненный.

В 70-е гг. прошлого столетия основным источником загрязнения р. Ижора были бытовые стоки г. Гатчина. Вода, поступающая в реку в районе п. Вайялово, очищалась в основном за счет осаждения взвеси и дополнительную очистку не проходила. В конце 2013 г. в Гатчине был заменен старый коллектор, построенный еще в царские времена, и на гатчинских очистных сооружениях была произведена полная реконструкция с применением современных технологий и автоматизацией процессов (Реконструкция..., 2014). Проект реконструкции реализовывался несколько лет с международным участием в рамках программы «Северная инициатива». Поставка оборудования осуществлялась за счет средств гранта шведского агентства международного развития СИДА компанией Malmberg Water AB (Швеция).

Учитывая значимость водосборных бассейнов при формировании речного континуума (Богатов, Федоровский, 2017), важно отметить, что в последние десятилетия негативное воздействие на наземные и водные экосистемы усиливается за счет развития автомобильного транспорта. Например, в р. Ижора в районе п. Вайя, на участке, прилегающем к автодорожному мосту, в 1990 и 1997 гг. содержание нефтепродуктов превышало ПДК в 5.5 и 2 раза соответственно. В р. Теплая (приток Ижоры, река берет начало из оз. Белого, расположенного в г. Гатчина) содержание нефтепродуктов было равно ПДК (0.3 мг/л) (Цветкова и др., 1997). Помимо интенсивного строительства автомагистралей в течение последних десятилетий негативное воздействие на водосбор и, соответственно, на р. Ижора усиливается за счет развития садово-огородных хозяйств, животноводческих ферм, птицефабрик, поступления гербицидов, широко применяемых при борьбе с борщевиком. Также необходимо отметить, что в 1990-е гг. в верховьях р. Ижора местным населением проводился электролов рыбьи, тотальный для такой неширокой и не глубокой реки.

Важно прослеживать изменения состояния реки на всем ее протяжении и в течение длительного времени (Волков, 1995; Игнатьева и др., 2011). В период с 1973 по 1975 г. сотрудниками лаборатории пресноводной и экспериментальной лаборатории ЗИН РАН в рамках сравнительных исследований, оценки гидробиологического контроля качества воды и выяснения значения водных организмов и их сообществ как индикаторов степени загрязнения водоемов были про-

ведены исследования различных участков верхнего течения р. Ижора. В ходе этих исследований подробно рассматривались особенности формирования основных групп зоопланктона (Иванова, 1976а; Кутикова, 1976; Макрушин, Кутикова, 1976). В 2014 г. сотрудники пресноводной и экспериментальной лаборатории ЗИН РАН продолжили исследования р. Ижора. Для изучения были взяты те же участки реки.

Цель данной работы – сравнение качества воды в реке до и после введения в строй очистных сооружений с использованием биоиндикационных свойств зоопланктона (организмов и их сообществ. Для этого сравнивались современные данные с данными 1973–1975 гг.

Материалы

Река Ижора представляет собой левый приток р. Невы длиной 75 км с площадью водосбора около 1000 км² (Методы биологического анализа, 1976). Река течет по Силурийскому плато. У р. Ижоры более 200 притоков, 9 из них имеют длину более 10 км. От д. Скворицы (исток) до п. Вяхтево (4 км выше по течению от г. Коммунар) правый берег крутой и обрывистый, а левый – пологий. От п. Вяхтево до г. Коммунар оба берега низкие и пологие. На низких берегах река откладывает аллювий (ил), содержащий осаждающиеся вещества, в том числе вредные. В верховьях река мелкая (средняя глубина 0.66 м), узкая (средняя ширина 2.36 м), поэтому расход воды составляет всего лишь 0.08 м³/с, течение реки быстрое. Далее река расширяется до 8–10 м, местами до 20 м. Средний расход воды составляет 11.37 м³/с. Гидрологический режим р. Ижоры и ее небольшая протяженность приводят к тому, что вещества, попадающие в Ижору, движутся к Неве со средней скоростью 4.5 км/ч. Воды реки при сохранении большой скорости течения на всем протяжении попадают через 16 ч в Неву, а через сутки в Балтийское море (Цветкова и др., 1997).

На всем протяжении берега реки покрыты зарослями макрофитов. Течение вдоль берегов медленное. В центральных участках реки в районе п. Пудость и г. Коммунар (ст. 1 и 4) течение реки быстрое, дно каменистое. На станциях 2 и 3 (п. Тайцы и Горки) в центральных участках реки течение замедленное. Дно заиленное, покрыто зарослями макрофитов. На всех станциях вода прозрачная (прозрачность до дна), визуально без присутствия взвешенной фракции. В 1970-е гг. в

районе станции Тайцы отмечалось повышенное содержание взвешенных веществ в воде (Методы биологического анализа, 1976).

Методы

Пробы зоопланктона были отобраны на 4 станциях, расположенных в верхнем течении р. Ижора: в поселках Пудость (станция 1, 59.6096°N 30.0832°E), Тайцы (станция 2, 59.6075°N 30.1313°E), Горки (станция 3, 59.6101°N 30.2283°E) и г. Коммунар (станция 4, 59.6290°N 30.4247°E). Участки перечислены в последовательности от истока к устью. Расстояние между станциями 8, 6 и 12 км соответственно. Станция Тайцы расположена на 200 м ниже по течению от п. Вайялово, места впадения в р. Ижора сточных вод гатчинских очистных сооружений. Выбор этого места не случаен, отбор зоопланкtonных проб в нижележащем от места сброса участке может позволить определить влияние загрязнения на формирование зоопланкtonных комплексов.

Материал был собран в начале июля 2014 г. в центральном и прибрежном участках каждой станции. Сбор производили в верхних слоях воды зачерпыванием ведром с последующим процеживанием воды через планктонную сеть с газом № 68. На каждом участке также были собраны осадочные пробы (объем 1.0 л). Всего на каждой станции было отобрано по 4 пробы – две в центральной части (без макрофитов) и две – в прибрежной части, в зоне зарослей макрофитов, причем краем ведра проводили по стеблям водных растений. Сроки и схема отбора материала (местоположение и количество станций) и методы сбора были идентичны схеме, использованной в 1970-е гг. Пробы фиксировались 4 % раствором формалина. Количественное определение зоопланктона проводилось в камере Богорова с применением стандартных методик (Методические рекомендации..., 1982). К числу доминирующих относились виды, чья доля в сообществе составляла 10 % и более.

Результаты

Всего на станциях р. Ижоры в 2014 г. отмечены представители 22 видов планктонных беспозвоночных, в том числе: коловратки (Rotifera) – 11 видов, ветвистоусые ракообразные (Cladocera) – 5 видов, в состав веслоногих ракообразных (Copepoda) входили циклопы Cyclopoida (5 видов) и в состав гарпактицид Harpacticoida – 1 вид. Представители каланид Calanoida встречены не были, также не был встречен характерный для не-

глубоких водоемов с медленным течением вид хищных ветвистоусых ракообразных *Polypheustes pediculus* Linnaeus 1761 (табл. 1).

Типичными представителями зоопланктона р. Ижора (встречаемость по участкам 50 % и более) были широко распространенные в водоемах умеренной зоны организмы: коловратки рода *Euchlanis* – *E. dilatata*, *E. incisa* и *E. lucksiana*, ветвистоусое ракообразное *Chydorus sphaericus* и веслоногое ракообразное *Eucyclops serrulatus*, а также наутильные и копеподитные стадии веслоногих ракообразных.

Зоопланктон в 2014 г. был представлен в основном прибрежно-зарослевыми формами (см. табл. 1), что, возможно, обусловлено достаточно высокой степенью развития макрофитов вдоль берегов и на центральных участках реки (станции 2 и 3).

Число видов на центральном участке каждой станции было ниже, чем в прибрежье. В среднем на центральных участках реки было отмечено 4.75 ± 2.22 вида зоопланктона, в прибрежье 8.00 ± 1.41 вида. Небольшое число видов на центральных участках на станциях 1 и 4, по всей видимости, обусловлено высокой скоростью течения.

Число доминирующих видов по численности в центре реки (2.75 ± 0.96 вида) было выше, чем в прибрежье (1.75 ± 0.96). Причем в прибрежной зоне станций 2 и 3 отмечено упрощение структуры сообщества зоопланктона, здесь доминанты по численности включали только по одному виду. По биомассе зоопланктона и в центральных участках, и в прибрежье было отмечено примерно одинаковое количество доминирующих видов (2.00 ± 0.82 и 2.75 ± 0.96 соответственно).

Количественные характеристики зоопланктона были неоднородны. Численность варьировала от 0.23 до 1.92 тыс. экз. m^{-3} (табл. 2), в среднем составляя на центральных участках 0.30 ± 0.26 , в прибрежье 1.62 ± 1.23 тыс. экз. m^{-3} .

Средняя биомасса зоопланктона была невысокой, ее значения постепенно снижались от истока к устью (см. табл. 2). На центральных участках биомасса зоопланктона была ниже (0.0016 ± 0.0010 г m^{-3}), чем в прибрежье (0.0042 ± 0.0032 г m^{-3}).

Индекс видовой структуры сообщества Шеннона – Уивера, рассчитанный по численности, варьировал от 1.66 (станция 3) до 2.35 (станция 4), в среднем для всех участков составляя 1.86 ± 0.33 (см. табл. 2). Число видов зоопланктона в 2014 г. было невысоким (5.25 ± 2.22).

Таблица 1. Видовой состав, биотопическая принадлежность (п – пелагиаль, пз – прибрежная зона, л – лitorаль, вр – водная растительность, бп – береговой песок), встречаемость (В, %, 2014 г.), распределение в водоеме и индикаторная значимость (S) зоопланктона на реке Ижора в 1973–1975 (Иванова, 1976а; Кутикова, 1976) и 2014 гг.

| Био- топ | В, % | Литератур- ные данные, 1973–1975 гг., станции | Данные 2014 г., станции (Ц – центр, П – прибрежье) | | | | S | | | |
|-----------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---|---|---|-----|-----|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | |
| | | | Ц | П | Ц | П | | | | |
| Rotifera | | | | | | | | | | |
| <i>Asplanchna herricki</i> Guerne, 1888 | п | 13 | | | + | | o-β | | | |
| <i>Cephalodella ventripes</i> (Dixon- Nuttall, 1901) | вр, бп | 25 | 1–4 | | + | + | o-β | | | |
| <i>Colurella uncinata</i> (Müller, 1773) | вр | 13 | 1–4 | | | + | o | | | |
| <i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832 | пз | 63 | 1–4 | + | + | + | o-β | | | |
| <i>E. d. unisetata</i> Leydig, 1854 | пз | 13 | | | | + | o-β | | | |
| <i>Euchlanis incisa</i> Carlin, 1939 | пз | 50 | 1–4 | + | + | | + | + | o | |
| <i>Euchlanis lucksiana</i> Hauer, 1930 | п | 50 | 1–4 | + | + | + | + | o-β | | |
| <i>Keratella quadrata</i> (O. F. Müller, 1786) | п | 13 | | + | | | β | | | |
| <i>Proales dicipliens</i> (Ehrenberg, 1832) | вр | 13 | 1–4 | + | | | o | | | |
| <i>Synchaeta stylata</i> Wierzejski, 1893 | п | 25 | 1–4 | | + | + | o | | | |
| <i>Trichotria truncata truncata</i> (Whitelegge, 1889) | вр | 13 | | + | | | o | | | |
| Crustacea | | | | | | | | | | |
| Cladocera | | | | | | | | | | |
| <i>Alona rectangula</i> Sars, 1862 | пз | 25 | | + | | + | o-β | | | |
| <i>Chydorus sphaericus</i> (O. F. Müller, 1785) | пз | 88 | 1 | + | + | + | + | + | + | β |
| <i>Ilyocryptus agilis</i> Kurz, 1874 | пз | 13 | | | | + | o-β | | | |
| <i>Pleuroxus trigonellus</i> (O. F. Müller, 1776) | пз | 25 | 1 | + | | | + | o-β | | |
| <i>Scapholeberis mucronata</i> (Müller, 1776) | пз | 13 | | + | | | o-β | | | |
| <i>Simocephalus vetulus</i> (Müller, 1776) | пз | | 1, 3, 4 | | | | o-β | | | |
| Copepoda, Cyclopoida | | | | | | | | | | |
| Науплии | | | | | | | | | | |
| <i>Ectocyclops phaleratus</i> (Koch, 1838) | л | 38 | 1, 3, 4 | | + | + | o-β | | | |
| <i>Eucyclops serrulatus</i> (Fischer, 1851) | л | 88 | 1–4 | + | + | + | β | | | |
| <i>Macrocylops albidus</i> (Jurine, 1820) | л | 13 | 1–4 | | | + | β | | | |
| <i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857) | п | 25 | | + | | + | o-β | | | |
| <i>Microcyclops bicolor</i> (Sars, 1863) | л | 13 | | | | + | o-β | | | |
| Copepoda, Harpacticoida | | | | | | | | | | |
| <i>Neomrazikiella northumbrica</i> (Chappius, 1929) | л | 13 | | + | | | o-β | | | |

Таблица 2. Структурные характеристики зоопланктона разных участков реки Ижора: индекс видового разнообразия Шеннона – Уивера (H) по численности, численность (N), биомасса (B), а также сапробность (S) и класс вод, определенный по количеству типов питания (Иванова, 1976а), в 1973 (Иванова, 1976а, б; Кутикова, 1976; Макрушин, Кутикова, 1976) и 2014 гг.

| Год | Станция | H, биты/экз. | N, тыс. экз. м ⁻³ | B, г м ⁻³ | S | Класс вод |
|------|--------------|--------------|------------------------------|----------------------|-------------|-------------|
| 1973 | 1 | 2.25 | 26.2 | 0.49 | 1.70 | 3 |
| 1973 | 2 | 0.90 | 224.2 | 0.29 | 2.00 | 5 |
| 1973 | 3 | 1.75 | 52.25 | 3.49 | 2.20 | 4 |
| 1973 | 4 | 1.90 | 114.7 | 3.92 | 2.00 | 3 |
| | Среднее ± SD | 1.70 ± 0.57 | 104.34 ± 88.12 | 2.05 ± 1.92 | 1.98 ± 0.21 | 3.75 ± 0.96 |
| 2014 | 1 | 1.68 | 0.53 | 0.009 | 1.23 | 3 |
| 2014 | 2 | 1.77 | 1.92 | 0.007 | 1.57 | 4 |
| 2014 | 3 | 1.66 | 1.12 | 0.005 | 1.61 | 4 |
| 2014 | 4 | 2.35 | 0.23 | 0.002 | 1.57 | 4 |
| | Среднее ± SD | 1.86 ± 0.33 | 0.95 ± 0.74 | 0.006 ± 0.003 | 1.49 ± 0.18 | 3.75 ± 0.50 |

На всех участках реки, за исключением центральной части станции 1, характеризующейся быстрым течением, в доминирующий комплекс зоопланктона по численности входили коловратки. Ветвистоусые ракообразные доминировали на большей части участков, кроме станции 3 и прибрежного участка станции 2. Веслоногие ракообразные также входили в доминирующий комплекс практически на всех участках, за исключением прибрежных зон станций 2 и 3.

В биомассе зоопланктона коловратки составляли значительную долю на станциях 2 и 3. Ветвистоусые ракообразные входили в состав доминант по биомассе зоопланктона на всех участках, кроме станции 3 и прибрежной части станции 2. Веслоногие ракообразные составляли основу биомассы на всех участках, за исключением центральной части станции 1.

Невысокие значения численности могут свидетельствовать о неблагополучном состоянии зоопланктональных организмов, что может отражаться и на их плодовитости. Отношение числа науплиев к числу взрослых самок может характеризовать изменение возрастного состава и отражает плодовитость. В центральных участках р. Ижора это соотношение удалось установить для станции 2, соотношение было равным при

крайне невысоких количествах и науплиев, и взрослых самок. На других станциях невозможно было провести исследования, т. к. отсутствовали те или иные возрастные группы. В прибрежной зоне соотношение численностей науплиев и взрослых самок было невысоким и достигало максимальных значений (1) на станции 2.

При рассмотрении трофической структуры зоопланктона на р. Ижора в 2014 г. в первую очередь можно отметить, что в сообществе зоопланктона отсутствовала такая важная трофическая группа, как альго- и зоофаги, которые в небольших пресноводных водоемах чаще всего представлены диаптомусами.

На всех исследованных участках кроме центральной части станции 1 в состав доминирующих групп по численности и биомассе входили микрофаги (мелкие коловратки).

В центральной части станций 1, 2 и 4 значительную часть численности и биомассы зоопланктона составляли макрофильтраторы. В то время как в прибрежных участках эта трофическая группа доминировала только на станциях 1 и 4.

Хищники составляли основу численности и биомассы в центральных участках на станциях 3 и 4. В прибрежных участках численность хищных форм достигала высоких зна-

чений на станциях 1 и 4. Биомасса хищников достигала высокой доли в общей биомассе зоопланктона на станциях 2, 3 и 4.

Основу численности и биомассы микротрафагов составлял фитофильный зарослевый вид коловраток *Euchlanis dilatata*, в спектр питания которого входят фитопланктон и сестон. Среди макрофильтраторов преобладал зарослевый вид *Chydorus sphaericus*. В отличие от первичных фитофильных фильтраторов, добывающих пищевые частицы непосредственно отфильтровывая их из толщи воды, фитофильные хидориды (вторичные фильтраторы), к которым относится *Ch. sphaericus*, добывают пищевые частицы путем сокребания их с субстрата с последующей фильтрацией (Столбунова, 2006). *Ch. sphaericus* часто обитает на скоплениях живых и отмирающих водорослей, питается детритом, хорошо живет на бактериальном корме. Водоросли и разлагающиеся макрофиты также входят в его рацион (Монаков, 1998). Таким образом, по типу питания *Ch. sphaericus* можно отнести к фильтраторам-собирателям, а по спектру питания – к полифагам.

В качестве субдоминант были отмечены другие виды хидорид и молодь веслоногих ракообразных.

Анализ трофической структуры ракообразных с учетом типов питания, проведенный в 2014 г., показал различия в структуре зоопланктона. Наибольшее количество видов, а вместе с тем и более высокое разнообразие типов питания было представлено на станциях 1 и 4 (табл. 3). На всех станциях зоопланктон был представлен собирателями-полифагами и небольшим количеством хватателей. Небольшое количество фильтраторов (2 % от общей численности) было встречено в прибрежье станции 1.

Среди ракообразных в качестве индикаторов состояния воды в р. Ижора можно выделить виды, толерантные к условиям, возникающим в сильно загрязненных водоемах, *Chydorus sphaericus* и *Eucyclops serrulatus*. Эти виды могут встречаться и в чистых водах, но в массовом количестве развиваются в загрязненных водоемах. На центральном участке станции 3 были отмечены особи *E. serrulatus*, на карапаксе которых развились колонии эпифитонтных инфузорий рода *Vorticella*.

В 2014 г. в центральных и прибрежных участках реки встречались прибрежно-зарослевые виды коловраток. Полисапробные виды коловраток, индикаторы загряз-

ненных водоемов, в планктоне р. Ижора отмечены не были.

Индекс сапробности по Пантле – Букку в модификации Сладечека (Sládeček, 1973) в 2014 г. в среднем для всех станций р. Ижора составил 1.49 ± 0.21 . Значения индекса сапробности, рассчитанного для всех исследованных участков (за исключением центрального участка станции 1), позволяют оценить качество вод р. Ижора как бетамезосапробные (умеренно загрязненные органическим веществом).

Обсуждение

Видовой состав зоопланктона р. Ижора в 2014 г. был достаточно бедный. В 1970-х гг. видовой состав был богаче за счет коловраток. В 2014 г. было отмечено на 2 вида ветвистоусых ракообразных больше, чем в 1970-е гг. Также был встречен 1 вид гарпактицид, в 1970-е гг. представители этой группы обнаружены не были.

В августе 1973 г. численность коловраток в р. Ижора была значительно выше (Кутикова, 1976), чем в 2014 г. (87.59 ± 153.19 и 0.71 ± 1.11 тыс. экз. m^{-3} соответственно). Численность коловраток в центре реки в 1973 г. была в десятки раз выше, чем в 2014 г. В прибрежной зоне в 1973 г. показатели численности коловраток превосходили значения за 2014 г. в сотни раз (Кутикова, 1976). По данным М. Б. Ивановой (Иванова, 1976а), численность ракообразных на станции Пудость (в среднем для центральной и прибрежной частей реки) составляла 7 тыс. экз. m^{-3} , на станции Тайцы, в месте сброса сточных вод, резко снижалась до 1 тыс. экз. m^{-3} . Далее, вниз по течению реки, на станциях Горки и Коммунар численность ракообразных повышалась до 27 и 29 тыс. экз. m^{-3} соответственно. Численность зоопланктона в 2014 г. была немного выше в прибрежной зоне, но ее значения были невелики на всех участках реки. Биомасса зоопланктона в 2014 г. также на всех участках реки была невысокой. Столь значительное сокращение численности и биомассы (Иванова, 1976б) коловраток и ракообразных (более чем в сто раз) по сравнению с исследованиями 40-летней давности (см. табл. 2), возможно, связано с сокращением количества аллохтонных органических веществ, поступавших в 1970-е гг. со сточными водами, а также с длительным воздействием загрязняющих веществ на всем протяжении исследованного участка реки.

В 1970-е гг. на участках с ненарушенной структурой сообществ (выше и гораздо ниже

Таблица 3. Структура комплекса планктонных ракообразных реки Ижора в 2014 г. (типы питания – по: Монаков, 1998).

| Станция | Трофический уро- вень | Основная пища | Тип питания | Название видов |
|---------|--------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | нехищный | планктонные водо- росли, бактерии, детрит | фильтрация | <i>Scapholeberis mucronata</i> |
| | | водоросли планктона и обрастаний, детрит | фильтрация и собирание | <i>Alona rectangula,</i> <i>Chydorus sphaericus,</i> <i>Pleuroxus trigonellus</i> |
| | смешанный | водоросли обра- станий, детрит | фильтрация и собирание | <i>Neomrazikiella</i> <i>northumbrica</i> |
| 2 | нехищный | водоросли, Protozoa, Rotifera, мелкие ракообраз- ные | фильтрация и собирание | <i>Eucyclops serrulatus</i> |
| | | водоросли планктона и обрастаний, детрит | фильтрация и собирание | <i>Chydorus sphaericus</i> |
| | смешанный | Protozoa, Rotifera, мелкие ракообраз- ные | собирание | <i>Eucyclops serrulatus</i> |
| 3 | хищный | Protozoa, Rotifera, мелкие ракообраз- ные | активный захват | <i>Mesocyclops leuckartii</i> |
| | нехищный | водоросли планктона и обрастаний, детрит | фильтрация и собирание | <i>Chydorus sphaericus</i> |
| | смешанный | водоросли, Protozoa, Rotifera, мелкие ракообразные | собирание | <i>Ectocyclops</i> <i>phaleratus</i> , <i>Eucyclops</i> <i>serrulatus</i> |
| 4 | хищный | Protozoa, Rotifera, мелкие ракообразные | активный захват | <i>Macrocylops albidus</i> |
| | нехищный | водоросли планктона и обрастаний, детрит | фильтрация и собирание | <i>Alona rectangula</i> , <i>Chydorus</i> <i>sphaericus</i> , <i>Ilyocryptus</i> <i>agilis</i> , <i>Pleuroxus trigonellus</i> |
| | смешанный | водоросли, Protozoa, Rotifera, мелкие ракообразные | собирание | <i>Ectocyclops phaleratus</i> , <i>Eucyclops serrulatus</i> , <i>Microcyclpos bicolor</i> |

места сброса сточных вод) коэффициент видового разнообразия в течение вегетационного сезона изменялся в пределах от 2.0 до 4.1 (Иванова, 1976а). При наиболее высокой степени загрязнения величина этого показателя в отдельных случаях доходила до 0. В 2014 г. не было отмечено значительных различий индекса видового разнообразия на протяжении всего исследованного участка реки.

При увеличении степени загрязнения число видов и численность ветвистоусых ракообразных и соответственно отношение числа видов и численности *Cladocera* и *Copepoda* в 1970-е гг. снижались (Иванова, 1976а). В 2014 г. эупланктонные фильтраторы среди ветвистоусых ракообразных были отмечены только в прибрежье станции 1, соответственно, для станций, расположенных ниже по течению, значения этих индексов рассчитать невозможно.

В составе зоопланктона не были отмечены представители семейства *Diaptomidae*. Эта группа зоопланктонных организмов наиболее чувствительна к изменениям среды. И в эвтрофных условиях, и при токсическом загрязнении раньше других начинает сокращать свою численность (Андроникова, 1996; Куликова, 2010).

В 1970-е гг. плодовитость циклопов была значительно выше, отношение числа науплиев к числу взрослых самок было равно 0.8, 0.35, 1.24 и 1.6 для станций от Пудости до Коммунара соответственно (Иванова, 1976а). Отношение численностей науплиев и взрослых самок циклопов в 1970-е гг. было минимальным на станции Тайцы, наиболее загрязненном участке. Несмотря на значительное снижение интенсивности поступления загрязняющих органических веществ в 2014 г., численность молодых и взрослых стадий циклопов и показатели, отражающие плодовитость циклопов, стали заметно ниже на всех участках реки. Возможно, это связано с длительным негативным воздействием вредных токсических веществ на сообщество зоопланктона в целом и на популяцию циклопов в частности.

При исследовании зоопланктона реки Ижора в 1970-е гг. были сопоставлены гидрохимические данные по всем изученным участкам и особенности трофической структуры зоопланктонных ракообразных (по типам питания). При этом было произведено разделение участков реки по степени загрязнения (Драчев, 1964). Трофическая структура зоопланктона на разных участках реки впол-

не соответствовала степени загрязнения р. Ижора на исследованных станциях, определенной на основании гидрохимических данных (Иванова, 1976а). По мере увеличения степени загрязнения и обеднения видового состава уменьшалось разнообразие типов питания. В наиболее загрязненных участках оставались собиратели-полифаги и небольшое количество хватателей. Среди ракообразных полностью исчезали виды-фильтраторы, способствующие повышению роли зоопланктона в очищении вод реки от взвешенных веществ.

Согласно М. Б. Ивановой (Иванова, 1976а), в районе станций Пудость и Коммунар качество воды можно было отнести к 3-му классу (умеренно загрязненные), в районе станции Горки – к 4-му классу (загрязненные). Вода на станции Тайцы соответствовала 5-му классу (грязные воды).

Анализ трофической структуры ракообразных (с учетом типов питания), проведенный в 2014 г., позволяет рассматривать качество вод на станциях Пудость и Коммунар как умеренно загрязненные. Качество воды на станциях Тайцы и Горки можно отнести к классу «загрязненные воды» (см. табл. 2).

В 1970-е гг., в летние месяцы, в планктоне реки Ижора встречались в массовых количествах коловратки – полисапробы, индикаторы загрязненных водоемов *Epiphantes senta* (Müller, 1773) и *Rotaria rotatoria* Pallas, 1766. Особенно большой численности (441 тыс. экз. м⁻³) вид *R. rotatoria* достигал на станции Тайцы (Кутикова, 1976). В 2014 г. оба эти вида в планктоне р. Ижора отмечены не были. В центральных и прибрежных участках реки были отмечены прибрежно-зарослевые виды коловраток.

Несмотря на то, что в 2014 г. в планктоне не были обнаружены полисапробные виды, видовой состав зоопланктона был достаточно обедненным и его основу представляли зарослевые формы коловраток и толерантные к высокой степени загрязнения ветвистоусые и веслоногие ракообразные. На некоторых участках были зафиксированы случаи обрастаания ракообразных эпифитными организмами. Фильтраторы среди ракообразных отсутствовали (за исключением прибрежья самой «чистой» станции). Рачковый зоопланктон был представлен собирателями-полифагами и хватателями. Все вышеперечисленное свидетельствует о высокой степени загрязнения вод реки.

Значения индекса сапробности позволяют оценить качество вод р. Ижора практически

на всех участках как бета-мезосапробные (умеренно загрязненные органическим веществом). Применение индекса сапробности и использование особенностей типов питания зоопланкtonных организмов дают сходные результаты при оценке качества воды, причем метод, учитывающий типы питания, позволяет получать более точные оценки. Использование обоих методов подтверждает наличие нарушения нормального состояния зоопланктона на всех исследованных участках реки.

В 1970-х гг. было отмечено ярко выраженное негативное воздействие сточных вод на развитие зоопланктона. В месте выброса загрязняющих веществ численность зоопланктона снижалась до нулевых значений по сравнению с вышележащими участками реки от места загрязнения. Ниже по течению численность зоопланктона восстанавливалась и достигала высоких значений, вместе с тем постепенно возобновлялась и структура сообщества зоопланктона. Подобная ситуация была отмечена на реке Латка (Ярославская область), когда в месте сброса сточных вод снижалась численность и изменилась структура сообщества зоопланктона, в значительных количествах развивались полисапробные виды. Ниже по течению сообщество зоопланктона постепенно восстанавливало свои функции, полисапробные виды исчезали, повышались количественные показатели и индекс видового разнообразия. Но при этом полного восстановления сообщества зоопланктона, до фоновых значений, не происходило (Крылов, 1993).

В 2014 г. столь резких изменений численности зоопланктона в месте сброса сточных вод отмечено не было. Но на протяжении всего района исследования были выявлены признаки угнетенного состояния сообщества – значительное снижение численности и нарушение структуры. Численность и структура зоопланктона р. Ижора не восстанавливались до естественного состояния речного зоопланктона вдоль всего исследованного участка (26 км). Такое снижение численности и биомассы зоопланктона может быть связано с длительным воздействием токсических веществ.

Библиография

- Алешина Д. Г., Афанасьева А. Л. Оценка экологического состояния малых рек – притоков Ладожского озера // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Т. II. Ярославль: Филигрань, 2014. С. 13–17.
- Андроникова И. Н. Использование показателей зоопланктона в оценке экологического состояния прибрежной зоны Ладожского озера // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем / Институт озероведения РАН. СПб.: Любович, 2011. С. 168–174.

В 1970-х гг. в месте загрязнения реки отмечалась повышенная мутность воды, негативное воздействие повышенной концентрации взвешенных частиц на зоопланктон реки проявлялось только в месте загрязнения. В 2014 г. прозрачность воды на всех исследованных участках была достаточно высокой (до дна), тем не менее на протяжении всего участка прослеживались признаки угнетенного состояния сообщества зоопланктона.

Хотя после начала очистки сточных вод нагрузка на реку аллохтонного органического вещества антропогенного происхождения снизилась, состояние зоопланктона указывает на сохранение значительного антропогенного воздействия на ее экосистему. Возможно, после очищения сточных вод биогенная нагрузка на реку снизилась, а нарушения и проявления деградационных процессов в составе и структуре сообщества могли произойти по причине длительного токсического воздействия. По данным И. К. Ривьер (2005), токсические вещества, попадающие в волжские водоемы с промышленными стоками (г. Череповец и г. Рыбинск), приводят к нарушению качества воды и быстрой гибели большинства видов зоопланктона и других групп животных. Токсическое действие неочищенных сточных вод Сегежского ЦБК в Северном Выгозере вызывало обеднение видового состава зоопланктона на 210 загрязненных участках – исчезали менее устойчивые виды, в первую очередь каланоиды. Также при токсическом воздействии снижались количественные показатели зоопланктона во все сезоны года (Куликова, 2010).

Заключение

Несмотря на создание системы по очистке воды г. Гатчины, зоопланктонное сообщество р. Ижора продолжает испытывать значительное воздействие неблагоприятных факторов. Отмечены значительные изменения в количественном развитии и структуре зоопланктона на протяжении всего исследованного участка р. Ижора, что может быть связано с длительным токсическим воздействием на зоопланктональные организмы.

- Андроникова И. Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных систем разных трофических типов . СПб.: Наука, 1996. 190 с.
- Афонина Е. Ю., Ташлыкова Н. А. К исследованиям планктона малой реки Кадалинка (Амурский бассейн) // Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразие, глобальные изменения и восстановление экосистем: Тез. докл. Всерос. конф. с междунар. участием / Отв. ред. Т. Д. Зинченко, Г. С. Розенберг. Тольятти: Кассандра, 2011. С. 13.
- Богатов В. В., Федоровский А. С. Основы речной гидрологии и гидробиологии . Владивосток: Дальнаука, 2017. 384 с.
- Волков И. В. Основные факторы антропогенных сукцессий // Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоемов европейского севера. Петрозаводск: Изд-во Петрозаводского ун-та, 1995. С. 21–22.
- Деревенская О. Ю., Мингазова Н. М., Яковлев В. В. Сообщество зоопланктона малой реки в аномальных климатических условиях (на примере р. Казанки, РФ) // Гидробиологический журнал. 2015. Т. 51. № 2. С. 13–22.
- Драчев С. М. Борьба с загрязнениями рек, озер и водохранилищ промышленными и бытовыми стоками . М.: Наука, 1964. 272 с.
- Иванова М. Б. Влияние загрязнения на планктона ракообразных и возможность их использования для определения степени загрязнения рек // Методы биологического анализа пресных вод. Л.: Зоологический институт РАН, 1976а. С. 68–80.
- Иванова М. Б. Опыт оценки участия планктона животных в процессах самоочищения воды (на примере зоопланктона прибрежных участков реки Ижора) // Гидробиологические основы самоочищения вод. Л.: Наука, 1976б. С. 36–42.
- Игнатьева Н. В., Беляков В. П., Загребин А. О., Капустина Л. Л., Надеждина Н. В., Павлова О. А., Родионова Н. В., Сусарева О. М. Комплексная оценка экологического состояния городских водоемов при антропогенном воздействии // Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем / Институт озероведения РАН. СПб.: Любавич, 2011. С. 59–67.
- Калинкина Н. М., Сярки М. Т., Тимакова Т. М., Куликова Т. П., Чекрыжева Т. А., Полякова Т. Н., Рябинкин А. В., Теканова Е. В. Современное состояние водных объектов Карелии и тенденции их изменения // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды. Минск: БГУ, 2007. С. 96–97.
- Карташева Н. В., Малашенков Д. В., Недосекин А. Г., Ростанец Д. В., Хромов В. М. Особенности распределения планктона в реке Москве // Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразие, глобальные изменения и восстановление экосистем: Тез. докл. Всерос. конф. с междунар. участием / Отв. ред. Т. Д. Зинченко, Г. С. Розенберг. Тольятти: Кассандра, 2011. С. 78.
- Кондратьева Т. А., Захаров С. Д., Жданова Г. Н. Изменчивость гидрохимических и гидробиологических параметров речных экосистем Республики Татарстан и их использование для оценки их экологического состояния // Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразие, глобальные изменения и восстановление экосистем: Тез. докл. Всерос. конф. с междунар. участием / Отв. ред. Т. Д. Зинченко, Г. С. Розенберг. Тольятти: Кассандра, 2011. С. 86.
- Крылов А. В. Зоопланктон и качество вод малой реки в условиях воздействия промышленных стоков // Зооценозы водоемов бассейна Верхней Волги в условиях антропогенного воздействия / Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанова РАН. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. Вып. 69 (72). С. 39–47.
- Крылов А. В. Зоопланктон реки Хопер на территории Хоперского государственного природного заповедника // Труды заповедника. 2016. № 10. С. 74–82.
- Куликова Т. П. Зоопланктон водных объектов бассейна Белого моря . Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. 325 с.
- Куликова Т. П. Зоопланктон водных объектов бассейна Онежского озера . Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 223 с.
- Кутикова Л. А. Коловратки речного планктона как показатели качества воды // Методы биологического анализа пресных вод. Л.: Зоологический институт РАН, 1976. С. 80–90.
- Макрушин А. В., Кутикова Л. А. Сравнительная оценка методов Пантле и Букка в модификации Сладечека и Зелинки и Марвана для определения степени загрязнения по зоопланктону // Методы биологического анализа пресных вод. Л.: Зоологический институт РАН, 1976. С. 90–94.
- Методические рекомендации при сборе и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зоопланктон и его продукция . Л.: ГосНИОРХ, 1982. 33 с.
- Методы биологического анализа пресных вод / ЗИН АН СССР. Л., 1976. 200 с.
- Миронова Т. И., Слепян Э. И. Природа Ленинградской области и ее охрана . Л.: Лениздат, 1983. 250 с.
- Монаков А. В. Питание пресноводных беспозвоночных . М.: Институт проблем экологии и эволюции

- им. А. Н. Северцова РАН, 1998. 321 с.
- Подшивалина В. Н. Зоопланктон р. Большой Цивиль (Среднее Поволжье) в условиях изменения гидрологического режима и увеличения антропогенной нагрузки // Поволжский экологический журнал. 2011. № 1. С. 49–58.
- Полищук В. В., Радзимовский Д. А., Коненко А. Д., Клоков В. М., Литвинов М. А., Синайская Т. М., Тарасевич И. Г., Травянко В. С. Оценка изменений в состоянии ценозов малых рек Украины в условиях загрязнения, эвтрофирования и изменения водности // Биологическое самоочищение и формирование качества воды. М.: Наука, 1975. С. 88–91.
- Реконструкция очистных сооружений Гатчины завершена // АСН-инфо. URN: <https://asninfo.ru/news/55339-rekonstruktsiya-ochistnykh-sooruzheniy-gatchiny-zavershena> (дата обращения 12.12.2014).
- Ривьер И. К. Крупные техногенно-нарушенные акватории на Верхней Волге: состояние зоопланктона, качество воды // Актуальные проблемы рационального использования биологических ресурсов водохранилищ / Под ред. Е. И. Извекова. Рыбинск: Изд-во ОАО «Рыбинский Дом печати», 2005. С. 239–245.
- Семенова А. С. Использование показателей зоопланктона для оценки качества воды рек Калининградской области // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2014. Т. 23. № 2. С. 124–131.
- Столбунова В. Н. Зоопланктон озера Плещеево / Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанова РАН. М.: Наука, 2006. 152 с.
- Филимонова З. И., Куликова Т. П. О зоопланктоне Петрозаводского Онего // Петрозаводское Онего и его лимнологические особенности. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1984. С. 123–138.
- Черевичко А. В. Зоопланктон малых рек Псковской области в условиях активного загрязнения // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Т. II. Ярославль: Филигрань, 2014. С. 398–401.
- Цветкова О., Калинина О., Антипова О., Левых Е., Веселова Е. Комплексное экологическое исследование верховьев р. Ижоры. СПб.: Изд-во Колпинского района, 1997. 20 с.
- Шурганова Г. В., Макеев И. С., Кудрин И. А., Ильин М. Ю., Гаврилко Д. Е. Современное состояние зоопланктона водотоков антропогенно нарушенных территорий г. Нижнего Новгорода // Экосистемы малых рек: биоразнообразие, экология, охрана. Т. II. Ярославль: Филигрань, 2014. С. 419–422.
- Шурганова Г. В., Тарбеев М. Л., Голубева А. В., Тарасова А. А. К оценке качества воды малых рек Среднего Поволжья на основании анализа индикаторных организмов зоопланктона // Экология малых рек в XXI веке: биоразнообразие, глобальные изменения и восстановление экосистем: Тез. докл. Всерос. конф. с междунар. участием / Отв. ред. Т. Д. Зинченко, Г. С. Розенберг. Тольятти: Кассандра, 2011. С. 195.
- Albanese S., Iavazzo P., Adamo P., Lima A., De Vivo B. Assessment of the environmental conditions of the Sarno river basin (south Italy): a stream sediment approach // Environmental Geochemistry and Health. 2013. Vol. 35 (3). P. 283–297.
- De Pippo T., Donadio C., Guida M., Petrosino C. The case of Sarno River (Southern Italy): effects of geomorphology on the environmental impacts // Environmental Geochemistry and Health. 2006. Vol. 13 (3). P. 184–191.
- Malmqvist B., Rundle S. Threats to the running water ecosystems of the world // Environmental Conservation. 2002. Vol. 29 (2). P. 134–153.
- Sala O. E., Chapin F. S. 3rd, Armesto J. J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L. F., Jackson R. B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D. M., Mooney H. A., Oesterheld M., Poff N. L., Sykes M. T., Walker B. H., Walker M., Wall D. H. Global biodiversity scenarios for the year 2100 // Science. 2000. Vol. 287. P. 1770–1774.
- Sládeček V. System of water quality from biological point of view // Arch. Hydrobiol. Stuttgart. 1973. Bd. 7. H. 7. P. 808–816.
- Vorosmarty C. J., McIntyre P. B., Gessner M. O., Dudgeon D., Prusevich A., Green P., Glidden S., Bunn S. E., Sullivan C. A., Liermann C. R., Davies P. M. Global threats to human water security and river biodiversity // Nature. 2010. Vol. 467. P. 555–561.
- Woodward G., Gessner M. O., Giller P. S., Gulis V., Hladyz S., Lecerf A., Malmqvist B., McKie B. G., Tiegs S. D., Cariss H., Dobson M., Elosegi A., Ferreira V., Graça M. A., Fleituch T., Lacoursière J. O., Nistorescu M., Pozo J., Risnoveanu G., Schindler M., Vadineanu A., Vought L. B., Chauvet E. Continental-scale effects of nutrient pollution on stream ecosystem functioning // Science. 2012. Vol. 336. P. 1438–1440.
- Xiong W., Ni P., Chen Y., Gao Y., Shan B., Zhan A. Zooplankton community structure along a pollution gradient at fine geographical scales in river ecosystems: the importance of species sorting over dispersal // Molecular Ecology. 2017. Vol. 26 (16). P. 4351–4360.

- Xiong W., Li J., Chen Y., Shan B., Wang W., Zhan A. Determinants of community structure of zooplankton in heavily polluted river ecosystems // *Scientific Reports*. 2016. Vol. 6. P. 1–10.
- Yang Y., Ni P., Gao Y., Xiong W., Zhao Y., Zhan A. Geographical distribution of zooplankton biodiversity in highly polluted running water ecosystems: validation of fine-scale species sorting hypothesis // *Ecology and Evolution*. 2018. Vol. 8 (10). P. 4830–4840.

Благодарности

Автор выражает благодарность С. М. Голубкову, В. А. Петухову и Я. А. Кучинской за помощь, оказанную при сборе материала, С. М. Голубкову за ценные советы при подготовке рукописи статьи.

Работа выполнена при поддержке Госстемы на 2019–2021 гг. № AAAA-A19-119020690091-0 «Исследования биологического разнообразия и механизмов воздействия антропогенных и естественных факторов на структурно-функциональную организацию экосистем континентальных водоемов. Систематизация биоразнообразия соленых озер и неполносоленых внутренних морей в зоне критической солености, изучение роли солоноватоводных видов в экосистемах».

ZOOPLANKTON COMMUNITY OF THE UPPER RICHES OF THE IZHORA RIVER (THE BALTIC SEA BASIN) UNDER THE LONG-TERM ANTHROPOGENIC IMPACT

LITVINCHUK
Larisa Fedorovna

Zoological Institute RAS, larisalitvinchuk@yandex.ru

Key words:
zooplankton
rivers
anthropogenic impact
species-bioindicators

Summary: In the conditions of increasing anthropogenic load on ecosystems it is particularly relevant to study the peculiarities of aquatic community changes due to the influence of adverse factors. To assess the state of water bodies, zooplankton organisms are used as environmental bioindicators. For each water body it is important to estimate the intensity and duration of exposure to adverse factors. On the example of the Izhora river (Leningrad region, Baltic Sea basin) influenced by industry and agricultural production for a long time, zooplankton community was studied in 2014. The results were compared to those of 1970s, at that the scheme and methods of sampling were the same. It was shown that throughout the study region the population and biomass of rotifers and crustaceans significantly decreased (more than 100 times). The reduction of the populations alongside with the disturbance of their structure is the signs of suppressed zooplankton communities. As the degree of pollution increases and species composition is depleted, the variety of food types decreases. The analysis of the trophic structure of crustaceans (considering the food types) carried out in 2014 as well as the use of saprobity index allowed estimating the quality of river water (on a plot of 26 km) as “moderately polluted” by organic matter. At the same time, there were signs indicative of toxic pollution. In the course of the study it was stated that the zooplankton community of the Izhora river continues to experience the significant adverse effects.

Reviewer: I. V. Filonenko

Received on: 09 December 2018

Published on: 25 March 2019

References

- Afonina E. Yu. Tashlykova N. A. To the study of plankton of small river Kadalinka (Amur River drainage), *Ekologiya malyh rek v XXI veke: bioraznoobrazie, global'nye izmeneniya i vosstanovlenie ekosistem: Tez. dokl. Vserop. konf. s mezhdunar. uchastiem, Otv. red. T. D. Zinchenko, G. P. Rozenberg. Tol'yatti: Kassandra, 2011.* P. 13.
- Albanese S., Iavazzo P., Adamo P., Lima A., De Vivo B. Assessment of the environmental conditions of the Sarno river basin (south Italy): a stream sediment approach, *Environmental Geochemistry and Health.* 2013. Vol. 35 (3). P. 283–297.
- Aleshina D. G. Afanas'eva A. L. Estimation of ecological state of small rivers-inflows of Lake Ladoga, *Ekosistemy malyh rek: bioraznoobrazie, ekologiya, ohrana.* T. II. Yaroslavl': Filigran', 2014. P. 13–17.
- Andronikova I. N. Structural-functional organization of zooplankton in lake systems of various trophic types. SPb.: Nauka, 1996. 190 p.
- Andronikova I. N. Use of zooplankton indices in the evaluation of ecological state of the coastal zone of Lake Ladoga, *Bioindikaciya v monitoringe presnovodnyh ekosistem, Institut ozerovedeniya RAN.* SPb.: Lyubavich, 2011. P. 168–174.
- Bogatov V. V. Fedorovskiy A. S. Basics of river hydrology and hydrobiology. Vladivostok: Dal'nauka, 2017. 384 p.
- Cherevichko A. V. Zooplankton of small rivers of Pskov Region in condition of active pollution, *Ekosistemy malyh rek: bioraznoobrazie, ekologiya, ohrana.* T. II. Yaroslavl': Filigran', 2014. P. 398–401.
- Cvetkova O. Kalinina O. Antipova O. Levyh E. Veselova E. Complex ecological study of upstreams of the Izhora River. SPb.: Izd-vo Kolpinskogo rayona, 1997. 20 p.
- De Pippo T., Donadio C., Guida M., Petrosino C. The case of Sarno River (Southern Italy): effects of

- geomorphology on the environmental impacts, Environmental Geochemistry and Health. 2006. Vol. 13 (3). P. 184–191.
- Derevenskaya O. Yu. Mingazova N. M. Yakovlev V. V. Zooplankton community of a small river in abnormal climatic conditions (on the example of the Kazanka River), Gidrobiologicheskiy zhurnal. 2015. T. 51. No. 2. P. 13–22.
- Drachev S. M. Pollution control of rivers, lakes and water bodies by industrial and domestic waste. M.; L.: Nauka, 1964. 272 p.
- Filimonova Z. I. Kulikova T. P. About zooplankton of Petrozavodskoye Onego, Petrozavodskoe Onego i ego limnologicheskie osobennosti. Petrozavodsk: Karel'skiy filial AN SSSR, 1984. P. 123–138.
- Guidlines for collection and processing of materials in hydrobiological studies in freshwater water bodies. Zooplankton and its production. L.: GosNIORH, 1982. 33 p.
- Ignat'eva N. V. Belyakov V. P. Zagrebin A. O. Kapustina L. L. Nadezhina N. V. Pavlova O. A. Rodionova N. V. Susareva O. M. Integrated assessment of ecological state of urban water bodies under antropogenic impact, Bioindikaciya v monitoringe presnovodnyh ekosistem, Institut ozerovedeniya RAN. SPb.: Lyubavich, 2011. P. 59–67.
- Ivanova M. B. Effect of pollution on planktonic crustacean and possibility of their use to determine the contamination level of rivers, Metody biologicheskogo analiza presnyh vod. L.: Zoologicheskiy institut RAN, 1976a. P. 68–80.
- Ivanova M. B. Experience in the estimation of participation of planktonic animals in the processes of water self-purification (on the example of zooplankton in coastal areas of the Izhora River), Gidrobiologicheskie osnovy samoochischeniya vod. L.: Nauka, 1976b. P. 36–42.
- Kalinkina N. M. Syarki M. T. Timakova T. M. Kulikova T. P. Chekryzheva T. A. Polyakova T. N. Ryabinkin A. V. Tekanova E. V. Actual state of water objects of Karelia and their change trends, Ozernye ekosistemy: biologicheskie processy, antropogennaya transformaciya, kachestvo vody. Minsk: BGU, 2007. C. 96–97.
- Kartasheva N. V. Malashenkov D. V. Nedosekin A. G. Rostanec D. V. Hromov V. M. Characteristics of plankton distribution in the Moscow River, Ekologiya malyh rek v XXI veke: bioraznoobrazie, global'nye izmeneniya i vosstanovlenie ekosistem: Tez. dokl. Vserop. konf. s mezhdunar. uchastiem, Otv. red. T. D. Zinchenko, G. P. Rozenberg. Tol'yatti: Kassandra, 2011. P. 78.
- Kondrat'eva T. A. Zaharov S. D. Zhdanova G. N. Variability of hydrochemical and hydrobiological parameters of river ecosystems of the Republic of Tatarstan and their use to estimate ecosystems' ecological state, Ekologiya malyh rek v XXI veke: bioraznoobrazie, global'nye izmeneniya i vosstanovlenie ekosistem: Tez. dokl. Vserop. konf. s mezhdunar. uchastiem, Otv. red. T. D. Zinchenko, G. P. Rozenberg. Tol'yatti: Kassandra, 2011. P. 86.
- Krylov A. V. Zooplankton and of water quality of a small river under the influence of industrial effluents, Zoocenozy vodoemov basseyna Verhney Volgi v usloviyah antropogennogo vozdeystviya, Institut biologii vnutrennih vod im. I. D. Papanova RAN. SPb.: Gidrometeoizdat, 1993. Vyp. 69 (72). P. 39–47.
- Krylov A. V. Zooplankton of the Khoper River in the area of Khoper State Nature Reserve, Trudy zapovednika. 2016. No. 10. P. 74–82.
- Kulikova T. P. Zooplankton of water bodies of Lake Onega basin. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2007. 223 p.
- Kulikova T. P. Zooplankton of water bodies of the White Sea basin. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy centr RAN, 2010. 325 p.
- Kutikova L. A. Rotifera of river plankton as an indicator of water quality, Metody biologicheskogo analiza presnyh vod. L.: Zoologicheskiy institut RAN, 1976. P. 80–90.
- Makrushin A. V. Kutikova L. A. Comparative estimation of the method of Pantle and Buck in modification of Sládeček and Zelinka and that of Marvan for the determination of the pollution rate by zooplankton, Metody biologicheskogo analiza presnyh vod. L.: Zoologicheskiy institut RAN, 1976. P. 90–94.
- Malmqvist B., Rundle S. Threats to the running water ecosystems of the world, Environmental Conservation. 2002. Vol. 29 (2). P. 134–153.
- Methods of biological analysis of freshwaters, ZIN AN SSSR. L., 1976. 200 p.
- Mironova T. I. Slepyan E. I. Nature of Leningrad Region and its protection. L.: Lenizdat, 1983. 250 p.
- Monakov A. V. Feeding of freshwater invertebrates. M.: Institut problem ekologii i evolyucii im. A. N. Severtsova RAN, 1998. 321 p.
- Podshivalina V. N. Zooplankton of the Bolshoy Tsivil River (Middle Volga) in conditions of changing hydrological regime and increasing anthropogenic impact, Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal. 2011. No. 1. P. 49–58.
- Polischuk V. V. Radzimovskiy D. A. Konenko A. D. Klokov V. M. Litvinov M. A. Sinayskaya T. M. Tarasevich I. G. Travyanko V. S. Estimation of changes in the state of cenosis of small rivers of Ukraine in conditions of pollution, eutrophication and water content changing, Biologicheskoe samoochischenie i formirovanie kachestva vody. M.: Nauka, 1975. P. 88–91.

- Reconstruction of sewage-purification facilities of Gatchina (Leningrad Region) is completed, ASN-info. URС: <https://asninfo.ru/news/55339-rekonstruktsiya-ochistnykh-sooruzheniy-gatchiny-zavershena> (data obrascheniya 12.12.2014).
- Riv'er I. K. Large technologically-disturbed water areas on the Upper Volga: zooplankton state, water quality, Aktual'nye problemy racional'nogo ispol'zovaniya biologicheskikh resursov vodohranilisch, Pod red. E. I. Izvekova. Rybinsk: Izd-vo OAO «Rybinskiy Dom pechatи», 2005. P. 239–245.
- Sala O. E., Chapin F. S. 3rd, Armesto J. J., Berlow E., Bloomfield J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L. F., Jackson R. B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D. M., Mooney H. A., Oesterheld M., Poff N. L., Sykes M. T., Walker B. H., Walker M., Wall D. H. Global biodiversity scenarios for the year 2100, Science. 2000. Vol. 287. P. 1770–1774.
- Semenova A. S. Use of zooplankton indices to estimate water quality of rivers in Kaliningrad Region, Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii. 2014. T. 23. No. 2. P. 124–131.
- Shurganova G. V. Makeev I. S. Kudrin I. A. Il'in M. Yu. Gavrilko D. E. Current state of zooplankton of water courses of anthropogenically disturbed territories of Nizhniy Novgorod, Ekosistemy malyh rek: bioraznoobrazie, ekologiya, ohrana. T. II. Yaroslavl': Filigran', 2014. P. 419–422.
- Shurganova G. V. Tarbeev M. L. Golubeva A. V. Tarasova A. A. To water quality assessment of small rivers of Middle Volga on the basis of the analysis of zooplankton indicator organisms, Ekologiya malyh rek v XXI veke: bioraznoobrazie, global'nye izmeneniya i vosstanovlenie ekosistem: Tez. dokl. Vserop. konf. s mezhdunar. uchastiem, Otv. red. T. D. Zinchenko, G. P. Rozenberg. Tol'yatti: Kassandra, 2011. P. 195.
- Sladeček V. System of water quality from biological point of view, Arch. Hydrobiol. Stuttgart. 1973. Bd. 7. H. 7. P. 808–816.
- Stolbunova V. N. Zooplankton of Lake Pleshcheevo, Institut biologii vnutrennih vod im. I. D. Papanova RAN. M.: Nauka, 2006. 152 p.
- Volkov I. V. Main factors of anthropogenic successions, Biologicheskie resursy Belogo morya i vnutrennih vodoemov evropeyskogo severa. Petrozavodsk: Izd-vo Petrozavodskogo un-ta, 1995. P. 21–22.
- Vorosmarty C. J., McIntyre P. B., Gessner M. O., Dudgeon D., Prusevich A., Green P., Glidden S., Bunn S. E., Sullivan C. A., Liermann C. R., Davies P. M. Global threats to human water security and river biodiversity, Nature. 2010. Vol. 467. P. 555–561.
- Woodward G., Gessner M. O., Giller P. S., Gulis V., Hladyz S., Lecerf A., Malmqvist B., McKie B. G., Tiegs S. D., Cariss H., Dobson M., Elosegi A., Ferreira V., Graça M. A., Fleituch T., Lacoursière J. O., Nistorescu M., Pozo J., Risnoveanu G., Schindler M., Vadineanu A., Vought L. B., Chauvet E. Continental-scale effects of nutrient pollution on stream ecosystem functioning, Science. 2012. Vol. 336. P. 1438–1440.
- Xiong W., Li J., Chen Y., Shan B., Wang W., Zhan A. Determinants of community structure of zooplankton in heavily polluted river ecosystems, Scientific Reports. 2016. Vol. 6. P. 1–10.
- Xiong W., Ni P., Chen Y., Gao Y., Shan B., Zhan A. Zooplankton community structure along a pollution gradient at fine geographical scales in river ecosystems: the importance of species sorting over dispersal, Molecular Ecology. 2017. Vol. 26 (16). P. 4351–4360.
- Yang Y., Ni P., Gao Y., Xiong W., Zhao Y., Zhan A. Geographical distribution of zooplankton biodiversity in highly polluted running water ecosystems: validation of fine-scale species sorting hypothesis, Ecology and Evolution. 2018. Vol. 8 (10). P. 4830–4840.