

Оценка экологического состояния малых водотоков Санкт-Петербурга по показателям зообентоса в 2019–2021 гг.

Д. С. Петров, А. М. Якушева

Санкт-Петербургский горный университет,
Российская Федерация, 199106, Санкт-Петербург, 21-я лин. В. О., 2

Для цитирования: Петров, Д. С., Якушева, А. М. (2022). Оценка экологического состояния малых водотоков Санкт-Петербурга по показателям зообентоса в 2019–2021 гг. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 67 (3), 529–544.

<https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.308>

Работа посвящена актуальному вопросу оценки состояния и изменений речных экосистем, расположенных в границах крупных мегаполисов и промагломераций. Приводятся результаты, полученные в 2019–2021 гг. в ходе гидробиологических исследований на малых водотоках Санкт-Петербурга. Обосновывается применение методов биоиндикации с целью оценки долговременных изменений водных экосистем в условиях нарастающей антропогенной нагрузки. В качестве биологических показателей состояния гидроекосистем используются различные характеристики сообщества макрозообентоса. Пробы отбирались на восьми малых водотоках города, являющихся как притоками реки Невы различного порядка (реки Охта, Славянка, Черная речка, Лубья, Оккервиль, Волковка), так и водотоками дельты (реки Смоленка и Карповка). В работе приведено краткое описание изучаемых водных объектов и мест отбора проб. Определен ряд биотических метрик и индексов, применяемых в целях биоиндикации как в России, так и за рубежом. Отмечено, что нестабильный гидрохимический режим и невысокая скорость течения в малых водотоках дельты реки Невы способствуют интенсификации процесса накопления донных отложений с высокими концентрациями экотоксикантов, что негативно сказывается на количественных и качественных характеристиках бентоценозов. В отдельных водотоках отмечается полное отсутствие донных беспозвоночных, что можно оценить как экологическую катастрофу. При оценке качества воды по состоянию макрозообентоса (индекс Майера (IM), Biological Monitoring Working Party score (BMWP-индекс), некоторые биотические метрики) можно сделать выводы о том, что к водотокам, экологическое состояние которых является крайне неблагоприятным, следует отнести Оккервиль, Черную речку и Волковку. Экологическое состояние рек Карповки, Славянки, а также устьевых участков Охты и Смоленки следует считать неблагоприятным. И, наконец, ситуацию в Лубье, истоке Смоленки и в среднем течении реки Охты можно считать близкой к удовлетворительной (невысокое качество, согласно BMWP, или умеренно загрязненная вода, согласно IM).

Ключевые слова: биоиндикация, гидробиологические исследования, донные отложения, малые водотоки, река Нева.

1. Введение

Оценка и анализ экологического состояния водотоков является одной из актуальнейших задач в сфере охраны окружающей среды в условиях крупных городов. Санкт-Петербург имеет разветвленную сеть малых рек и каналов, играющих

важнейшую транспортно-инфраструктурную, культурно-историческую и экологическую роль в жизни города. Особенность расположения малых рек и каналов в дельте реки Невы в зоне невысокой скорости течений обуславливает их уязвимость к антропогенному воздействию. Донные отложения малых водотоков города характеризуются повышенной концентрацией загрязняющих веществ, поступающих в них с ливневыми водами с городской территории, организованными сбросами сточных вод, а также в результате аэротехногенного переноса загрязняющих веществ (Kuznetsov and Petrov, 2017).

Очевидно, что для объективной оценки экологического состояния водотоков, находящихся под воздействием целого комплекса разнообразных антропогенных воздействий, совершенно необходимо использование методов биологического анализа, наиболее полно отражающих качество окружающей природной среды. В комплексном экологическом мониторинге состояния окружающей среды гидробиологический мониторинг водных объектов является важной составляющей¹. При этом среди экологических групп обитателей водной среды зообентос, как наиболее долгоживущий и стационарный компонент гидробиоценоза, достоверно отражает степень загрязнения, особенно хронического. Методы биоиндикации, основанные на количественном и качественном анализе бентической фауны, активно применяются во всем мире (Orendt et al., 2012; Rehn, 2009; Su et al., 2021; Malakane et al., 2020), в том числе и для оценки состояния водотоков урбанизированных территорий (Azrina et al., 2006; Nedeau et al., 2003; Romanenko et al., 2010; Bacey and Spurlock, 2007). Показатели развития зообентоса входят в качестве основных как в общую, так и в сокращенные программы гидробиологического мониторинга Росгидромета². Для малых водотоков урбанизированных территорий, гидрологический и гидрохимический режим которых отличается крайней нестабильностью во времени, оценка состояния сообщества донных беспозвоночных — доступный способ оценить долговременные последствия загрязнения и совокупное действие факторов среды на гидробионтов.

Широкое использование зообентоса для целей биоиндикации антропогенного воздействия послужило основой для разработки значительного числа различных биотических индексов и метрик, основанных на изучении структурных и функциональных показателей сообщества бентонтов. Однако следует отметить, что надежность используемых методов часто снижается из-за территориальной ограниченности применения. Для разных водных объектов структуру индексов и метрик приходится корректировать соответственно составу местного бентоса. В частности, для гидроэкосистем Северо-Запада России были предложены и апробированы интегральные показатели IP и IP' (Балушкина, 1995; Балушкина и Голубков, 2017), но их использование на практике ограничивается требованиями к квалификации исследователя. Для точной идентификации некоторых таксонов зообентоса необходимо использование специальных методов, включая исследование морфологических характеристик на основных стадиях онтогенеза и кариологический анализ. В частности, определение зообентоса до вида, необходимое для расчета указанных индексов, в ряде случаев требует привлечения отдельных специалистов по крупным таксонам, что используется в работах (Балушкина и Голубков, 2015; 2017).

¹ ГОСТ 17.1.3.07-82. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. Контроль качества воды.

² Там же.

С другой стороны, в некоторых работах отмечается, что при оценке загрязнения водных объектов по зообентосу использование в качестве индикаторов более крупных таксонов, чем виды, дает также надежные результаты (Безматерных, 2007).

Научно-исследовательские работы по изучению состояния малых водотоков, протекающих на территории Санкт-Петербурга, выполняются редко. Можно отметить многолетнюю работу, проводимую учеными ЗИН РАН, по биологическому мониторингу восточной части Финского залива и эстуария реки Невы, а также некоторых рек Ленинградской области (Golubkov et al., 2003; Berezina et al., 2017; Балущкина, 2004; Балущкина и Голубков 2015; 2017). Результаты бентологической биоиндикации отдельных водотоков дельты реки Невы и водоемов Санкт-Петербурга приводятся в работах (Анцулевич и Чужекова, 2009; Беляков, 2015). Официальная информация в форме докладов об экологической ситуации, выпускаемых Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Санкт-Петербурга (Доклад об экологической ситуации..., 2021), содержит сведения о гидрохимическом режиме водотоков в 15 пунктах наблюдений, из которых 8 установлены на малых водотоках. Однако данные о состоянии гидробионтов ограничиваются оценкой запасов и уловов основных промысловых видов пресноводных рыб.

Таким образом, в данной работе были поставлены две цели: 1) охарактеризовать изменения структуры сообществ бентоса, происходящие под воздействием антропогенных факторов в городских водотоках; 2) оценить экологическое состояние малых водотоков Санкт-Петербурга с использованием методов биоиндикации.

2. Материалы и методы

Материалом для исследования послужили пробы макрозообентоса, отобранные в летний период (конец июня — начало июля) 2019–2021 гг. в рамках комплексных исследований малых водотоков Санкт-Петербурга, проводимых Санкт-Петербургским горным университетом. В данной работе приводятся результаты 36 гидробиологических съемок, выполненных на различных водных объектах на 18 станциях. Каждая съемка включает в себя данные 4–6 проб бентоса, отобранных в два этапа в течение одного дня. Каждый этап предполагал отбор и объединение двух-трех проб, взятых на стрежне и прибрежье рек. Отбор производился с помощью дночерпателя Ван-Вина, с площадью захвата 0.028 м^2 . Поскольку отдельные притоки и водотоки дельты реки Невы ограничены набережными и их глубина достигает нескольких метров, точки отбора проб обычно выбирались вблизи мостов и дночерпатель опускался либо с набережной, либо с середины моста. Следует отметить замусоренность городских водотоков Санкт-Петербурга крупногабаритными предметами (трубы, пожарные гидранты, велосипеды и т. п.) и связанную с этим опасность «зацепа» и потери пробоотборника, что необходимо учитывать при работе в условиях города.

Ширина и глубина водного объекта в месте отбора пробы определялись при помощи рулетки и ручного лота. По результатам нескольких замеров глубин строился профиль русла реки. Скорость течения измерялась гидрометрической вертушкой ГМЦМ-1. Расход воды определялся расчетным способом.

Дальнейшая обработка собранного материала проводилась по стандартной методике (Методические рекомендации, 1983). Отобранные пробы промывались через сито с размером ячейки 0.3 мм, переносились в мешки из мелкоячеистой органзы и транспортировались в лабораторию. Разбор проб проводился в день отбора.

При анализе таксономического состава бентос определялся до наименьшего определяемого таксона с использованием работ (Определитель зоопланктона и зообентоса..., 2016; Хейсин, 1962), как правило, до семейства, поскольку используемые метрики и индексы не требуют большей точности определения таксономического состава.

В работе использовались биотические метрики, основанные на сопоставлении численности наиболее часто встречающихся таксономических групп, а также два биотических индекса — IM и BMWP.

В число определяемых метрик и индексов вошли:

N_{TF} — общее количество таксонов на уровне семейства. Сокращение числа таксонов высшего ранга свидетельствует об ухудшении качества среды обитания.

N_{Ch-O} — суммарная доля хирономид и олигохет, %. Показатель, указывающий на ухудшение качества воды, связанное с органическим загрязнением. В критических случаях достигает 100 %.

$An/Mo/Ar$ — процентное соотношение по численности представителей трех основных типов зообентоса — кольчатых червей (*Annelida*), моллюсков (*Mollusca*) и членистоногих (*Arthropoda*). Дает общее представление о структуре бентоса.

IG — индекс Гуднайта — Уитлея. Широко применяемый показатель качества воды, отражающий степень загрязнения органическими веществами. Представляет собой отношение численности малощетинковых червей к общей численности бентоса. Используется в программах гидробиологического мониторинга Росгидромета³.

IP_1 — индекс Пареле для рек с медленным течением (отношение семейства тубифицид к суммарной численности олигохет). Является модификацией индекса Гуднайта, корректирующей показания для медленно текущих водотоков, где бентос может быть представлен преимущественно малощетинковыми червями.

IM — индекс Майера. Один из наиболее простых методов оценки качества воды. Предполагает разделение бентонтов на три группы по приуроченности к водным объектам с различной степенью загрязнения.

$BMWP$ — индекс, широко используемый для оценки качества вод в Великобритании и странах ЕС. В зависимости от уровня толерантности к загрязнению, таксонам бентоса присваиваются баллы. Итоговое значение индекса представляет сумму баллов всех таксонов, обнаруженных на участке.

3. Краткое описание исследуемых водотоков и мест отбора проб

Пробы отбирались на восьми малых водотоках города, являющихся как притоками реки Невы различного порядка (реки Охта, Славянка, Черная речка, Лубья, Оккервиль, Волковка), так и водотоками дельты (реки Смоленка и Карповка) (рис. 1). Общая информация по водотокам представлена с использованием (Алябина и др., 2002).

³ ГОСТ 17.1.3.07-82. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. Контроль качества воды.

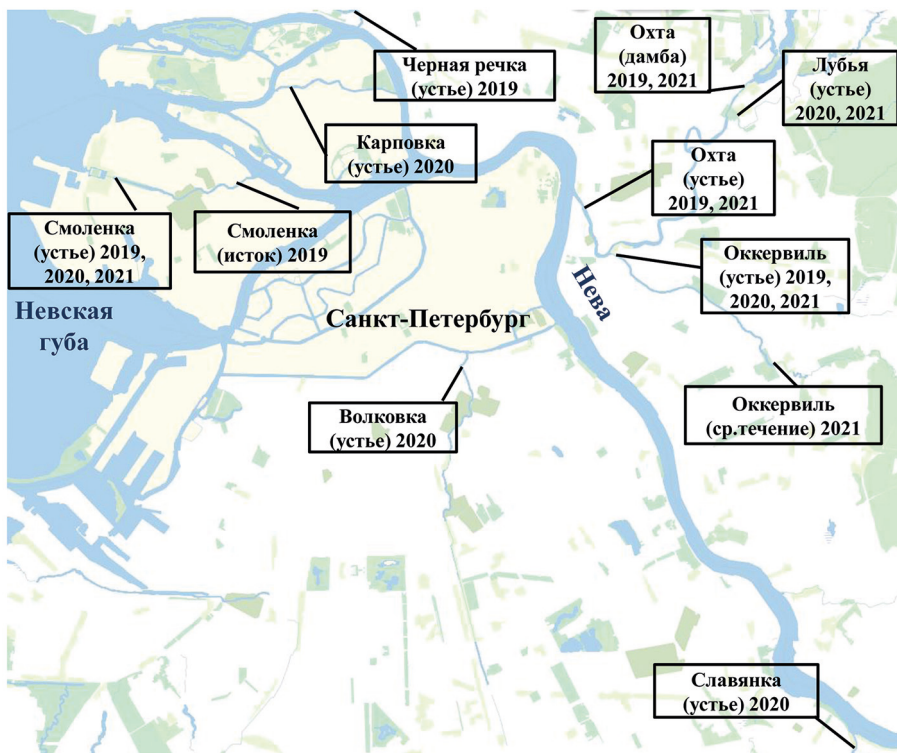


Рис. 1. Точки и года отбора проб макрозообентоса (основа — Яндекс.Карты)

Река Смоленка является малым рукавом дельты реки Невы. Берет начало в Малой Неве и впадает в Финский залив. Общая длина 3,7 км. Пробы у истока отбирались в створе Уральского моста. Берега ограничены гранитной набережной, проезжей частью и жилой застройкой. Ширина реки — 20 м, максимальная глубина около 2,5 м, скорость течения 0,2 м/с. Донные отложения представлены немного заиленными песками. В устье пробы отбирались в створе моста Кораблестроителей. Русло в нижнем течении зарегулировано. Берега представлены гранитной набережной. По берегам расположены жилые многоэтажные дома, присутствуют зеленые насаждения. Ширина реки 40 м, глубина 3 м. Течение реки в этом участке русла определяется уровнем воды в Финском заливе, а также направлением ветра. В связи с этим на дне формируются наносы толщиной более 0,5 м, представленные техногенными илами от серого до черного цвета с характерным гнилостным запахом. Следует отметить, что данный водоток изучался на протяжении нескольких лет, и можно говорить о крайней нестабильности гидрохимического режима реки (Kuznetsov and Petrov, 2017).

Река Карповка также является элементом дельты реки Невы. Берет начало в Большой Невке и впадает в Малую Невку. Общая длина 3 км. Все русло реки проходит по урбанизированной территории. Место отбора проб находилось в створе Барочного моста. Берега реки на данном участке крутые с полосой древесно-кустарниковой растительности шириной не более 10 м, отделяющей набережную

от автодорог и жилой застройки. Ширина русла — 25 м, глубина достигает 3.2 м, скорость течения около 0.2 м/с. Донные отложения представлены песками. На дне большое количество антропогенного мусора.

Система реки Охты в черте города включает в себя два значимых левых притока — реки Лубья и Оккервиль. Охта течет с севера на юг и впадает в Неву в 12.5 км от ее устья. Является крупнейшим правым притоком реки Невы в черте города. Длина Охты от истока до устья составляет 90 км. В среднем течении расположено несколько населенных пунктов, на территории которых впадают некоторые небольшие ручьи и речки. Далее река течет по территории Санкт-Петербурга. В черте города расположено Охтинское водохранилище с площадью зеркала 1.08 км². Пруд отделяется от нижнего плеса плотиной, поднимающей уровень воды до 7–8 м. Охта является судоходной рекой на протяжении 8 км от устья. По данным докладов об экологической ситуации в Санкт-Петербурге (Доклад об экологической ситуации..., 2021), Охта является наиболее загрязненной рекой города. Пробы на реке отбирались в двух створах. Один из них расположен ниже по течению от плотины Охтинского водохранилища. Данный участок реки отличается нестабильностью гидрологического режима, обусловленной периодическим сбросом воды из водохранилища. Ширина реки в этом створе составляет 25–30 м. Пробы отбирались у берега во время понижения уровня воды. Глубина отбора составляла 1 м. Дно илисто-песчаное с крупными камнями. Развита высшая водная растительность. Берега с древесной и кустарниковой растительностью. Второй створ располагался в устье реки в створе Комаровского моста. Ширина русла 35–40 м, глубина отбора проб 1.8 м, скорость течения 0.2–0.3 м/с. Донные отложения наносного характера на подводной части набережной с большим количеством крупного антропогенного мусора. На поверхности воды — мусор и пятна нефтепродуктов.

На притоках реки Охты пробы отбирались в трех створах: в одном — на реке Лубья и в двух — на реке Оккервиль. Река Лубья берет свое начало в Ждановском озере Всеволожского района Ленинградской области и впадает в Охту в 8 км от устья. Длина реки составляет 26 км, глубина варьируется от 40 см до 1 м, ширина — от 5 до 18 м, у плотины во Всеволожске достигает 50–60 м. Отбор проб производился в створе Малого Ильинского моста на глубине не более 1 м. Донные отложения представляют собой песок, на котором формируются заросли стрелолиста. Участок реки сильно замусорен. Река Оккервиль берет начало в болотистой местности южнее Колтушских высот во Всеволожском районе Ленинградской области. Устье находится на востоке Санкт-Петербурга, где она впадает в реку Охту в 1.8 км от ее устья. Длина реки Оккервиль составляет 18 км. Ширина изменяется от 1.5 до 25 м. Дно реки загрязнено всевозможным мусором. Отбор проб проводился на двух участках: в створах Уткиного и Товарищеского мостов. Первый участок расположен в устье реки, глубина составляет около 1.2 м. Донные отложения илистые, с сильным фекальным запахом. Второй участок с глубиной до 0.5 м характеризуется песчаным грунтом, загрязненным строительным мусором, и полным отсутствием высшей водной растительности.

Река Черная речка — правый приток реки Невы. Естественная длина русла реки составляла 8.1 км, однако в верхнем течении русло частично засыпано в результате активной застройки этого района города, и в настоящее время протяженность сохранившегося участка Черной речки не превышает 4 км. По всей длине река протекает по территории города Санкт-Петербурга и подвергается сильному

антропогенному воздействию. Пробы отбирались в створе Строгановского моста. Берега ограничены набережными. На правом берегу парковая зона. Из-за низкого уровня воды течение практически отсутствовало. Ширина реки 23 м. Глубина отбора проб 3.2 м. Донные отложения представлены мощным слоем черных техногенных илов, содержащих нефтепродукты.

Река Славянка — левый приток реки Невы. Длина 39 км. Впадает в реку Неву в юго-восточной части города в 27 км от устья. В последние годы река часто оказывается загрязненной из-за аварийных сбросов различных предприятий. Пробы отбирались в створе Рыбацкого моста. На берегах присутствует растительность, большое количество бытового мусора. На поверхности воды пятна нефтепродуктов, вода мутная. Дно сформировано слоем техногенных илов с резким запахом. Ширина реки около 35 м. Скорость течения 0.1–0.2 м/с. Пробы отбирались с глубины 1.8 м.

Река Волковка относится к рекам, имеющим максимальный показатель объема сброса на единицу длины реки среди всех водотоков на юго-западе города. Длина около 25 км, ширина в низовьях от 7 до 20 м, глубина до 1 м. Вода загрязнена канализационными стоками и мусором. Отбор проб производился в створе Грааповского моста. Донные отложения представлены техногенными илами.

Из исследуемых водотоков в 2019–2020 гг., согласно (Доклад об экологической ситуации..., 2021), воды Карповки и Черной речки характеризовались как «слабозагрязненные-загрязненные», Охты и Славянки — как «грязные». Данных об экологическом состоянии других водотоков не приводится.

4. Результаты и обсуждение

Для предварительной оценки состояния макрозообентоценоза была определена плотность сообществ (рис. 2).

Плотность сообщества, т.е. численность всех организмов бентоса на единице площади, не является надежным индикатором антропогенных преобразований гидроэкосистем. В большинстве случаев численность организмов определяется естественными или естественно-антропогенными факторами, такими как: тип донных отложений, гидрологические характеристики водотока, поступление alloхтонного органического вещества, температура, наличие высшей водной растительности, характеристики водосбора и др.

В нашем случае наибольшие значения плотности бентоса (от 2700 до 11 500 экз/м²) были характерны для местообитаний в рукавах Невы (реки Карповка, Смоленка), участков с зарослями макрофитов (река Лубья), но особенно интересной является относительно высокая численность бентоса в среднем течении реки Охта. Несмотря на то, что по химическим показателям Охта является одной из самых загрязненных рек города, гидрологические особенности участка реки ниже дамбы Охтинского водохранилища способствуют развитию высшей водной растительности и бентоса. Периодический сброс воды через дамбу обогащает воду кислородом и питательными веществами, что в определенной степени купирует антропогенное давление на экосистему.

Следует отметить, что даже самые высокие значения плотности бентоценоза не достигают тех значений, которые были характерны для устьевых участков притоков Невы в 1990-е годы (Экологическое состояние..., 1996). Например, для Сла-

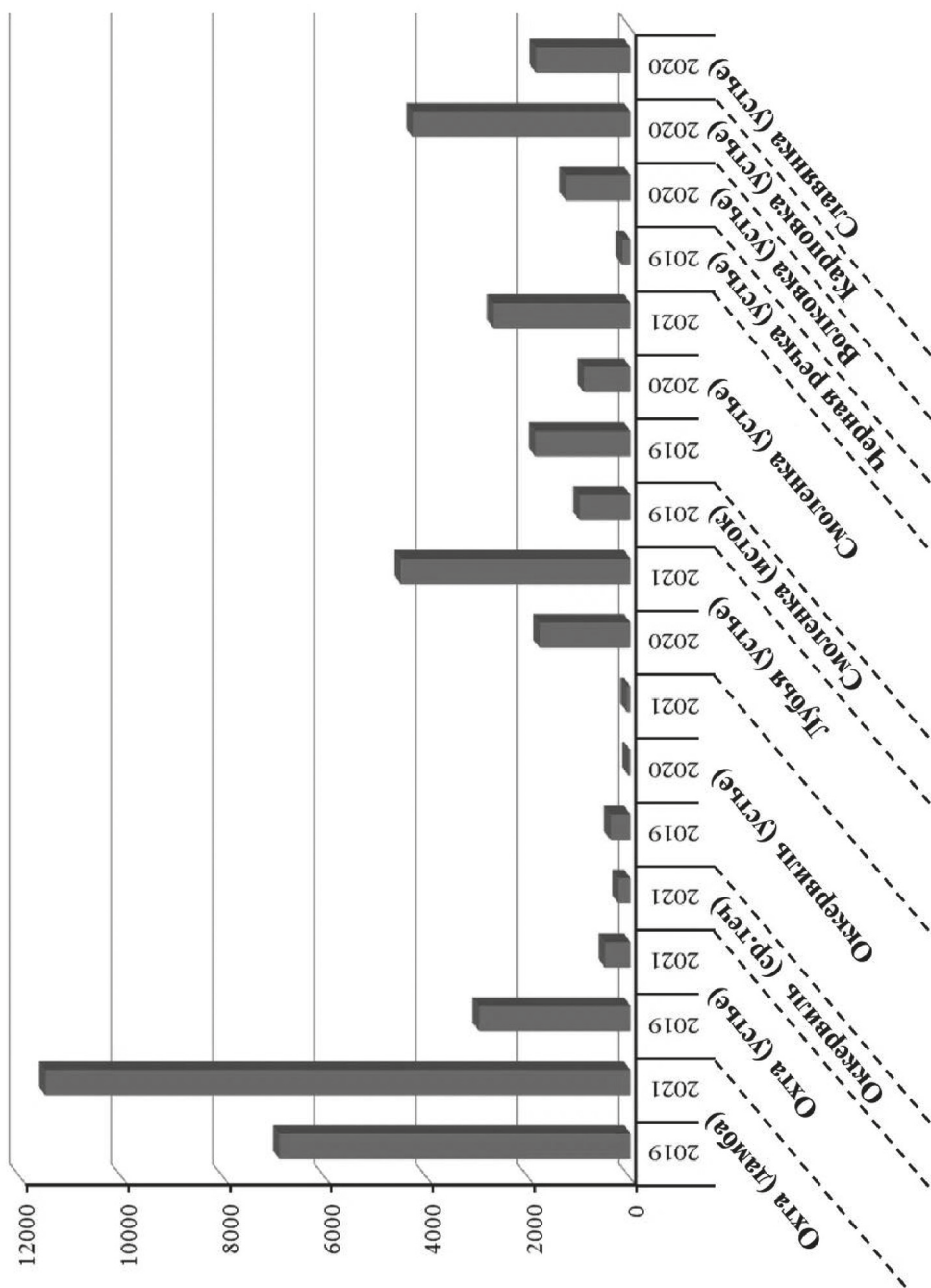


Рис. 2. Средняя плотность сообщества макрозообентоса на исследуемых участках в разные годы, экз/м²

вянки указывалась численность порядка 45 000 экз/м², что в 20 раз превышает полученный нами результат. В ряде случаев мы видим катастрофическое снижение плотности бентоценоза, которое можно объяснить только антропогенным воздействием. Очень показательны станции на реке Оккервиль (30–400 экз/м²) и в устье Черной речки (до 200 экз/м²), где в отдельных пробах попадались единичные экземпляры или бентос отсутствовал. В ряде случаев (реки Карповка и Смоленка) полученные значения совпадают с данными, представленными в других работах (Анцулевич и Чужекова, 2009), но для отдельных водотоков отмечалось существенное снижение численности бентоса (Черная речка, Волковка).

Применение биотических метрик, основанных на показателях численности отдельных таксономических групп, ограничено бедным таксономическим разнообразием исследованных сообществ. Всего за период с 2019 по 2021 г. были определены представители шестнадцати таксонов ранга семейства. Наибольшая встречаемость отмечается для видов семейства *Tubificidae*, которые присутствовали в пробах на всех станциях. Следующая по встречаемости группа бентонтов (50–70 % проб) включает в себя семейства червей (*Naididae*), моллюсков (*Viviparidae* и *Sphaeriidae*) и двукрылых насекомых (*Chironomidae*). Сравнительно редко (25–35 %) встречались два семейства пиявок (*Glossiphoniidae* и *Herpobdellidae*) и два семейства брюхоногих моллюсков (*Lymnaeidae* и *Planorbidae*). Их обнаруживали в отдельные годы на станциях на реках Охте (дамба), Лубье, Карповке, Славянке и Смоленке. И, наконец, наиболее редкими оказались представители отряда *Isopoda* семейства *Asellidae* (реки Охта, Лубья и Оккервиль в 2019 г.), семейства моллюсков *Bithyniidae*, *Valvatidae* (Охта, Лубья и Смоленка) и *Unionidae* (только в истоке Смоленки), семейства насекомых отряда *Diptera* — *Tipulidae* (Смоленка в 2019 г.) и *Simuliidae* (Карповка, Лубья в 2020 г.), а также отряда *Trichoptera* (в устье Смоленки в 2019 г. и на Лубье в 2020 г.).

Во всех пробах доминируют представители олигохет семейств *Tubificidae* и *Naididae*, на втором месте по численности — личинки комаров-звонцов *Chironomidae*, что в целом согласуется с другими исследованиями (Анцулевич и Чужекова, 2009; Балущкина, 2004; Беляков и др., 2015). В отдельных пробах значимую долю бентоса составляли моллюски семейств *Viviparidae* и *Sphaeriidae*. Группы, являющиеся индикаторами чистых вод, такие как *Unionidae* и *Trichoptera*, встретились лишь в отдельных пробах в 2019 (Смоленка) и в 2020 г. (Лубья). Значения биотических метрик по отдельным станциям приведены в табл. 1.

Можно заметить, что не все индексы хорошо отражают экологическую ситуацию в водотоках урбанизированных территорий. Широко известный олигохетный индекс Гуднайта оказывается показательным в случае органического загрязнения воды и плохо показывает токсификацию водоема. В большинстве случаев надежность индексов прямо зависит от численности зообентоса, а в городских водотоках сложно отобрать представительные пробы. Например, в реке Оккервиль (устье, 2021 г.) значение индекса составило 50 %, что свидетельствует о незначительной степени загрязнения воды. Однако если сопоставить эту цифру с плотностью сообщества (0–71 экз/м²) и учесть тот факт, что вторую половину столь малочисленного бентоса представляют круглые черви, — экологическая ситуация представляется совершенно иной.

Результаты расчета индексов IM и BMWP представлены на рис. 3. Как видно из диаграммы, индексы хорошо коррелируют и указывают на плохое качество воды. Значения индекса Майера позволяют также выделить зону очень грязных

Таблица 1. Биотические метрики

Точка отбора	Год	Nt _Б шт	N _{Ch-O} , %	IG, %	IP ₁ , %	An/Mo/Ar, %
Охта (дамба)	2019	8	93	87	100	88/5/7
	2021	11	61	61	100	62/35/3
Охта (устье)	2019	7	82	80	88	81/17/2
	2021	2	100	100	79	100/0/0
Оккервиль (ср. течение)	2021	3	100	85	55	85/0/15
Оккервиль (устье)	2019	3	95	95	57	95/0/5
	2020	1	100	100	100	100/0/0
	2021	2	50	50	100	100/0/0
Лубья (устье)	2020	9	78	54	100	64/6/30
	2021	10	91	60	99	65/3/32
Смоленка (исток)	2019	9	63	59	67	61/34/5
Смоленка (устье)	2019	10	52	44	84	44/44/12
	2020	3	82	82	62	82/18/0
	2021	7	93	93	94	93/7/0
Черная речка (устье)	2019	5	56	56	80	56/44/0
Волковка (устье)	2020	3	97	94	100	97/0/3
Карповка (устье)	2020	5	95	74	100	75/0/25
Славянка (устье)	2020	6	89	51	100	52/10/38

Примечание. Пояснения к таблице даны в тексте.

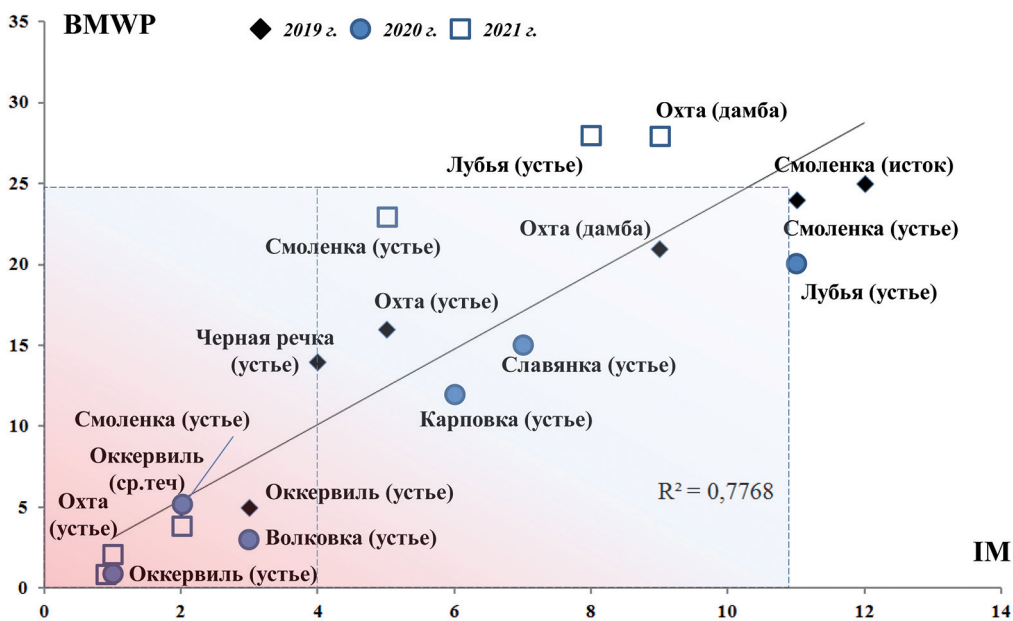


Рис. 3. Значения индексов IM и BMWP для исследуемых водотоков (цветом выделена зона, в пределах которой оба индекса указывают на грязные водотоки)

вод ($IM < 4$). При оценке качества воды по стандартным методикам можно выделить только одну точку отбора проб, выходящую в зону невысокого качества воды (умеренного загрязнения), — Смоленка (исток). Результаты совместного использования биотических индексов можно интерпретировать следующим образом. К водотокам, экологическое состояние которых является крайне неблагоприятным («очень грязные»), следует отнести Оккервиль, Черную речку и Волковку. Экологическое состояние рек Карповки, Славянки, а также устьевых участков Охты и Смоленки следует считать неблагоприятным («грязные»). И, наконец, ситуацию в Лубье, истоке Смоленки и в среднем течении реки Охты можно считать близкой к удовлетворительной (невысокое качество, согласно BMWF, или умеренно загрязненная вода, согласно IM).

5. Выводы

Общее экологическое состояние малых рек Санкт-Петербурга по результатам биоиндикации следует признать неудовлетворительным.

Малые водотоки дельты реки Невы (Смоленка и Карповка) находятся в относительно удовлетворительном состоянии благодаря тому, что берут свое начало из крупных рукавов дельты, где разбавление загрязняющих веществ идет достаточно интенсивно, что отмечается и другими авторами (Анцулевич и Чужекова, 2009). Расчистка русла реки Смоленки в 2018–2020 гг. привела к серьезному ухудшению показателей макрозообентоценоза. В 2021 г. ситуация начала стабилизироваться.

Экологическое состояние водотоков бассейна реки Охты определяется совокупностью антропогенных факторов, таких как прямой сброс промышленных сточных вод, загрязнение водосборной территории, рост антропогенной нагрузки со стороны коммунального сектора. Последний источник воздействия должен находиться под строгим контролем органов власти и общественности. Крупные пригороды Санкт-Петербурга, такие как Кудрово и Мурино, расположены именно в бассейне Охты. С 2019 г. экологическое состояние устья реки Оккервиль, протекающей через город Кудрово, ухудшилось до такой степени, что в некоторых пробах вообще не встречаются организмы, а донные отложения представляют собой слизистые органические отложения с фекальным запахом. Река Лубья в районе устья демонстрирует относительно высокое богатство таксонов бентоса, обусловленное формированием биотопа с зарослями водной растительности и небольшой глубиной. Химический состав воды здесь выступает в роли главного лимитирующего фактора. Пространственная динамика показателей зообентоса свидетельствует о серьезном ухудшении качества воды в Охте в пределах Санкт-Петербурга.

Состояние экосистемы Черной речки определяется профилем русла реки (гранитные набережные, глубина до 2–3 м в нижнем течении), а также формированием наносов в устье при поднятии уровня воды в Неве. Химический состав мощного слоя донных отложений влияет на донные сообщества крайне негативно, вызывая в том числе морфологические отклонения у представителей фильтраторов и детритофагов-собираателей. При этом химический состав воды верхнего слоя может сформировать ошибочное мнение об относительно благоприятной обстановке в данном водотоке.

Экологическое состояние левых притоков реки Невы (Славянки и Волковки) определяется в основном сбросом промышленных стоков, а качество воды может быть определено как «грязное и очень грязное». Токсическое загрязнение часто но-

сит залповый характер. В 2020 г. эти водотоки несколько раз подвергались залповым сбросам тяжелых металлов и поверхностно-активных веществ. Именно в таких ситуациях методы биоиндикации должны играть ведущую роль в определении состояния гидроэкосистем, поскольку определение химических показателей будет свидетельствовать лишь о текущем состоянии экосистемы, но не отразит последствий произошедшей экологической катастрофы.

Литература

- Алябина, Г. А., Басова, С. Л., Беляков, В. П., Бударин, В. Ф., Бутылин, В. П., Былина, Т. С., Ваганова, Н. Ю., Варфоломеева, И. Н., Воронцов, А. М., Вуглинский, В. С., Гальцова, В. В., Глухова, С. Э., Гронская, Т. П., Дмитриев, В. В., Драбова, В. Г., Ефремова, Л. В., Зайцева, О. В., Игнатъева, Н. В., Канцарина, О. В., Кобелева, Н. И., Ковалева, В. В., Кондратьев, С. А., Кудерский, Л. А., Кулангиева, Л. В., Куриленко, В. В., Кучер, А. И., Ланге, Н. И., Леонова, М. В., Литова, Т. Э., Макарецца, Е. С., Мальшев, В. В., Мелентьев, К. В., Михайленко, Р. Р., Моисеенков, А. И., Никанорова, М. Н., Новиков, А. Н., Огарков, П. И., Осмоловская, Н. Г., Павлова, О. А., Петрова, Г. В., Прыткова, М. Я., Распопов, И. М., Румянцев, В. А., Рыбалко, А. Е., Сергеева, Л. В., Силина, Н. И., Скакальский, Б. Г., Смирнова, Л. Я., Сорокин, И. Н., Степаненко, И. В., Трифонова, И. С., Федорова, Н. К., Фруммин, Г. Т., Чеботарев, Е. А., Шелутко, В. А. (2002). *Водные объекты Санкт-Петербурга*. Администрация Санкт-Петербурга, Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности. СПб.: Символ.
- Анцулевич, А. Е., Чужекова, Т. А. (2009). Гидробиологические характеристики малых водотоков Санкт-Петербурга. В: *Экологическая школа в Петергофе — наукограде Российской Федерации: Биоразнообразие и биоиндикация в естественных и трансформированных экосистемах Северо-западного региона, материалы IV Региональной молодежной экологической конференции*. Санкт-Петербург, 7–12.
- Балушкина, Е. В. (1995). Новый метод оценки качества вод по показателям зообентоса. В: *Современные проблемы гидроэкологии, тезисы конференции*. СПб., 8–9.
- Балушкина, Е. В. (2004). Изменение структуры сообществ донных животных при антропогенном воздействии на водные экосистемы (на примере малых рек Ленинградской области). *Евразийский энтомологический журнал*, 3 (4), 276–282.
- Балушкина, Е. В., Голубков, С. М. (2015). Биоразнообразие сообществ донных животных и качество вод эстуария р. Невы в условиях антропогенного стресса. *Труды Зоологического института РАН*, 319 (2), 229–243.
- Балушкина, Е. В., Голубков, С. М. (2017). Изменение качества воды и биоразнообразия сообществ донных животных в эстуарии р. Невы под влиянием антропогенного стресса. *Региональная экология*, 2 (48), 5–17.
- Безматерных, Д. М. (2007) *Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири: анализ. обзор*. Новосибирск: ГПНТБ СОРАН (Сер. Экология. Вып. 85).
- Беляков, В. П., Бажора, А. И., Сотников, И. В. (2015). Мониторинг экологического состояния городских водоемов Санкт-Петербурга по показателям зообентоса. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 17 (6), 51–56.
- Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2020 году*. Под ред. Д. С. Беляева, И. А. Серебрицкого (2021). Ижевск: ООО «ПРИНТ».
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция* (1983). Л.: Лениздат.
- Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос* (2016). Под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолыхина. М.: Товарищество научных изданий КМК.
- Хейсин, Е. М. (1962). *Краткий определитель пресноводной фауны*. Издание 2-е, испр. и доп. М. *Экологическое состояние водоемов и водотоков бассейна реки Невы* (1996). Под ред. А. Ф. Алимона, А. К. Фролова; С.-Петерб. науч. центр РАН, Ком. по экологии и природ. ресурсам Санкт-Петербурга и Ленингр. обл. СПб.: СПбНЦ РАН.
- Azrina, M. Z., Yarp, S. K., Rahim Ismail, A., Ismail, A. and Tan, S. G. (2006). Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat river, Pen-

- insular Malaysia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 64 (3), 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.04.003>
- Bacey, J. and Spurlock, F. (2007). Biological assessment of urban and agricultural streams in the California Central valley. *Environmental Monitoring and Assessment*, 130 (1–3), 483–493. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9438-8>
- Berezina, N. A., Gubelit, Y. I., Polyak, Y. M., Sharov, A. N., Kudryavtseva, V. A., Lubimtsev, V. A. and Shigaeva, T. D. (2017). An integrated approach to the assessment of the eastern Gulf of Finland health: A case study of coastal habitats. *Journal of Marine Systems*, 171, 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.08.013>
- Golubkov, S. M., Alimov, A. F., Telesh, I. V., Anokhina, L. E., Nikulina, V. N., Paveleva, E. B. and Panov, V. E. (2003). Functional response of midsummer planktonic and benthic communities in the Neva estuary (eastern Gulf of Finland) to anthropogenic stress. *Oceanologia*, 45 (1), 53–66.
- Kuznetsov, V. S. and Petrov, D. S. (2017). Assessing the environmental condition of minor rivers in urban areas. *Journal of Ecological Engineering*, 18 (6), 110–114. <https://doi.org/10.12911/22998993/76221>
- Malakane, K., Addo-Bediako, A. and Kekana, M. (2020). Benthic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in the Blyde river of the Olifants river system, South Africa. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18 (1), 1621–1635.
- Nedeau, E. J., Merritt, R. W. and Kaufman, M. G. (2003). The effect of an industrial effluent on an urban stream benthic community: Water quality vs. habitat quality. *Environmental Pollution*, 123 (1), 1–13. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00363-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00363-9)
- Orendt, C., Wolfram, G., Adámek, Z., Jurajda, P. and Schmitt-Jansen, M. (2012). The response of macroinvertebrate community taxa and functional groups to pollution along a heavily impacted river in central Europe (Bílina river, Czech Republic). *Biologia*, 67 (1), 180–199. <https://doi.org/10.2478/s11756-011-0158-3>
- Rehn, A. C. (2009). Benthic macroinvertebrates as indicators of biological condition below hydropower dams on west slope Sierra Nevada streams, California, USA. *River Research and Applications*, 25 (2), 208–228. <https://doi.org/10.1002/rra.1121>
- Romanenko, V. D., Liashenko, A. V., Afanasyev, S. A. and Zorina-Sakharova, Y. Y. (2010). Biological indication of ecological status of the water bodies within Kiev city boundaries. *Hydrobiological Journal*, 46 (4), 3–24. <https://doi.org/10.1615/HydroBJ.v46.i4.10>
- Su, Y., Li, W., Liu, L., Hu, W., Li, J., Sun, X. and Li, Y. (2021). Health assessment of small-to-medium sized rivers: Comparison between comprehensive indicator method and biological monitoring method. *Ecological Indicators*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107686>

Статья поступила в редакцию 29 ноября 2021 г.

Статья рекомендована к печати 15 июня 2022 г.

Контактная информация:

Петров Денис Сергеевич — Petrov_DS@pers.spmi.ru
Якушева Анна Максимовна — s180224@stud.spmi.ru

Assessment of the ecological state of small rivers of St Petersburg according to the benthic macroinvertebrates indicators in 2019–2021

D. S. Petrov, A. M. Yakusheva

St Petersburg Mining University,
2, 21-ya liniya V. O., St Petersburg, 199106, Russian Federation

For citation: Petrov, D. S., Yakusheva, A. M. (2022). Assessment of the ecological state of small rivers of St Petersburg according to the benthic macroinvertebrates indicators in 2019–2021. *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 67 (3), 529–544. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2022.308> (In Russian)

The article explores the topical issue of assessing the state and changes of river ecosystems located within the boundaries of large cities and industrial agglomerations. The paper pre-

sents the results obtained during hydrobiological studies on small rivers of St. Petersburg (Russian Federation) in 2019–2021. The application of bioindication methods is substantiated in order to assess long-term changes in aquatic ecosystems under conditions of increasing anthropogenic load. Various characteristics of the community of benthic invertebrates are used as biological indicators of the state of hydroecosystems. Benthos samples were taken on eight small watercourses of the city, which are both tributaries of the Neva River of various orders (the Okhta, Slavyanka, Chernaya Rechka, Luby, Okkervil, Volkovka rivers) and delta watercourses (the Smolenka and Karpovka rivers). The paper provides a brief description of the studied water bodies and sampling sites. A number of biotic metrics and biotic indices used for bioindication purposes both in Russia and abroad have been identified. It is noted that the unstable hydrochemical regime and low flow velocity in the small watercourses of the Neva River delta contribute to the intensification of the accumulation of sediments with high concentrations of ecotoxicants, which negatively affects both quantitative and qualitative characteristics of biocenoses. In some watercourses there is a complete absence of bottom invertebrates, which can be assessed as an ecological disaster. When assessing water quality by quantitative and qualitative characteristics of communities of benthic invertebrates (Mayer index, BMWP index, some biotic metrics), it can be concluded that Okkervil River, Chernaya Rechka River and Volkovka River should be attributed to watercourses whose ecological state is extremely unfavorable. The ecological state of the rivers Karpovka River, Slavyanka River, as well as the river mouth of Okhta River and Smolenka River should be considered unfavorable. And finally, the situation in Luby River, the river head of Smolenka River and in the middle part of the Okhta River can be considered close to satisfactory (low quality according to BMWP or moderately polluted water according to IM).

Keywords: bioindication, hydrobiological studies, bottom sediments, small watercourses, Neva River.

References

- Alyabina, G. A., Basova, S. L., Belyakov, V. P., Budarin, V. F., Butylin, V. P., Bylina, T. S., Vaganova, N. Yu., Varfolomeeva, I. N., Voroncov, A. M., Vuglinskij, V. S., Galčova, V. V., Gluhova, S. E., Gronskaya, T. P., Dmitriev, V. V., Drabkova, V. G., Efremova, L. V., Zajceva, O. V., Ignat'eva, N. V., Kancarina, O. V., Kobleva, N. I., Kovaleva, V. V., Kondrat'ev, S. A., Kuderskij, L. A., Kulangieva, L. V., Kurilenko, V. V., Kucher, A. I., Lange, N. I., Leonova, M. V., Litova, T. E., Makarceva, E. S., Malyshev, V. V., Melent'ev, K. V., Mihajlenko, R. R., Moiseenkov, A. I., Nikanorova, M. N., Novikov, A. N., Ogarkov, P. I., Osmolovskaya, N. G., Pavlova, O. A., Petrova, G. V., Prytkova, M. YA., Raspopov, I. M., Rumyanec, V. A., Rybalko, A. E., Sergeeva, L. V., Silina, N. I., Skakal'skij, B. G., Smirnova, L. YA., Sorokin, I. N., Stepanenko, I. V., Trifonova, I. S., Fedorova, N. K., Frumin, G. T., Chebotarev, E. A. and Shelutko, V. A. (2002). *Water objects of St Petersburg*. Administration of St Petersburg, Committee for Nature Management, Environmental Protection and Ensuring Ecological Safety. St Petersburg: Simvol Publ. (In Russian)
- Alimova, A. F. and Frolova, A. K. (eds) (1996). *Ecological state of reservoirs and streams of the Neva River basin*; St Peterb. nauch. tsentr RAN, Kom. po ekologii i prirod. resursam Sankt-Peterburga i Leningr. obl. St Petersburg: SPbNTs RAN Publ. (In Russian)
- Antsulevich, A. E. and Chuzhekova, T. A. (2009). Hydrobiological characteristics of small streams in St Petersburg. In: *Ekologičeskaja škola v Petergofe — nauko-grade Rossijskoi federatsii: Bioraznoobrazie i bioindikatsija v estestvennykh i transformirovannykh ekosistemakh Severo-zapadnogo regiona*, materialy IV Regional'noi molodezhnoi ekologičeskoi konferentsii. St Petersburg, 7–12. (In Russian)
- Azrina, M. Z., Yap, C. K., Rahim Ismail, A., Ismail, A. and Tan, S. G. (2006). Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat river, Peninsular Malaysia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 64 (3), 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.04.003>

- Bacey, J. and Spurlock, F. (2007). Biological assessment of urban and agricultural streams in the California Central valley. *Environmental Monitoring and Assessment*, 130 (1–3), 483–493. <https://doi.org/10.1007/s10661-006-9438-8>
- Balushkina, E. V. (1995). A new method for assessing water quality based on zoobenthos indicators. In: *Sovremennyye problemy gidroekologii, tezisy konferentsii*. St Petersburg, 8–9. (In Russian)
- Balushkina, E. V. (2004). Changes in the structure of benthic animal communities under anthropogenic impact on aquatic ecosystems (on the example of small rivers in the Leningrad region). *Evrasiatskii entomologicheskii zhurnal*, 3 (4), 276–282. (In Russian)
- Balushkina, E. V. and Golubkov, S. M. (2015). Biodiversity of benthic animal communities and water quality of the Neva River estuary under anthropogenic stress. *Proceedings of the Zoological Institute RAS*, 319 (2), 229–243. (In Russian)
- Balushkina, E. V. and Golubkov, S. M. (2017). Changes in water quality and biodiversity of benthic animal communities in the estuary of the Neva River under the influence of anthropogenic stress. *Regional'naiia ekologiya*, 2 (48), 5–17. (In Russian)
- Beliaeva, D. S. and Serebritskii, I. A. (eds) (2021). *Report on the environmental situation in St Petersburg in 2020*. Izhevsk: OOO «PRINT» Publ. (In Russian)
- Beliakov, V. P., Bazhora, A. I. and Sotnikov, I. V. (2015). Monitoring of the ecological state of urban reservoirs of St. Petersburg in terms of zoobenthos. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 17 (6), 51–56. (In Russian)
- Berezina, N. A., Gubelit, Y. I., Polyak, Y. M., Sharov, A. N., Kudryavtseva, V. A., Lubimtsev, V. A. and Shigaeva, T. D. (2017). An integrated approach to the assessment of the eastern Gulf of Finland health: A case study of coastal habitats. *Journal of Marine Systems*, 171, 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.08.013>
- Bezmaternykh, D. M. (2007). *Zoobenthos as an indicator of the ecological state of aquatic ecosystems in Western Siberia*. Novosibirsk: Gos. publ. nauch.-tekhn. b-ka Sib. otd-niia Ros. akad. nauk, In-t vod. i ekol. problem (Ser. Ekologiya. Vyp. 85). (In Russian)
- Golubkov, S. M., Alimov, A. F., Telesh, I. V., Anokhina, L. E., Nikulina, V. N., Paveleva, E. B. and Panov, V. E. (2003). Functional response of midsummer planktonic and benthic communities in the Neva estuary (eastern Gulf of Finland) to anthropogenic stress. *Okeanologia*, 45 (1), 53–66.
- Guidelines for the collection and processing of materials for hydrobiological studies in freshwater reservoirs. Zoobenthos and its products* (1983). Leningrad: Lenizdat Publ. (In Russian)
- Kheisin, E. M. (1962). *Brief guide to freshwater fauna* (2nd edition, corrected and enlarged). Moscow. (In Russian)
- Kuznetsov, V. S. and Petrov, D. S. (2017). Assessing the environmental condition of minor rivers in urban areas. *Journal of Ecological Engineering*, 18 (6), 110–114. <https://doi.org/10.12911/22998993/76221>
- Malakane, K., Addo-Bediako, A. and Kekana, M. (2020). Benthic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in the Blyde river of the Olifants river system, South Africa. *Applied Ecology and Environmental Research*, 18 (1), 1621–1635.
- Nedeau, E. J., Merritt, R. W. and Kaufman, M. G. (2003). The effect of an industrial effluent on an urban stream benthic community: Water quality vs. habitat quality. *Environmental Pollution*, 123 (1), 1–13. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00363-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00363-9)
- Key to zooplankton and zoobenthos in fresh waters of European Russia. T. 2. Zoobenthos*. (2016). V. R. Alekseeva, S. Ia. Tsalolikhina, eds. Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniia KMK Publ. (In Russian).
- Orendt, C., Wolfram, G., Adámek, Z., Jurajda, P. and Schmitt-Jansen, M. (2012). The response of macroinvertebrate community taxa and functional groups to pollution along a heavily impacted river in central Europe (Bílina river, Czech Republic). *Biologia*, 67 (1), 180–199. <https://doi.org/10.2478/s11756-011-0158-3>
- Rehn, A. C. (2009). Benthic macroinvertebrates as indicators of biological condition below hydropower dams on west slope Sierra Nevada streams, California, USA. *River Research and Applications*, 25 (2), 208–228. <https://doi.org/10.1002/rra.1121>
- Romanenko, V. D., Liashenko, A. V., Afanasyev, S. A. and Zorina-Sakharova, Y. Y. (2010). Biological indication of ecological status of the water bodies within Kiev city boundaries. *Hydrobiological Journal*, 46 (4), 3–24. <https://doi.org/10.1615/HydroJ.v46.i4.10>

Su, Y., Li, W., Liu, L., Hu, W., Li, J., Sun, X. and Li, Y. (2021). Health assessment of small-to-medium sized rivers: Comparison between comprehensive indicator method and biological monitoring method. *Ecological Indicators*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107686>

Received: November 29, 2022

Accepted: June 15, 2022

Authors' information:

Denis S. Petrov — Petrov_DS@pers.spmi.ru

Anna M. Yakusheva — s180224@stud.spmi.ru