



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической безопасности

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На тему: «Оценка современного состояния водной экосистемы реки Луга в
городах Ленинградской области по структуре макрозообентоса и макрофитов»

Исполнитель Уразбахтина Анжелика Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель кандидат биологических наук
(учёная степень, учёное звание)
Мандрыка Ольга Николаевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(учёная степень, учёное звание)

Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«__» _____ 2024 г.

Санкт-Петербург
2024

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
Глава 1. Характеристика бассейна реки Луга.....	8
1.1 Объект исследования	8
1.2 Рельеф и почвы	9
1.3 Растительность.....	9
1.4 Гидрологический режим	10
1.5 Ихтиофауна.....	13
1.6 Обратное водоснабжение.....	14
1.7 Экологическое состояние.....	15
1.8 Лужский производственно-экспериментальный лососевый завод	16
Глава 2. Биоиндикация.....	23
2.1 Обзор современной гидробиологии	24
2.2 Особенности зообентоса как объекта экологического мониторинга	26
2.3 Особенности зообентоса текущих вод	27
2.4 Оценка методов экологического состояния водных объектов по характеристикам зообентоса	28
2.3 Материалы и методы отбора проб.....	41
2.5 Анализ гидрохимических показателей и качества вод р. Луга	49
2.7 Анализ сравнительной оценки реки Луга по макрозообентосу в 2018-2020 годах.....	54
2.6 Растения-индикаторы загрязнения водоема	56
Глава 3. Исследование структуры макрозообентоса.....	61
3.1 Результаты исследования в г.Луга	61
3.2 Результаты исследования в г.Кингисепп	73
3.3 Результаты исследования в порту Усть-Луга.....	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	87
Список использованных источников	Ошибка! Закладка не определена.

ВВЕДЕНИЕ

Водные ресурсы становятся все более дефицитными, а их качество снижается быстрыми темпами. В результате, стало сложно обеспечить достаточное водоснабжение и водопользование. Эта актуальная проблема обусловлена в основном двумя факторами: загрязнением источников воды и неэффективной практикой управления водными ресурсами.

В прошлом круговорот воды в биосфере поддерживал равновесие. Океаны получали из рек равное количество воды и теряли ее в результате испарения. Эта гармония сохранялась до тех пор, пока климат оставался стабильным, сохраняя размеры рек и уровень воды в озерах. Однако развитие цивилизации нарушило этот цикл. Расширение сельского хозяйства и ирригации привело к увеличению испарения воды с поверхности земли. Как следствие, реки в южных регионах стали пересыхать, а океаны загрязняться. Дополнительным фактором стало наличие нефтяной пленки на поверхности океана, что уменьшило количество воды, испаряющейся в атмосферу. Все эти изменения пагубно сказались на обеспеченности биосферы водой. Засухи стали более частыми, что привело к таким экологическим катастрофам, как длительные и катастрофические засухи в пустынных районах. Кроме того, даже та пресная вода, которая возвращается с суши в океан, часто оказывается загрязненной. Малые реки, служащие основным источником питьевой воды, особенно страдают от загрязнения, вызванного в основном промышленной деятельностью.

Река Луга, расположенная в Ленинградской области, является одной из рек, впадающих в Финский залив. К сожалению, она также подвержена сильному антропогенному воздействию, что делает ее уязвимой для загрязнения. На территории Ленинградской области река Луга проходит через два города - Кингисепп и Лугу, а также портовый поселок Усть-Луга.

Эти территории представляют потенциальную угрозу для реки с точки зрения загрязнения. По данным Комитета по природным ресурсам и Роспотребнадзора Ленинградской области, воды реки Луги характеризуются высоким уровнем загрязнения. В частности, отмечается частое повышение предельно допустимых концентраций химического потребления кислорода, нитритного азота, общего железа и меди [1].

Загрязнение воды может происходить как естественным путем, так и в результате деятельности человека. Оно может быть следствием гибели и разложения различных водных организмов, а также выделения органических веществ отдельными видами водорослей в процессе их жизненного цикла. Интересно, что эти водоросли играют определенную роль в очистке воды от органических веществ, вырабатывая кислород в процессе фотосинтеза. Однако для использования воды в хозяйственных и бытовых целях крайне важно понимать ее качество, в частности, степень и наличие загрязнений.

Мониторинг экологического состояния водных объектов в настоящее время ограничивается анализом физических и химических свойств воды. Однако такой подход не дает полного представления о состоянии экосистемы в целом. Проведение гидробиологических исследований позволяет не только расширить рамки мониторинга, но и оценить степень воздействия загрязнения на организмы, населяющие эти водоемы [1].

Одним из эффективных методов оценки качества воды является биологическая индикация. Этот подход основан на тесной взаимосвязи между свойствами воды и биоценозом водных экосистем. Различные виды, обитающие в водоемах, служат биоиндикаторами, дающими ценную информацию о состоянии окружающей среды. Основным принцип биомониторинга заключается в том, что водные организмы точно отражают сложившиеся условия окружающей среды. Виды, не способные существовать

в этих условиях, исчезают, освобождая место новым видам с другими экологическими требованиями [1].

Актуальность исследования. Впервые был проведен анализ биоиндикации в трех городах Ленинградской области за один промежуток времени. Одновременно полученные данные окажутся ценными для получения сравнительной информации. Ранние работы носят кратковременный результат.

Новизна. Проведение анализа в период гидрологического лета.

Объект исследования – макрозообентос реки Луга.

Цель данной работы – оценить современное состояние водной экосистемы реки Луга в городах Ленинградской области по структуре макрозообентоса.

В задачи работы входит:

1. Обобщение литературных данных более чем за тридцатилетний период;
2. Проведение единовременного мониторинга реки Луга в районах расположения населенных пунктов;
3. Оценка полученных результатов статистическими методами;
4. Сравнение собственных результатов с материалами других авторов;
5. Выдача практических рекомендаций.

Методологическая база работы представлена как теоретическими (анализ), так и практическими методами (полевые и камеральные работы).

Теоретическая значимость работы заключается в том, что был осуществлен анализ химического загрязнения реки Луга по УКИЗВ.

Практическая значимость

Присутствие крупнейшего в Ленинградской области рыбоводного предприятия Ивановского рыбоводного завода предусматривает выпуск в водную систему Луги большого количества молоди лосося (более 100 тыс. годовиков лосося). Практическая значимость исследования заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы для оценки пищевой обеспеченности бентосоядных рыб, при прогнозировании и рациональном использовании их запасов, для определения ущерба, наносимого рыбным ресурсам при эксплуатации водозаборных сооружений, разработке месторождений полезных ископаемых, прокладке и ремонте трубопроводов, строительстве различных объектов и т.д.

Диссертационная работа прошла апробацию на II Международной научно-практической конференции СНО СПбГУ в ноябре 2023 года и заняла первое место в секции «Человек и природа: взаимодействие, влияние и ответственность».

По теме диссертации была опубликована одна работа – «Оценка экологического состояния реки Луга в городской черте по структуре макрозообентоса и макрофитам» в сборнике статей конференции «Международная научно-практическая конференция студенческого научного общества Санкт-Петербургского Государственного Университета» на стр.191-201, сборник проиндексирован в РИНЦ.

Структура работы в соответствии с поставленными задачами состоит из 3-х разделов и списка использованной литературы. Общий объем работы — 97 страниц. Список источников содержит 48 наименований.

Выражаю благодарность в подготовке работы – Еремеевой Ольге, Швейд Ирине, Уразбахтину Арсению, Синельниковой Ирине, Синельникову

Сергею и моему научному руководителю – к.б.н. Мандрыка Ольге Николаевне.

Глава 1. Характеристика бассейна реки Луга

1.1 Объект исследования

Река Луга протекает по Новгородской и Ленинградской областям, прокладывая свой путь в бассейне Балтийского моря. Ее путь начинается на Тесовских болотах у поселка Тёсовский Новгородской области, постепенно набирая силу, она течет к своей цели. В конце концов, река доходит до деревни Усть-Луга Кингисеппского района Ленинградской области, где сливается со спокойными водами Лужской губы Финского залива [2].

Имея внушительную длину в 353 км, река Луга занимает обширную водосборную площадь в 13,2 тыс. кв. км. По мере своего течения река опускается на 53 м, плавно вписываясь в ландшафт с уклоном примерно 0,15 м на километр [2].

По капризам природы часто случаются паводки, во время которых Луга щедро делится частью своих вод с эстуарной частью реки Нарвы. Такой обмен происходит через канал Россонь, соединяющий эти два величественных водоема и способствующий их гармоничному взаимодействию [2].

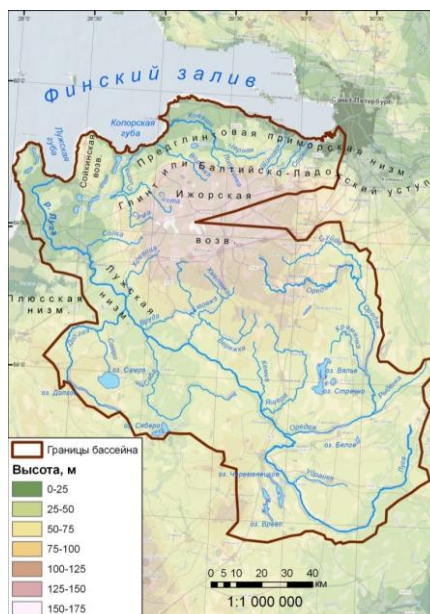


Рисунок 1 – Бассейн реки Луга

Населённые пункты.

Кингисепп и Луга, два районных города Ленинградской области, являются крупными населенными пунктами, расположенными по берегам реки Луги.

Основные притоки.

Река Луга питается сетью из 33 основных притоков, которые вносят свой вклад в ее течение. Эти притоки можно разделить на две группы: 17 левых и 16 правых. Среди них наиболее заметными левыми притоками являются Саба, протяженностью 90 км, и Долгая, протяженностью 91 км. С правой стороны выделяются такие притоки, как Оредеж, протяженность которого составляет 192 км, Ящера - 78 км, Лемовжа - 48 км, Вруда - 60 км [2].

При движении вниз по течению от устья реки, на расстоянии около 23 км, наше внимание привлекает значительный рукав под названием Россонь. Этот рукав изящно сливается с Нарвой, образуя плавную связь между двумя водными артериями [3].

1.2 Рельеф и почвы

Ландшафт, окружающий реку Лугу, состоит в основном из песчаных, гравийных и глинистых отложений. Эти природные образования преобладают в районе меандрирования реки. Рельеф характеризуется обилием осадочных пород, в основном состоящих из песка, гравия и глины. Эти разнообразные частицы обуславливают уникальный состав земель по берегам реки Луги [4].

1.3 Растительность

В верховьях реки Луги растут смешанные леса из пихты и березы. По мере приближения к впадению в реку Черную ландшафт переходит в лиственные леса с преобладанием березы, осины и ольхи. Окрестности

деревни Глухой Бережок отличаются разнообразием ландшафтов, в том числе и смешанных лесов. При движении вниз по течению в сторону среднего участка реки Луги перед глазами открывается живописное зрелище. Гармоничное сочетание величественных хвойных сосен и изящного переплетения елей и берез встречает вас в этом чарующем царстве. Иногда можно наткнуться на очаровательные леса, украшенные исключительно соснами и березами, что создает завораживающий контраст. Даже если вы продолжите свое путешествие вдоль берега реки, пленительная красота сохранившихся смешанных лесов не перестанет покорять ваши чувства [2].

1.4 Гидрологический режим

Зимой река Луга замерзает в начале декабря, на ней образуется лед. Но в начале апреля, с наступлением весны, она оттаивает и снова течет свободно. Вода в реку поступает из разных источников, но главным из них является таяние снега. Примерно в 60 км от устья реки средний расход воды составляет около 93 куб. м/с [3].

Русло реки в основном песчаное, что обеспечивает устойчивое основание для воды. Однако встречаются участки с гравием и крупными валунами, что вносит разнообразие в его состав. При движении реки по ландшафту создается прерывистая пойма с образовавшимися со временем старыми руслами и заливами. Эти природные образования придают сложности и характер всему облику реки.

Примечательной особенностью реки Луга является наличие Сабских и Кингисеппских порогов. Эти пороги образуются, когда река наталкивается на моренные холмы и гряды, заставляя воду мчаться и перекатываться через них. Это придает спокойному течению реки азарт и энергию [5].

Ширина верхнего течения реки Луга составляет 6 м, глубина - 2 м. Русло на этом участке твердое. При движении между Жестяной Горкой и Бором ширина реки увеличивается до 8 м при глубине 1,5 м, а русло остается

твердым. По мере приближения к деревне Дорогобуж ширина Луги увеличивается до 20 м, скорость течения составляет 0,1 м/с, русло твердое. Глубина остается на уровне 1,5 м. На участке между Голешино и Подборовьем ширина реки увеличивается до 15 м, а глубина сохраняется на уровне 1,5 м. Дно русла реки остается твердым. Скорость течения остается постоянной и составляет 0,1 м/с. После прохождения Покровки, перед деревней Смыч, река расширяется до 35 м, глубина составляет 1,6 м, дно остается твердым. По мере продвижения к деревне Глухой Бережок река Луга становится глубже, достигая максимальной глубины 2 м, и шире, расширяясь до 40 м. Русло и на этом участке остается твердым. Напротив деревни Подгорье ширина реки достигает 50 м, глубина - 1,6 м, дно русла становится илистым. В Некрасово, расположенном на границе Новгородской и Ленинградской областей, река Луга разливается на ширину более 115 метров, а глубина достигает 2 метров. В этом районе русло реки меняется на песчаное. Примерно в четырех километрах ниже по течению от места впадения реки Удрайки глубина Луги уменьшается до 1,2 м, а ширина достигает 40 м [2].

Река Луга идет по тропе с крутыми и изрезанными берегами высотой до 9 метров. При движении вниз по течению от деревни Слапи глубина реки увеличивается до 5 м, ширина - до 20 м, русло песчаное. При достижении города Луга скорость течения реки увеличивается до 0,3 м/с. У восточной окраины деревни Шалово ширина реки достигает 25 м при глубине 2 м.

Перед впадением в Оредеж глубина реки увеличивается до 2,5 м, ширина сужается до 20 м, а скорость течения замедляется до 0,2 м/с. В районе деревни Толмачево русло реки становится твердым, глубина увеличивается до 3 м, а ширина - до 40 м. Ближе к деревне Яшера глубина реки уменьшается до 2 м, а ширина увеличивается до 47 м, сохраняя песчаное дно. Между деревнями Бежаны и Муравьино ширина реки увеличивается до 50 м при глубине 3,1 м [3].

Ближе к поселку Твердять скорость течения вновь увеличивается до 0,3 м/с, а русло становится твердым. Продолжая движение вниз по течению еще на два с половиной километра от места впадения Лемовжи, река расширяется до 74 метров при глубине 3,5 метра. У деревни Редеча река Луга разливается до ширины 125 м, имеет вязкое русло и глубину 2,7 м.

Нижний участок реки Луга отличается разнообразием ландшафта: чередование высоких крутых берегов и пологих склонов. На всем протяжении этого участка река периодически встречается с порогами, которые придают течению волнения. Продвигаясь вверх по течению, начиная от места слияния с рекой Ляченкой, река Луга демонстрирует свои размеры и особенности. В этом месте ширина реки составляет 85 м, глубина - 1,6 м, что свидетельствует о стабильном русле. Скорость течения ускоряется примерно до 0,5 м/с, создавая динамичный водный поток [3].

Продолжая движение к устью реки Хревица, мы наблюдаем заметные изменения физических характеристик реки. Глубина реки увеличивается до 2,2 м, а ширина - до 95 м. Кроме того, дно реки приобретает песчаную консистенцию, что придает подводной среде особую фактуру. При дальнейшем движении вверх по течению, в районе деревни Порхово, река еще больше расширяется, ее ширина достигает 145 м. Одновременно глубина увеличивается до 3,7 м, создавая просторное и глубокое русло для текущей воды. Ниже по течению от Кингисеппа, напротив Ново-Луцка, река Луга демонстрирует свое величие с удивительной шириной в 170 метров. Несмотря на грандиозные размеры, глубина составляет около 2 м. Твердое и прочное русло обеспечивает устойчивость в обширном русле, а течение имеет умеренную скорость - около 0,3 м/с. По мере приближения к деревне Пулковско скорость течения реки начинает ослабевать, постепенно снижаясь до 0,2 м/с. На пути к поселку Куровицы река Луга продолжает менять свой облик и поведение. Ее ширина в очередной раз увеличивается, достигая впечатляющих 190 метров. Русло приобретает песчаный характер, что еще

больше выделяет этот участок водотока. При этом глубина реки достигает 3 м, обеспечивая простор для водной флоры и фауны и непрерывное течение. Скорость течения, гармонирующая со спокойной атмосферой, замедляется примерно до 0,1 метра в секунду. Наконец, в районе Большого Куземкина ширина Луги достигает максимальной величины, составляя внушительные 225 метров. Этот последний отрезок свидетельствует о величии реки. Одновременно глубина достигает значительной величины - 4 м, что свидетельствует о способности реки вмещать значительные объемы воды [2].

1.5 Ихтиофауна

Последние исследования, проведенные Асановой в 2013 г., показали, что в реке Луга обитает разнообразная ихтиофауна, состоящая из 14 видов рыб, относящихся к 6 различным семействам. К ним относятся сазан, щука, окунь, лосось, голец и минога. Аналогично, в реке Саба обитает 8 видов рыб, относящихся к 4 различным семействам, а в реке Яшера - 3 вида. По рыбохозяйственным характеристикам реки Луга и Саба относятся к водным объектам высшей категории рыбохозяйственного потенциала. С другой стороны, река Яшера относится к первой категории. Важно отметить, что промышленное рыболовство на реке Луга, как и на других реках Ленинградской области, не ведется. В этом районе разрешено заниматься только рыбакам-любителям. Река Луга выгодно отличается от других рек российской части бассейна Балтийского моря. Она не только сохраняет последнюю естественную популяцию атлантического лосося, но и служит местом его обитания. К сожалению, в настоящее время существование этой важнейшей популяции лосося находится под угрозой из-за деятельности человека. Поэтому сохранение этой популяции необходимо для обеспечения благосостояния местного населения и поддержания общего состояния экосистемы [6].

1.6 Обратное водоснабжение

В таблице 1 приведены данные о том, сколько воды используется и повторно используется предприятиями, работающими на водосборной площади реки Луги и южной части Финского залива. Эти данные получены из статистических отчетов об использовании водных ресурсов за 2011 год, в частности, по форме 2-ТП (водное хозяйство).

Согласно этим данным, общий объем воды, используемой для целей оборота на частном водосборе реки Луги, составляет 142 млн. куб. м в год. При этом объем воды, повторно используемой на этой территории, составляет 1,22 млн. куб. м в год [4].

Таблица 1 - Объем оборотного и повторного использования воды предприятиями, расположенными на ВХУ бассейна р. Луги и южной части Финского залива за 2011 гг [4]

Код ВХУ	Код предприятия	Отрасль	Название предприятия	Объем использования воды (тыс.м ³ /год):	
				оборотного	повторного
01.03.00.005	411041	Легкая пром-ть	ОАО "УЗОР" ГАТЧИН.Р-Н П.ВЫРИЦА	111	0
	411057	Пром-ть по производству искусственных алмазов, абразивных материалов и инструмента из них	ОАО "ЛУЖСКИЙ АБРАЗИВНЫЙ З-Д" Г. ЛУГА	440	0
	411058	Мясная и молочная пром-ть	ОАО "ЛУЖСКИЙ МОЛОЧНЫЙ КОМБИНАТ"	2080	0
	411061	Мясная и молочная пром-ть	ОАО "ЛУЖСКИЙ ЗАВОД "БЕЛКОЗИН" Г. ЛУГА	3.40	0
	411066	Промышленность бытовой химии	ОАО "ХИМИК" Г. ЛУГА	3.00	0
	411140	Наука и научное обслуживание	ОАО НПФ "МЕРИДИАН" (СИС.ДОЛ, д.КАЛГАНОВКА)	30.0	0
	411398	Сухопутный и трубопроводный транспорт	ООО "ГАЗПРОМ ПХГ" филиал ЛУПХГ д.ЛЯДИНО ГАТЧ.Р.	2520	0
01.03.00.006	411267	Животноводство	ОАО "УДАРНИК" д.ИЗВАРА, д. Б. Пустомержа	0	17.12
	411363	Производство фосфатных удобрений и другой продукции неорг.химии	ООО ПГ "ФОСФОРИТ" Г. КИНГИСЕПП	135839	1199.00
	411855	Стекольная и фарфоро-фаянсовая пром-ть	ЗАО "ВЕДА-ПАК" Г. КИНГИСЕПП	527.81	0
01.03.00.007	400480	Наука и научное обслуживание	ОАО "ВНИИТРАНСМАШ" Г.С-Пб	33.0	0
	411708	Наука и научное обслуживание	МУП "ЛР ТЭК" ПЛ.ГОРБУНКИ	87.0	0

1.7 Экологическое состояние

Мы оцениваем современное состояние загрязнения и сравниваем уровни загрязнения рек бассейна р. Луги с помощью системы УКИЗВ. Основной вклад в загрязнение реки Луга вносят муниципальные предприятия жилищно-коммунального хозяйства Лужского и Кингисеппского районов, промышленные предприятия, такие как ООО «ПГ "Фосфорит», сельскохозяйственные и рекреационные объекты - санатории, спортивные и детские лагеря, а также поверхностный сток с прилегающей территории. Согласно индексу УКИЗВ, воды реки Луга в период с 2006 по 2011 год относятся к категории «сильно загрязненных», а иногда даже считаются «грязными» [6].

Высокие уровни общего железа и марганца обнаружены во всех водоемах, расположенных на исследуемой территории. Кроме того, отмечается постоянное превышение ХПК (химическая потребность в кислороде). Следует отметить, что некоторые из этих особенностей могут быть обусловлены природными условиями региона [7].

Сеть государственного мониторинга водных объектов в бассейне реки Луга состоит из нескольких пунктов, стратегически расположенных на данной территории. Шесть пунктов мониторинга расположены на самой реке Луга, один - на ее самом длинном притоке Оредеж, второй - на реке Суйда (приток Оредежа) и, наконец, один - на озере Сяберо, которое входит в бассейн реки Сабы и также является притоком реки Луга. В этих точках пробы воды отбираются в течение года, обычно 4-6 раз. Однако в настоящее время отсутствует система контроля аварийных сбросов в водоемы. По данным Комитета по природным ресурсам и Роспотребнадзора Ленинградской области, воды реки Луги имеют тревожно высокий уровень загрязнения. Регулярно наблюдается повышение предельно допустимых концентраций различных загрязняющих веществ, таких как химическая потребность в кислороде, нитритный азот, общее железо, медь. Особую тревогу вызывает превышение уровня нитритного азота, что свидетельствует о наличии биогенных источников загрязнения в бассейне реки. Серьезность проблемы подтверждается и отчетом Роспотребнадзора. В нем подчеркивается, что неочищенные сточные воды, сбрасываемые в реку Лугу, представляют значительную опасность. Это особенно тревожно, поскольку река используется как для хозяйственно-бытовых, так и для питьевых нужд. В отчете подчеркивается настоятельная необходимость совершенствования методов очистки для сохранения качества воды в реке Луга и ее притоках [8].

1.8 Лужский производственно-экспериментальный лососевый завод

Одним из важнейших факторов, влияющих на экологическое состояние экосистемы р. Луга, является функционирование Лужского производственно-экспериментального завода.

Лужский производственно-экспериментальный завод был введен в эксплуатацию в 1989 году. Основной целью функционирования данного завода выступала компенсация экологического и экономического ущерба, нанесенного рыбным ресурсам в результате воздействия Ленинградской АЭС. Ко времени запуска завода естественные популяции семги и кумжи были практически полностью истощены. Однако деятельность завода поспособствовала восстановлению данных ценных видов водных биоресурсов [5].

Территориально завод располагается в районе слияния рек Хревица и Луга. На базе завода имеется две ключевые производственные площадки: в поселке Поречье и поселке Ивановское Кингисеппского района. Схема расположения завода представлена на рисунке 2 [6].

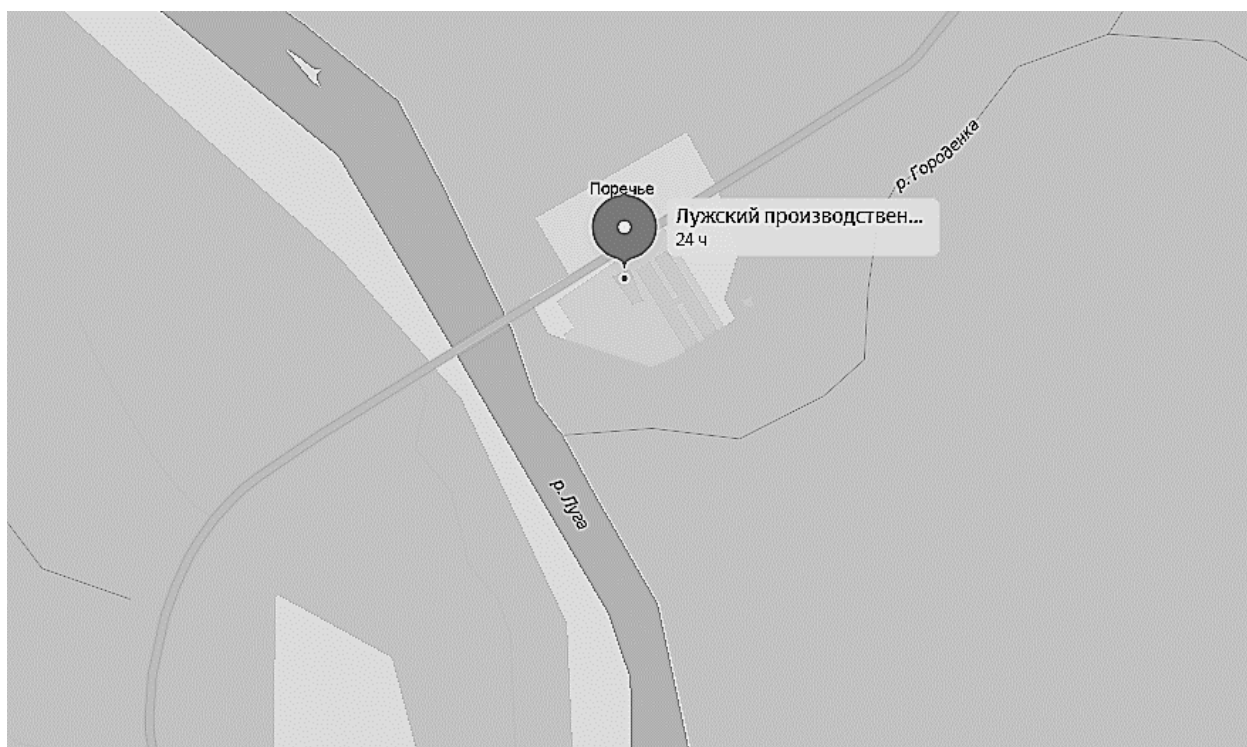


Рисунок 2 – Схема расположения Лужского производственно-экспериментального лососевого завода.

В основу работы завода положен бассейновый метод выращивания наиболее ценных видов водных биологических ресурсов, а именно атлантического лосося или семги (*Salmo salar* L.) и балтийской кумжи (*Salmo trutta* L.). Для этого применяется передовое отечественное и зарубежное оборудование, характеристика которого представлена в таблице 2 [9].

Таблица 2 – Оборудование, применяемое на Лужском производственно-экспериментальном лососевом заводе [6].

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во
1.	Бассейны КМОЗ (16 м ²)	7 шт.
2.	Бассейны пласт.ИЦА-2 (4 м ²)	49 шт.
3.	Бассейны пласт. финск. (4 м ²) ц. ДВП	13 шт.
4.	Бассейны пласт. финск. (16 м ²) ц. ДВП	6 шт.
5.	Бассейны пласт. финск. (36 м ²) ц. ДВП	2 шт.
6.	Бассейны пласт. финск. (81 м ²) ц. ДВП	2 шт.
7.	Инкубаторы лотков	33 шт.
8.	Инкубационные аппараты Вейса в стойке СИ-60	80 шт.
9.	Инкубационные аппараты лотковые стеклопласт, ц. ДВП	12 шт.
10.	Лотки инкубац. КМО1 (1 м ²)	7 шт.
11.	Садок русловой	1 шт.
12.	Сортировальная машина «Milanes»	1 шт.

Базисом производства является собственное ремонтно-маточное стадо. Молодь атлантического лосося и балтийской кумжи выращивается преимущественно для выполнения Государственного задания. Помимо этого, для проведения различных экспериментальных работ на заводе содержится небольшое количество разновозрастной радужной форели, а также трехлетки муксуна.

Для выращивания молоди используется производственная площадка в поселке Ивановское, а для выращивания маточного стада – производственная площадка в поселке Поречье [10].

Для нужд водоснабжения завода используются водные ресурсы Ивановского водохранилища, направляемые к заводу самотечным образом. Для нужд водоотведения используются непосредственно реки Хревица и Луга [11].

Ежегодно в р. Луга заводом выпускается более 100 тыс. годовиков лосося, более 30 тыс. разновозрастной молоди кумжи и до 3 млн личинок миноги.

Как и любое предприятие аквакультуры Лужский производственно-экспериментальный завод несомненно оказывает воздействие на экосистему р. Луга. Влияние подобных объектов на речные экосистемы всегда является двойственным, т.е. наблюдается как положительный, так и отрицательные эффекты [6].

Положительное влияние предприятий аквакультуры на экосистемы рек заключается в восстановлении популяций исчезающих или исчезнувших видов рыб, а также обеспечении рынка большим объемом рыбной продукции и, тем самым, снижении уровня браконьерства. Так, как уже было отмечено, деятельность Лужского производственно-экспериментального завода способствует увеличению численности практически истощенных популяций семги и кумжи [12].

Но при этом невозможно избежать и отрицательного воздействия предприятий аквакультуры на окружающую среду. В рамках такого воздействия можно выделить несколько ключевых факторов: конкурентные отношения между искусственно выращенными и дикими особями; «генетическое загрязнение», наблюдаемое как результат гибридизации между объектами аквакультуры и аборигенными формами; распространение возбудителей заболеваний гидробионтов; изменение трофических цепей и загрязнение компонентов речных экосистем [1].

Отследить специфику взаимоотношений искусственно выращенных и диких лососей весьма проблематично. Как правило, природные популяции лососевых в наибольшей мере страдают из-за чужеродных или специально акклиматизируемых видов рыб. И поскольку, Лужский производственно-экспериментальный завод способствует восстановлению естественных популяций семги и кумжи, такая ситуация маловероятна [14].

Изменение генофонда популяции в результате гибридизации возможно по следующим причинам:

- 1) выпуск искусственно выращенных рыб не в ту реку, откуда взяты их родители, а в реку, где обитает другая популяция того же вида;
- 2) межвидовая гибридизация (в случае, когда дикие и искусственно выращенные рыбы относятся к разным видам);
- 3) гибридизация диких рыб и рыб, несколько поколений выращиваемых на рыбоводных хозяйствах – это ведет к потере генетических адаптаций к жизни в дикой природе.

Кроме того, ихтиофауна, выращиваемая на предприятиях аквакультуры, может быть источником опасных заболеваний. В частности, вместе с радужной форелью распространяются паразитарные заболевания – диплостомоз и триэнофороз, которые довольно быстро распространяются в естественных популяциях. Основной причиной данной ситуации является большая плотность особей при выращивании на ограниченном пространстве рыбоводческих хозяйств, что приводит к вспышкам вирусных, бактериальных и паразитарных заболеваний, и повышению резистентности возбудителей к терапии. Это чревато не только потерей продукции, но и расширением ареала возбудителей эпизоотий, а также их адаптации к не типичным хозяевам [15].

Не стоит забывать и о том, что ихтиофауна играет огромную роль в трофике и энергетике всей речной экосистемы. Выпуск большого числа культивируемых особей приводит к потреблению ими огромного объема представителей нативных сообществ, что в свою очередь может сказаться

резким уменьшением численности зоопланктона и других экологических групп, и в дальнейшем дестабилизацией трофической цепи экосистемы [16].

И одной из ключевых проблем деятельности предприятий аквакультуры выступает загрязнение компонентов речных экосистем. В данном случае основными загрязнителями выступают продукты метаболизма объектов аквакультуры, остатки корма, химические вещества, применяемые для обеззараживания и чистки конструкций, лекарственные препараты и др.

Наиболее часто в пределах воздействия предприятий аквакультуры развиваются процессы эвтрофикации речных вод. Данное обстоятельство связано с поступлением в воду избыточного количества органических остатков в составе продуктов жизнедеятельности и остатков корма, выращиваемых рыб [17].

Помимо биогенной органики с рыбоводческих хозяйств в речные экосистемы попадает достаточно много лекарственных препаратов. Поскольку в процессе их применения большая часть не метаболизируется организмом рыб, и вместе с фекалиями поступает обратно в водную среду, что в свою очередь может вести к интоксикации и гибели представителей аборигенных сообществ, а также повышению антибиотикорезистентности многих патогенов [18].

Кроме того, по течению р. Луга расположены крупные источники антропогенного воздействия на экосистему реки – это г. Кингисепп и расположенный в его пределах промышленный узел, а также один из важнейших портов страны – порт Усть-Луга. Под воздействием данных источников качество вод в реке Луга может негативным образом существенно меняться, осложняя процессы восстановления популяций семги и кумжи [6].

Перечисленные факторы риска обуславливает необходимость проведения экологического мониторинга экосистемы р. Луга. Поскольку антропогенное воздействие на экосистему реки многофакторно и включает в себя химическое загрязнение, биологическое загрязнение, перестройку биотических и трофических взаимодействий, мониторинг должен

основываться на интегральных репрезентативных параметрах. Наиболее перспективны в данном аспекте биообъекты и построенная на их использовании система мониторинга – биомониторинг [19].

В указанном фокусе наиболее ценную информацию о функционировании гидроэкосистемы позволяют получить биоиндикаторы из числа зообентоса и макрофитов, и это обусловлено рядом причин.

Во-первых, в речных экосистемах основными из депонирующих загрязнители сред, выступают придонная область и донные отложения, с которыми непосредственно взаимодействуют представители бентоса и макрофитов. Ввиду чего они являются одними из ключевых реципиентов загрязняющих веществ и индикаторов их общего уровня накопления.

Во-вторых, представители данных экологических групп весьма чувствительны к загрязнению, что является одним из основных требований к биоиндикаторам [20].

В-третьих, многие из представителей зообентоса и макрофитов весьма чувствительны к изменениям в трофической цепи экосистем.

В-четвертых, они менее динамичны по сравнению с пелагическими организмами, что значительно упрощает осуществление биомониторинга речных экосистем.

В этой связи, для оценки состояния экосистемы р. Луга наиболее рационально воспользоваться методами биоиндикации с применением в качестве организмов-индикаторов представителей зообентоса и макрофитов [21].

Глава 2. Биоиндикация

В биологической аналитике выделяют несколько методов: биотестирование и биоиндикация. Биотестирование подразумевает эксперименты в контролируемых лабораторных условиях. Этот метод позволяет исследователям тщательно контролировать переменные и наблюдать за влиянием определенных веществ или условий на биологические системы. С другой стороны, биоиндикация направлена на анализ и интерпретацию естественных данных, полученных из самой окружающей среды. Исследователи собирают информацию из окружающей среды, такую как присутствие или отсутствие определенных видов или изменения в их поведении, чтобы оценить экологическое здоровье и потенциальное воздействие факторов окружающей среды. Следует отметить, что использование зообентосных организмов для биотестирования является устоявшимся аспектом современной экотоксикологии. Однако из-за ограничений лабораторных условий проведение биотестирования именно на бентосных беспозвоночных не представляется возможным [22].

Беспозвоночные животные и образуемые ими сообщества могут дать ценную информацию о состоянии водных экосистем. Они особенно чувствительны к загрязнению биогенными и токсичными веществами, а также к таким факторам, как подкисление и эвтрофикация. Изучение зообентоса, т.е. организмов, обитающих на дне водных экосистем, позволяет получить ценные сведения об экологическом состоянии и трофическом статусе этих сред обитания. Изучение структуры и функций зообентосных сообществ позволяет исследователям получить более глубокое представление о здоровье и жизнеспособности водных экосистем. Эта информация крайне важна для оценки общего качества поверхностных вод и определения их пригодности в качестве среды обитания для различных организмов. Кроме того, анализ зообентоса позволяет выявить совокупное

воздействие многочисленных загрязняющих веществ, установить источники загрязнения и определить типы загрязняющих веществ. Это также помогает распознать случаи вторичного загрязнения воды [23].

2.1 Обзор современной гидробиологии

Гидробиология направлена на изучение общей структуры и функций водных экосистем. Ее цель - понять, как в этих экосистемах протекают потоки энергии, материалов и информации, как на них влияют факторы окружающей среды и изменения в популяциях организмов. Кроме того, гидробиология изучает биологические характеристики водных объектов и продуктивность водных экосистем [1].

Современная гидробиология играет важнейшую роль в решении значимых глобальных междисциплинарных задач. Активно работает по нескольким направлениям. Во-первых, она занимается вопросами рационального использования природных водных биологических ресурсов. Это предполагает изучение возможностей эффективного и рационального использования этих ресурсов. Во-вторых, она специализируется на прогнозировании и оценке состояния водных экосистем, подвергшихся антропогенному воздействию. Понимая состояние этих экосистем, она может разрабатывать стратегии их восстановления и защиты. Кроме того, она исследует причины эвтрофикации воды и разрабатывает профилактические меры по смягчению ее негативных последствий. Кроме того, она занимается разработкой научных принципов управления качеством воды, обеспечивая чистоту и безопасность воды в природных водоемах и водопроводных сооружениях. Наконец, она занимается созданием научных основ экономически выгодной аквакультуры, в частности, рыб, беспозвоночных и водорослей. Своими исследованиями и опытом она стремится внести вклад в развитие устойчивой и эффективной практики аквакультуры.

Исследования гидробионтов сыграли важнейшую роль в понимании того, как они влияют на качество природных вод и способствуют процессам самоочищения водоемов. В 1908 г. в важной публикации немецкого фитолога Р. Кольквица и зоолога М. Марсона была заложена основа концепции «сапробности» воды. В их исследовании рассматривались биологические пути и активное участие водных организмов в процессах самоочищения водоемов [24].

В водоемах и ручьях обитает широкий спектр организмов. К ним относятся планктонные и бентосные беспозвоночные, простейшие водоросли, макрофиты, бактерии и рыба. Эти организмы образуют разнообразную экосистему, которая процветает в водной среде. Они играют важную роль в круговороте питательных веществ, производстве кислорода и поддержании баланса экосистемы [25]. Присутствие этих разнообразных организмов подчеркивает богатство и сложность водной среды обитания. Эти различные группы организмов сегодня могут быть использованы для гидробиологического анализа с целью оценки качества воды. Среди них водоросли играют важнейшую роль в индикации изменений качества воды, вызванных эвтрофикацией водоема [3].

Зоопланктон и фитопланктон играют важнейшую роль в оценке уровня загрязнения водоемов, расположенных выше точки отбора проб. В частности, зоопланктон служит ценным биоиндикатором для оценки и мониторинга качества воды в озерах и водохранилищах [26].

Для оперативного получения точной информации о качестве воды в экспресс-методах используются простейшие организмы. Эти организмы являются надежным средством оценки состояния водных экосистем [27].

Одним из эффективных методов является исследование личинок насекомых. Этот метод неизменно дает положительные результаты, позволяя получить ценные сведения об общем состоянии и благополучии экосистемы [28]. Анализ личинок позволяет исследователям лучше понять воздействие

загрязняющих веществ и оценить экологическое состояние исследуемых водоемов [29].

Сапробный анализ воды в настоящее время широко используется в повседневной практике гидробиологического контроля качества воды. Он хорошо зарекомендовал себя, эффективно конкурируя с самыми современными методами биоиндикации [30]. Этот аналитический подход играет важнейшую роль в оценке и мониторинге качества водных ресурсов. Изучение состава и численности сапробных организмов, обитающих в водоемах, позволяет получить ценные сведения о здоровье и состоянии водных экосистем в целом. Его широкое распространение в данной области свидетельствует о надежности и практичности в обеспечении сохранности и устойчивости водной среды [31].

2.2 Особенности зообентоса как объекта экологического мониторинга

Под бентосом понимаются разнообразные группы организмов, населяющих водную среду. Они обитают на субстрате или внутри него под влиянием таких факторов, как глубина воды, движение, грунт и растительность [32]. Некоторые специалисты считают зооперифитон подтипом бентоса, но большинство рассматривает его как отдельную форму жизни. Понимание бентосных экосистем очень важно для понимания состояния водной среды, стабильности экосистем и влияния на них деятельности человека. Изучение бентоса позволяет получить представление о качестве воды и запутанной сети жизни в пресноводных и морских средах обитания [33].

Под термином «зообентос» понимаются водные организмы, населяющие дно озер, рек и других водоемов. В эту группу входят такие долгоживущие виды, как моллюски (например, моллюски, мидии) и олигохеты (сегментированные черви) [34]. Устойчивость зообентоса в конкретных местообитаниях делает его идеальным объектом для изучения

влияния антропогенной деятельности на сукцессию и самоочищение водных экосистем. Они позволяют понять реакцию экосистем на изменения, вызванные антропогенным воздействием [35]. Моллюски и олигохеты с продолжительностью жизни до 6 лет играют важнейшую роль в биомассе и биоразнообразии водоемов и ручьев. Они служат индикаторами хронического загрязнения, помогая ученым отслеживать уровень загрязнения путем наблюдения за их популяцией и состоянием. Кроме того, эти долгоживущие организмы дают информацию об устойчивости экосистем. Их способность восстанавливаться после возмущений свидетельствует об общем здоровье и стабильности водных экосистем [36].

2.3 Особенности зообентоса текучих вод

При классификации водотоков выделяют две группы: ритральные и потамальные [37]. Ритральный участок находится вблизи истока водотока. Он отличается каменистым или гравийным дном, быстрым течением, богатой кислородом водой и температурой, которая может достигать 20°C в месяц. В свою очередь, участок "потамаль" представляет собой нижнюю часть водотока, которая прилегает к ритралу [38]. В этой части встречается дно, состоящее из песка, ила или грязи. Течение воды здесь, как правило, более медленное, а месячная температура превышает 20°C. Кроме того, в этой части водотока часто ощущается недостаток кислорода. Что касается точных границ, отделяющих ритраль от потамаля, то они зависят от климатических особенностей каждого региона [39].

Различные реофильные группы в водотоках зависят от типа субстрата. В этих зонах обитают разнообразные организмы, в том числе литоральные виды, такие как губки, ресничные черви, олигохеты, пиявки, различные виды насекомых (особенно личинки мух), каменные мухи, кадошные мухи, некоторые двустворчатые моллюски [40]. Аргиллореофилы состоят в основном из зарывающихся личинок каменных мух и мухоловок.

Псаммореофилы - это мелкие и средние организмы, такие как простейшие, коловратки, нематоды, олигохеты, высшие ракообразные и моллюски. Ручьи с песчаным грунтом служат средой обитания для бентосных сообществ, разнообразных по видовому составу, но имеющих низкую биомассу. Эти сообщества включают различные пелореофильные организмы, такие как простейшие, коловратки, нематоды, олигохеты, личинки хирономид и моллюски [41]. С другой стороны, глинистые субстраты поддерживают сообщества зообентоса с высокой биомассой, но относительно небольшим количеством видов. В таких биотопах часто встречаются детритивированные и пастбищные организмы, что свидетельствует об их преобладающем кормовом поведении. Напротив, фитореофильные группы процветают на песчаных субстратах, демонстрируя высокую биомассу и видовое разнообразие [42]. Более того, в более глубоких горизонтах почвы, известных как гипореосомы, часто встречаются популяции, количественно и качественно более многочисленные, чем на поверхности. Экстремальные природные явления, такие как наводнения, засухи, вызывающие гиперэвтрофикацию, замерзание и высыхание, существенно влияют на популяции бентоса, приводя к их истощению или полному исчезновению [43]. Восстановление речного зообентоса после экстремальных явлений в значительной степени зависит от способности многих зообентосных организмов вступать в анабиоз. Кроме того, существенную роль в этом процессе играет наличие наземных стадий амфибиотических насекомых и дрифта. Эти факторы имеют решающее значение для восстановления и выживания сообщества зообентоса реки после подобных нарушений [30].

2.4 Оценка методов экологического состояния водных объектов по характеристикам зообентоса

По мнению ряда специалистов (Макрушин, 1974б; Абакумов, Качалова, 1981; DePauw, Vannevel, 1993; Freshwater Biomonitoring..., 1993;

Баканов, 2000; Мисейко и др., 2001), Бентосная фауна, под которой понимаются организмы, обитающие на дне водоемов или вблизи него, является важнейшим и долговременным компонентом гидробиоценоза. Она играет важнейшую роль в определении уровня загрязнения, особенно хронического. Поэтому он широко изучается в рамках программ гидробиологического мониторинга, проводимых Росгидрометом, известных как СП-1 и СП-2.

Общая программа СП-1 направлена на комплексную оценку бентофауны с учетом нескольких факторов. К ним относятся определение общего количества видов и групп с использованием стандартных методов отбора проб. Анализируя видовой состав каждой группы, ученые получают ценные сведения о биоразнообразии и экологическом здоровье экосистемы [44]. Кроме того, в рамках программы оценивается численность и биомасса основных групп, что позволяет глубже понять динамику их численности. Для дополнительной оценки экологической обстановки в программу включены массовые индикаторы. Это позволяет отслеживать активность сапрофитов - организмов, получающих питательные вещества из разлагающегося органического вещества. Оценивая их активность, ученые могут получить представление об общем функционировании и круговороте питательных веществ в экосистеме [14].

В сокращенной программе СП-2 особое внимание уделяется основным параметрам. К ним относятся общее количество организмов на квадратный метр, количество видов в каждой группе и общее количество наблюдаемых групп. Сосредоточение внимания на этих ключевых показателях позволяет проводить более оптимизированный анализ, особенно в условиях нехватки времени или ресурсов [45]. Проводя комплексные и целенаправленные исследования бентической фауны, ученые могут получить ценную информацию об экологическом состоянии и уровне загрязнения водных экосистем. Эти знания крайне важны для эффективного природопользования и сохранения окружающей среды. В отличие от этого, программа СП-2

направлена исключительно на наблюдение за зообентосом, а именно на определение количества групп, полученных при стандартном отборе проб, и видового состава каждой группы [31].

Качество воды можно эффективно оценивать по индикаторам, создаваемым личинками некоторых насекомых. Особенно ценными в этом отношении являются такие виды, как каменная муха, канадская муха, черная муха и муха-журчалка. Эти личинки, особенно те, которые живут без защитных оболочек и имеют открытые жабры, демонстрируют удивительную чувствительность к загрязнению [46]. Такая уязвимость делает их надежными маркерами загрязнения воды. Другая группа организмов, известная как зообентос, играет важнейшую роль в определении качества воды. Эти организмы обитают на дне водоемов и включают в себя такие жизнестойкие виды, как моллюски и олигохеты [45]. Моллюски и олигохеты обладают способностью противостоять загрязнению и могут сохраняться в течение значительного времени, в некоторых случаях до 7 лет. Их присутствие или отсутствие может дать ценную информацию о состоянии загрязнения воды. При оценке загрязнения воды часто целесообразно рассматривать не отдельные виды, а более крупные таксономические группы [47]. Такой подход позволяет получить более точные результаты, особенно для малых рек. Изучая состояние и разнообразие этих крупных групп, исследователи могут получить целостное представление о качестве воды и состоянии окружающей среды. Кроме того, было замечено, что промышленные стоки представляют повышенный риск токсичности для некоторых беспозвоночных, обитающих в водных экосистемах. Моллюски, пиявки, плоские черви, ракообразные и олигохеты являются наиболее уязвимыми для промышленных загрязнителей, за исключением нематод. Это подчеркивает важность мониторинга и управления сбросом промышленных сточных вод для защиты этих водных организмов и сохранения общего здоровья водоемов [16].

Подкисление воды в результате деятельности человека становится все более очевидным в некоторых регионах, о чем свидетельствует присутствие организмов зообентоса. Эти организмы играют важнейшую роль в водной экосистеме, и их исчезновение служит ярким свидетельством пагубного влияния антропогенных факторов [37]. В качестве примера можно привести рачка *Gammarus lacustris*, моллюсков *Lymnaea*, *Gyraulus* и *Valvatidae*, мух семейств *Baetidae*, *Caenidae*, *Metretopidae*, а также водяных клещей, и личинки, стрекозы, мухи *Leptophlebiae*, каменные мухи *Nemoura*, кадифиды *Phryganeidae* и *Polycentropidae*, жуки *Dytiscidae*, водяные клопы и черви-олигохеты. Эти организмы очень чувствительны к подкислению воды, и снижение их численности часто наблюдается в водоемах с pH ниже 5 [33]. Последствия интенсивного антропогенного загрязнения не ограничиваются исчезновением отдельных видов. Оно также существенно изменяет общую структуру и состав сообщества зообентоса. Одним из заметных последствий этого является значительное снижение численности и биомассы различных таксономических групп, входящих в это сообщество. К сожалению, некоторые таксоны под воздействием неблагоприятных условий оказываются полностью вымершими [1]. Кроме того, негативное влияние антропогенной деятельности на зообентос распространяется и на снижение общего видового разнообразия. Последствия такого падения имеют далеко идущие последствия для всей экосистемы, что подчеркивает актуальность решения проблемы антропогенного закисления воды и смягчения его негативного воздействия [15].

В настоящее время в области гидробиологического мониторинга отсутствует стандартизированная классификация используемых критериев и показателей. Такое отсутствие обусловлено тем, что в водных объектах обитает большое количество разнообразных видов, которые сложным образом взаимодействуют с окружающей средой [25]. В результате было разработано множество методов оценки состояния природных вод. Эти

методы направлены на оценку таких важных показателей, как видовое разнообразие, численность популяции и биомасса организмов, обитающих в водоеме [33].

Согласно исследованию Шитикова и др. (2003), существует несколько групп показателей, которые могут использоваться для оценки состояния экосистем. К первой группе относятся простые показатели, непосредственно описывающие конкретные компоненты экосистемы, такие как численность популяции, биомасса организмов или видовое богатство. Эти показатели дают прямую оценку отдельных элементов экосистемы. Вторая группа включает комбинированные показатели, учитывающие множество аспектов экосистемы [1]. Например, показатель видового разнообразия учитывает не только количество присутствующих видов, но и закономерности их распределения и численности. Учитывая различные аспекты, эти показатели позволяют получить более полное представление о динамике экосистемы. Третью группу составляют комплексные показатели, учитывающие одновременно несколько компонентов экосистемы. К этой категории относятся показатели продуктивности, способности к самоочищению и устойчивости [34]. Эти показатели дают представление об общем функционировании и стабильности экосистемы с учетом различных взаимозависимых факторов. Использование комбинации этих различных групп показателей позволяет ученым и исследователям получить более целостное представление о состоянии природных вод и принимать обоснованные решения по их сохранению и управлению [14].

По составу и структуре зообентоса предложено наибольшее количество методов биоиндикации, относящихся к следующим основным направлениям (Безматерных, 2004):

- выявление видов-индикаторов сапробности (или толерантных / интолерантных к загрязнению) /Knöpp, 1954; Pantle, Buck, 1955; Сладечек, 1967/;

- индикация по соотношению числа видов или численности, или биомассе крупных таксонов (типов или классов) – олигохет, ракообразных, моллюсков; отрядов насекомых; подсемейств хирономид /Goodnight, Whitley, 1961; Пареле, 1975; Зиновьев, 1987; Балушкина, 1989/;
- расчет биотических индексов /Вудивисс, 1977; Скопцова, 1981; Andersen, 1984; Fausch et al., 1984; Пшеницына, 1986б; A proposal for..., 1989; Hewitt, 1991; DePauw, 2001/;
- оценка уровня таксономического разнообразия /Мэгарран, 1992; Безматерных, Эйдукайтене, 2000; Протасов, 2002; Протасов, Павлюк, 2004/; • индикация по соотношению трофических групп /Яковлев, 2000; Pavluk et al., 2000; Павлюк, Бай Де Фате, 2006/;
- комбинированные индексы /Балушкина, 1997; Баканов, 1999; Зинченко и др., 2000/; • обобщенная оценка по комплексу характеристик сообщества /Абакумов и др., 1981; Абакумов, Сущеня, 1991; Абакумов, Черногаева, 1992/;
- сравнение с характеристиками сообществ эталонных участков /Максимов, Житина, 1997/.

Использование зообентоса в качестве биоиндикатора имеет свои преимущества, но не лишено недостатков. Одним из существенных недостатков является необходимость отбора значительного количества образцов для обеспечения репрезентативности выборки. Это требование может привести к высоким затратам, что является потенциальной проблемой для исследователей и организаций. Кроме того, факторы, косвенно влияющие на качество воды, играют роль в распределении и численности организмов в экосистеме [36]. Эти факторы могут усложнить интерпретацию и сравнение данных, особенно из-за влияния сезонных колебаний. Исследователи должны тщательно учитывать эти колебания при анализе и формулировании выводов на основе собранной информации. Еще одним ограничением является значительный вклад явлений дрейфа в распределение организмов. Под дрейфом понимается пассивное перемещение организмов с

помощью водных течений, которое может влиять на характер их пространственного распределения [35].

За прошедшие годы исследователями были разработаны различные методы оценки качества воды по гидробиологическим показателям. А.И. Баканов провел обширный обзор этих методов и разделил их на 16 групп, всего более 60 методик мониторинга. Однако следует признать, что этот перечень не является исчерпывающим [40]. Различия в среде обитания водных организмов в разных регионах, а также таксономический состав местных сообществ делают многие показатели неприменимыми для конкретных территорий. В связи с этим ученые были вынуждены создавать модификации и новые биологические индексы для устранения этих недостатков. Другая проблема заключается в эффективной интерпретации этих индексов. Многие ученые подчеркивают, что при описании состояния водных объектов необходимо представлять исходные данные, не опираясь только на индексы [36].

Д.М. Безматерных разработал несколько подходов к оценке экологического состояния водоемов с использованием зообентоса (Безматерных, 2007; 2008). Эти подходы ориентированы на комплексную оценку с учетом различных показателей и метрик. Процесс оценки состоит из следующих этапов:

1. Определение видов-индикаторов для оценки сапробности.
2. Расчет биотических индексов.
3. Использование в качестве индикаторов видового разнообразия, численности или соотношения биомассы основных таксономических групп.
4. Оценка соотношения трофических групп.
5. Оценка уровня таксономического разнообразия.
6. Проведение комплексной оценки путем объединения характеристик сообщества.
7. Сравнение характеристик изученных сообществ с эталонными участками.

Эти различные подходы играют важнейшую роль в оценке и мониторинге экологического состояния водных объектов. Они позволяют получить ценные сведения об общем состоянии и функционировании водных экосистем. Используя эти методы, исследователи и экологи могут получить более полное представление о влиянии деятельности человека на эти экосистемы и принять соответствующие меры по их сохранению и восстановлению [29].

Система сапробности

За прошедшие годы система сапробности значительно продвинулась вперед и стала одной из наиболее сложных систем. Исследователи разработали различные методики оценки общего уровня сапробности, включая графические и расчетные методы [32]. Первоначально сапробность определялась как способность организмов выживать в воде с различным содержанием органических загрязнителей. Однако последующие исследования показали, что сапробность организма зависит не только от его потребности в питании органическими веществами, но и от его способности противостоять вредным продуктам разложения и дефициту кислорода [15].

В каждой сапробной зоне существует определенная группа видов гидробионтов, которые тесно связаны между собой и служат индикаторами состояния зоны [44]. Для получения достоверных результатов очень важно точно определить эти виды. Кроме того, важно понимать значение каждого вида-индикатора. В настоящее время существует множество списков, содержащих информацию о сапробной толерантности отдельных видов. Однако следует отметить, что толерантность одного и того же вида может существенно различаться в разных регионах. Тем не менее, сапробная система в различных ее модификациях получила широкое распространение в ряде стран, в том числе и в России [15].

Биотические индексы

Во второй половине XX века английский ученый Ф. Вудвис провел исследование влияния загрязнения на бентос реки Трен. Его наблюдения показали, что по мере увеличения уровня загрязнения из состава бентофауны постепенно исчезали более чувствительные организмы, такие как веснянки, мухоловки и каменные мухи [4]. В конце концов, остались только олигохеты и некоторые личинки красных хирономид, но и они исчезали в условиях сильного загрязнения. Ф. Вудвис разработал метод оценки уровня загрязнения водных объектов с использованием видового разнообразия и индикаторного значения конкретных таксонов в биотических индексах. Этот подход, известный как трендовый биотический индекс, получил значительное признание на международном уровне. Для расчета биотического индекса используется специальная таблица, учитывающая наличие различных таксономических групп и видовое разнообразие. Он измеряется по шкале от 0 до 10, где более низкие значения означают повышенный уровень загрязнения [16].

Индекс Вудвисса широко используется специалистами, поскольку представляет собой более простую альтернативу системе сапробности. Его основное назначение - оценка уровня загрязнения водотоков. Однако при применении к крупным озерам и водохранилищам он не всегда дает точные результаты. Благодаря своей эффективности этот метод завоевал популярность и был модифицирован для различных регионов [18].

Помимо индекса Вудвисса в странах Европейского союза, США, Австралии и Канаде применяются и другие биотические индексы: FBI – Family Biotic Index, BMWPI – Biological Monitoring Working Party Index, ASPT – Average Score Per Taxon Index, BBI – Belgian Biotic Index [17].

Биоиндикация по соотношению крупных таксонов

Для оценки экологического состояния водоемов можно использовать такие специфические показатели, как численность определенных организмов

и доля основных таксонов, присутствующих в них. К таким таксонам относятся олигохеты, ракообразные, моллюски и подсемейство хирономид. Например, в местах сброса бытовых сточных вод олигохеты обычно процветают в значительных количествах [15]. Распространение олигохет, в частности, *Tubifex tubifex* и *Limnodrilus hoffmeisteri*, часто рассматривается гидробиологами как ценный барометр органического загрязнения. В ответ на это признание во второй половине 20 века К.Г. Гуднайт и Л.С. Уитлеем разработали индекс олигохет. Индекс служит количественным показателем, и более высокая численность олигохет свидетельствует о повышенном уровне загрязнения. Эта методика стала неотъемлемым инструментом оценки и мониторинга качества окружающей среды, позволяющим исследователям определять влияние органических загрязнителей на водные экосистемы. Анализируя динамику численности конкретных видов олигохет, ученые могут получить представление об общем состоянии и целостности пресноводных сред обитания [16].

В 1975 г. Балушкина Е.В. ввела хирономидный индекс как средство оценки экологического состояния водных объектов. Этот индекс служит мерилем для оценки общего здоровья и экологического состояния водной среды. Анализируя численность и разнообразие хирономид, этот инструмент помогает ученым понять влияние различных факторов на качество воды и динамику экосистем. Таким образом, индекс хирономид играет важную роль в мониторинге и управлении благополучием водных экосистем. Он учитывает различные подсемейства личинок мошек и изменение их соотношения под влиянием загрязнения [45]. В чистых водах преобладают виды подсемейств *Orthocladiinae* и *Diamesinae*, а в загрязненных - виды подсемейства *Tanypodinae*. Личинки мошек, являющиеся обычной частью зообентоса, обитают в различных водоемах. Одним из преимуществ использования данного индекса является его простота, так как он не требует детальной идентификации видов. В результате хирономидный индекс Балушкиной приобрел популярность не только в России, но и за рубежом. Несмотря на

популярность, у этого метода есть ограничения. Одно из таких ограничений возникает в водоемах с низким разнообразием хирономид, где внезапно может появиться большое количество взрослых мошек, что приведет к снижению численности личинок. Чтобы решить эту проблему и обеспечить точную оценку, важно планировать сбор проб до появления взрослых особей. Более ранний сбор проб позволит исследователям получить более репрезентативную картину экологического состояния водоема [15].

Индекс ЕРТ широко используется в Европе и Америке. Он рассчитывается на основе численности трех отрядов насекомых - Ephemeroptera, Trichoptera и Plecoptera, которые очень чувствительны к загрязнению. Однако этот индекс может применяться только в условиях чистой или слабозагрязненной воды, где присутствуют именно эти отряды насекомых [18].

Оценка состояния экосистемы по индексам видового разнообразия

При анализе биологического качества воды индексы играют важнейшую роль в оценке и описании видового разнообразия. Эти индексы дают ценную информацию о разнообразии видов, присутствующих в данном водоеме [34]. Количественно оценивая различные виды и их численность, эти индексы помогают ученым понять общее состояние и экологический баланс водной среды. Более того, они служат важными инструментами для мониторинга и управления водными ресурсами, обеспечивая сохранение разнообразных и процветающих экосистем. Как правило, видовое разнообразие снижается с увеличением уровня загрязнения [45]. Интенсивное воздействие часто приводит к изменению и обеднению видового состава. С другой стороны, менее значительные воздействия вызывают сдвиги в соотношении численности различных видов, что, соответственно, сказывается на доминирующем комплексе. Для оценки степени доминирования отдельных видов используются такие индексы доминирования, как индекс Балога, индекс Паля-Ковнацкого, индекс

плотности населения, индекс Мордухая-Болтовского. В этом контексте показателен индекс Шеннона. Он служит для количественной оценки богатства видов и одновременно учитывает их выравненность. При оценке качества воды с помощью индексов разнообразия необходимо учитывать как количественные, так и качественные аспекты сообществ. Это очень важно, поскольку значения индексов могут быть одинаковыми в различных условиях [19].

Индикация по соотношению трофических групп

Характер питания и типы пищи, потребляемой зообентосом, могут быть использованы для оценки качества воды. Трофическая структура, под которой понимается организация организмов на основе их кормовых связей, может свидетельствовать о здоровье водных экосистем [14]. При загрязнении трофическая структура упрощается и приводит к формированию базовых сообществ. Эти сообщества играют активную роль в очистке воды. Например, уменьшается количество организмов-фильтраторов и увеличивается доля детритивистов-собирателей. При токсическом загрязнении и закислении доминирующими трофическими группами становятся хищные виды, собиратели-собиратели и разлагатели. Важно отметить, что природные условия также влияют на трофическую структуру зообентоса [15].

Комбинированные показатели

При оценке качества воды в различных водных средах важно учитывать ограничения отдельных индексов. Не все индексы предоставляют полную и достоверную информацию, часто концентрируясь только на определенных таксономических группах и упуская из виду другие важные аспекты сообщества. В результате оценки, основанные на разных показателях, могут давать противоречивые результаты [16].

Для решения этой проблемы эффективным инструментом стали комплексные индикаторы. Эти показатели включают в себя целый ряд индексов, которые в совокупности отражают характеристики всего сообщества бентосных животных и специфику воздействия антропогенной деятельности на экосистему. Одним из наиболее заметных интегрированных показателей является интегрированный показатель (ИП) Балушкина [14]. Он учитывает различные факторы, в том числе присутствие видов-индикаторов, соотношение групп индикаторов, характер доминирования и общую структуру сообщества. Учитывая эти многочисленные параметры, ИП дает более полную оценку качества воды. Другим ценным интегральным показателем является комбинированный индекс состояния сообщества (КИСС), предложенный Бакановым А.И. Этот индекс включает в себя несколько показателей, таких как численность, биомасса, видовое богатство, индекс разнообразия Шеннона, индекс олигохет Парале и сапробность. Сочетание этих показателей позволяет получить целостную картину состояния сообщества. Кроме того, Зинченко Т.Д. и соавторы разработали Интегрированный индекс экологического состояния (ИИЭС), который объединяет химические и биологические показатели. Такой подход позволяет комплексно оценить совокупное влияние загрязнения на гидробионтов и всю экосистему [12]. Учитывая различные параметры, КИСС дает представление об общем экологическом состоянии и помогает выявить потенциальные угрозы. Таким образом, использование комплексных показателей позволяет улучшить оценку качества воды за счет учета более широкого спектра факторов и получения более полного представления о состоянии водных экосистем [15].

Подводя итог, можно сказать, что существует множество методов оценки экологического состояния водоемов. Эти методы опираются на различные аспекты зообентоса, такие как его состав, структура, функциональность и показатели. Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки. Однако универсального подхода, который можно было бы

применять во всех случаях, не существует. Поэтому перед исследователями стоит сложная задача тщательного отбора наиболее подходящих методов, способных точно отобразить экологическую ситуацию с учетом уникальных особенностей региона.

2.3 Материалы и методы отбора проб.

В соответствии с поставленными задачами нами была осуществлена оценка экологического состояния вод р. Луга в пределах основных источников антропогенного воздействия на экосистему реки – г. Луга, г. Кингисепп и порта Усть-Луга.

В пределах г. Луга было выбрано пять точек в различных функциональных зонах города с разным уровнем антропогенной нагрузки:

Точка 1: Въезд в город. У моста, парк.

Точка 2: У пешеходного моста.

Точка 3: Городской пляж.

Точка 4: Очистные сооружения.

Точка 5: Около автомобильного моста.

Месторасположение точек проведения исследований в пределах г. Луга представлено на рисунке 3.



Рисунок 3 – Месторасположение точек проведения исследований в пределах г. Луга

А – Точка 1: Въезд в город. У моста, парк

Б – Точка 2: У пешеходного моста

В – Точка 3: Городской пляж

Г – Точка 4: Очистные сооружения

Д – Точка 5: Около автомобильного моста

В пределах г. Кингисепп было выбрано три точки в различных функциональных зонах города с разным уровнем антропогенной нагрузки:

Точка 1: Перед городом.

Точка 2: Поселок Кингисеппский, под автомобильным мостом.

Точка 3: Над газопроводом.

Месторасположение точек проведения исследований в пределах г. Кингисепп представлено на рисунке 4.

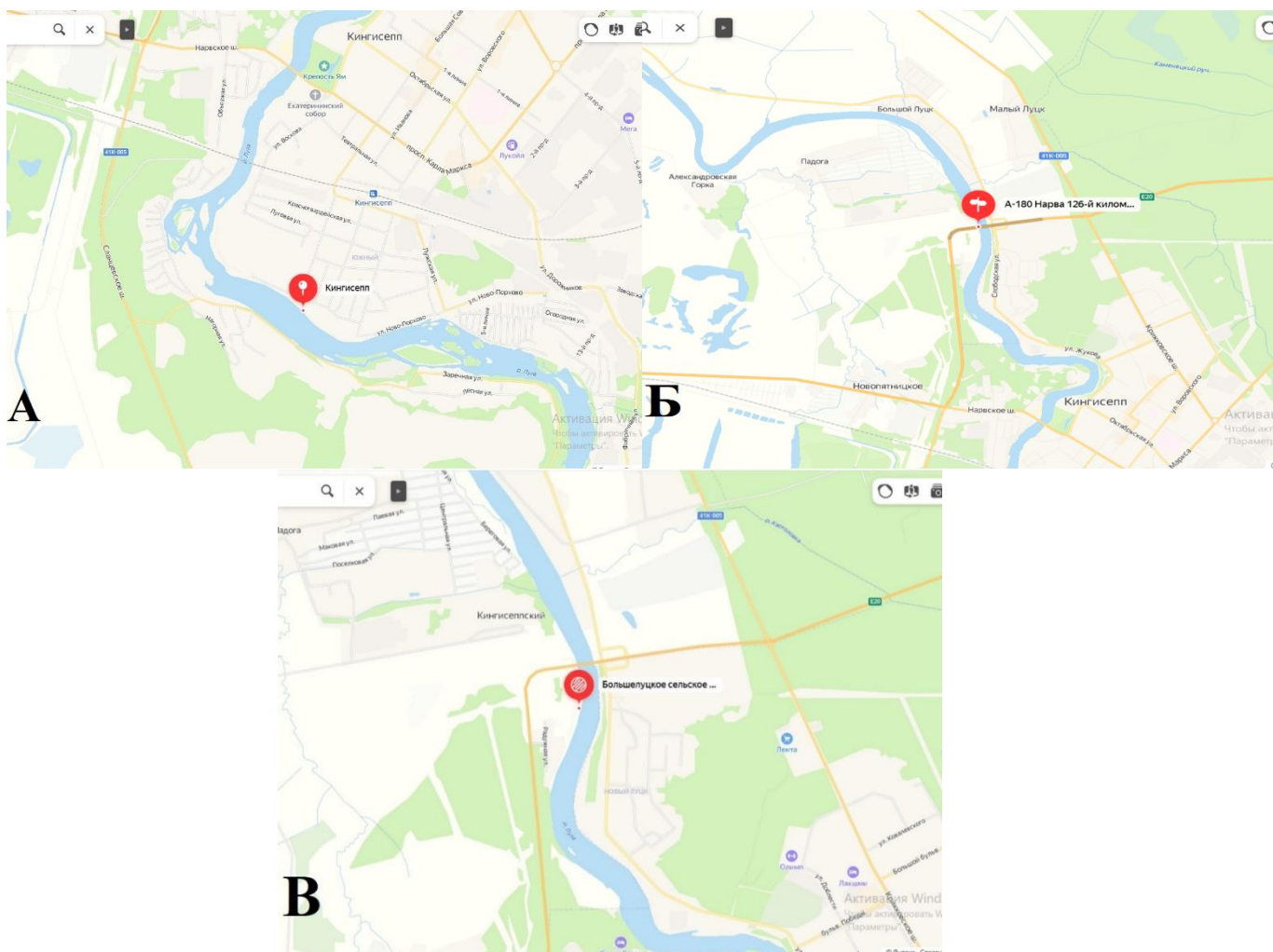


Рисунок 4 – Месторасположение точек проведения исследований в пределах г. Кингисепп

А – Точка 1: Перед городом

Б – Точка 2: Поселок Кингисеппский, под автомобильным мостом

В – Точка 3: Над газопроводом

Также три точки для проведения исследований были заложены в районе порта Усть-Луга:

Точка 1: За Пятерочкой.

Точка 2: Квартал Остров.

Точка 3: У моста.

Месторасположение точек проведения исследований в пределах порта Усть-Луга представлено на рисунке 5.

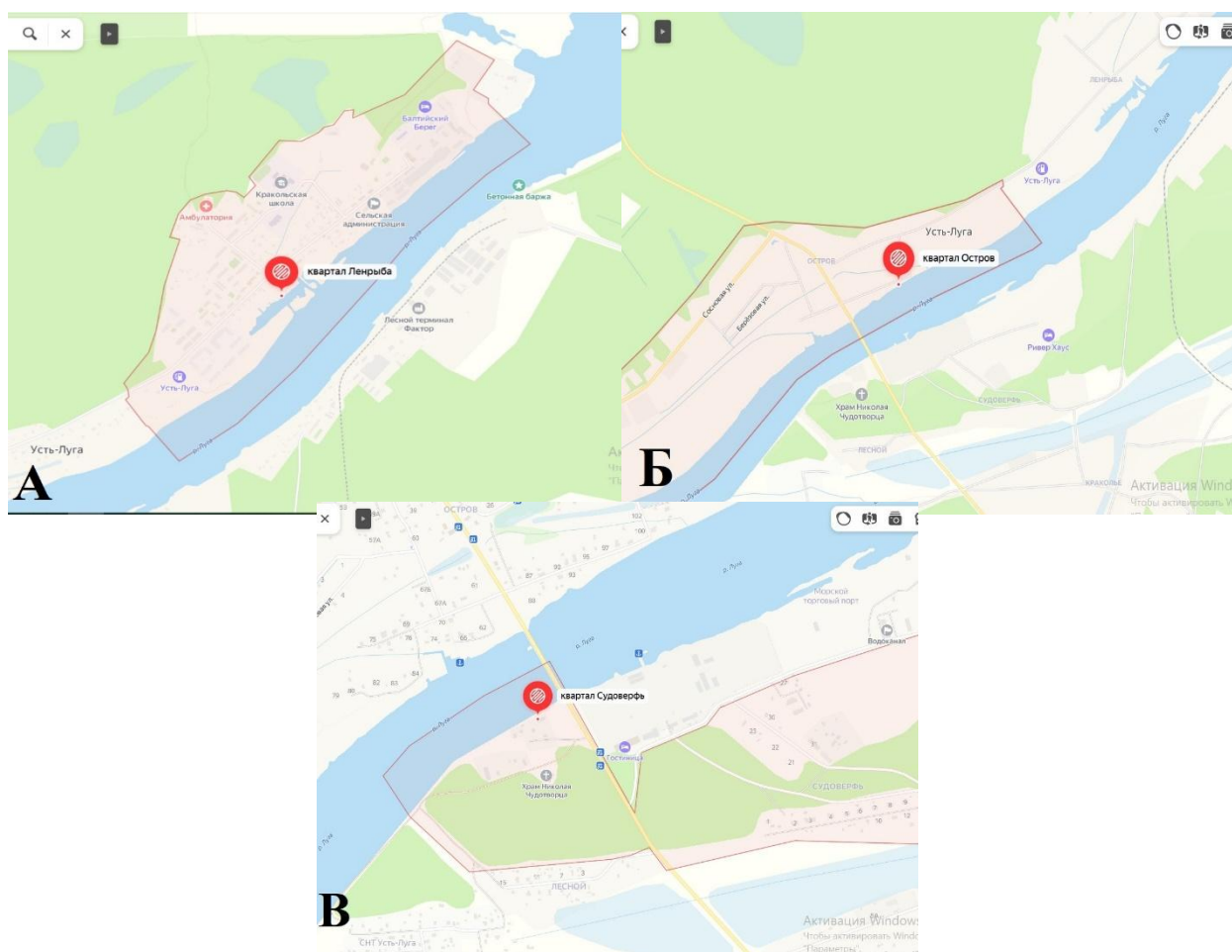


Рисунок 5 – Месторасположение точек проведения исследований в районе порта Усть-Луга

- А – Точка 1: За Пятерочкой
- Б – Точка 2: Квартал Остров
- В – Точка 3: У моста

Критериями оценки выступали гидрохимические и гидробиологические показатели. Среди последних: количественный и качественный состав макрозообентоса, а также видовой состав прибрежной растительности и макрофитов. На основании полученных данных определялись и рассчитывались класс качества воды и биотический индекс Вудивисса. Глубина станции составляла от 0,5- до 0,7 метров.

Среди гидрохимических показателей определяли те, которые в наибольшей степени, влияют на анализируемые биоиндикационные параметры, а именно: температура воды, рН воды, общий уровень минерализации, электропроводность, плотность содержания твердых частиц и окислительно-восстановительный потенциал.

Перечисленные гидрохимические показатели анализировались с использованием тестера воды 5 в 1, портативного цифрового измерителя качественных параметров воды Ph, TDS-теплопроводность, ЕС-электропроводность, - метр, солемер, термометр – EZ-9909SP. Тестер применялся согласно инструкции производителя.



Рисунок 6 – Отбор воды для измерений тестером

Результат оценивается по шкалам.

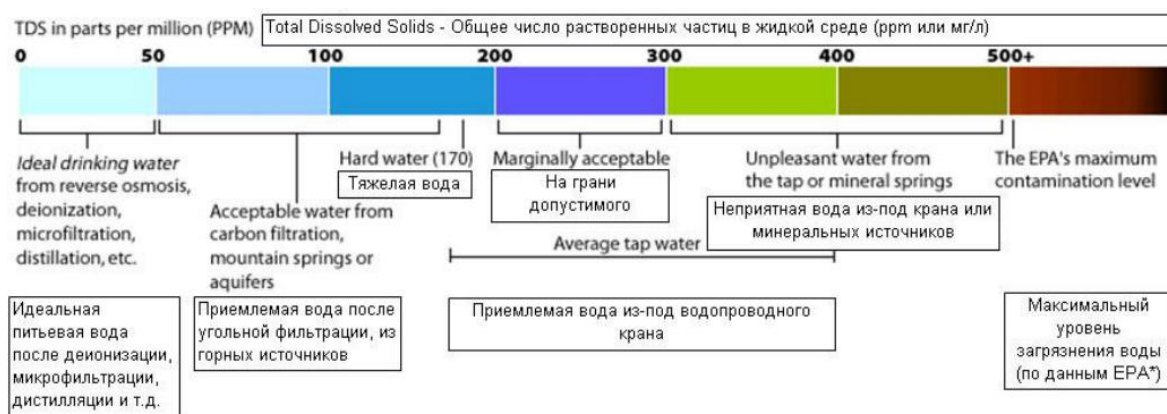


Рисунок 7 - Шкала для оценки минерализации вод

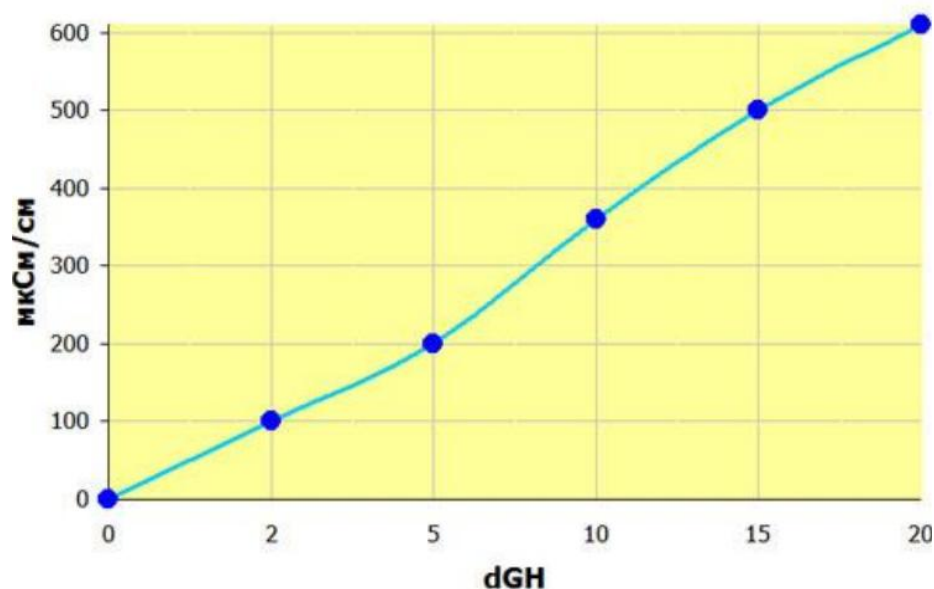


Рисунок 8 - Зависимость удельной электропроводности от общей жесткости воды

Помимо определения гидрохимических показателей в указанных точках производился отбор проб для обнаружения представителей зообентоса. Для чего применялось несколько методологических подходов.

С целью отбора представителей крупных организмов (по большей части двустворчатых моллюсков) на мелководье применяли рамку площадью 0,25 м². Стенки рамки выполнены из листового материала высотой 3 см. Углы рамки снабжены шипами для фиксации в грунте (рисунок 5).



Рисунок 9 – Рамка для ручного сбора бентосных организмов

Такую рамку фиксировали в грунте на каждой точке отбора проб. Затем, на ограниченном рамкой пространстве, вручную выбирали, идентифицировали и подсчитывали крупных представителей зообентоса. После чего представителей зообентоса возвращали в водоем. Часть пробы фиксировалась формалином для дальнейшей идентификации в камеральных условиях.

Для обнаружения и идентификации более мелких представителей зообентоса применяли другой подход. Снимали верхний слой грунта и просеивали его через сито с диаметром ячейки 5 мм. Идентификация и подсчет хорошо заметных на сите и подвижных бентосных организмов производились на месте. Для фиксации части пробы применялся 75-процентный раствор этилового спирта. После фиксации пробу разбирали в камеральных условиях с использованием бинокля.

Далее на основе полученных данных рассчитывался биотический индекс.

Индикация прибрежной растительности и макрофитов осуществлялась визуально с использованием шкалы по Гигевичу, Власову, Вынаеву, 2001.

2.5 Анализ гидрохимических показателей и качества вод р. Луга

По данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды качество воды в р. Луга на данный момент оценивается 3-м классом разрядами «а» и «б» и характеризуется, как «загрязненная» и «очень загрязненная». Основными загрязнителями вод р. Луга в настоящее время выступают органические вещества (по ХПК), нитритный азот, соединения меди и железа, а в районе г. Кингисепп к ним добавляются еще и соединения цинка и марганца.

Наибольшие концентрации загрязнителей наблюдаются в створах ниже г. Кингисепп, что говорит о значительном негативном влиянии сточных вод и поверхностного стока с территории данного населенного пункта на качество вод в реке [19].

СПб ФИЦ РАН проведен анализ динамики изменения качества р. Луга за период 1999-2019 гг. результаты данного анализа представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Гидрохимические показатели качества воды р. Луга за 1999-2019 гг. (по Манвелова А.Б., 2021 г.)

Показатель, мг/дм ³	г. Луга, створ 1 (227 км от устья)	г. Луга, створ 4 (222 км от устья)	г. Кингисепп, створ 1 (72,5 км от устья)	г. Кингисепп, створ 2 (48 км от устья)	ПДК*
	<u>Min-Max**</u> Среднее	<u>Min-Max</u> Среднее	<u>Min-Max</u> Среднее	<u>Min-Max</u> Среднее	
Растворенный O ₂	<u>6,7-9,5</u> 7,9	<u>6,0-8,0</u> 7,3	<u>7,6-11,1</u> 9,3	<u>7,5-11,7</u> 9,4	>6,0
Взвешенные вещества	<u>2,9-10,9</u> 6,0	<u>3,4-9,4</u> 5,7	<u>0,83-17,4</u> 4,5	<u>0,83-28,9</u> 5,1	10
ХПК	<u>22,3-60,3</u> 40,0	<u>29,9-62,9</u> 40,3	<u>27,6-52,3</u> 39,1	<u>27,4-50,9</u> 38,7	15
БПК ₅	<u>0,67-1,8</u> 1,12	<u>0,93-1,3</u> 1,08	<u>0,53-1,7</u> 1,15	<u>0,66-1,8</u> 1,2	2

Сульфаты	<u>4,5-56,1</u> 20,6	<u>6,5-40,3</u> 17,1	<u>4,5-48,8</u> 17,4	<u>6,9-53,6</u> 19,1	100
Хлориды	<u>6,3-21,8</u> 14,28	<u>7,0-18,0</u> 12,73	<u>4,1-12,8</u> 7,04	<u>52-12,8</u> 7,95	300
Азот аммонийный	<u>0,02-0,17</u> 0,06	<u>0-0,24</u> 0,06	<u>0-0,09</u> 0,03	<u>0-0,16</u> 0,05	0,4
Азот нитритный	<u>0-41,23</u> 0,03	<u>0-0,18</u> 0,04	<u>0-0,067</u> 0,01	<u>0-0,064</u> 0,02	0,02
Азот нитратный	<u>0,11-1,3</u> 0,51	<u>0,36-1,2</u> 0,62	<u>0,11-0,75</u> 0,45	<u>0,14-0,79</u> 0,50	9,0
Фосфаты	<u>0,01-0,05</u> 0,02	<u>0,01-0,04</u> 0,02	<u>0,01-0,026</u> 0,01	<u>0,01-1,1</u> 0,11	0,15
Нефтепродукты	<u>0-0,07</u> 0,02	<u>0-0,03</u> 0,01	<u>0-0,06</u> 0,02	<u>0-0,06</u> 0,02	0,05
СПАВ	<u>0-0,09</u> 0,02	<u>0-0,02</u> 0,01	<u>0-0,10</u> 0,02	<u>0,01-0,11</u> 0,02	0,1
Железо общее	<u>0,05-0,85</u> 0,36	<u>0,12-0,73</u> 0,38	<u>0,10-0,33</u> 0,41	<u>0,05-0,70</u> 0,40	0,1
Медь	<u>0,002-0,011</u> 0,005	<u>0,0017-0,0043</u> 0,0031	<u>0,0012-0,014</u> 0,0038	<u>0,0013-0,011</u> 0,0037	0,001
Свинец	<u>0-0,0083</u> 0,0033	<u>0-0,0041</u> 0,0019	<u>0-0,0096</u> 0,0031	<u>0-0,0091</u> 0,0033	0,006
Кадмий	<u>0,00013-0,0012</u> 0,00046	<u>0,00004-0,0010</u> 0,00037	<u>0,00006-0,0009</u> 0,00033	<u>0,00006-0,0008</u> 0,00036	0,001
Марганец	<u>0,0052-0,16</u> 0,056	<u>0,0020-0,15</u> 0,047	<u>0,0070-0,11</u> 0,028	<u>0,0022-0,084</u> 0,029	0,01

*для водоемов рыбохозяйственного водопользования

** жирным выделены концентрации, превышающие ПДК

Согласно приведенным данным приоритетными загрязнителями р. Луга за последние двадцать лет выступали: органические вещества (по ХПК), азот нитритный, нефтепродукты, медь, свинец и марганец.

В верхнем течении реки (район г. Луга) максимальные превышения ПДК характерны для ХПК – до 4,2 ПДК, азота нитритного – до 11,5 ПДК, железа общего – до 8,5 ПДК, меди – до 11 ПДК и марганца – до 15,6 ПДК.

Стоит отметить, что по усредненным концентрациям качество воды выше и ниже г. Луга разнятся не значительно. Однако минимальные регистрируемые концентрации загрязнителей за рассматриваемый период характерны для створа выше г. Луга.

В верхнем течении реки (район г. Кингисепп) максимальные превышения ПДК характерны для ХПК – до 3,5 ПДК, азота нитритного – до 3,2 ПДК, железа общего – до 7 ПДК, меди – до 14 ПДК, марганца – до 8,4 ПДК.

Необходимо отметить, что по всему течению реки по ряду показателей на протяжении всех двадцати лет наблюдений регистрировались концентрации гораздо ниже ПДК. К таковым показателям относятся сульфаты, хлориды, азот аммонийный, азот нитратный и БПК₅. По некоторым показателям средние за двадцатилетний период наблюдений значения не превышают нормативно установленные пределы, но в отдельные годы регистрировались превышения ПДК, к таким стоит отнести нефтепродукты, СПАВ, фосфаты, кадмий, свинец и взвешенные вещества. Еще одна группа показателей – это показатели средние значения, которых выше норматива, но в отдельные годы отмечалось снижение их концентраций ниже ПДК, к ним относятся марганец, железо общее и азот нитритный. И к самым «проблемным» показателям, для которых характерно превышение ПДК по всем створам за весь рассматриваемый период, относятся медь и ХПК.

Для оценки влияния на качество вод р. Луга стоков г. Кингисепп и г. Луга стоит проанализировать динамику изменения удельного комбинаторного индекса загрязнения вода (УКИЗВ) по различным створам.

Динамика изменения УКИЗВ за последние годы в створах выше и ниже г. Луга представлена на рисунке 6.

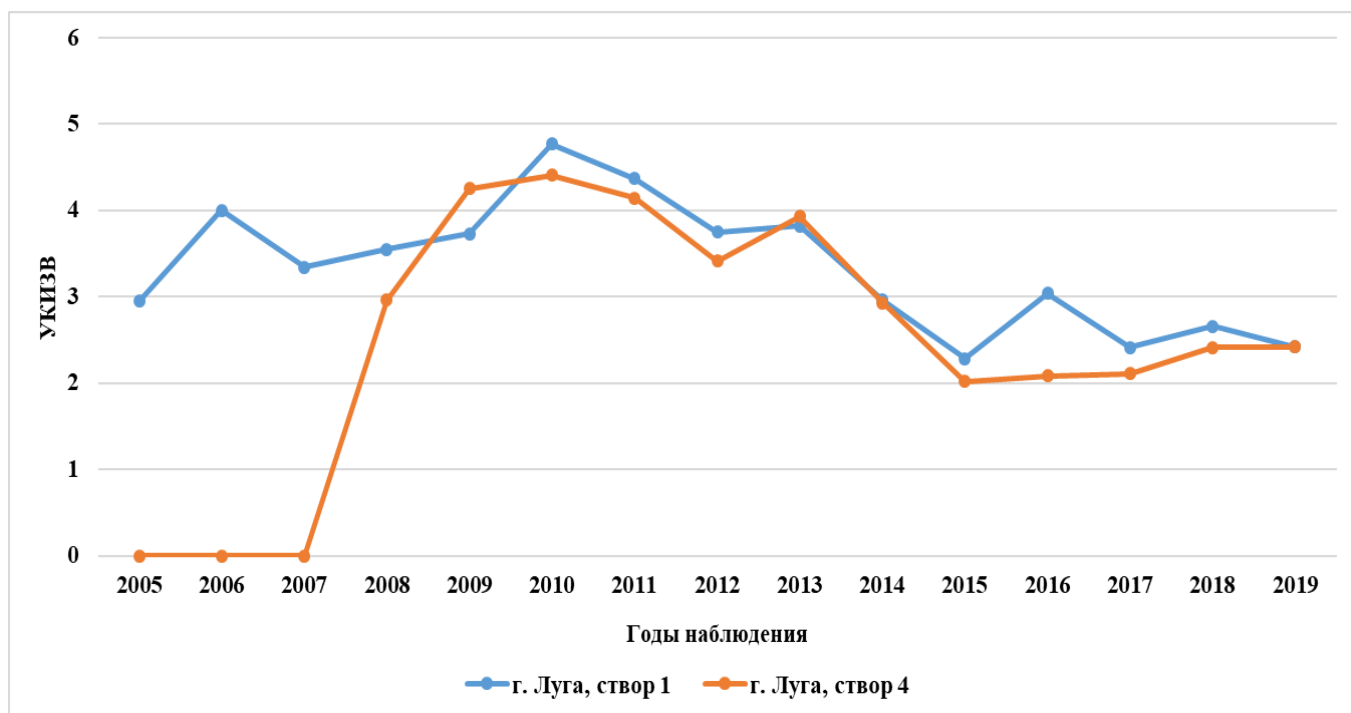


Рисунок 10 – Изменение УКИЗВ в створах выше и ниже г. Луга за последние годы*

*За 2005-2007 гг. для створа 4 данные отсутствуют

По приведенным данным можно сказать, что значения УКИЗВ в створах близ г. Луга в целом имеют динамику к незначительному снижению. В отдельные годы отмечается увеличение значения УКИЗВ выше города, в отдельные, наоборот, ниже города. В последние годы (начиная с 2015 г.) отмечается рост значений УКИЗВ в створе ниже г. Луга, что говорит о росте влияния г. Луга на качество воды в реке. Данное обстоятельство обуславливает необходимость проведения в пределах г. Луга более детального анализа экологического состояния реки с использованием не только гидрохимических показателей, но и гидробиологических, позволяющих в интегральной форме оценить влияние комплекса загрязнителей на гидроэкосистему.

А вот уже в районе г. Кингисепп весьма отчетливо прослеживается антропогенное воздействие на качество вод р. Луга, что наглядно продемонстрировано на рисунке 7.

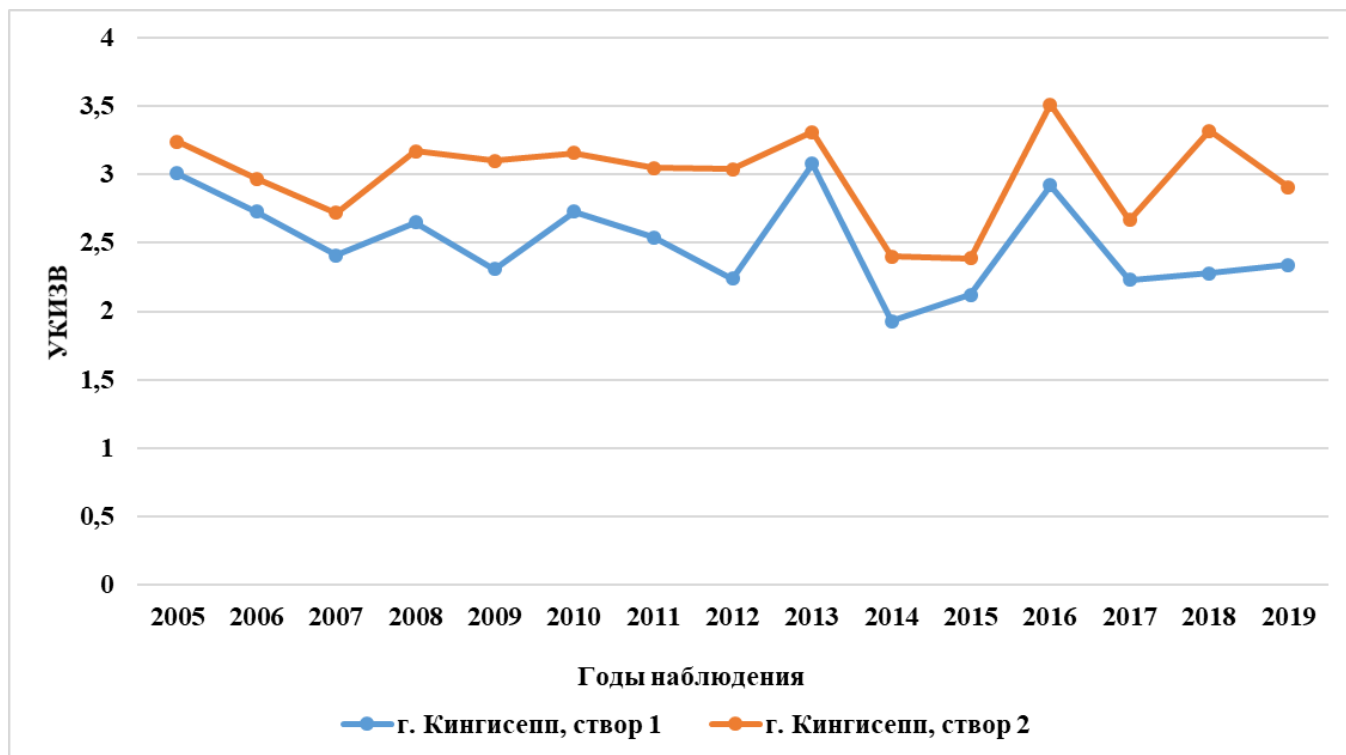


Рисунок 11 – Изменение УКИЗВ в створах выше и ниже г. Кингисепп за последние годы

Так, значение УКИЗВ в створе ниже г. Кингисепп на протяжении всего анализируемого периода длительностью почти двадцать лет устойчиво больше нежели, чем в створе выше населенного пункта. Данный факт свидетельствует о значительной антропогенной нагрузке промышленного узла г. Кингисепп на экосистему р. Луга. Поступающие со сточными водами г. Кингисепп и в составе поверхностного стока большие объемы загрязнителей приводят к устойчивому повышению значений УКИЗВ.

Указанное обстоятельство в очередной раз доказывает необходимость осуществления экологической оценки качества вод р. Луга с использованием методов биоиндикации. Поскольку загрязнение носит комплексный характер и в состав приоритетных загрязнителей входят как органические, так и неорганические соединения необходимо использовать методы, позволяющие

в интегральной форме оценить качество воды в реке. Данным требованиям в полной мере и отвечают методы биоиндикации.

2.7 Анализ сравнительной оценки реки Луга по макрозообентосу в 2018-2020 годах.

Большинство видов бентоса было значимо для определения качества воды. Группа исследователей под руководством Тамары Черновой использовала особенности зообентоса для этой цели. С помощью методики определения качества вод по беспозвоночным они определили класс качества воды в реке Луга в г.Кингиссепе. Выбрав животных-индикаторов из всех обнаруженных беспозвоночных, они умножили количество индикаторных таксонов на их значимость и по суммарной значимости определили класс качества воды [18].

Из таблицы 4 можно сделать вывод, что вода на первом участке умеренно загрязнена, в ливнёвке она грязная, а на третьем участке — загрязнённая (вода в ручье стала чище после смешивания с водами реки Луги).

Для определения класса чистоты воды использовали методики Вудивисса. Эти методы учитывают общее разнообразие беспозвоночных, обитающих в водоёме, и наличие организмов из индикаторных групп. Результаты подсчёта по этой методике представлены в таблицах 4 и 5.

В результате по всем обследованным участкам получилась таблица 4, показывающая класс качества воды по критерию Института Пресноводных Культур /ИПК/ -таблица 2

Таблица 4 - Качество вод по методике ИПК

Участок	Индикаторные таксоны	Условная значимость	Количество таксонов	Суммарная значимость	Класс чистоты воды
Участок 1	Лужанка, Водяной клоп	14,2	2	28,4	3-довлетворительно чистая

Участок 2	Масса трубочника	25	1	25	5-грязная
Участок 3	Стрекоза коромысло	20	1	20	4-загрязненная

Таким образом, из таблицы 4 видно, что вода умеренно-загрязненная на 1 участке, грязная в ливневке и загрязненная на третьем участке (вода ручья стала чище, смешиваясь с водами р. Луги).

Также был определен класс чистоты воды, использован метод Вудивисса. Это метод учитывает общее разнообразие беспозвоночных организмов, обитающих в водоёме, а также присутствие организмов из индикаторных групп. Результаты подсчёта по этой методике представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Качество вод по критерию Вудивисса

Участки	Общее количество групп	Ключевые организмы	Биоти- ческий индекс	Загрязне- ние
участок 1	5	Водяной ослик	3	Средняя степень
участок 2	3	Трубочник	2	Сильное загрязнение
участок 3	4	Трубочник	2	Сильное загрязнение

Таким же образом были проанализированы пробы макрозообентоса в следующие два года. Результаты были занесены в сводную таблицу 6.

Таблица 6 - Результаты гидробиологической оценки качества воды

Год	2018		2019			2020		
Методика	Участок 1	Участок 2	Участок 1	Участок 2	Участок 3	Участок 1	Участок 2	Участок 3
Индекс Вудивисса	Средняя степень загрязнения	Сильное загрязнение	Средняя степень загрязнения	Сильное загрязнение	Сильное загрязнение	Средняя степень загрязнения	Сильное загрязнение	Незначительное загрязнение
Индекс Грехема	Удовлетворительно чистая	Грязная	Загрязненная	Грязная	Грязная	Удовлетворительно чистая	Грязная	Удовлетворительно чистая
Сапробиологический индекс	Умеренно загрязненная	Сильно загрязненная	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Умеренно загрязненная	Умеренно загрязненная	Сильно загрязненная	Умеренно загрязненная

В результате сравнения данных, полученных при исследовании двух участков реки Луги и ливневой канализации с результатами исследования 2018 года, было выявлено, что качество воды на участке около спасательной станции осталось неизменным.

В то же время, качество воды в ливнёвке улучшилось. Ранее здесь был обнаружен только один таксон бентоса — трубочник, а теперь их стало три. Класс качества воды изменился с V (грязная, полисапробная) на IV (загрязнённая, α -мезосапробная).

2.6 Растения-индикаторы загрязнения водоема

Загрязняющие вещества в водной среде способны нарушать функционирование целых экологических систем. Эти нарушения могут

приводить к возникновению токсических эффектов, которые тесно связаны с процессом биоаккумуляции. Биоаккумуляция происходит, когда химическое вещество попадает в организм быстрее, чем выводится из него [20].

В водной среде водные организмы получают загрязняющие вещества в основном за счет сорбционных процессов, протекающих в их покровах. Важно отметить, что разные виды организмов по-разному накапливают загрязняющие вещества. Поэтому не все организмы могут служить эффективными биологическими индикаторами. Однако организмы с высокими коэффициентами накопления, называемые также специфическими аккумуляторами, хорошо подходят для этой цели.

Обширные научные исследования показали, что растения превосходят животных по эффективности накопления. Однако степень накопления веществ у разных видов растений существенно различается [22].

Так, например, рогоз, морские водоросли, отдельные виды водных растений и одноклеточных водорослей являются яркими примерами, характеризующимися необычайно высоким уровнем накопления радиоизотопов. Это делает их идеальными кандидатами для оценки степени радиоактивного загрязнения водной среды.

Процесс биоиндикации - это отбор растений, обладающих высокой чувствительностью к изменениям окружающей среды и демонстрирующих максимальную скорость реакции. В водных системах одним из типов растений, считающихся особенно чувствительными, являются перифитонные сообщества. Эти сообщества состоят из растений, прикрепляющихся к субстрату в водоемах. Перифитонные растения способны быстро реагировать на изменения окружающей среды благодаря короткому жизненному циклу и высокой скорости размножения [23].

Макрофиты

Макрофиты, включая крупные морские травы, мхи и хвощи, обладают удивительной способностью чувствовать и интерпретировать состояние водоемов. Эти растения служат индикаторами, дающими ценные сведения о здоровье и благополучии водных экосистем. Внимательно наблюдая за макрофитами, ученые могут получить важные данные о качестве воды в целом и выявить возможные экологические проблемы. Обладая повышенной чувствительностью, эти растения играют важнейшую роль в поддержании хрупкого баланса наших водных систем [22].

Растения-макрофиты бывают трех типов:

- с листьями, находящимися в воде — наяда и пузырчатка, рдест и риччия, роголистник и телорез, уруть и элодея;
- с плавающими по водной поверхности листьями — водокрас и кувшинка, кубышка, ряска малая и сальвиния;
- водно-воздушные (одна часть растения располагается в воде, другая часть — над водой) — камыш и рогоз, тростник и хвощ, частуха [17].

Из-за крупных размеров макрофиты легко учитывать и проводить диагностику их состояния.

Таблица 7 - Виды - индикаторы загрязнений воды (по Гигевичу, Власову, Вынаеву, 2001)

Название вида	Индикаторы			
	Органическое загрязнение	Ацидофикация	Эвтрофикация	Тяж. Металлы
Аир обыкновенный	+		+	
Водокрас лягушачий			+	+
Водяной мох	+	+		
Камыш озерный	+			

Кубышка малая	+			
Лобелия Дортмана	+	+		
Манник плавающий				+
Манник большой	+			+
Многокоренник обыкновенный	+		+	+
Полушник озерный	+	+		
Прибрежница одноцветковая	+	+		
Рдест курчавый	+		+	
Рдест блестящий				+
Рдест плавающий	+			
Рдест узловатый	+			+
Рдест пронзеннолистн ый				+
Рдест длиннейший	+	+		
Рогоз широколистный	+			+
Роголистник темно-зеленый	+	+		+
Роголистник подводный	+	+		+
Ряска горбатая	+		+	
Ряска малая	+		+	
Ситняг игольчатый	+			
Ситняг болотный	+			
Телорез алоэвидный				+
Трехдольница трихбороздчат а			+	+
Уруть колосистая	+		+	
Харовые водоросли		+		+
Хвощ речной	+	+		
Частуха подорожникова я			+	+

Шелковник жестколистный	+			
Штукения гребенчатая	+		+	+
Элодея канадская	+			+

Водоросли

Водоросли, являющиеся автотрофами, для образования органического вещества используют биогенные соединения фосфора и азота. Количество биогенной нагрузки влияет не только на интенсивность роста водорослей, но и на разнообразие их видов.

В методах биоиндикации растениям отводится значительная роль в оценке последствий процессов, протекающих в водной среде. Эти проявления, демонстрируемые растениями, служат индикаторами, позволяющими оценить воздействие на них.

Преимущества автотрофов-индикаторов:

- недорогой экспресс-метод по сравнению с химическими анализами;
- водоросли в трофической сети первыми реагируют на загрязнители без значительного их накопления;
- изменение состава сообщества и обилие водных организмов — реакция на изменение условий водной среды [17].

Глава 3. Исследование структуры макрозообентоса

22 июля 2023 года был проведен гидробиологический анализ для более точного и независимого установления экологического состояния реки. В городе Луга было исследовано четыре точки. В каждой были взяты пробы грунта на поиск макрозообентоса, определен состав прибрежной растительности, макрофитов, а также измерены некоторые химические показатели цифровым тестером воды. После были высчитаны биотический индекс Вудивисса и класс качества, с помощью макрофитов – загрязнение воды [24].

3.1 Результаты исследования в г.Луга

Точка 1. Въезд в город. У моста, парк.

8:50, координаты 58.726368, 29.853670.

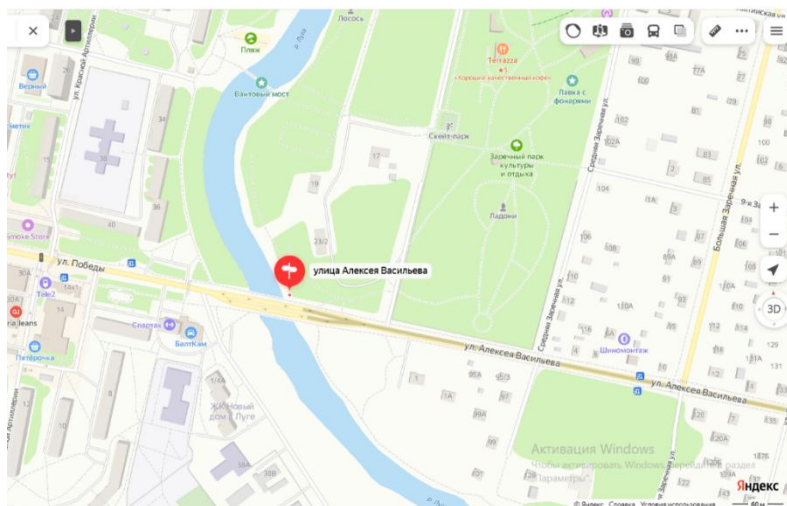


Рисунок 12 – Координаты точки 1

Грунт представил собой камни, кирпичи, бетон. На берегу было обнаружено большое количество мусора. Опоры моста оказались подмыты. На противоположном берегу была видна сливная труба. Растительность в

данной точке - редкая. Показатели по прибору указаны в табл.5.

Количественный состав пробы указан в табл. 6. Растительный - в табл. 7.



Рисунок 13 - Вид на точку 1



Рисунок 14 – Макрофиты в точке 1

Таблица 5 - Показатели по прибору

Показатель	Единица измерения	Значение
t воздуха	°C	22,0
t воды	°C	18,9
Ph		8,0

ОВП	мВ	186
Ес	мк/см	379
Плотность содержания твердых частиц	Ppm	180
Соленость	%	0,01

Таблица 6 - Количественный состав пробы

Макрозообентос	Количество в пробе
Личинки комаров-звонцов (сем. <i>Chironomidae</i>)	5
Малощетинковые кольцецы (кл. <i>Oligohaeta</i>)	1

Биотический индекс – 2. Класс качества - 5. Степень загрязнения – грязные.

Индекс Гуднайта и Уитлея $-1/6 \cdot 100\% = 17\%$. Состояние реки хорошее.

Таблица 7 - Описание растительности.

Растение	Проективное покрытие
Полынь обыкновенная (<i>Artemisia</i>)	24%
Полевичка волнистая (<i>Eragrostis</i>)	13%
Недотрога мелкоцветная (<i>Мрátiens parviflóra</i>)	8%
Полевица обычная (<i>Agrostis</i>)	27%
Полевица побегоносная (<i>Agróstis stolonífera</i>)	4%
Подорожник (<i>Plantago</i>)	6%
Лопух (<i>Arctium láppa</i>)	1%
Макрофиты	
Сусак зонтичный (<i>Butomus</i>)	52%
Рдест плавающий (<i>Potamogéton náfans</i>)	4%
Роголистник погруженный	12%

Выявлены индикаторы загрязнения воды (по Гигевичу, Власову, Вынаеву, 2001 – Приложение 1). Органическое загрязнение - рдест плавающий, роголистник погруженный. Ацидофикация - роголистник погруженный.

Точка 2. У пешеходного моста.

9:20, координаты 58.7284688, 29.8524563. Грунт представил собой песок. В воде были видны мальки. Показатели по прибору указаны в табл.8. Количественный состав пробы указан в табл. 9. Растительный - в табл. 10.

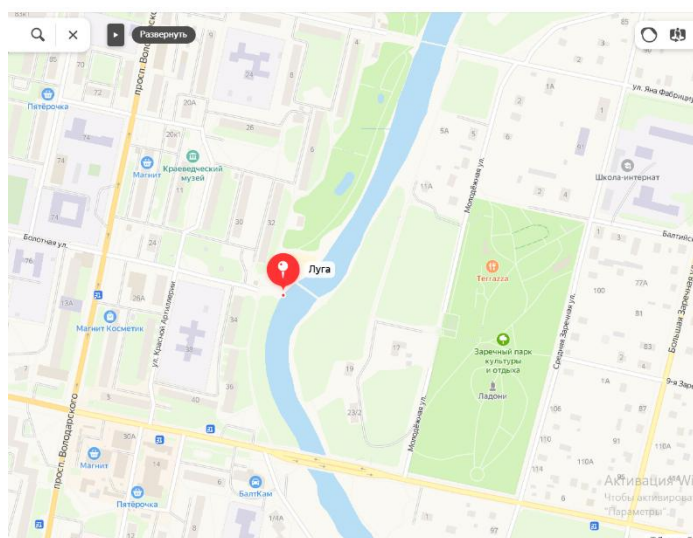


Рисунок 15 – Координаты точки 2



Рисунок 16 – Вид на точку 2

Таблица 8 - Показатели по прибору

Показатель	Единица измерения	Значение
t воздуха	°C	22,3
t воды	°C	17,0
Ph		7,72
ОВП	мВ	187
Ес	мк/см	311
Твердые частицы	Рpm	186
Соленость	%	0,01

Таблица 9 - Количественный состав пробы

Макрозообентос	Количество в пробе
Личинки комаров звонцов (сем. <i>Chironomidae</i>)	10

Биотический индекс – 1. Класс качества - 6. Степень загрязнения – очень грязные.

Таблица 10 - Описание растительности

Растение	Проективное покрытие
Полынь обыкновенная (<i>Artemisia</i>)	5%
Ромашка обыкновенная (<i>Asteraceae</i>)	4%

Полевица обычная (<i>Agrostis</i>)	42%
Клевер ползучий (<i>Trifolium repens</i>)	3%
Бородавник обыкновенный (<i>Lapsana communis</i>)	1%
Горец почечуйный (<i>Persicaria maculosa</i>)	17%
Паслен (<i>Solanum</i>)	7%
Незабудка болотная (<i>Myosotis scorpioides</i>)	1%
Макрофиты	
Сусак зонтичный (<i>Butomus</i>)	54%
Рдест гребенчатый (<i>Potamogeton</i>)	13%
Черда трёхраздельная (<i>Bidens</i>)	10%
Частуха подорожниковая (<i>Alisma plantago-aquatica</i>)	6%
Шелковник водный (<i>Ranunculus</i>)	12%

Выявлены индикаторы загрязнения воды (по Гигевичу, Власову, Вынаеву, 2001 – Приложение 1). Эвтрофикация, тяжелые металлы – частуха подорожниковая.

Точка 3. Городской пляж.

9:50, координаты 58.740704,29.863949. Грунт - песок. По воде бежали комары - звонцы. Показатели по прибору указаны в табл.11. Количественный состав пробы указан в табл. 12. Растительный - в табл. 13.

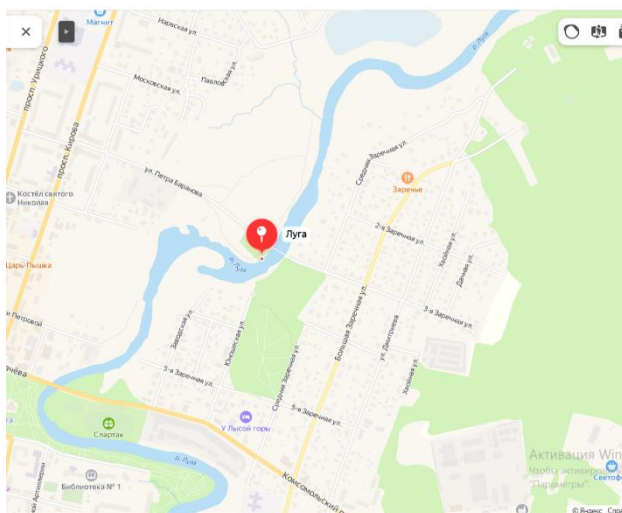


Рисунок 17 – Координаты точки 3

Таблица 11 - Показатели по прибору

Показатель	Единица измерения	Значение
t воздуха	°C	21,4
t воды	°C	18,9
Ph		7,63
ОВП	мВ	188
Ес	мк/см	375
Твердые частицы	Rpm	187
Соленость	%	0,01

Таблица 12 - Количественный состав пробы

Макрозообентос	Количество в пробе
Личинки комаров звонцов (сем. <i>Chironomidae</i>)	6
Брюхоногий моллюск – катушка (сем. <i>Planorbidae</i>)	1
Двустворчатые моллюски - беззубка (только раковины) (р. <i>Pseudoanodonta</i>)	3

Биотический индекс – 2. Класс качества - 5. Степень загрязнения – грязные.

Таблица 13 - Описание растительности

Растение	Проективное покрытие
Ива белая (<i>Salix alba</i>)	42%
Щетинник мутовчатый (<i>Setaria</i>)	30%
Ива прутовидная (<i>Salix viminalis</i>)	83%
Полевая мята (<i>Mentha arvensis</i>)	23%
Горец почечуйный (<i>Persicária maculósa</i>)	10%
Макрофиты	
Манник плавающий (<i>Glyceria fluitans</i>)	34%

Выявлены индикаторы загрязнения воды (по Гигевичу, Власову, Вынаеву, 2001 – Приложение 1). Тяжелые металлы – манник плавающий.

Точка 4. Очистные сооружения

10:40, координаты 58.747457, 29.876121. Точка была выбрана недалеко от очистных сооружений. Их половина заброшена, работают только два отстойника. Показатели по прибору указаны в табл.14. Количественный состав пробы указан в табл. 15. Растительный - в табл. 16.

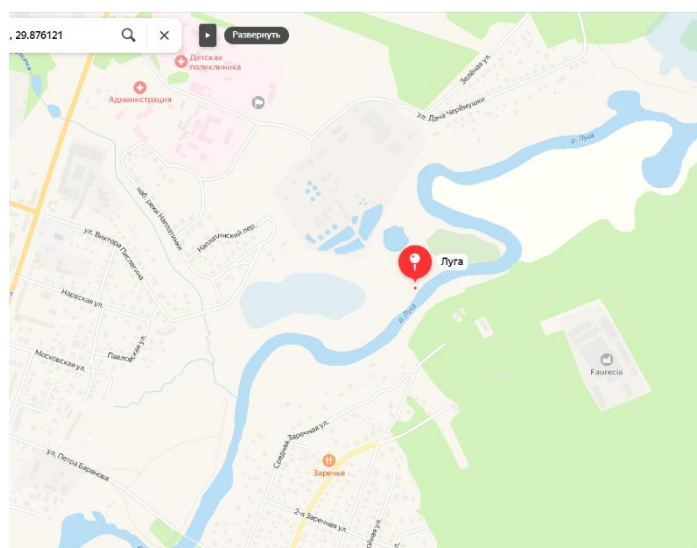


Рисунок 18 – Координаты точки 4



Рисунок 19 – Вид на отстойники вблизи точки 4



Рисунок 20 – Вид на точку 4

Таблица 14 -Показатели по прибору

Показатель	Единица измерения	Значение
t воздуха	°C	19,9
t воды	°C	17,0
Ph		7,8
ОВП	мВ	189
Ес	мк/см	381
Плотность содержания твердых частиц	Ррт	189

Соленость	%	0,00
-----------	---	------

Таблица 15 - Количественный состав пробы.

Макрозообентос	Количество в пробе
Личинки комаров-звонцов (сем. <i>Chironomidae</i>)	3
Брюхоногий моллюск катушка (сем. <i>Planorbidae</i>)	2
Двустворчатые моллюски - беззубка (только раковины) (р. <i>Pseudoanodonta</i>)	1
Водяной клоп (<i>Hydracarina</i>)	1
Овальная маленькая полосатая с жестким чехлом	1

Биотический индекс – 3. Класс качества - 5. Степень загрязнения – грязные.

Таблица 16 - Описание растительности

Растение	Проективное покрытие
Хвощ полевой (<i>Equisetum arvense</i>)	12%
Незабудка обыкновенная (<i>Myosotis</i>)	15%
Полевица побегоносная (<i>Agróstis stolonífera</i>)	43%
Ива белая (<i>Salix alba</i>)	32%
Макрофиты	
Аир обыкновенный (<i>Ácorus cálamus</i>)	20%
Камыш лесной (<i>Scirpus sylvaticus</i>)	13%
Незабудка болотная (<i>Myosotis scorpioides</i>)	38%
Подмаренник болотный (<i>Galium palustre</i>)	42%

Выявлены индикаторы загрязнения воды (по Гигевичу, Власову, Вынаеву, 2001 – Приложение 1). Органическое загрязнение, эвтрофикация – аир обыкновенный.

Точка 5. Около автомобильного моста.

11:30, координаты 58,752625, 29.892259. Грунт – песок, ил. Показатели по прибору указаны в табл.17. Количественный состав пробы указан в табл. 18. Растительный - в табл. 19.

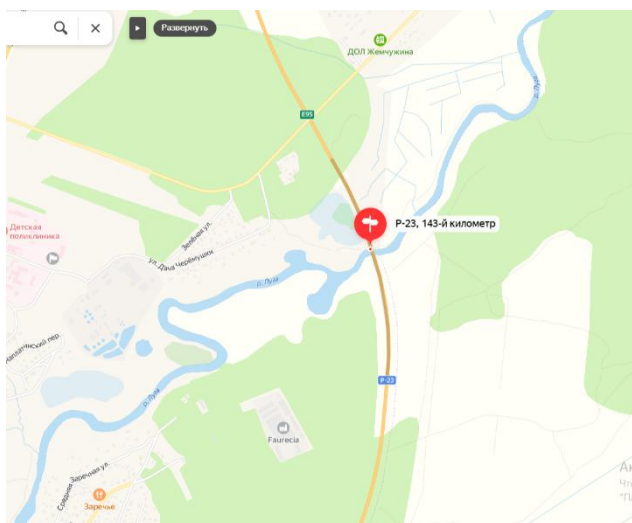


Рисунок 21 – Координаты точки 5



Рисунок 22 – Вид на точку 5

Таблица 14 - Показатели по прибору

Показатель	Единица измерения	Значение
t воздуха	°C	21,6
t воды	°C	17,0
Ph		7,7
ОВП	мВ	203
Ес	мк/см	408
Плотность содержания твердых частиц	Ррт	203
Соленость	%	0,02

Таблица 15 - Количественный состав пробы

Макрозообентос	Количество в пробе
Личинки комаров-звонцов (сем. <i>Chironomidae</i>)	5
Брюхоногий моллюск катушка (сем. <i>Planorbidae</i>)	4
Волосатики (<i>Gordiacea</i>)	8

Биотический индекс – 2. Класс качества - 5. Степень загрязнения – грязные.

Таблица 16 - Описание растительности.

Растение	Проективное покрытие
Плевел многолетний (<i>Lolium perenne</i>)	85%
Горец почечуйный (<i>Persicaria maculosa</i>)	12%
Крапива (<i>Urtica dioica</i>)	5%
Канареечник тростниковый (<i>Phalaris arundinacea</i>)	17%
Макрофиты	
Сусак зонтичный (<i>Butomus umbellatus</i>)	52%

Манник плавающий (<i>Glyceria fluitans</i>)	25%
Ежеголовник всплывчатый (<i>Sparganium natans</i>)	6%

Выявлены индикаторы загрязнения воды (по Гигевичу, Власову, Вынаеву, 2001 – Приложение 1). Тяжелые металлы – манник плавающий.

3.2 Результаты исследования в г.Кингисепп

Точка 1. Перед городом.

15:40, координаты 59.361001, 28.592245. Грунт представил собой ил на известняковых плитах. На реке большое количество порогов. Показатели по прибору указаны в табл.17 Количественный состав пробы указан в табл. 18. Растительный - в табл. 19.

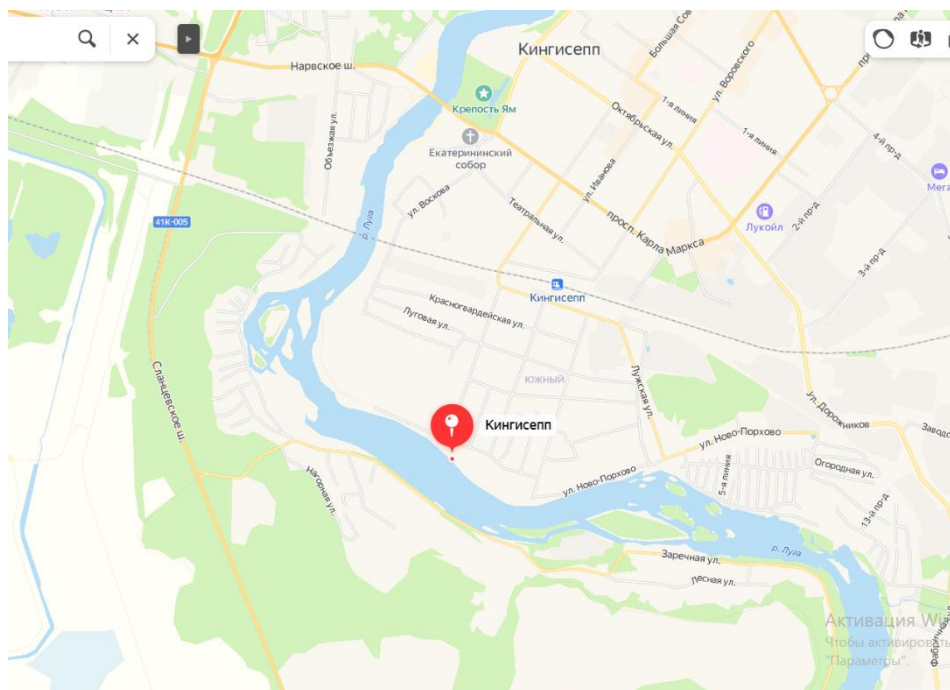


Рисунок 23– Координаты точки 1



Рисунок 24 – Вид на точку 1

Таблица 17 - Показатели по прибору

Показатель	Единица измерения	Значение
t воздуха	°C	20,6
t воды	°C	21,6
Ph		8,1
ОВП	мВ	198
Ес	мк/см	395
Плотность содержания твердых частиц	Ррт	200
Соленость	%	0,02

Таблица 18 - Количественный состав пробы

Макрозообентос	Количество в пробе
Личинки комаров-звонцов (сем. <i>Chironomidae</i>)	7
Брюхоногий моллюск катушка (сем. <i>Planorbidae</i>)	3 +1(раковина)
Моллюск лужанка (<i>Viviparus sp.</i>)	2

Двустворчатые моллюски - беззубка (<i>p.Pseudoanodonta</i>)	3 + 6 (раковины)
Личинка плавунца окаймленного (<i>Ditiscus marginalis</i>)	2
Личинка полоскуна (<i>Acylius sp.</i>)	1

Биотический индекс – 3. Класс качества - 5. Степень загрязнения – грязные.

Таблица 19 - Описание растительности

Растение	Проективное покрытие
Частуха обыкновенная (<i>Alisma plantago-aquatica</i>)	5%
Полевица (<i>Agrostis</i>)	6%
Горец (<i>Persicária maculósa</i>)	8%
Незабудка болотная (<i>Myosotis scorpioides</i>)	1%
Макрофиты	
Аир обыкновенный (<i>Ácorus cálamus</i>)	60%
Ежеголовник всплывчатый (<i>Sparganium emersum</i>)	32%
Камыш озерный (<i>Schoenoplectus</i>)	34%

Выявлены индикаторы загрязнения воды (по Гигевичу, Власову, Вынаеву, 2001 – Приложение 1). Органическое загрязнение, эвтрофикация – аир обыкновенный, камыш озерный.

Точка 2. Поселок Кингисеппский. Под автомобильным мостом.

17:15, координаты – 59.3986862, 28.5789770. Грунт представил гравий. Показатели по прибору указаны в табл.20. Количественный состав пробы указан в табл. 21. Растительный - в табл. 22.

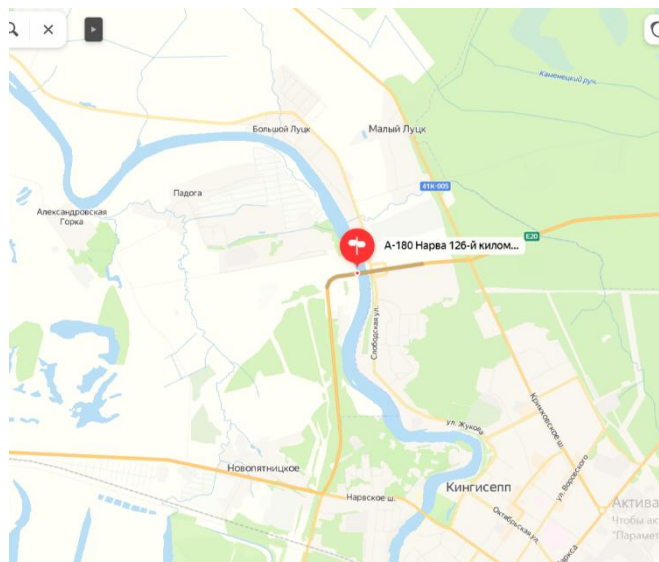


Рисунок 25 – Координаты точки 2

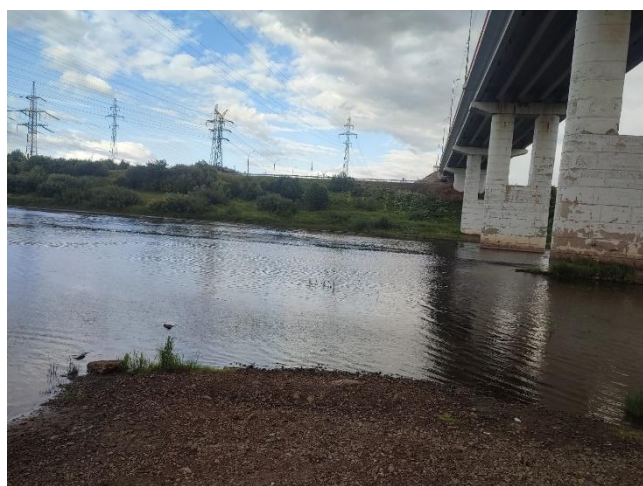


Рисунок 26– Вид на точку 2

Таблица20 - Показатели по прибору

Показатель	Единица измерения	Значение
t воздуха	°C	20,0
t воды	°C	29,8
Ph		8,3
ОВП	мВ	197
Ес	мк/см	393
Плотность содержания твердых частиц	Rpm	207
Соленость	%	0,02

Таблица 21 - Количественный состав пробы

Макрозообентос	Количество в пробе
Личинки комаров-звонцов (сем. <i>Chironomidae</i>)	6
Водяной клоп (<i>Hydracarina</i>)	2

Биотический индекс – 2. Класс качества - 5. Степень загрязнения – грязные.

Таблица 22 - Описание растительности

Растение	Проективное покрытие
Полевица побегоносная (<i>Agróstis stolonífera</i>)	30%
Сыть бурая (<i>Cyperus</i>)	34%
Макрофиты	
Кубышка жёлтая (<i>Nuphar lutea</i>)	16%
Камыш табернемонтана (<i>Schoenoplectus tabernaemontani</i>)	14%
Кубышка зонтичная (<i>Nuphar</i>)	22%

Индикаторы загрязнения воды не выявлены (по Гигевичу, Власову, Вынаеву, 2001 – Приложение).

Точка 3. Над газопроводом.

17:30, координаты 59.396269, 28.579189 . Грунт представил ил.

Показатели по прибору указаны в табл.23. Количественный состав пробы указан в табл. 24. Растительный - в табл. 25.

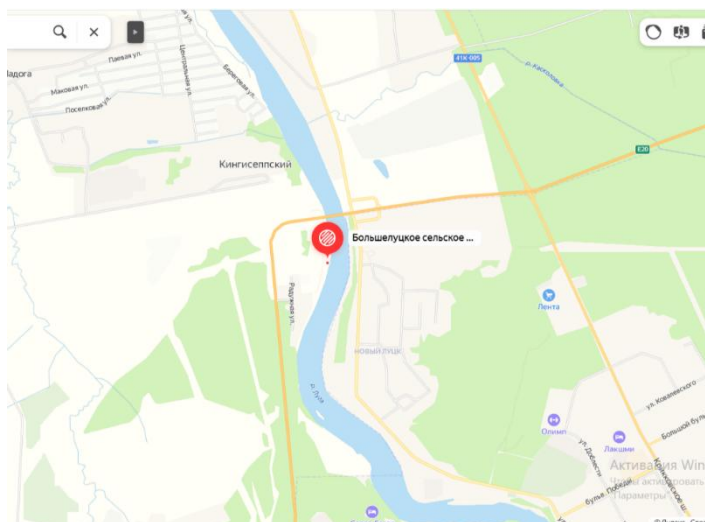


Рисунок 27 – Координаты точки 3



Рисунок 28 – Вид на точку 3

Таблица 23 - Показатели по прибору

Показатель	Единица измерения	Значение
t воздуха	°C	17,0
t воды	°C	19,1
Ph		8,1
ОВП	мВ	193
Ес	мк/см	385
Плотность содержания твердых частиц	ppm	192
Соленость	%	0,01

Таблица 24 - Количественный состав пробы

Макрозообентос	Количество в пробе
Личинки комаров-звонцов (сем. <i>Chironomidae</i>)	4

Биотический индекс – 1. Класс качества - 6. Степень загрязнения – очень грязные.

Таблица 25 - Описание растительности

Растение	Проективное покрытие
Канареечник тростниковый (<i>Phalaris arundinacea</i>)	90%
Желтушник левкойный (<i>Erysimum cheiranthoides</i>)	17%
Повой заборный (<i>Calystegia sepium</i>)	32%
Сыть бурая (<i>Cyperus</i>)	31%
Крапива (<i>Urtica dioica</i>)	14%
Макрофиты	
Кубышка жёлтая (<i>Nuphar lutea</i>)	25%
Камыш лесной (<i>Scirpus sylvaticus</i>)	55%

Индикаторы загрязнения воды не выявлены (по Гигевичу, Власову, Вынаеву, 2001 – Приложение 1).

3.3 Результаты исследования в порту Усть-Луга

Точка 1. За Пятерочкой.

20:50, координаты 59.664378, 28.283782. Грунт представлен песком. Показатели по прибору указаны в табл.26. Количественный состав пробы указан в табл. 27. Растительный - в табл. 28.

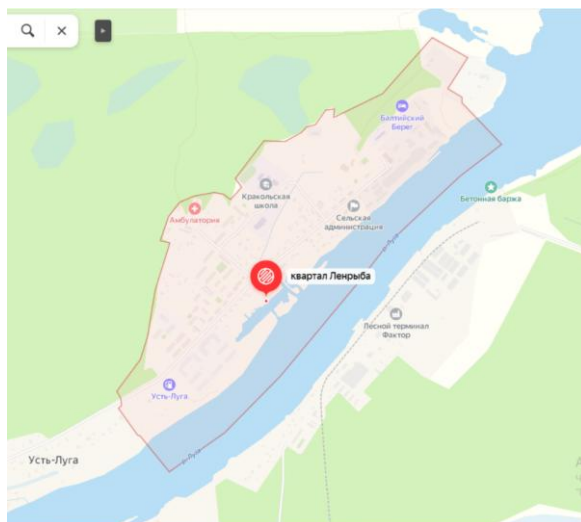


Рисунок 29 – Координаты точки 1

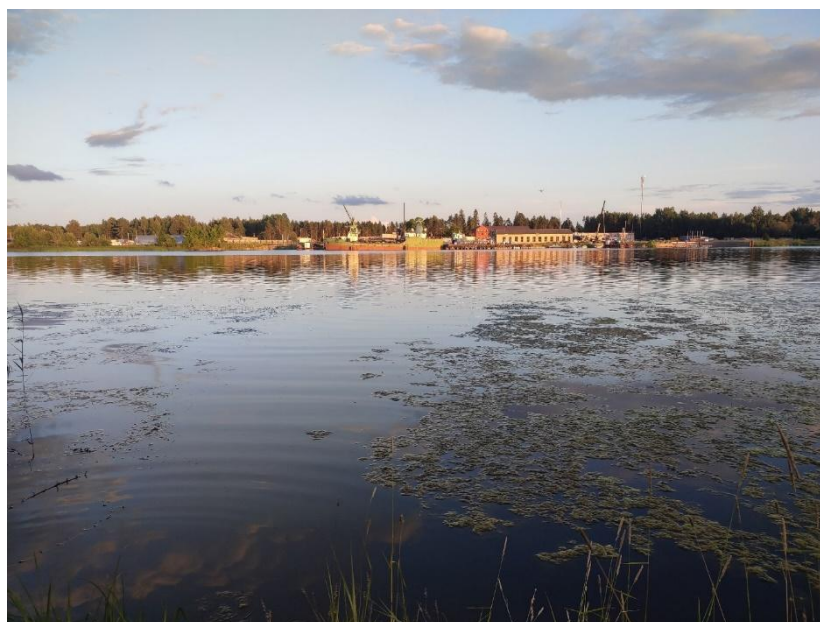


Рисунок 30 – Вид из точки 1



Рисунок 31– Вид на точку 1

Таблица 26 - Показатели по прибору

Показатель	Единица измерения	Значение
t воздуха	°C	18,0
t воды	°C	19,8
Ph		7,35
ОВП	мВ	2020
Ес	мк/см	4068
Плотность содержания твердых частиц	Rpm	2034
Соленость	%	0,2

Таблица 27 - Количественный состав пробы

Макрозообентос	Количество в пробе
Моллюск лужанка (<i>Viviparus sp.</i>)	2

Биотический индекс – 0. Класс качества - 6. Степень загрязнения – очень грязные.

Таблица 28 - Описание растительности

Растение	Проективное покрытие
Подорожник (<i>Plantago</i>)	81%
Тысячелистник (<i>Achillea millefolium</i>)	43%
Ежеголовник (<i>Sparganium</i>)	89%
Горец птичий (<i>Polygonum aviculare</i>)	19%
Лапчатка гусиная (<i>Potentilla</i>)	43%
Макрофиты	
Тростник обыкновенный (<i>Phragmites australis</i>)	60%

Индикаторы загрязнения воды не выявлены (по Гигевичу, Власову, Вынаеву, 2001 – Приложение 1).

Точка 2. Квартал Остров

Координаты 59.655441,28.261654. Грунт представлен песком, илом. На поверхности воды наблюдалось много тины. Показатели по прибору указаны в табл.29. Растительный состав - в табл.30 .



Рисунок 32 – Координаты точки 2

Таблица 29 - Показатели по прибору

Показатель	Единица измерения	Значение
t воздуха	°C	18,0
t воды	°C	21,1
Ph		8,1

ОВП	мВ	1863
Ес	мк/см	3748
Плотность содержания твердых частиц	Ppm	1863
Соленость	%	0,18

Количественный состав пробы. В пробе нет организмов.

Биотический индекс – 1. Класс качества - 6. Степень загрязнения – очень грязные.

Таблица 30 - Описание растительности

Растение	Проективное покрытие
Василёк (<i>Centaurea</i>)	30%
Тысячелистник обыкновенный (<i>Achillea</i>)	24%
Подорожник (<i>Plantago</i>)	42%
Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i>)	30%
Плевел многолетний (<i>Lolium perenne</i>)	81%
Марьянник (<i>Melampyrum</i>)	24%
Макрофиты	
Тростник обыкновенный (<i>Phragmites australis</i>)	35%
Рдест плавающий (<i>Potamogeton natans</i>)	28%

Выявлены индикаторы загрязнения воды (по Гигевичу, Власову, Вынаеву, 2001 – Приложение 1). Органическое загрязнение – рдест плавающий.

Точка 3. У моста.

Координаты - 59.651547,28.257564. Грунт – песок. Около воды стоял сильный гнилостный запах. Показатели по прибору указаны в табл.31
Количественный состав пробы указан в табл. 32. Растительный - в табл. 33.



Рисунок 33 – Координаты точки 3



Рисунок 34 – Вид на точку 3

Таблица 31 - Показатели по прибору

Показатель	Единица измерения	Значение
t воздуха	°C	17,2
t воды	°C	20,0
Ph		8,5
ОВП	мВ	1783
Ес	мк/см	3611
Плотность содержания твердых частиц	ppm	1799
Соленость	%	0,18

Таблица 32 - Количественный состав пробы

Макрозообентос	Количество в пробе
Личинки комаров-звонцов (сем. <i>Chironomidae</i>)	1
Брюхоногий моллюск катушка (сем. <i>Planorbidae</i>)	1
Личинка белая	1

Биотический индекс – 2. Класс качества - 5. Степень загрязнения – грязные.

Таблица 33 - Описание растительности

Растение	Проективное покрытие
Клён (<i>Acer</i>)	60%
Иван-чай (<i>Chamaenérion angustifolium</i>)	43%
Подорожник (<i>Plantágo</i>)	35%
Малина (<i>Rúbus idáeus</i>)	28%
Дудник лесной (<i>Angelica</i>)	32%
Сыть круглая (<i>Cyperus rotundus</i>)	15%
Дербенник (<i>Lythrum</i>)	38%
Василёк луговой (<i>Centaureá jacéa</i>)	15%
Тысячелистник (<i>Achillea</i>)	6%
Донник белый (<i>Melilotus albus</i>)	26%
Полынь (<i>Artemisia</i>)	17%

Макрофиты	
Кубышка желтая (<i>Núphar lútea</i>)	10%
Рогоз узколистый (<i>Týpha angustifólia</i>)	28%

Индикаторы загрязнения воды не выявлены (по Гигевичу, Власову, Вынаеву, 2001 – Приложение 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Река Луга, принадлежащая к бассейну Балтийского моря, протекает по территории Новгородской и Ленинградской областей. Имея протяженность 353 км, река Луга относится к средним рекам. Площадь ее водосборного бассейна составляет 13 200 км². Верхнее течение реки приурочено к низким заболоченным ландшафтам. Для среднего и нижнего течения характерен холмисто-равнинный рельеф. Основные водовмещающие породы представлены песчано-гравийными материалами.

Для реки Луга характерно смешанное питание, с преобладанием снегового. Водность реки в последние несколько лет имеет тенденцию к снижению. В настоящее время река судоходна (на 182 км от устья). Река Луга имеет 33 основных притока: 17 левых и 16 правых. Среди них наиболее заметными левыми притоками являются река Саба (90 км) и река Долгая (91 км). С правой стороны выделяются такие притоки, как река Оредеш (192 км), река Ящера (78 км), река Лемовжа (48 км) и река Вруда (60 км).

Основными источниками антропогенного воздействия на экосистему реки являются города Луга и Кингисепп (крупный промышленный узел), а также порт Усть-Луга.

Нами был проведен анализ научных, архивных, нормативных и фондовых данных за тридцать лет, который позволил выявить основные тенденции динамики качества вод р. Луга. Так, на данный момент качество вод оценивается 3-м классом разрядами «а» и «б» и характеризуется, как «загрязненная» и «очень загрязненная». Основными загрязнителями вод р. Луга в настоящее время выступают органические вещества (по ХПК), нитритный азот, соединения меди и железа, а в районе г. Кингисепп к ним добавляются еще и соединения цинка и марганца.

Наибольшие концентрации загрязнителей наблюдаются в створах ниже г. Кингисепп, что говорит о значительном негативном влиянии сточных вод и

поверхностного стока с территории данного населенного пункта на качество вод в реке.

В верхнем течении реки (район г. Луга) в течение последних двадцати лет максимальные превышения ПДК были характерны для ХПК – до 4,2 ПДК, азота нитритного – до 11,5 ПДК, железа общего – до 8,5 ПДК, меди – до 11 ПДК и марганца – до 15,6 ПДК.

В верхнем течении реки (район г. Кингисепп) в течение последних двадцати лет максимальные превышения ПДК были характерны для ХПК – до 3,5 ПДК, азота нитритного – до 3,2 ПДК, железа общего – до 7 ПДК, меди – до 14 ПДК, марганца – до 8,4 ПДК.

Значения УКИЗВ в створах близ г. Луга в целом имеют динамику к незначительному снижению. В отдельные годы отмечается увеличение значения УКИЗВ выше города, в отдельные, наоборот, ниже города. В последние годы (начиная с 2015 г.) отмечается рост значений УКИЗВ в створе ниже г. Луга, что говорит о росте влияния г. Луга на качество воды в реке.

Значение УКИЗВ в створе ниже г. Кингисепп на протяжении всего анализируемого периода устойчиво больше, нежели чем в створе выше населенного пункта. Данный факт свидетельствует о значительной антропогенной нагрузке промышленного узла г. Кингисепп на экосистему р. Луга. Поступающие со сточными водами г. Кингисепп и в составе поверхностного стока большие объемы загрязнителей приводят к устойчивому повышению значений УКИЗВ.

Сравнительный анализ наших исследований и исследований макрозообентоса на участке города Кингисепп за 2018-2020 гг. показал, что положительной динамики качества воды не наблюдается

Одним из важнейших факторов, влияющих на экологическое состояние экосистемы р. Луга, выступает функционирование Лужского производственно-экспериментального завода. Цель работы завода – компенсация экологического и экономического ущерба, нанесенного рыбным

ресурсам в результате воздействия Ленинградской АЭС. На заводе бассейновым методом выращивают наиболее ценные виды водных биологических ресурсов, а именно атлантического лосося или семгу (*Salmo salar* L.) и балтийскую кумжу (*Salmo trutta* L.). Базисом производства является собственное ремонтно-маточное стадо.

Деятельность Лужского производственно-экспериментального завода способствует увеличению численности практически истощенных популяций семги и кумжи.

Расположенные по течению реки Луга крупные источники антропогенного воздействия – г. Луга, г. Кингисепп и порт Усть-Луга негативно влияют на качество ее вод, что значительно осложняет процессы восстановления популяций семги и кумжи.

Поскольку антропогенное воздействие на экосистему реки многофакторно и включает в себя химическое загрязнение, биологическое загрязнение, перестройку биотических и трофических взаимодействий, ее мониторинг должен основываться на интегральных репрезентативных параметрах. Наиболее перспективны в данном аспекте биообъекты и построенная на их использовании система мониторинга – биомониторинг.

В указанном фокусе наиболее ценную информацию о функционировании гидроэкосистемы позволяют получить биоиндикаторы из числа зообентоса и макрофитов, и это обусловлено рядом причин.

Во-первых, в речных экосистемах основными из депонирующих загрязнители сред, выступают придонная область и донные отложения, с которыми непосредственно взаимодействуют представители бентоса и макрофитов. Ввиду чего они являются одними из ключевых реципиентов загрязняющих веществ и индикаторов их общего уровня накопления.

Во-вторых, представители данных экологических групп весьма чувствительны к загрязнению, что является одним из основных требований к биоиндикаторам.

В-третьих, многие из представителей зообентоса и макрофитов весьма чувствительны к изменениям в трофической цепи экосистем.

В-четвертых, они менее динамичны по сравнению с пелагическими организмами, что значительно упрощает осуществление биомониторинга речных экосистем.

Нами была осуществлена оценка экологического состояния вод р. Луга в пределах основных источников антропогенного воздействия на экосистему реки – г. Луга (5 точек), г. Кингисепп (3 точки) и порта Усть-Луга (3 точки).

По полученным нами данным в пределах г. Луга биотический индекс меняется от 1 до 3, а степень загрязнения варьирует от «грязных вод» до «очень грязных вод». Самая высокая степень загрязнения вод отмечена в районе пешеходного моста г. Луга. Среди прибрежной растительности и макрофитов выявлены виды-индикаторы специфического загрязнения органическими веществами (въезд в город), тяжелыми металлами (у пешеходного моста, городского пляжа и автомобильного моста). Также отмечены виды-индикаторы процессов эвтрофикации (у пешеходного моста и очистных сооружений) и ацидофикации (въезд в город).

Нами установлено, что в пределах г. Кингисепп биотический индекс меняется также от 1 до 3, а степень загрязнения варьирует от «грязных вод» до «очень грязных вод». Максимальный уровень загрязнения вод отмечен в районе газопровода. Среди прибрежной растительности и макрофитов выявлены виды-индикаторы специфического загрязнения органическими веществами (перед городом) и процессов эвтрофикации (перед городом).

В районе порта Усть-Луга биотический индекс меняется от 0 до 3, а степень загрязнения варьирует от «грязных вод» до «очень грязных вод». Причем наиболее высокий уровень загрязнения воды («очень грязные воды») характерен для двух точек из трех исследованных. Данное обстоятельство указывает на достаточно высокий уровень негативного воздействия порта Усть-Луга на экосистему реки.

Полученные в ходе биоиндикационных исследований данные достаточно полно согласуются с данными гидрохимического мониторинга.

Таким образом, во всех трех районах проведения биоиндикационных исследований отмечается достаточно низкое качество вод р. Луга, что связано со значительной антропогенной нагрузкой со стороны г. Луга, г. Кингисепп и порта Усть-Луга. Данное обстоятельство может в значительной степени осложнять процессы восстановления популяций семги и кумжи, осуществляемые Лужским производственно-экспериментальным заводом.

Результаты проведенных исследований указывают на необходимость минимизации антропогенной нагрузки на экосистему р. Луга со стороны г. Луга, г. Кингисепп и порта Усть-Луга. Необходимо проводить комплексный мониторинг реки, привлекая местных властей. Также нужно разрабатывать и внедрять проекты по созданию на берегах реки зон отдыха с соблюдением всех экологических требований. Это поможет снизить нагрузку на реку и сохранить её экосистему.

