

Всероссийский конкурс исследовательских и проектных работ
школьников «Высший пилотаж»

**Комплексный анализ динамики качества вод и донных отложений прудов
Московской области с оценкой аллелопатического потенциала
макрофитов-оксигенаторов**

Исследовательская работа

Направление «Биология»

Автор: Гимаева Эмилия Айратовна,
учащаяся 9 класса,
ОАНО «Школа «Летово» (г. Москва)

2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	3
Введение.....	4
Глава 1 Обзор литературы. Материалы и методы	6
Глава 2 Практическая часть. Ход работы. Результаты	18
2.1 Оценка сапробности водоемов по видовому составу бентоса.....	18
2.2 Оценка сапробности водоемов по видовому составу макрофитов	19
2.3 Оценка сапробности водоемов методом альгоиндикации	20
2.4 Оценка токсичности донных отложений методом фитотестирования	21
2.5 Определение гидрохимического состава вод, отобранных из прудов.....	23
2.6 Определение степени токсичности водных вытяжек донных отложений методом биотестирования с помощью дафний (<i>Daphnia Magna</i>)	25
2.7 Биотестирование донных отложений на личинках комаров (<i>Chironomus plumosus</i>).....	26
2.8 Изучение бактериальных сообществ донных отложений прудов по колонкам Виноградского	26
2.9 Оценка токсичности воды и смывов с листьев растений методом билюминесцентного тестирования.....	27
2.10 Оценка влияния водных вытяжек МО на прорастание семян борщевика Сосновского и люпина многолистного	28
Обсуждение и направления дальнейших исследований	30
Выводы	31
Список литературы	32
ПРИЛОЖЕНИЕ А	35
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	45
ПРИЛОЖЕНИЕ В	51

ПРИЛОЖЕНИЯ:

ПРИЛОЖЕНИЕ А ТАБЛИЦЫ;

ПРИЛОЖЕНИЕ Б РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОЧИСТКИ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ БИОПЛАТО СВОБОДНОПЛАВАЮЩИХ МАКРОФИТОВ-ОКСИГЕНАТОРОВ С ПЕРСПЕКТИВОЙ МАСШТАБИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ СОСЕНКА);

ПРИЛОЖЕНИЕ В ФОТОГРАФИИ ИССЛЕДОВАНИЙ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ДО – донные отложения

ЛШ – Ленинградское шоссе

МО – макрофиты-оксигенаторы

ПДКв – предельно допустимые концентрации химических веществ в водах водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

ПДКрх – предельно допустимые концентрации вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения

ОИС – остаточная интенсивность свечения

ОТД – острое токсическое действие

ЭО – эффективность очистки

ИАА – индекс аллелопатической активности

УКЕ – условные кумариновые единицы

ВВР – высшие водные растения

ФМН – флавинмононуклеотид

ТЭО – технико-экономическое обоснование

Введение

Обоснование темы

Во всем мире возрастает воздействие человека на окружающую среду. В своей производственной и хозяйственной деятельности человек использует все новые природные ресурсы, истощая их и загрязняя при этом отходами неидеальных технологий. Сохранение биоразнообразия и чистоты поверхностных вод земли – важнейшая задача современности, поскольку жизнь невозможна без чистой воды.

По информации аналитической службы аудиторско-консалтинговой сети FinExpertiza, «в 2023 году число выявленных в России случаев экстремально высокого загрязнения рек, озёр и других пресноводных объектов выросло на 62% по сравнению с предыдущим годом» [14].

По данным Росстата, в январе – сентябре 2024 года в России было зарегистрировано 2462 случая сильного загрязнения водных объектов. «По данным ведомства, 817 из них были признаны случаями экстремально высокого загрязнения. Это на 22,9% больше, чем за аналогичный период 2023 года. И ещё – 1645 случаев высокого загрязнения (на 11,4% больше, чем за аналогичный период 2023 года)» [9].

«Осознание ограниченности природных ресурсов и необходимости бережливого отношения к нашей планете должно стать основой мировоззрения будущего поколения жителей Земли. Первые шаги в этом направлении нужно делать на местном уровне, начиная с исследования окружающей среды своего дома, улицы, города, района» [18].

С помощью химических и биологических исследований можно оценить качество воды и донных отложений и наметить пути в его изменении. Эти исследования дают понять, какие воздействия на водоемы являются неблагоприятными и каким образом можно восстановить здоровье прудов.

Актуальность темы

Предлагаемое мероприятие по улучшению состояния прудов является вкладом в решение проблемы рационального природопользования, что соответствует Цели устойчивого развития ООН №6 «Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех», а также задачам федеральной программы «Чистая вода» – составной части национального проекта «Экология».

Проблема

Изменения, вносимые в окружающую среду человеком, приводят к нарушению стабильности природных экосистем, поэтому необходимо своевременно выявлять их нарушения. Для оценки состояния и функциональной целостности экосистем в 2019 и в 2023 годах проведены исследования качества вод и донных отложений прудов, располагающихся на территории г.о. Химки. «Г.о. Химки характеризуется высокой техногенной и селитебной нагрузкой» [26].

Объект исследования – динамика состояния прудов г.о. Химки с 2019 года по 2023 год.

Предмет исследования – влияние природных и антропогенных факторов на динамику состояния прудов г.о. Химки Московской области.

Цель исследования

Провести комплексный анализ динамики качества вод и донных отложений (далее – ДО) прудов Московской области и оценить аллелопатический потенциал макрофитов-оксигенаторов.

Задачи исследования

- определить степень загрязненности воды по гидрохимическому составу;
- установить уровень сапробности прудов с использованием индикаторных видов зообентоса, макрофитов и водорослей;
- установить уровень токсичности ДО методами биотестирования с помощью дафний *Daphnia Magna* и хирономид *Chironomidae* и фитотестирования с помощью пшеницы *Triticum L.* и редиса *Raphanus S.*;
- изучить бактериальные сообщества ДО прудов по колонкам Виноградского;
- определить уровень токсичности воды и смылов с листьев деревьев, прилегающих к прудам территорий методом биотестирования с помощью иммобилизованных ферментов биолюминесцентных бактерий;
- определить степень аллелопатической активности макрофитов-оксигенаторов (далее – МО): пистии *Pistia stratiotes*, эйхорнии *Eichhornia crassipes*, сальвинии плавающей *Salvinia natans*, урути колосовой *Myriophyllum spicatum* и оценить влияние их водных вытяжек на рост и развитие борщевика Сосновского *Heracleum sosnowskyi* и люпина многолетнего *Lupinus polyphyllus*.

Гипотезы исследования

- скорее всего, за исследуемый период экологическое состояние прудов не изменится;
- возможно, что с помощью колонок Виноградского можно определить загрязнение ДО серосодержащими соединениями;
- возможно, что водные экстракты рассматриваемых МО отрицательно влияют на прорастание семян инвазивных видов растений.

Новизна исследования. Использован комплексный подход к поиску решений проблемы снижения экологического риска для экосистем прудов Московской области (*возникли новые знания в результате применения новых методов исследования к ранее исследованному предмету*).

Практическая значимость. Установлено, что водные экстракты МО обладают высокими фитотоксическими свойствами, даже в небольшой концентрации они подавляют рост борщевика Сосновского и люпина многолетнего. Эту особенность растений можно использовать для

разработки биогербицидов – природных средств защиты растений.

Основные положения, выносимые на защиту:

- в ходе исследования выявлено, что рассматриваемые пруды характеризуются различными уровнями органического загрязнения: пруд, прилегающий к ЛШ, относится к «практически незагрязненным», Воскресенский пруд относится к «загрязненным» и «грязным», а Верескинский пруд относится к «умеренно загрязненным» водоемам.
- 2%-ные водные вытяжки МО (пистии, эйхорнии, сальвинии плавающей и урути колосовой) отмечаются высокой аллелопатической активностью и представляются перспективными для создания биогербицидов, так как подавляют развитие инвазивных видов.
- метод биоиндикации на колонках Виноградского может быть применен для выявления загрязнения ДО серосодержащими соединениями.

Глава 1 Обзор литературы. Материалы и методы

«Жизнь искусственного водоема начинается со дня его образования. И с первых же дней его существования за водоемом следит человек, управляет развитием жизни в нем. Мало создать водоем — нужно создать культурный водоем» [23].

«Химкинский район (основан в 1940 г.) расположен к северо-западу от столицы, вплотную примыкая к Московской кольцевой автомобильной дороге. Площадь территории — 118 км². Численность населения составляет 170,1 тыс. человек, средняя плотность — свыше 600 человек на 1 км²» [26]. В этом районе отмечается напряженная и даже критическая экологическая ситуация состояния земель. «Так, эродированность почв — от 1 до 10% общей площади района; техногенная и селитебная нагрузка — 30-40% к общей площади. Отношение площади земель населенных пунктов к общей площади района составляет 14,4-22,9%; занятой промышленностью — 19,9-34,7% (самое высокое в Московской обл.); сельскохозяйственного назначения — 14-22,8% (самое низкое в Московской обл.); рекреационного назначения — 1,9-3%» [26]. «На территории г. Химки насчитывается 77 пожарных прудов» [25].

«На территории округа расположено около 300 объектов и предприятий [27]. В структуре промышленного производства ведущая роль принадлежит предприятиям машиностроения и авиационно-космической промышленности, научно-исследовательским институтам с опытными производствами. Значительное влияние на структуру комплекса оказало размещение в Химках предприятий российского космического агентства, в Новоподрезково — двух крупных предприятий Московского строительного комплекса, а также размещение на территории округа аэропорта «Шереметьево», являющегося крупнейшим международным аэропортом России. Большое развитие в районе получила деревообработка — Сходненские фабрики бытовой мебели, погонажных изделий, а также экспериментальный завод в Подрезково, где развивается

производство строительных материалов. Предприятия легкой промышленности размещаются, главным образом, в Сходне – фабрика форменного обмундирования, галантерейная фабрика фирмы «Черемушки» и др. На территории округа также размещаются: центр высоких технологий «ХимРар» – создатель лекарственных препаратов для онкологических больных, больных с заболеваниями нервной системы и ВИЧ-инфицированных; НПЦ «Фармзащита» – разработчик изделий медицинского назначения и лекарственных препаратов; НПО «Энергомаш» – создатель двигателей для пусков ракет – носителей, МКБ «Факел», «Алмаз», АО «НПО им. Лавочкина» и др.» [27].

«Большая часть предприятий округа (50-60 %), работает без соответствующих разрешений со стороны природоохранных органов и санитарно-эпидемиологического надзора. При этом, экологический контроль за их деятельностью осуществляется только на трети от общего числа предприятия, а экологический контроль за деятельностью небольших производственных и коммунальных объектов практически отсутствует. Соответственно, нет достоверной информации о полном объеме воздействия предприятий округа на состояние окружающей среды» [27].

«В связи с такой ситуацией становится актуальным проводить мониторинг физико-химических показателей водных объектов, позволяющих оценивать их экологическое состояние. Так как все компоненты природы тесно и неразрывно взаимосвязаны между собой, то нарушения одного компонента вызывает изменение состояния всех остальных. Поэтому, оценивая состояния одного, можно предполагать и изменения других компонентов. Наиболее остро изменения окружающей природной среды отражаются на биотических компонентах, в том числе и на животном мире» [11].

«Основным требованием к качеству воды в водном объекте является соблюдение установленных предельно допустимых концентраций (далее – ПДК). ПДК вредных веществ в водном объекте – это такая концентрация, при превышении которой вода становится непригодной для того или иного водопользования (хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования ПДКв или рыбохозяйственного ПДКрх)» [21]. Для определения гидрохимических показателей отобранных проб воды использовался стандартный набор тест-комплектов для экспресс-анализа воды в полевых и лабораторных условиях по методикам ГОСТ, РД, ПНД Ф, ГСССД [21].

Методы биотестирования, фитотестирования и биоиндикации водоемов

Методами биоиндикации и биотестирования определяется присутствие в окружающей среде того или иного загрязнителя по наличию или состоянию определенных организмов, наиболее чувствительных к изменению экологической обстановки.

«Биоиндикация – оценка качества природной среды путем выявления в ней определенных

видов организмов – индикаторов. Биоиндикация основана на наблюдении за составом и численностью видов-индикаторов. Для биоиндикации качества воды в водоемах в настоящее время используются различные группы водных организмов: высшие растения-макрофиты, животные различных экологических групп. В качестве индикаторов загрязнения воды органическими веществами наряду с другими организмами используются водоросли» [2]. Наличие и состав пресноводных водорослей исследуемых прудов проводился при помощи цифрового микроскопа Bresser LCD 50х-2000х по методике [2].

Преимуществом биоиндикационных методов перед другими является то, что, во-первых, они не требуют никаких специальных знаний и дорогостоящего оборудования, во-вторых, с помощью биологических методов можно получить довольно быстро точные результаты, так как животные и растения чутко реагируют на загрязнение окружающей среды.

«Биотестирование – это оценка качества природной среды при её действии на организмы, наиболее чувствительные к изменению окружающей среды – тест-объекты. Для токсикологической оценки загрязнения пресноводных экосистем на основе биотестирования водной среды в рамках системы мониторинга Росгидромета рекомендовано использовать шесть видов тест-объектов: дафний, цериодафний, водорослей, простейших, коловраток, рыб» [19]. «Для оценки уровня токсического загрязнения ДО целесообразно использовать биотестирование на представителях донной фауны водоемов. Наиболее массовыми видами донной фауны в большинстве озер, прудов, равнинных рек являются личинки комаров (хируномиды). Личинки хируномид включены в перечень тест-объектов, рекомендуемых для разработки рыбохозяйственного ПДК_{рх} загрязняющих веществ» [29].

Отбор проб ДО проводился в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01. Проба массой приблизительно 300 г отбиралась из слоя ила 0-10 см с помощью дночерпателя в пластиковые сосуды в 3-4-х повторностях, высушивалась при комнатной температуре и просеивалась через сито $d = 0,25$ мм. Далее образцы грунтов объединялись путем квартования в одну усредненную пробу.

«Для определения токсического загрязнения ДО берут навески влажного осадка массой 50 г (3 опытных и 3 контрольных), помещают в чашки Петри так, чтобы высота слоя осадка в чашке составляла 1-2 см. Над осадком оставляют слой воды высотой 1-3 мм (для обеспечения нормальных условий жизнедеятельности тест-объектов). В каждую чашку Петри помещают по 10 личинок хируномид (*Chironomidae*), закрывают чашки и сразу же начинают наблюдения за выживаемостью и поведением в течение 96 ч. В качестве контроля выступает речной песок, предварительно промытый отстоянной водой. При действии токсических химических веществ у хируномид выявляются симптомы отравления и нарушения поведения. Погибшими считают личинок, потерявших подвижность и не реагирующих на внешнее воздействие (прикосновение

стеклянной палочкой). Погибшие особи или неестественно вытянуты или свернуты в клубок, цвет покровов бледнеет или меняется с ярко-красного на различные оттенки зеленого, темно-красного» [29].

Фитотестирование проводилось по методике, основанной на измерении показателей всхожести семян и относительного прироста в длину корней пшеницы и редиса [20]. В подготовленные чашки Петри диаметром 100 мм вносились предварительно увлажненные до 60% ДО слоем около 1 см. Глубина высева семян составляла 1-2 мм, норма высева - 20 штук на чашку, количество параллельных высевок (чашек Петри) в пробах - по 3. В течение инкубации поддерживалась оптимальная влажность субстрата около 60% от полной влагоемкости. Учет результатов эксперимента проводился на 7-10 день. Растения осторожно извлекались из субстрата, корни каждого растения тщательно промывались в воде. В качестве контроля выступал речной песок, предварительно промытый отстоянной водопроводной водой [20].

Водная вытяжка из ДО для биотестирования на дафниях (*Daphnia magna*) готовилась из соотношения «твердая фаза : жидкость» как «1:10» в соответствии с методикой [24]. Определение токсичности каждой пробы проводится в трех параллельных сериях. «В сосуды наливают по 100 см³ контрольной и тестируемой водной вытяжки из ДО. В каждый сосуд помещают по 10 односуточных дафний и инкубируют при оптимальных условиях в течение 96 ч. При кратковременном биотестировании дафний не кормят. Учёт выживших дафний проводят через 1, 6, 24, 48, 72 и 96 час. Особей считают выжившими, если они свободно передвигаются в толще воды, или всплывают со дна сосуда не позднее 15 сек. Для проведения контрольного опыта используют культивационную воду».

Для определения острой токсичности исследуемых ДО и водных вытяжек из ДО, рассчитывают процент погибших в тестируемой воде тест-объектов (А, %) по сравнению с контролем:

$$A = \frac{X_k - X_t}{X_k} \times 100\%, \quad (1.1)$$

где X_k – количество выживших тест-объектов в контроле, X_t – количество выживших тест-объектов в тестируемой воде. При $A < 50\%$ тестируемая вода (водная вытяжка из ДО) не оказывает острого токсического действия. При $A \geq 50\%$ тестируемая вода (водная вытяжка из ДО) оказывает острое токсическое действие [24], [29].

Кроме того, в биотестировании в качестве тест-объектов могут использоваться ферментативные системы, выделенные из живых организмов и отвечающие за их важнейшие функции.

«К преимуществам ферментативных биотестов по сравнению с классическими тестами на живых объектах можно отнести чувствительность, быстроту и высокую надежность анализа. Одним из таких тестов является тест, основанный на ферментах из светящихся бактерий. В нем

по изменению интенсивности биолюминесценции оценивается токсическое воздействие на ферменты веществ, содержащихся в водной среде. Свечение всех организмов происходит благодаря наличию в их организме специальных ферментов – люцифераз, катализирующих хемилюминесцентные реакции окисления субстратов, называемых люциферинами (рис. 1.1). Ферменты могут работать только при особых условиях. Для их активности нужна определенная температура, кислотность и др. Инактивировать («выключить») фермент способны также и некоторые токсичные вещества, они нарушают структуру фермента, и он больше не может выполнять свою функцию. Чем больше концентрация токсичных веществ, тем большее количество ферментов «сломается», а, следовательно, не смогут участвовать в биолюминесцентной реакции. В результате интенсивность свечения падает (рис. 1.2)» [15]. Ферментативный биолюминесцентный метод биотестирования проводился с помощью биолюминометра «LumiShot» (ООО «Прикладные системы», г. Красноярск) с использованием реагента «Энзимолум».



Рис. 1.1. Биолюминесцентные реакции разных светящихся организмов

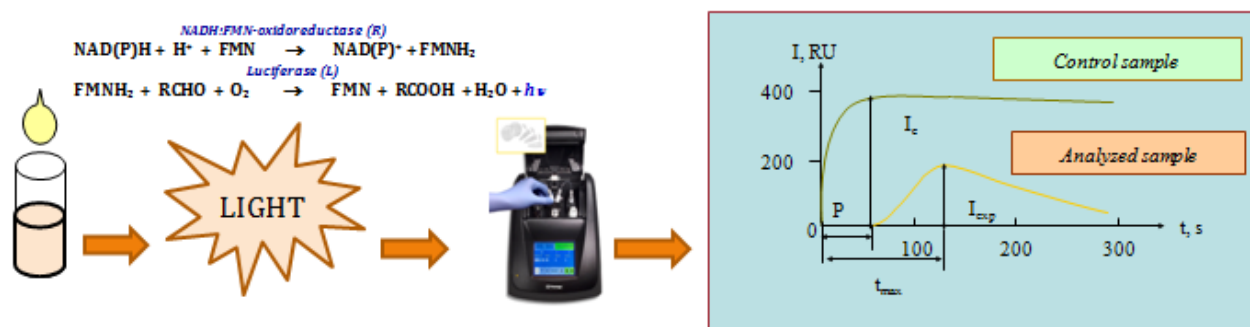


Рис. 1.2. Принцип биолюминесцентного метода

«Реагент «Энзимолум» представляет собой высушенные ферменты и субстраты, необходимые для их работы, кроме флавиномононуклеотида (ФМН). Он добавляется отдельно и необходим для запуска реакции, начала работы ферментов. Таким образом, для проведения анализа к реагенту «Энзимолум» нужно добавить тестируемый образец и раствор ФМН для

запуска ферментативной реакции, а затем измерить интенсивность люминесценции с помощью биолуминометра» [15].

Измеряемым параметром выступает максимальная интенсивность свечения $I_{\max}$ в реакционной смеси: 1 диск иммобилизованного реагента, 300 мкл пробы, 10 мкл 5·10⁻⁴М раствора ФМН. О влиянии исследуемых проб на активность реагента судят по отношению максимальной интенсивности свечения в их присутствии (I_o) к максимальной интенсивности свечения контрольного раствора (dH₂O) (I_m). Далее рассчитывают остаточную интенсивность свечения (далее – ОИС) в % по формуле:

$$\text{ОИС} = \frac{I_o}{I_m} \cdot 100\% \quad (1.2)$$

Для определения токсичности исследуемого образца была использована следующая шкала: ОИС > 80%, указывает на то, что образец не оказывает никакого воздействия, 60% – 80% предполагает, что образец оказал небольшое воздействие, 40% – 60% предполагает, что образец оказал среднее воздействие, и соотношение < 40% указывало на то, что воздействие считалось сильным.

Биологический контроль методом сапробности

«Сапробность – характеристика водоема, показывающая уровень его загрязненности органическими веществами и продуктами их распада. При нарастании органического загрязнения водоема в толще воды, а особенно на дне одновременно возрастает содержание мертвого органического вещества и понижается содержание кислорода (именно из-за гниения органического вещества) и накоплению ядовитых продуктов. По нарастанию количества органических веществ различают водоемы олигосапробные (практически незагрязненные), бета-мезосапробные (слабо или умеренно загрязненные), альфа-мезосапробные (загрязненные) и полисапробные (сильно загрязненные)» [30].

«От олигосапробной к полисапробной зоне ухудшаются многие важные для водных обитателей показатели: уменьшается содержание растворенного в воде кислорода, необходимого для дыхания водных обитателей, нитраты превращаются в более токсичные нитриты и аммонийные соединения. Сульфаты переходят в сульфиты и далее в сульфиды вплоть до образования сероводорода. При этом уменьшается количество видов живых существ, требовательных к содержанию кислорода, вплоть до полного их исчезновения. В то же время виды, способные выдержать изменение химического состава воды и недостаток кислорода, могут даже увеличить свою численность за счет притока питательных веществ и исчезновения конкурентов, т.е. меняются показатели биоразнообразия. Как правило, высокие концентрации органических веществ в водоемах вызываются сбросом в них сточных вод бытового и сельскохозяйственного происхождения» [4].

Индексы сапробности характеризуют качество воды или ее сапробиологическую оценку

по набору и количественным показателям популяций видов-индикаторов в пробах планктона и бентоса (Прил. А, табл. 3). «В качестве биоиндикаторов используют организмы, широко распространенные в водоемах Центральной России: червей, губок, моллюсков, ракообразных, личинок насекомых. Среди них для целей биоиндикации выбраны наиболее характерные индикаторные виды, т. е. конкретные представители систематических групп беспозвоночных, наличие которых в ДО отчетливо характеризует уровень загрязнения воды» [36].

Индекс сапробности водоема по методу Пантле-Букка в модификации М.В. Чертопруды вычисляется по формуле:

$$I = \frac{\sum(S \times J)}{\sum J}, \quad (1.3)$$

где I – показатель сапробности, S – сапробность каждого найденного в пробе индикаторного вида (от 0 до 4), J – его индикаторный вес (от 1 до 4). Значения индекса могут изменяться от 0,5 до 4,0. Диапазон 0,5 – 1,5 характеризует олигосапробные условия (наиболее чистые природные воды в нашем регионе), 1,5 – 2,5 – бета-мезосапробные, 2,5 – 3,5 – альфа-мезосапробные, 3,5 – 4,0 – полисапробные (самая тяжелая степень загрязнения, при которой еще живет зообентос) [36].

«Макрофиты – один из важнейших компонентов водных экосистем. Это макроскопические водные растения, состоящие из макроводорослей, покрытосеменных, папоротников и мхов. Многие виды водных растений могут быть использованы для определения сапробности вод и типа загрязнения [31]. Макрофиты развиваются в основном в олигосапробной и бета-мезосапробной зонах».

«Индекс сапробности обследуемых участков по макрофитам-индикаторам методом В. Сладечека [31] вычисляют по формуле:

$$I = \frac{\sum(S \times h)}{\sum h}, \quad (1.4)$$

где $\sum$ – сумма, S – индекс значимости вида, h – относительное число особей.

Относительное количество особей вида (h) оценивают следующим образом: случайные находки приняты за 1, частая встречаемость растений каждого вида – 3 и массовое развитие – 5. В полисапробной зоне индекс сапробности равен – 4,0-3,5; в бета-мезосапробной зоне – 2,5-1,5; в альфа-мезосапробной зоне – 3,5-2,5; в олигосапробной зоне – 1,5-1,0 [31].

Для оценки степени сапробности водоема по найденным видам водорослей методом М. Зелинки и П. Марвана рассчитывают средневзвешенную сапробную валентность для каждой зон сапробности:

$$A = \frac{\sum(a \times h \times J)}{\sum h \times J}, \quad (1.5)$$

где h – число особей вида, a – сапробная валентность вида, J – индикаторный вес вида [12].

Статистическая обработка данных проводилась с помощью стандартных пакетов программы MS Excel. Все измерения проводились в трех повторностях. Результаты были признаны статистически значимыми при уровне $p < 0,05$ [22].

Биологическая очистка водоемов с помощью макрофитов-оксигенаторов

Одним из способов биологической очистки вод является использование высших растений, так как они поглощают загрязняющие вещества, способны накапливать токсичные вещества и превращать их в нетоксичные, способны накапливать некоторые металлы и вещества, которые трудно разлагаются.

«Биологические методы очистки водоемов с помощью МО хорошо себя зарекомендовали в системе очистки коммунально-бытовых стоков, как наиболее экологически и экономически выгодные, благодаря простоте технологии и низким расходам. Они применяются для очистки сточных вод, окончательно улучшая качество очищаемой воды на предприятиях пищевой, нефтеперерабатывающей промышленности, в животноводстве и т.п.» [34].

При очистке вод чаще всего используют такие виды МО, как камыш, тростник озерный, элодея, касатик желтый, сусак, стрелолист обычный, гречиха земноводная, резуха морская, уруть, хара, ирис и прочие. Способность МО к накоплению, утилизации, трансформации многих загрязняющих веществ делает их незаменимыми в общем процессе самоочищения водоемов [33].

Пистия, или водяной салат (*Pistia stratiotes*) – многолетнее травянистое растение из семейства Ароидных. Пистия представляет собой розетку крупных бархатистых листьев голубовато-зеленого цвета. В диаметре розетка может достигать 25 см. Пистия имеет хорошо развитую корневую систему, состоящую из множества длинных корешков. Произрастает в проточных водоёмах, в тропиках восточного и западного полушарий. «Ученым США удалось установить, что водный салат способен удалять вредные примеси из воды, предназначенной для промышленных и хозяйственных нужд. Подобные «ботанические» отстойники внедряются в практику. Скошенная зеленая масса может служить хорошим удобрением или применяться в производстве биогаза» [5].

Эйхорния (*Eichornia crassipes*) — это многолетнее травянистое водное растение семейства Понтедериевых. У нее округлые, блестящие, кожистые листья, сидящие на утолщенных черешках, собранных в розетку и колосовидное соцветие, напоминающее соцветие гиацинта. Обнаружено, что на поверхности ресничек корней эйхорнии осаждаются взвешенные вещества, содержащиеся в воде, с фантастической скоростью перерабатываются разные органические загрязнители. «Она эффективно очищает сточные воды промышленного, коммунально-бытового и животноводческого происхождения» [5]. Летом 2019 года мною были проведены исследования по выращиванию эйхорнии в прудах с различной степенью загрязненности. По результатам проведенных исследований было выявлено, что «эйхорния лучше растет и размножается в

умеренно загрязненных прудах, чем в практически незагрязненных» [7].

В период отрицательных температур эйхорния отмирает, а отмершие растения оседают на дно. Поэтому осенью необходимо собирать выросшую зеленую массу.

Уруть колосовая (*Myriophyllum spicatum*) – вид цветковых растений семейства Сланоягодниковые, растет в основном в стоячей воде на открытых солнечных местах или в полутени, отмечается морозоустойчивостью. С помощью урути специалисты Самарского государственного технического университета в 2013 году доказали возможность очистки воды от органических примесей (бензол) и некоторых ионов (железо [III], сульфат-ионы, ионы хрома [VI]) [10].

В Институте водных проблем Российской академии наук проведен ряд исследований по изучению ремедиационного потенциала сальвинии плавающей (*Salvinia natans*), которая представляет собой плавающий папоротник и в обилии встречается в южных областях Европейской части России, в Западной Сибири и на Дальнем Востоке. Доказано, что данный вид является гиперконцентратором тяжелых металлов. «Проведен сравнительный анализ аккумулирующей способности сальвинии с тростником обыкновенным (*Phragmites communis*) и рогозом узколиственным (*Typha Angustifolia* L.). По полученным данным, сальвиния плавающая способна концентрировать количество меди почти в 100 раз большее, цинка в 10 и 2 раза больше, чем тростник обыкновенный и рогоз узколистный. Учитывая то, что сальвиния является свободноплавающим видом и может быть легко удалена с поверхности воды, ее применение в фитотехнологиях открывает широкие перспективы для создания искусственных установок и очистки естественных водных объектов» [13].

Явление аллелопатии. Аллелопатическая активность

«Воздействие растений друг на друга, а также взаимовлияние высших растений и микроорганизмов, высших растений и животных, осуществляющиеся через выделяемые продукты метаболизма, получили название аллелопатии. Биологически активные вещества выделяются в почву (корневые выделения), в атмосферу (газообразные вещества с сильным запахом) и воду (смывы с листьев), а также при разложении мертвого органического вещества, например, при перегнивании лесной подстилки. Считается, что роль этих веществ во взаимоотношениях растений вторична, первично они использовались растениями для отпугивания насекомых-фитофагов» [28]. «Аллелопатию можно рассматривать как форму экологической конкуренции между организмами в биоценозах» [17]. «По данным исследований, аллелопатия является одним из факторов снижения урожая при длительном возделывании одной культуры на поле (монокультуры), вызывающем почвоутомление» [8]. «Аллелохимикалии могут присутствовать в различных частях растений включая корни, корневища, листья, стебли, пыльцу, семена и цветки. Когда восприимчивые растения подвергаются воздействию аллелохимикалий,

то, как правило, в первую очередь ингибируются прорастание семян, рост и развитие проростков» [16]. Произвести оценку содержания колинов и сравнить их уровни в биопробах позволяет биотест на прорастание семян редиса сорта Красный с белым кончиком, разработанный Гродзинским. Автором к биотесту была разработана шкала пересчета данных относительной всхожести редиса в условные кумариновые единицы (УКЕ), соответствующие содержанию (в мг/л или мг/кг) известного тормозителя — кумарина, производящего эквивалентный тормозящий эффект биопробы (рис. 1.3) [8].

«Механизмы действия некоторых аллелохимикалий похожи на синтетические гербициды. Это обстоятельство стало причиной рассмотрения в качестве альтернативы использования в контроле за сорняками в виде биогербицидов. Однако эта область знаний изучена слабо, хотя является весьма привлекательной для практического применения. Большинство аллелопатически активных соединений полностью или частично водорастворимы, что облегчает их применение без дополнительных поверхностно-активных веществ» [8].

«Индекс относительного аллелопатического эффекта (I) рассчитывается по формуле:

$$I = (O - C) / C, \quad (1.6)$$

где O — это значение признака (прорастание или рост), C — среднее значение этого признака в контрольных условиях. Отрицательное значение индекса указывает на ингибирующий эффект, тогда как положительное его значение указывает на стимулирующий эффект» [32].

Метод определения токсичности извлечений по изменению показателей прорастания семян

«Биопроба на прорастание семян заключается в подсчете количества проросших семян на опытном растворе по сравнению с прорастанием контроля на дистиллированной воде.

Одним из самых эффективных методов биопробы на прорастание семян заключается в подсчете энергии прорастания и всхожести:

- энергия прорастания — скорость прорастания, выражаемая в проценте семян, проросших в срок, установленный опытным проращиванием;
- всхожесть семян — способность семян давать за установленный срок нормальные

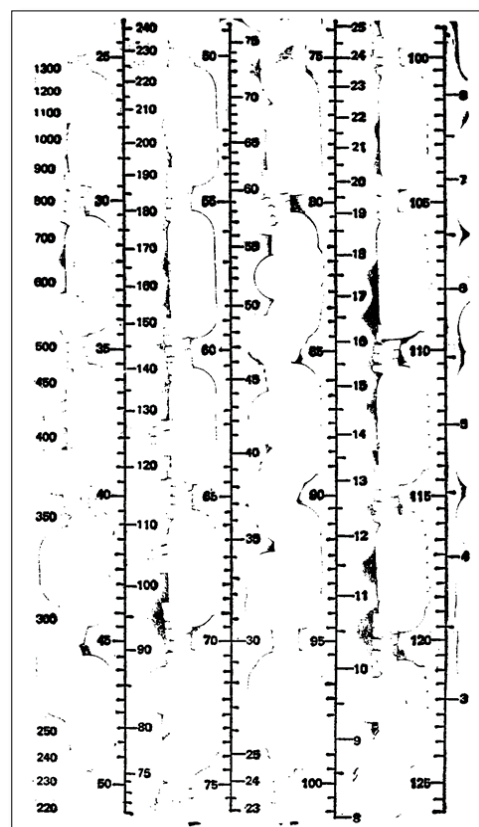


Рис. 1.3.
Шкала перевода данных (в %) всхожести редиса (слева) в УКЕ (справа)

проростки при определенных условиях проращивания» [8].

Подготовка семенного материала

«Перед проведением биотестов необходимо подготовить семенной материал и провести калибровку. Для этого в 5%-ный раствор поваренной соли погружается семенной материал. Он интенсивно размешивается для удаления пузырьков воздуха. Через некоторое время всплывшие («пустые») семена удаляются, а оставшиеся промываются от соли и высушиваются» [8].

Приготовление растительных водных вытяжек

«Одним из наиболее эффективных методов извлечения аллелохимикалий из растений является приготовление водных вытяжек. Для этого измельченный растительный материал замачивается в дистиллированной воде и настаивается 24 часа при комнатной температуре. После полученный раствор фильтруется. Вытяжки хранятся при температуре 4°C. При приготовлении вытяжек оптимальное соотношение растительного материала и воды составляет 1:50» [8].

Характеристики тест-объектов

Сорные растения составляют успешную конкуренцию культурным растениям благодаря ряду биологических особенностей. Главная из них – способность к интенсивному размножению, что достигается либо огромной семенной продуктивностью, либо хорошей способностью к вегетативному размножению. Сорными называют растения, являющиеся нежелательными на территориях, используемых человеком в его хозяйственной деятельности. В основном это дикорастущие виды местной флоры, которые поселяются на полях, в плодово-ягодных насаждениях, на огородах и заглушают посевы культурных растений.

В качестве тест-объектов мною были использованы семена культурного растения редиса сорта Красный с белым кончиком и семена сорных инвазивных видов растений: борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) и люпина многолистного (*Lupinus polyphyllus*).

«Борщевик Сосновского завезен с Кавказа как растение, пригодное к заквашиванию в качестве силоса на корм крупному рогатому скоту. Его использование продолжалось до начала восьмидесятых годов прошлого века. Опасным сорняком он был признан лишь в 2015 году. Одним из важнейших последствий внедрения борщевика Сосновского в естественные фитоценозы является обеднение их видового состава. В сообществах с участием борщевика способно выживать 15–20 в основном сорно-рудеральных видов травянистых растений. Наиболее уязвимы луговые растения, которые быстро исчезают из фитоценоза» [3].

«Люпин многолистный (*Lupinus polyphyllus*) в начале 20 века завезли из Северной Америки как кормовое и декоративное. А в восьмидесятые годы прошлого века было отмечено образование зарослей люпина на полях и вдоль автомобильных дорог. Благодаря имеющимся на корнях азотфиксирующим клубенькам, растения люпина изменяют состав почвы в пользу видов,

требовательных к азоту, то есть опосредованно через среду изменяют структуру сообществ и тем самым угрожают биоразнообразию. Прежде всего, это касается луговых фитоценозов, где под влиянием люпина луговые растения, предпочитающие относительно бедные почвы, выпадают из состава сообществ и заменяются нитрофильными растениями. Из-за эвтрофикации почв в результате разрастания люпина многолистного в Калужской области исчезают редкие и охраняемые аборигенные виды из состава низкотравных лугов на бедных почвах, а в Смоленской области в долине Днепра уже исчезли многие редкие виды речных долин. У люпина многолистного, как и у многих растений рода люпин, есть алкалоиды – ядовитые соединения, которые не полезны для здоровья животных. Если на поле, где раньше пасли скот, начинает произрастать люпин, то это поле становится непригодным для выпаса» [3].

Изучение бактериальных сообществ ДО прудов по колонкам Виноградского

С. Н. Виноградский (1856–1953) впервые использовал градиенты света, сульфида и кислорода для изучения природных популяций сульфидокисляющих фотоавтотрофных бактерий, сульфатвосстанавливающих и хемоавтотрофных сульфид- и сероокисляющих бактерий, одновременно присутствующих в одном местообитании и осуществляющих взаимозависимые процессы. Созданная модельная система получила название «колонка Виноградского».

Получение накопительной культуры фотоавтотрофных и хемолитотрофных микроорганизмов

«Из водоема отбирают ил/грязь (отбор проб необходимо проводить в день постановки колонки). В миску для смешивания переносят 125–250 г ила/грязи, добавляют 5 г CaCO_3 и 5 г CaSO_4 и тщательно перемешивают. Далее добавляют 10 г измельченной газетной бумаги и снова перемешивают. Полученную массу помещают в колонку (должна быть заполнена приблизительно на $1/4$ – $1/3$ часть), тщательно утрамбовывают, чтобы удалить воздушные полости. Оставшийся ил/грязь переносят в колонку (до уровня примерно 5 см от верха) и снова утрамбовывают. Далее добавляют воду (она должна покрывать ил/грязь на 2–3 см). В колонке должно остаться 2–3 см воздушного пространства над водой. Если воды больше – излишек удаляют, если меньше – добавляют до получения необходимого уровня. Колонку герметично закрывают парафилмом, а затем фольгой и далее инкубируют колонку в течение 6–7 недель при комнатной температуре и непрямом солнечном свете (на окне). Колонку проверяют каждую неделю, чтобы увидеть ее развитие. Результаты наблюдений записывают в лабораторный журнал» [35].

После плотной герметизации колонки сначала развиваются анаэробные бактерии, в том числе *Clostridium* sp. Эти анаэробные бактерии будут потреблять целлюлозу в качестве источника энергии. Цикл начнется, как только они начнут производить CO_2 , который будет использован другими представителями сообщества. Со временем в колонке будут появляться

новые цветные слои различных бактерий. В нижней части колонки образуется черная восстановленная зона, содержащая H_2S и бактерий, восстанавливающих соединения серы. Слой выше будет состоять из зеленых серных фотосинтезирующих анаэробных бактерий. Далее будет следовать фиолетовый слой, который состоит из серных анаэробных бактерий, также фиолетовый из анаэробных несерных бактерий, и далее сверху будет образован слой сероокисляющих цианобактерий. Этот верхний слой аэробных бактерий будет производить CO_2 , который оставаясь в колонне будет создавать условия для дальнейшей реакции. В верхней части колонки появятся цианобактерии и водоросли, выделяющие на свету O_2 . В разные периоды времени в различных зонах колонки создаются условия для развития многочисленных групп микроорганизмов, входящих в состав экосистемы водоема (рис. 1.4). Полнота их учета зависит от времени инкубации колонки и тщательности наблюдений.

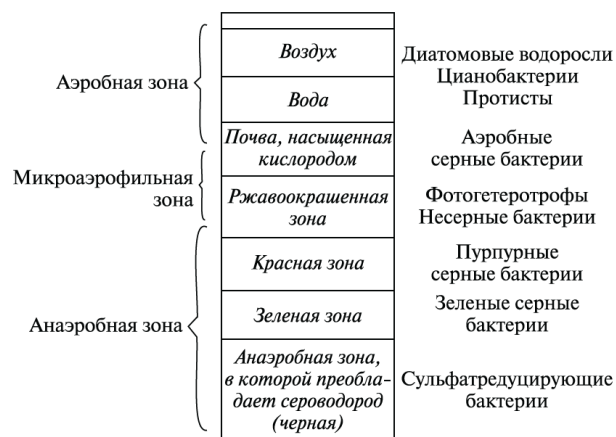


Рис. 1.4. Схема распределения различных групп микроорганизмов в колонке Виноградского

Глава 2 Практическая часть. Ход работы. Результаты

Летом 2019 года мною изучалось качество воды и ДО трех прудов, расположенных на территории г. Химки по гидробиологическим и гидрохимическим показателям (рис. 2.1):

- пруд, прилегающий к Ленинградскому шоссе (далее – ЛШ) (участок временного выхода реки Грачёвки – притока реки Химка из подземного коллектора);
- Воскресенский пруд (пожарный пруд на территории бывшей деревни Воскресенки);
- Верескинский пруд (запруженный водоем на реке Сходне, на территории бывшей деревни Верескино).

В 2023 году мною были повторно исследованы пробы с этих участков с применением комплексного подхода к поиску решений проблемы снижения экологического риска для экосистем прудов.

2.1 Оценка сапробности водоемов по видовому составу бентоса

В 2019 и 2023 гг. определялась сапробность водоемов методом биоиндикации Пантле-Букка в модификации М.В. Чертопруда [36]. Отлов водных беспозвоночных животных мною проводился с помощью сачка и пробоотборника.



Рис. 2.1. Точки отбора проб воды и ДО из прудов

Для определения индекса сапробности составлены таблицы индикаторных видов из обнаруженных беспозвоночных животных в 2019 и 2023 гг. (Прил. А, табл. 1 – 3) и рассчитаны индексы сапробности воды для трех водоемов. Результаты расчетов представлены в табл. 2.1 – 2.2.

Таблица 2.1

Индексы сапробности водоемов в 2019 году

Пруд вблизи ЛШ	Воскресенский пруд	Верескинский пруд
2,3 бета-мезосапробный	3,0 альфа-мезосапробный	2,8 альфа-мезосапробный

Таблица 2.2

Индексы сапробности водоемов в 2023 году

Пруд вблизи ЛШ	Воскресенский пруд	Верескинский пруд
2,1 бета-мезосапробный	3,2 альфа-мезосапробный	2,9 альфа-мезосапробный

По результатам оценки сапробности по индикаторным видам беспозвоночных животных в 2019 и 2023 году выявлено, что пруд на ЛШ относится к бета-мезосапробным (умеренно загрязненные) водоемам, а Воскресенский пруд и Верескинский пруд соответствуют альфа-мезосапробной зоне (загрязненные водоемы).

Сравнивая результаты исследований, проведенных в 2019 и 2023 гг., можно отметить, что существенных изменений сапробности воды водоемов не выявлено.

2.2 Оценка сапробности водоемов по видовому составу макрофитов

В 2019 и 2023 гг. определялась сапробность водоемов по видовому составу макрофитов

методом В. Сладечека [31]. Для определения степени загрязнения водоемов по видовому составу макрофитов выбраны участки на берегу исследуемых прудов и в самих прудах. Для каждого участка составлен список видов прибрежно-водной растительности и указано их обилие, так как некоторые растения могут оказаться случайными.

Выявленные виды прибрежно-водной растительности в 2019 и 2023 гг. представлены в Прил. А, табл. 4 – 5.

Для определения индекса сапробности составлена таблица индикаторных видов, обнаруженных растений-макрофитов, с указанием индекса значимости вида S и встречаемости h (Прил. А, табл. 6 – 8). Далее вычислялись индексы сапробности обследуемых участков. Результаты приведены в табл. 2.3 – 2.4.

Таблица 2.3

Индексы сапробности прудов по растениям-макрофитам в 2019 году

Пруд вблизи ЛШ	Воскресенский пруд	Верескинский пруд
1,42 олигосапробный	2,14 бета-мезосапробный	1,89 бета-мезосапробный

Таблица 2.4

Индексы сапробности прудов по растениям-макрофитам в 2023 году

Пруд вблизи ЛШ	Воскресенский пруд	Верескинский пруд
1,38 олигосапробный	2,06 бета-мезосапробный	2,02 бета-мезосапробный

По результатам оценки сапробности по индикаторным видам макрофитов в 2019 и 2023 гг. выявлено, что пруд вблизи ЛШ относится к олигосапробным (практически незагрязненные) водоемам, а Воскресенский пруд и Верескинский пруд соответствуют бета-мезосапробной зоне (умеренно загрязненные водоемы).

2.3 Оценка сапробности водоемов методом альгоиндикации

В 2023 году изучался состав водорослей, обнаруженных в исследуемых водах с помощью цифрового микроскопа Bresser LCD 50x-2000x [2].

В результате проведенных исследований было определено 19 таксонов водорослей, относящихся к 4 отделам, в том числе: 8 – цианобактерий (сине-зеленые водоросли, Cyanobacteria), 6 – зеленых (Chlorophyta), 4 – диатомовых (Bacillariophyta), 1 – евгленовых (Euglenophyta) (Прил. А, табл. 9).

Для определения индекса сапробности методом М. Зелинки и П. Марвана составлена таблица индикаторных таксонов, обнаруженных водорослей с указанием индикаторного веса вида j и сапробной валентности вида s (Прил. А, табл. 10) [12]. Далее вычислены индексы сапробности обследуемых участков. Результаты приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5

Индексы сапробности прудов по альгофлоре в 2023 году

Пруд вблизи ЛШ	Воскресенский пруд	Верескинский пруд
2,5 бета-мезосапробный	3,5 полисапробный	2,8 альфа-мезосапробный

По результатам оценки сапробности по индикаторным видам альгофлоры выявлено, что пруд на ЛШ относится к бета-мезосапробным (умеренно загрязненные) водоемам, Верескинский пруд соответствуют альфа-мезосапробной зоне (загрязненные), а Воскресенский пруд относится к полисапробным водоемам (грязные).

Наиболее чувствительным к загрязнению воды является метод определения индекса сапробности по альгофлоре, который позволил обнаружить усиление загрязнения вод в прудах.

2.4 Оценка токсичности донных отложений методом фитотестирования

Фитотестирование проводилось по методике, основанной на измерении показателей всхожести семян и относительного прироста в длину корней пшеницы (*Triticum L.*) и редиса (*Raphanus sativus*) [20]. Отбор подготовка проб ДО проводился в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01.

Сравнение всхожести семян и длины корня проростков с контролем позволило отнести загрязненные грунты к определенной категории токсичности (Прил. А, табл. 11). Результаты сведены в Прил. А, табл. 12 – 15.

Установлено, что исследованные ДО по влиянию на состояние редиса и пшеницы оценены как от «практически не токсичных» до «умеренно токсичных» в 2019 году и от «практически не токсичных» до «высоко опасно токсичных» в 2023 году (рис. 2.2. – 2.5.).

В 2019 и в 2023 гг. по всем критериям степени токсичности по редису к «умеренно токсичным» отнесены ДО Воскресенского и Верескинского пруда. К «практически не токсичным» отнесены ДО пруда вблизи ЛШ.

По степени изменения длины корня пшеницы по сравнению с контролем, ДО Воскресенского и Верескинского пруда отнесены к «малотоксичным» в 2019 году. В 2023 году по всем критериям степени токсичности по пшенице к «высоко опасно токсичным» отнесены ДО Воскресенского пруда. ДО Верескинского пруда отнесены к «опасно токсичным». К «практически не токсичным» отнесены ДО пруда вблизи ЛШ.

Всхожесть семян пшеницы посеянных на чашки с исследованными образцами, была ниже всхожести семян в контроле. В 2023 году семена не взошли в ДО Воскресенского пруда. Максимальная всхожесть семян, составляющая 86,7 % (2019 г.) и 41,7 % (2023 г.), была зарегистрирована в ДО пруда вблизи ЛШ. Отмечается ухудшение всхожести семян пшеницы по сравнению с 2019 годом.

Для редиса наименьшие показания всхожести семян (35,0 – 38,2%) были зафиксированы

в створе Воскресенского пруда, в то время как максимум приходился на створы пруда вблизи ЛШ (85,0 – 83,6%) и Верескинского пруда (60,0 – 85,5%).

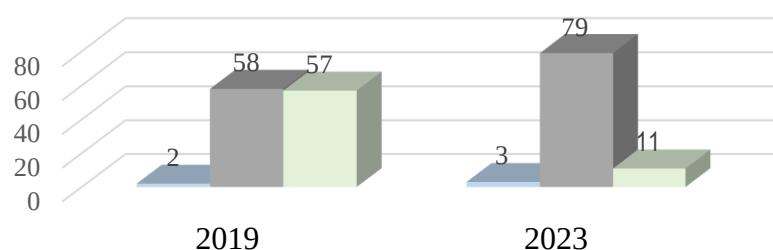


Рис. 2.2. Оценка степени токсичности ДО по длине корня *Raphanus sativus* по годам, в %

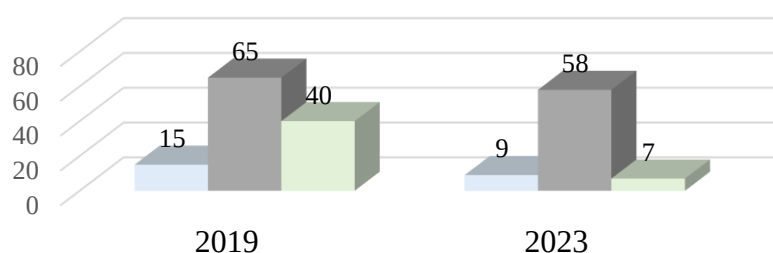


Рис. 2.3. Оценка степени токсичности ДО по всхожести семян *Raphanus sativus* по годам, в %

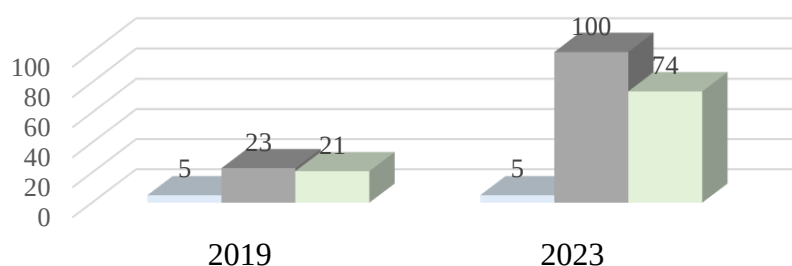


Рис. 2.4. Оценка степени токсичности ДО по длине корня *Triticum L.* по годам, в %

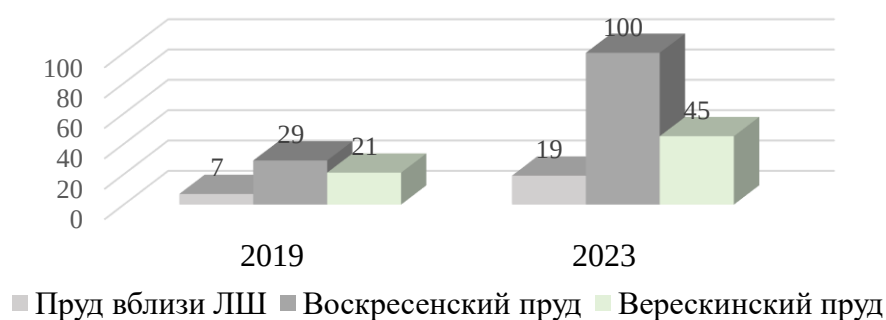


Рис. 2.5. Оценка степени токсичности ДО по всхожести семян *Triticum L.* по годам, в %

В результате исследований выявлено, что у семян пшеницы выращенных на различных грунтах, длина корней изменялась в диапазоне от 1,4 до 6,6 мм и не превышала значения контроля (7,0 мм) в 2019 году. Наименьший прирост корней тест - системы наблюдался в ДО, отобранных в Воскресенском пруду, а наибольший - в ДО створа пруда вблизи ЛШ. В 2023 году длина корней изменялась в диапазоне от 0,05 до 9,0 мм и не превышала значения контроля (12,0 мм). Минимальный прирост проростков был зарегистрирован в створе Верескинского пруда, а максимум - в пробе, отобранной у пруда вблизи ЛШ.

Длина корней редиса, выращенного на опытных образцах ДО, была ниже контроля. В 2019 и 2023 годах наименьший прирост корней тест - системы наблюдался в ДО, отобранных в Воскресенском пруду, а наибольший – в ДО створа пруда вблизи ЛШ.

Таким образом, ДО Воскресенского пруда оказали токсическое действие на оба используемых тест-объекта.

2.5 Определение гидрохимического состава вод, отобранных из прудов

Для определения гидрохимических показателей отобранных проб воды использовался стандартный набор тест-комплектов для экспресс-анализа воды в полевых и лабораторных условиях «Крисмас+», «VladOx» [21].

По результатам проведенных исследований выявлено, что значение общей жесткости в 2019 году пруда на ЛШ составляло 5,0 мг-экв/л, что позволяет отнести ее к группе вод средней жесткости, в Воскресенском пруду – 8,6 мг-экв/л, что характеризуется как жесткая, в Верескинском пруду – 3,9 мг-экв/л, что характеризуется как мягкая вода. Результаты определений занесены в таблицы 2.6 – 2.7.

Таблица 2.6

Определение химического состава вод, отобранных из прудов (от 05.07.19)

Показатели химического состава воды	Пруд вблизи ЛШ	Воскресенский пруд	Верескинский пруд	ПДК _в ¹
Железо, мг/л	0,25	0,1	0,05	0,3
Растворенный кислород, мг/л	5,0-6,0	4,0	5,0-6,0	4,0
Углекислый газ, мг/л	26	70	22	-
рН	7,1	6,9	7,3	
Общая жесткость, мг-экв/л	5,0	8,6	3,9	-
Аммонийный азот, мг/л	0,0	4,0	0,25	1,5
Нитраты, мг/л	0,0	1,0	7,0	45
Нитриты, мг/л	0,0	0,02	0,2	3
Фосфаты, мг/л	0,1	4,0	0,2	3,5
Хлориды, мг/л	50-100	1-10	50-100	350

В 2023 году значение общей жесткости пруда на ЛШ составляет 8,6 мг-экв/л, в Верескинском пруду – 5,3 мг-экв/л, что характеризуется как жесткая вода, а в Воскресенском пруду – 15,3 мг-экв/л, что позволяет отнести ее к группе вод сильной жесткости. Отмечается увеличение значения общей жесткости с 2019 года. Общая жесткость обусловлена присутствием в водоеме преимущественно соединений кальция и магния, основными природными источниками которых являются осадочные породы, фильтрация и сток с почвы.

Соединения азота и фосфора являются важнейшими биогенными элементами, и их повышенное содержание свидетельствует об органическом загрязнении водоема. В 2019 году концентрация аммонийного азота в воде Воскресенского пруда составляла 2,7 ПДК_в, фосфатов

¹ Согласно СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

– 1,1 ПДКв. Аммонийный азот является начальным продуктом разложения органических азотосодержащих веществ и способен оказывать прямое токсическое действие на водные биологические ресурсы. Учитывая степень зарастания озер рогозом широколистным, можно предположить, что биогенные вещества в воде имеют растительное происхождение и связаны с разложением большого количества макрофитов. Следует отметить, что такие высокие значения биогенных элементов характерны для болотистых и торфяных вод. Также, в ходе полевых наблюдений на опорах линий электропередач в районе Воскресенского пруда обнаружены развешанные объявления о периодических обработках пестицидами (Торнадо®ВР+Адю) зарослей борщевика Сосновского, растущих вблизи пруда. Один из способов попадания данных веществ в водоемы заключается в том, что после выпадения осадков в виде дождя, они просачиваются в почву, откуда могут попасть в находящиеся рядом пруды, реки и т.д.

Таблица 2.7

Определение химического состава вод, отобранных из прудов (от 05.07.23)

Показатели химического состава воды	Пруд вблизи ЛШ	Воскресенский пруд	Верескинский пруд	ПДК _в
Железо, мг/л	0,05	0,1	0,05	0,3
Растворенный кислород, мг/л	6,0	4,0	4,0	4,0
Перманганатная окисляемость ² , мг O ₂ /л	6,3 малая	18,6 высокая	10,2 средняя	-
рН	7,3	7,1	7,5	-
Общая жесткость, dH	8,6	15,3	5,3	-
Аммонийный азот, мг/л	0,0	1,0	0,05	1,5
Нитраты, мг/л	0,0	0,0	5,0	45,0
Нитриты, мг/л	0,0	0,5	0,1	3,0
Фосфаты, мг/л	0,09	6,0	0,1	3,5
Хлориды, мг/л	50-100	1-10	>100	350
Сульфаты, мг/л	31,4	655,5	79,1	500
Свинец, мг/л	0,02	0,06	0,03	0,03
Медь, мг/л	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Нефтепродукты ² , мг/л	<0,02	<0,02	0,02	0,03

В 2023 году в воде Воскресенского пруда отмечена повышенная концентрация фосфатов (1,7 ПДКв), свинца (2 ПДКв), сульфатов (1,3 ПДКв). Главным источником сульфатов в поверхностных водах являются процессы химического выветривания и растворения серосодержащих минералов, а также окисления сульфидов и серы. Значительные количества сульфатов поступают в водоемы в процессе отмирания организмов, окисления наземных и водных веществ растительного и животного происхождения и с подземным стоком. Повышенная концентрация сульфатов в пруду объясняется большим количеством растительных остатков в толще воды и на дне водоема и их постепенным разложением. Превышения по соединениям азота

² Определение перманганатной окисляемости и нефтепродуктов в воде проводилось аккредитованной лабораторией ООО «Объединенный центр исследований и разработок» согласно ПНД Ф 14.1:2:4.168-2000, ПНД Ф 14.2:4.154-2004

в воде не выявлено. В воде пруда на ЛШ и Верескинского пруда превышение нормативов ПДКв веществ в воде в 2019 и 2023 году не обнаружено. Вода в пруду на ЛШ отличается низкими значениями гидрохимических показателей качества воды.

Сравнивая результаты исследований, проведенных в 2019 и 2023 гг., можно отметить, что существенных изменений гидрохимического состава воды прудов не произошло.

Повышенное содержание сульфатов, азота аммонийного, фосфатов информирует о идущих процессах гниения растительности и заболачивания Воскресенского пруда. Все это приводит к снижению количества растворенного кислорода в воде и возникновению катастрофических явлений – заморов, сопровождающихся гибелью большинства гидробионтов, что ведет к ухудшению качества воды и отражается на экологическом состоянии водоемов.

2.6 Определение степени токсичности водных вытяжек донных отложений методом биотестирования с помощью дафний (*Daphnia Magna*)

По результатам кратковременного биотестирования [24] в 2019 году установлено, что водные вытяжки ДО, отобранных на Воскресенском пруду, оказывают острое токсическое действие (далее – ОТД). По отношению к контролю за время тестирования погибло 60 % дафний, т.е. проба воды оценивается как токсичная. На остальных участках отбора проб острая токсичность не выявлена: в водных вытяжках пруда вблизи ЛШ погибло – 10 %, Верескинского пруда – 30 % дафний.

В 2023 году повторно проведены исследования по определению ОТД на дафний методом кратковременного биотестирования. Водные вытяжки тестировались без разбавления с 3-х кратной повторностью. Для контроля использовалась отстоянная водопроводная вода. Результаты экспресс-оценки приведены на рис.2.6.

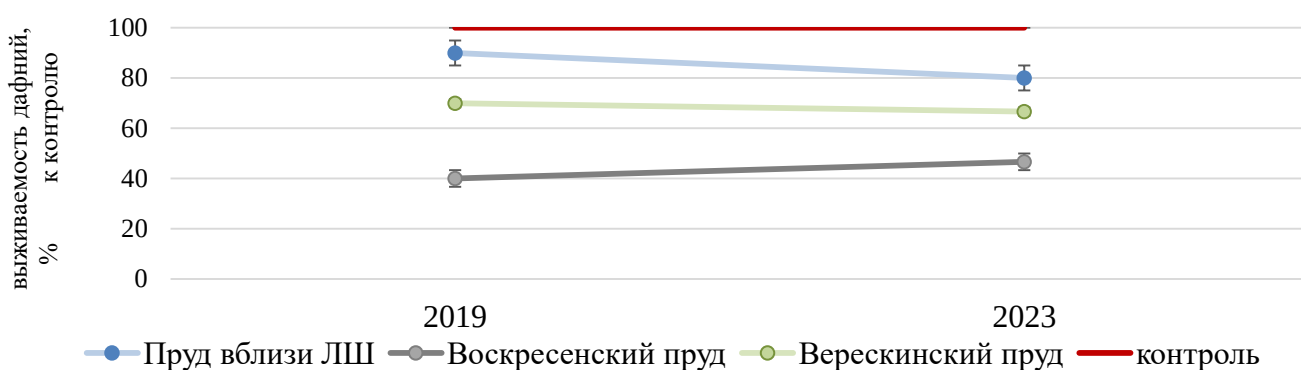


Рис. 2.6. Результаты биотестирования (экспресс-оценка) на дафниях

Результаты исследований 2023 года показывают, вода из Воскресенского пруда проявляет максимальную степень ОТД. По отношению к контролю за время тестирования погибло 53,3 % дафний. На остальных участках ОТД не выявлено.

2.7 Биотестирование донных отложений на личинках комаров (*Chironomus plumosus*)

По результатам проведенных исследований в 2019 году, выявлено, что проба ДО Воскресенского пруда, оказывает ОТД на хирономиды. По отношению к контролю за время тестирования погибло 90 % личинок, т.е. проба воды оценивается как токсичная. На остальных участках отбора проб острая токсичность не выявлена: в ДО пруда вблизи ЛШ погибло – 10 %, Верескинского пруда – 40 % личинок.

Результаты исследований 2023 года показывают, что ДО Воскресенского пруда проявляет максимальную степень ОТД (100%). В первые сутки экспозиции погибло более 50 % хирономид. ДО Верескинского пруда, также характеризуются ОТД, показатель смертности хирономид составляет 83,3% по отношению к контролю. ОТД ДО пруда, вблизи ЛШ не выявлено. Результаты наблюдений представлены на рис. 2.7.

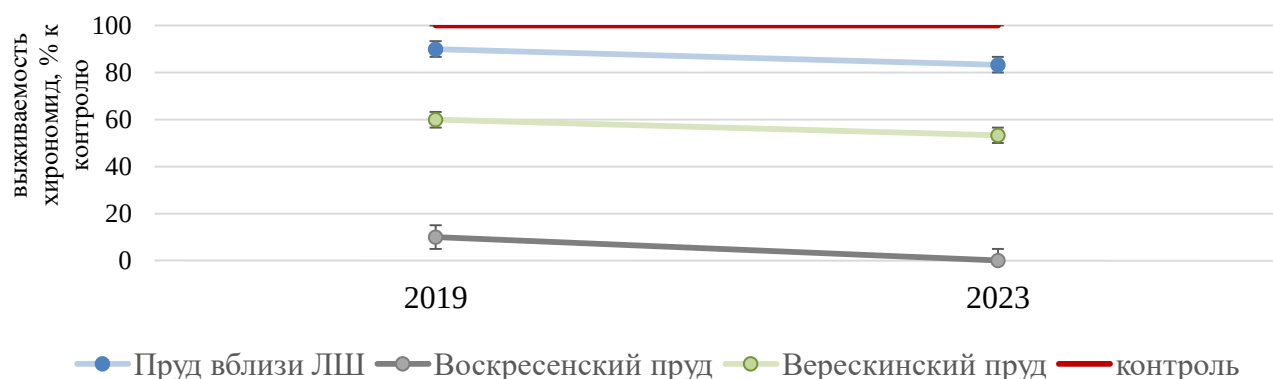


Рис. 2.7. Результаты биотестирования на личинках хирономид

2.8 Изучение бактериальных сообществ донных отложений прудов по колонкам Виноградского

В 2023 году изучался биоценоз бактериальных сообществ ДО прудов на колонках Виноградского для выявления групп микроорганизмов, связанных с метаболизмом углерода и серы. Постановка эксперимента проводилась согласно методике [35]. Одна колонка была контрольной, в качестве контроля выступал речной песок, предварительно промытый отстоянной водопроводной водой. Наблюдение за колонками проводилось в течение 23 недель в помещении со средней температурой 20 °С и средней влажностью 45 %, отмечались изменения в структуре ДО, появление на поверхности и внутри колоний микроорганизмов. На поверхности колонки Виноградского через 4 недели эксперимента было выявлено образование различных включений. Через 23 недели после инкубации результаты показали наличие в пробах Воскресенского пруда большого количества зеленых и пурпурных серных бактерий по отношению к контролю, что свидетельствует о загрязнении ДО серосодержащими соединениями (таблица 2.8).

Таблица 2.8

Ход эксперимента «колонка Виноградского»

Место отбора ДО	Цвет	Визуально определяемые изменения в биоценозе ДО		
		2 недели	18 недель	23 недели
Промытый речной песок (контроль)	Коричневый	Сульфатредуцирующие бактерии в виде небольших черных очагов	Слабовыраженная зональность свидетельствует о низком росте различных бактерий, специфичных для анаэробных и аэробных областей колонки	
Пруд вблизи ЛШ	Коричневый	Сульфатредуцирующие бактерии в виде небольших черных очагов	Слабовыраженная зона зеленых серных бактерий, пурпурные серные бактерии и несерные бактерии в виде включений	Слабовыраженная зональность свидетельствует о низком росте бактерий, специфичных для анаэробных и аэробных областей колонки
Воскресенский пруд	Черный	Незначительное количество сульфатредуцирующих бактерий	Четко выраженная зональность зеленых (d=5 см) и пурпурных серных бактерий (d=10 см), цианобактерий (d=6 см)	Четко выраженная зональность зеленых (d=8 см) и пурпурных серных бактерий (d=13,5 см), цианобактерий (d=7 см)
Верескинский пруд	Серо-черный	Незначительное количество сульфатредуцирующих бактерий, большое количество зеленых серных бактерий	Зональность диффузного типа у зеленых и пурпурных серных бактерий, небольшое количество цианобактерий	Красные пятна указывают на наличие пурпурных несернистых бактерий типа <i>Rhodospirillum</i> и серных типа <i>Chromatium</i>

Действие света, как абиотического фактора, способствовало выявлению следующей закономерности – рост включений на световой стороне больше, чем на теневой. Также выявлено, что в некоторых цилиндрах образование включений на поверхности ДО более интенсивно, чем на глубине. К ним относятся все колонки за исключением, колонки с речным песком – контроля.

2.9 Оценка токсичности воды и смывов с листьев растений методом биолюминесцентного тестирования

Для биолюминесцентного экологического мониторинга были отобраны пробы воды из прудов, а также смывы с листьев деревьев из прилегающих к прудам территорий в 2023 году [15].

Анализ результатов воды с помощью биолюминесцентного теста показал, что пробы, отобранные из Верескинского пруда и пруда вблизи ЛШ, относятся к слабозагрязненным водоемам, а пробы воды из Воскресенского пруда к средне-загрязненным водоемам по сравнению с контролем (рис. 2.8).

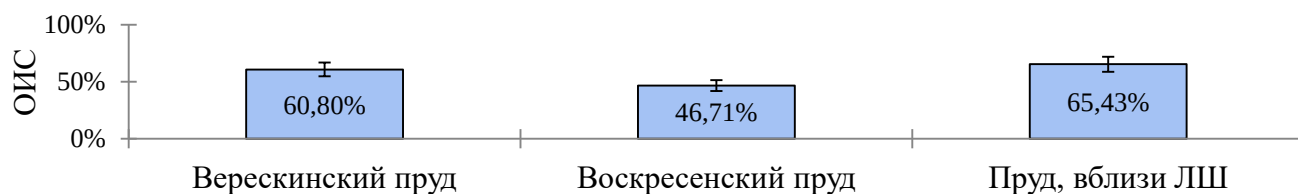


Рис. 2.8. Результаты воды с помощью биолюминесцентного теста

По результатам анализа смывов с листьев деревьев растительности в местах отбора проб воды выявлено, что смывы соответствовали у Воскресенского пруда – слабозагрязненным, а Верескинского пруда и пруда вблизи ЛШ – средне-загрязненным (рис. 2.9).

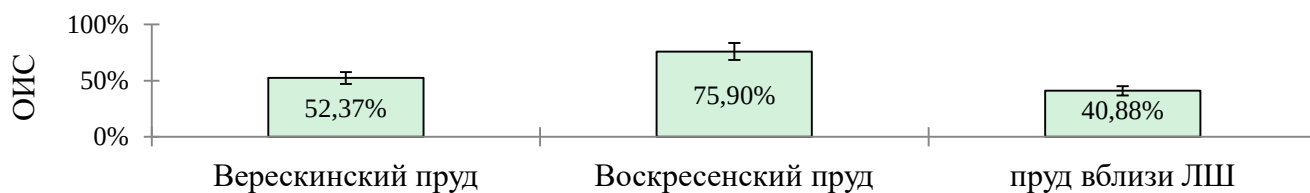


Рис. 2.9. Результаты смывов с листьев растений в местах отбора проб воды с помощью биолуминесцентного теста

В точках отбора проб, близлежащих к производственным объектам и автодорогам, наблюдалось наиболее сильное загрязнение.

2.10 Оценка влияния водных вытяжек МО на прорастание семян борщевика Сосновского и люпина многолистного

В 2022 году проводилась работа по изучению аккумуляционной способности высших водных растений способных аккумулировать токсичные соединения: пистии (*Pistia stratiotes*), эйхорнии (*Eichornia crassipes*), сальвинии плавающей (*Salvinia natans*). Установлено, что данные МО обладают высокой эффективностью доочистки загрязненных вод от тяжелых металлов и неорганических веществ [6]. Эффективность очистки (далее – ЭО) воды с известными химическими показателями МО через 55 дней представлена в таблице 2.9.

Таблица 2.9

Результаты химических показателей до и после очистки вод МО

До и после очистки, вид МО	Фосфаты	Нитраты	Нитриты	Азот аммонийный	Железо	Свинец
До очистки, мг/л	12,0	100,0	4,0	6,0	0,5	0,04
После (пистия), мг/л	0,04	3,00	0,04	0,00	0,10	0,10
ЭО пистией, %	99,00	97,00	98,67	100,00	80,00	75,00
После (эйхорния), мг/л	0,07	1,00	0,02	0,00	0,10	0,10
ЭО эйхорнией, %	99,93	98,97	99,98	100,00	99,88	99,87
После (сальвиния), мг/л	0,03	0,50	0,00	0,00	0,00	0,05
ЭО сальвинией, %	99,97	99,49	100,00	100,00	100,00	99,95

Для рассмотрения дальнейшего использования МО в качестве удобрений или биогербицидов проводилась работа по изучению влияния их водных вытяжек на рост проростков сорных растений: одуванчика обыкновенного (*Taraxacum officinale*), мари белой (*Chenopodium album*) и плевела многолистного (*Lolium perenne*). Установлено, что 2%-ные водные экстракты исследуемых МО отмечают высокой аллелопатической активностью, содержат ингибиторы роста и представляются перспективными для создания биогербицидов.

Одним из наиболее эффективных методов извлечения аллелохимикалий из растений является приготовление водных вытяжек, которое производилось по методике Гродзинского [8].

Тест на прорастание семян редиса сорта Красный с белым кончиком позволил определить содержание водорастворимых колинов в водных экстрактах МО. Семена высевались по 50 семян редиса сорта Красный с белым кончиком в каждую чашку Петри и подвергались воздействию водных экстрактов. Одна проба была контрольной: семена прорастивались в дистиллированной воде. В результате трехкратного измерения числа проросших семян редиса сорта Красный с белым кончиком за 15 ч были получены следующие значения (таблица 2.10).

Все пробы, подвергшиеся влиянию вытяжек, имеют меньшее число проросших семян, чем в контроле. Исходя из этого можно предположить, что развитие семян редиса тормозится любым из 4-х опытных растворов.

Таблица 2.10

Число проросших семян редиса сорта Красный с белым кончиком, ед.

Salvinia n.			Pistia st.			Eichhornia cr.			Myriophyllum sp.			контроль		
I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
16	17	16	11	8	10	19	17	18	25	22	21	30	38	41

Воспользовавшись шкалой (рис. 1.3), составленной Гродзинским к этому тесту, определено какое количество тормозящих веществ (в условных кумариновых единицах) содержалось в каждой вытяжке (таблица 2.11).

Таблица 2.11

Количество УКЕ в вытяжке, % к проросшим семенам контроля (тест Гродзинского)

Вид	I	II	III	Среднее значение	Прорастание семян редиса, % от контроля	Содержание УКЕ
Salvinia natans	16	17	16	16,33	32,67	160,0
Pistia stratiotes	11	8	10	9,67	19,33	310,0
Eichhornia crassipes	19	17	18	18,0	36,0	137,5
Myriophyllum sp.	17	17	16	16,66	33,3	159,0

Меньше всего семян проросло в вытяжках пистии, а больше всего в вытяжках урути колосовой, сальвинии плавающей, эйхорнии. В общем вытяжки всех исследованных растений оказывали ингибирующий эффект, подавляя прорастание семян. Экстракты пистии практически полностью подавляли развитие тест-объектов по сравнению с контролем, имели высокие показатели содержания тормозителей роста (310 УКЕ).

В 2023 году продолжена работа по изучению аллелопатической активности водных вытяжек МО в отношении прорастания семян и роста инвазивных видов: борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) и люпина многолистного (*Lupinus polyphyllus*).

Семена борщевика Сосновского были собраны на территории, прилегающей к Воскресенскому пруду, в осенний период 2023 года. Семена борщевика подвергались искусственной стратификации в биогеле при температуре 8-10⁰С в течение 40 суток. Далее семена высевались по 10 единиц в почвогрунт «Универсальный» в чашки Петри в трех повторностях. В каждую чашку Петри добавлялось по 7 мл экстракта (2%-ный водный раствор)

МО, в контрольные чашки – по 7 мл дистиллированной воды.

Через 22 суток после постановки опыта для оценки влияния водорастворимых аллелопатически активных веществ измерялась длина подсемядольного колена — гипокотилия, а также корня. На основе полученных данных рассчитан индекс аллелопатической активности (далее – ИАА) каждого вида. Отрицательное значение ИАА указывает на ингибирующий эффект, тогда как положительное его значение указывает на стимулирующий эффект (таблица 2.12).

Исходя из полученных данных выявлено, что вытяжки водных растений оказывают угнетающее действие на рост и развитие борщевика Сосновского.

Таблица 2.12

Влияние водных вытяжек МО на всхожесть семян борщевика Сосновского

Показатель активности	Salvinia n.	Pistia st.	Eichhornia cr.	Myriophyllum sp.	контроль
Всхожесть, %	16,7	6,7	36,7	20,0	56,7
Средняя длина корня, мм	4,94	4,35	5,19	5,1	5,41
Средняя длина гипокотилия, мм	7,12	6,6	6,62	7,38	7,61
Средняя длина проростка, мм	12,06	10,95	11,81	12,48	12,57
ИАА	-0,04	-0,13	-0,06	-0,01	

Семена люпина высевались по 20 единиц высевались в чашки Петри в трех повторностях. Через 12 суток после постановки опыта для оценки влияния водорастворимых аллелопатически активных веществ измерялась длина гипокотилия и корня. На основе полученных данных рассчитан ИАА каждого вида (таблица 2.13).

Таблица 2.13

Влияние водных вытяжек МО на всхожесть семян люпина многолистного

Показатель активности	Salvinia n.	Pistia st.	Eichhornia cr.	Myriophyllum sp.	контроль
Всхожесть, %	41,7	33,3	33,3	33,3	70,0
Средняя длина корня, мм	2,64	1,87	3,61	3,13	3,42
Средняя длина гипокотилия, мм	2,34	2,65	2,67	2,57	3,24
Средняя длина проростка, мм	4,98	4,52	6,28	5,7	6,66
ИАА	-0,25	-0,32	-0,06	-0,14	

Экстракт пистии практически полностью угнетает развитие тест-объектов по сравнению с контролем, имеет высокий показатель ИАА (-0,13).

Обсуждение и направления дальнейших исследований

- экологическое состояние исследуемых прудов в летний период с 2019 по 2023 годы не претерпевало существенных изменений и продолжало оставаться устойчиво стабильным;
- пруд, прилегающий к Ленинградскому шоссе, относится к практически незагрязненным водоемам, т.к. он является временным выходом на поверхность р. Грачёвки, которая проходит в коллекторе, минуя антропогенные зоны. Это подтверждается большим

числом встреченных индикаторных видов, так как биоразнообразие является показателем устойчивости биологических систем;

- Воскресенский пруд оказывает острое токсическое действие на дафний и хирономид и относится к «загрязненным» и «грязным» водоемам. Превышение ПДКв фосфатов и сульфатов могут определять процессы гниения, вызванные поступлением в пруд хозяйственно-бытовых стоков, смыва удобрений и ядохимикатов с территории дачных участков;

- Верескинский пруд относится к «умеренно загрязненным» и «умеренно токсичным» водоемам.

- пшеница и хирономиды являются наиболее чувствительными тест-объектами;

- наиболее чувствительным к загрязнению воды является метод альгоиндикации, который позволил обнаружить усиление загрязнения прудов;

- применение метода биоиндикации на колонках Виноградского дает возможность получить представление о степени загрязнения ДО серосодержащими соединениями;

- 2%-ные водные экстракты МО подавляют развитие инвазивных видов, отмечаются высокой аллелопатической активностью, содержат ингибиторы роста (137,5 – 310,0 УКЕ) и представляются перспективными для создания биогербицидов.

Моя цель была достигнута, подтвердились мои гипотезы. Полученные результаты дополняют проведенные исследования специалистами Ханчжоуского университета в 2023 году. Ими изучен механизм аллелопатического воздействия урути колосовой и валлиснерии на цианобактерии, вызывающие эвтрофикацию водоемов [1].

Будущие цели проекта: разработать способ очистки воды с помощью биоплато свободноплавающих высших водных растений-оксигенаторов (далее – ВВР) с перспективой масштабирования (на примере реки Сосенка). На текущий момент реализован первый этап проекта (выявлено загрязнение реки биогенными азотными соединениями), проведен анализ существующих решений и методов, обзор литературы, обозначены шаги и время на реализацию, результаты, рассчитаны ресурсы, дорожная карта, технико-экономическое обоснование проекта (далее – ТЭО), план управления рисками.

Выводы

Выводы соответствуют поставленным задачам, а именно:

- определена степень загрязненности воды по гидрохимическому составу;
- установлен уровень сапробности прудов с использованием индикаторных видов зообентоса, макрофитов и водорослей;
- установлен уровень токсичности ДО методом биотестирования с помощью дафний и хиромонид и фитотестирования с помощью пшеницы и редиса;

- изучены бактериальные сообщества ДО прудов по колонкам Виноградского;
- определен уровень токсичности воды и смывов с листьев деревьев, прилегающих к прудам территорий, методом биотестирования с помощью иммобилизованных ферментов биolumинесцентных бактерий;
- определена степень аллелопатической активности МО: пистии, эйхорнии, сальвинии плавающей, урути колосовой и проведена оценка влияния их водных вытяжек на рост и развитие борщевика Сосновского и люпина многолетнего.

Список литературы

1. Xinjie Li, Wenjing Zhao. Dosage impact of submerged plants extracts on *Microcystis aeruginosa* growth: From hormesis to inhibition // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – China: Hangzhou Normal University – 2023.
2. Ашихмина Т.Я. Школьный экологический мониторинг. Учебно-методическое пособие. – М.: АГАР, 2000. – 386 с.
3. Бахмет О.Н. и др. Инвазивные растения и животные Карелии. – Петрозаводск : Марков Н.А., 2021. – 223с. :ил.
4. Белюченко И.С., Федоненко Е.В. Биомониторинг состояния окружающей среды: учебное пособие. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 153 с.; илл.; приложения.
5. Вайсман Я. И. Использование водных растений для доочистки сточных вод / Я. И. Вайсман, Л. В. Рудакова, Е. В. Калинина // *Экология и промышленность России*. – 2006. – № 11. – С. 9–11.
6. Гимаева Э. А. Комплексный анализ динамики состояния р. Химка с предложением использования ВВР для ее доочистки // Сборник тезисов «Гениальные мысли» (ВППШ'2024). – Москва: МГУ, 2024, с.31; То же [Электронный ресурс] URL: https://enanos.nanometer.ru/uploads/docs/vpsh/2024_VPSh_booklet.pdf (Дата обращения 30.06.2024).
7. Гимаева, Эмилия. Комплексный контроль состояния прудов городского округа Химки / Эмилия Гимаева, Н. Ю. Шульженко. — Текст : непосредственный // *Юный ученый*. — 2021. — № 11 (52). — С. Т.1. 8. — URL: <https://moluch.ru/young/archive/52/2283/> (дата обращения: 22.01.2025).
8. Гродзинский А.М. Аллелопатия растений и почвоутомление. Избранные труды/ А.М. Гродзинский. – Киев: Наукова думка, 1991. – 432 с.
9. Доклад «Социально-экономическое положение России», январь-сентябрь 2024 года. – Москва: Минэкономразвития России Росстат, 2024. – 322 с.

10. Заводская О.Ф., Копнина А.Ю. Очистка воды, загрязненной различными компонентами, с помощью урути мутовчатой // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара: Изд-во СГТУ – 2013. – Том 15. №3(6) – С. 1171-1174
11. Зубов В.И. Очерки экологии Подмосковья. Учебное пособие/Под редакцией В.И. Зубова – М.: МПУ, 1998. – 240 с.
12. Зуева Н.В., Алексеев Д.К., Куличенко А.Ю., Примак Е.А., Зуев Ю.А., Воякина Е.Ю., Степанова А.Б. Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах: учебное пособие для высших учебных заведений. – СПб.: РГГМУ, 2019. – 140 с.
13. Казмирук В.Д. Охрана и очистка вод методами фитотехнологий / В.Д. Казмирук, Т.Н. Казмирук // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года»: сборник научных трудов Всероссийской научной конференции, Петрозаводск, 6–11 июля 2015 г. / Институт водных проблем РАН, Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН. – 2015. – С. 294–301.
14. Количество экстремальных загрязнений рек и водоемов возросло в полтора раза [Электронный ресурс] URL: <https://finexpertiza.ru/press-service/researches/2024/kol-ekstr-zagr-rek-vozroslo/?ysclid=m1ko82uqsp350475840> (Дата обращения 30.09.2024).
15. Колосова Е. М. Рабочая тетрадь и методические указания для учащихся «Биолюминесцентный экологический практикум» / Е. М. Колосова, А. А. Самойлова, Н. В. Римацкая, В. А. Кратасюк; Сургут. гос. ун-т. – Сургут: ИЦ СурГУ, 2021. – 31 с.
16. Кондратьев М.Н. Физиолого-экологические механизмы инвазивного проникновения борщевика Сосновского (*Heracleum sosnowskyi* Manden) в неиспользуемые экосистемы / М.Н. Кондратьев, С.Н. Бударин, Ю.С. Ларикова // Известия ТСХА. – 2015. – №2. – С. 36-49.
17. Лебедев С. И. Физиология растений. - М: Агропромиздат. — 1988 г. – 544 с.
18. Мансурова С.Е., Кокуева Г.Н. Следим за окружающей средой нашего города. Школьный практикум. – М.: ВЛАДОС, 2001 – 112 с.: ил.
19. Мелехова О.П., Егорова Е.И., Евсеева Т.И. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. Учебное пособие. – М.: Академия, 2007. – 288 с.
20. Методика измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных грунтов (М-П–2006 ФР.1.39.2006.02264). – Санкт-Петербург, 2009. – 19 с.
21. Муравьев А.Г., Пугал Н.А., Лаврова В.Н. Экологический практикум: Учебное пособие с комплектом карт-инструкций / Под ред. к.х.н. А.Г. Муравьева. – СПб.: Крисмас+, 2003. – 176 с.: ил.
22. Никифорова Ю. Ю. Статистические методы в экологии и природопользовании: учеб. пособие / под. общ. ред. И. С. Белюченко. – Краснодар: КубГАУ, 2019. – 88 с.

23. Плавильщиков Н.Н. Жизнь пруда. Школьная библиотека. – РСФСР, Москва, 1952.
24. ПНД Ф Т 14.1:2:4.12-06. Методика определения острой токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод по смертности дафний. - Москва, 2011
25. Постановление Администрации Московской области г.о. Химки от 26.05.2023 № 878 «Об утверждении реестра пожарных водоемов, расположенных на территории городского округа Химки Московской области, и мест забора воды с открытых водоисточников для целей пожаротушения»
26. Постников Д.А., Чинина Н.В. Локальный мониторинг водной экосистемы Бутаковского залива в г. Химки: Известия ТСХА, выпуск 1, 2004. – С.40 – 47.
27. Раздел «Охрана окружающей среды». Пояснительная записка. Разработка проекта генерального плана городского округа Химки. – ЗАО НИИПНИ экологии города, Москва, 2013. – 190 с.
28. Райс Э. Л. Аллелопатия. Пер. с англ. под ред. А.М. Гродзинского. – М.: Мир, 1978. – 392 с.
29. РД 52.24.635-2002. Методические указания. Проведение наблюдений за токсическим загрязнением донных отложений в пресноводных экосистемах на основе биотестирования. – Росгидромет, Москва, 2002 – 39 с.
30. Романенко В.Д. Основы гидроэкологии. Учебное пособие. – К.: Генеза, 2004. – 664 с.
31. Садчиков А.П., Кудряшов М.А. Экология прибрежно-водной растительности: учебное пособие. – М.: Изд-во НИА-Природа, РЭФИА, 2004. – 220 с.: 15 ил.
32. Симагина Н.О., Лысякова Н.Ю. Динамика аллелопатической активности *Vulpurum fruticosum* L. в течение вегетации и онтогенеза // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». Том 24 (63) / Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь 2011. – № 4. – С. 273-281.
33. Соловьева В.В., Лапиров А.Г. Гидробиотаника: Учебное пособие. – Самара: ПГСГА, 2013. – 354 с.; ил.
34. Храмцова Т. Г. Использование макрофитов для доочистки городских сточных вод / Т. Г. Храмцова, Д. И. Стом, В. А. Выгода // Проблемы экологии. – 1995. – Вып. 2. – С. 260–262.
35. Чернявская М.И. Экологическая микробиология: учеб.-метод. пособие / М. И. Чернявская [и др.]. – Минск: БГУ, 2016. – 63 с.
36. Чертопруд М.В. Биоиндикация качества водоемов по составу сообществ беспозвоночных. – М.: МГСЮН, 2007. – 24 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ТАБЛИЦЫ

Таблица 1

Индикаторные группы беспозвоночных животных в 2020 году

Пруд вблизи ЛШ	S	J	Воскресенский пруд	S	J	Верескинский пруд	S	J
Личинка ручейника – Гидропсиха	2,0	1,0	Гладыш	3,0	2,0	Личинка стрекозы - Стрелка	3,5	1,0
Горошинки	2,0	1,0	Клоп - Плавт	3,0	3,0	Пиявка улитковая	2,5	2,0
Личинка стрекозы - Красотка	2,5	2,0	Трубочник	4,0	2,0	Брюхоногие - Битинии	2,5	1,0
Личинка стрекозы - Бабка	2,0	2,0	Личинка жука - Трясинник	2,0	1,0	Брюхоногие - Катушки	3,0	1,0
Личинка жука - Водолюб	3,0	1,0	Личинка мошки	2,0	1,0	Брюхоногие - Прудовики	2,5	1,0
Клоп – Гребляк	2,5	1,0	Личинка жука - Водолюб	3,0	1,0	Брюхоногие - Физы	3,0	1,0
Личинка жука - Плавунец	2,5	1,0				Брюхоногие - Живородки	2,5	1,0
Личинка подёнки - Клоен бетис	2,0	1,0				Личинка стрекозы - Коромысло	3,0	3,0
						Личинка жука - Водолюб	3,0	1,0
						Клоп - Гладыш	3,0	2,0
						Клоп - Гребляк	2,5	1,0
						Рыбья пиявка	2,5	2,0
						Малая ложноконская пиявка	3,0	2,0
						Водяной ослик	3,0	2,0
						Личинка стрекозы - Плосконожки	3,0	2,0

Таблица 2

Индикаторные группы беспозвоночных животных в 2023 году

Пруд вблизи ЛШ	S	J	Воскресенский пруд	S	J	Верескинский пруд	S	J
Личинка ручейника – Гидропсиха	2,0	1,0	Личинка стрекозы - Плосконожки	3,0	2,0	Пиявка улитковая	2,5	2,0
Личинка подёнки – Гептагения	2,0	1,0	Брюхоногие - Прудовики	2,5	1,0	Брюхоногие - Катушки	3,0	1,0
Личинка стрекозы - Красотка	2,5	2,0	Брюхоногие - Катушки	3,0	1,0	Брюхоногие - Прудовики	2,5	1,0
Личинка стрекозы - Бабка	2,0	2,0	Трубочник	3,0	3,0	Брюхоногие - Физы	3,0	1,0
Клоп – Гребляк	2,5	1,0		4,0	2,0	Двустворчатые - Шаровки	2,5	1,0
Личинка жука - Плавунец	2,5	1,0				Клоп - Гладыш	3,0	2,0
Личинка подёнки – Клоен	2,0	1,0				Большая ложноконская пиявка	3,0	2,0
						Водяные змейки	2,5	2,0

Продолжение таблицы 2

					Личинка стрекозы - Коромысло	3,0	3,0
					Малая ложноконская пиявка	3,0	2,0
					Водяной ослик	3,0	2,0
					Личинка стрекозы - Плосконожки	3,0	2,0

Таблица 3

Список видов – индикаторов сапробности (по М.В. Чертопруду)

ИНДИКАТОРНЫЙ ВИД	S	J	ИНДИКАТОРНЫЙ ВИД	S	J	ИНДИКАТОРНЫЙ ВИД	S	J
СТРЕКОЗЫ			РУЧЕЙНИКИ			ВИСЛОКРЫЛКИ		
Красотки	2.5	2.0	Стремнинные р., Риакофила	1.0	4.0	Вислокрылка	2.0	1.0
Плосконожки	3.0	2.0	Гидропсиха	2.0	1.0	РАКООБРАЗНЫЕ		
Стрелки	3.5	1.0	Арктопсихиды	1.0	3.0	Водяной ослик	3.0	2.0
Лютки	3.0	3.0	Плетущие р., Плектрокнемия	1.5	2.0	Бокоплав	2.5	2.0
Коромысла	3.0	3.0	Психеи	2.0	3.0	Раки	2.0	2.0
Бабки	2.0	2.0	Пухотелые р.	2.0	2.0	БРЮХОНОГИЕ		
Настоящие стрекозы	3.0	3.0	Языковые р.	0.5	4.0	Речная чашечка	1.5	2.0
Дедки	2.0	3.0	Шелкоротые р.	1.5	2.0	Озерная чашечка	2.5	1.0
Булавобрюхи	1.5	3.0	Отмелевые р.	2.0	2.0	Прудовики	2.5	1.0
ПОДЕНКИ			Тонкоусые р.	2.5	2.0	Витушки, катушка роговая	2.5	1.0
Настоящие п.	1.5	2.0	Стеблерубы	2.0	2.0	Физы, пузырчатые улитки	3.0	1.0
Прибрежные п.	2.0	2.0	Чешуеротые р.	1.5	2.0	Катушки	3.0	1.0
Речные п.	2.0	3.0	Моллана, Щитконосец	2.0	2.0	Живородки, лужанки	2.5	1.0
Семидневные п., Гептагения	2.0	1.0	Фриганоиды	2.5	2.0	Битинии	2.5	1.0
Двухкрылые п., Клоен бетис	2.0	1.0	Прибрежные р.	1.0	4.0	Затворки	3.0	1.0
Длиннолапые п.	2.5	2.0	Апатанииды	0.5	4.0	Лунки	2.0	2.0
Двухвостые п.	1.0	2.0	Настоящие р., Лимнефилы	2.0	1.0	Литоглифы	2.5	1.0
Амелетиды	0.5	4.0	ЖУКИ			ДВУСТВОРЧАТЫЕ		
Тонкожилковые п., Лептофлебия	1.5	1.0	Вертячка	2.5	1.0	Перловица	2.5	1.0
Малые п.	2.0	3.0	Плавунцовые	2.5	1.0	Дрейссена	2.5	1.0
Грязевые п. (Ценис, Орделя)	2.5	3.0	Плавунчики	2.5	1.0	Шаровки	2.5	1.0

Продолжение таблицы 3

ВЕСНЯНКИ			Нырялки	2.5	1.0	Горошинки	2.0	1.0
Длиннохвостые в.	1.0	4.0	Морщинники	3.0	1.0	Эвглесиды	2.5	1.0
Салатовые в.	1.0	3.0	Водолюбы	3.0	1.0	ПИЯВКИ		
Лентокрылые в.	1.5	3.0	Влаголюбы	3.0	1.0	Большая ложноконская, Медицинская	3.0	2.0
Немура	2.0	1.0	Водобродки	2.0	1.0	Малая ложноконская	3.0	2.0
Белокрылые в.	1.0	3.0	Речники	1.5	2.0	Улитковая	2.5	2.0
Короткохвостые в.	1.0	3.0	Прицепыши	2.5	1.0	Рыбья	2.5	2.0
КЛОПЫ			Листоеды	3.0	1.0	ОЛИГОХЕТЫ		
Водяной скорпион, Ранатра	2.5	2.0	Трясинники	2.0	1.0	Водяные змейки	2.5	2.0
Гладыш	3.0	2.0	ДВУКРЫЛЫЕ			Трубочники	4.0	2.0
Плавт	3.0	3.0	Мошки	2.0	1.0			
Водяной клоп, Речник	2.0	4.0	Мухи	3.0	2.0			
Плеида	2.5	3.0	Вилохвостка	2.0	3.0			
Гребляк	2.5	1.0						

Обозначения: S – сапробность, J – индикаторный вес вида.

Таблица 4
Виды прибрежно-водной растительности прудов в 2019 году

Пруд вблизи ЛШ	Воскресенский пруд	Верескинский пруд
Вейник наземный	Аир болотный	Вейник наземный
Горец земноводный	Борщевик Сосновского	Кубышка желтая
Ежеголовник	Лютик ядовитый	Манник большой
Лапчатка гусиная	Многокоренник обыкновенный	Рдест разнолистный
Осока	Рогоз широколистственный	Ряска малая
Пузырчатка обыкновенная	Ряска горбатая	Тростник обыкновенный
Рдест блестящий	Ряска малая	Хвощ речной
Рогоз широколистственный		Черда поникшая
Роголистник темно-зеленый		Щавель водный
Ряска тройчатая		
Ситняг болотный		
Тростник обыкновенный		
Хвощ речной		
Частуха обыкновенная		

Таблица 5
Виды прибрежно-водной растительности прудов в 2023 году

Пруд вблизи ЛШ	Воскресенский пруд	Верескинский пруд
Вех ядовитый	Белокрыльник болотный	Аир обыкновенный
Горец земноводный	Борщевик Сосновского	Вейник наземный
Ежеголовник	Многокоренник обыкновенный	Канареечник тростниковидный
Жерушник земноводный	Рогоз широколистственный	Кубышка желтая

Лапчатка гусиная	Роголистник темно-зеленый	Манник большой
Осока	Ряска малая	Пузырчатка обыкновенная
Пузырчатка обыкновенная	Ряска тройчатая	Роголистник темно-зеленый
Рдест блестящий	Сныть обыкновенная	Ряска малая
Риччия плавающая		Тростник обыкновенный
Роголистник темно-зеленый		Цицания широколистная
Ряска малая		
Ряска тройчатая		
Ситняг болотный		
Стрелолист обыкновенный		
Тростник обыкновенный		
Частуха обыкновенная		

Таблица 6

Индикаторные группы обнаруженных растений-макрофитов в 2019 году

Пруд вблизи ЛШ	S	h	Воскресенский пруд	S	h	Верескинский пруд	S	h
Хвощ речной	0,8	5	Ряска горбатая	2	3	Рдест разнолистный	1,7	1
Рдест блестящий	1,4	5	Ряска малая	2,25	5	Кубышка желтая	1,7	3
Роголистник темно-зеленый	1,9	3	Многокоренник обыкновенный	2	1	Ряска малая	2,25	5
Пузырчатка обыкновенная	1,8	1				Хвощ речной	0,8	1
Ряска тройчатая	1,8	3						
Горец земноводный	1,75	1						

Таблица 7

Индикаторные группы обнаруженных растений-макрофитов в 2023 году

Пруд вблизи ЛШ	S	h	Воскресенский пруд	S	h	Верескинский пруд	S	h
Ряска тройчатая	1,8	1	Ряска малая	2,25	5	Пузырчатка обыкновенная	1,8	1
Пузырчатка обыкновенная	1,8	1	Многокоренник обыкновенный	2	3	Ряска малая	2,25	3
Стрелолист обыкновенный	1,4	3	Роголистник темно-зеленый	1,9	3	Роголистник темно-зеленый	1,9	1
Ряска малая	2,25	1	Ряска тройчатая	1,8	1	Кубышка желтая	1,7	1
Риччия плавающая	1,3	5						
Рдест блестящий	1,4	3						
Горец земноводный	1,75	1						

Таблица 8

Макрофиты-индикаторы в системе сапробности (по Сладечеку)

Вид	s	x	o	β	α	P	I	S
Водокрас лягушачий	β-o	-			-	-		1,5
Горец земноводный	β	-				-		1,75
Кубышка желтая	β-o	-			-	-		1,7
Кувшинка белая	β-o	-			-	-		1,4
Маршанция изменчивая	o				-	-		1,0
Многокоренник обыкновенный	β	-				-		2,0
Пузырчатка обыкновенная	β	-			-	-		1,8
Рдест разнолистный	β	-			-	-		1,7
Рдест пронзеннолистный	β	-			-	-		1,7
Рдест блестящий	β-o	-			-	-		1,4
Рдест курчавый	β	-			-	-		1,8
Риччия сизая	o	-			-	-		1,3
Риччия плавающая	o	-			-	-		1,3
Риччио карпусплавающий	o	-			-	-		1,2
Роголистник темно-зеленый	β	-			-	-		1,9
Ряска горбатая	β	-				-		2,0
Ряска малая	β	-				-		2,25
Ряска тройчатая	β-o	-			-	-		1,8
Сальвиния плавающая	o	-			-	-		1,1
Стрелолист обыкновенный	β-o	-			-	-		1,4
Сфагнум	o	-		-	-	-		1,0
Уруть колосистая	β	-			-	-		1,8
Хвощ речной	o			-	-	-		0,8
Элодея канадская	β	-				-		1,85

Таблица 9

Выявленные таксоны водорослей в 2023 году

Пруд вблизи ЛШ	Воскресенский пруд	Верескинский пруд
Characium sp.	Chlamydomonas simplex	Aspidisca sp.
Chlorococcum sp.	Chlorogloea sp.	Chlorella vulgaris
Diatoma sp.	Cylindrospermum sp.	Chlorococcum sp.
Pinnularia sp.	Microcoleus sp.	Euglena sp.
Stylonichia sp.	Nostoc sp.	Navicula sp.
Tetracystis sp.	Oscillatoria sp.	Phormidium sp.
Ulothrix sp.	Stigonema sp.	Plectonema sp.
		Synedra sp.

Таблица 10

Индикаторные таксоны обнаруженных водорослей

Пруд вблизи ЛШ	j	s	Воскресенский пруд	j	s	Верескинский пруд	j	s
Diatoma sp.	3	1,5	Nostoc sp.	5	2,0	Chlorella vulgaris	3	3,6
Pinnularia sp.	2	1,1	Oscillatoria sp.	2	2,8	Synedra sp.	3	1,85
Stylonichia sp.	3	1,5	Chlamydomonas simplex	4	2,3	Navicula sp.	3	1,5
Ulothrix sp.	2	1,9				Chlorococcum sp.	4	2,0
						Phormidium sp.	1	1,95

Таблица 11

Критерии степени токсичности техногенно загрязненных донных отложений

Степень токсичности	Степень изменения всхожести семян по сравнению с контролем, N1, %	Степень изменения длины корня по сравнению с контролем, N2, %
V – практически не токсичные	$0 < N1 \leq 20$	$0 < N2 \leq 20$
IV – малотоксичные	$0 < N1 \leq 20$	$20 < N2 \leq 50$
III – умеренно токсичные	$20 < N1 \leq 70$	$50 < N2 \leq 70$
II – опасно токсичные	$70 < N1 < 100$	$70 < N2 < 100$
I – высоко опасно токсичные	$N1=100$	$N2=100$

Таблица 12

Оценка степени токсичности донных отложений с помощью редиса в 2019 году

Образцы отобранных донных отложений	Высота побега, см			Степень изменения высоты побега по сравнению с контролем, %	Длина корней, см			Степень изменения длины корня по сравнению с контролем, N2, %	Всхожесть, %	Степень изменения всхожести семян по сравнению с контролем, N1, %
	мин.	макс.	сред.		мин.	макс.	сред.			
Пруд вблизи ЛШ	0,2	4,5	3,26	2	1,5	25,5	13,58	2	85,0	15
Воскресенский пруд	1,5	3,5	2,57	22	2,5	8,5	5,87	58	35,0	65
Верескинский пруд	2,5	4,5	3,07	7	1,0	15,0	5,95	57	60,0	40
Контроль (песок)	0,5	3,5	3,31		1,5	26,5	13,82		100,0	

Таблица 13

Оценка степени токсичности донных отложений с помощью редиса в 2023 году

Образцы отобранных донных отложений	Высота побега, см			Степень изменения высоты побега по сравнению с контролем, %	Длина корней, см			Степень изменения длины корня по сравнению с контролем, N2, %	Всхожесть, %	Степень изменения всхожести семян по сравнению с контролем, N1, %
	мин.	макс.	сред.		мин.	макс.	сред.			
Пруд вблизи ЛШ	1	4	2,56	2	1	14	5,53	3	83,6	9
Воскресенский пруд	0,3	2	1	62	0,1	5	1,2	79	38,2	58
Верескинский пруд	0,5	4	2,31	12	1	11	5,06	11	85,5	7
Контроль (песок)	0,5	4	2,62		0,5	15	5,68		91,7	

Таблица 14

Оценка степени токсичности донных отложений с помощью пшеницы в 2019 году

Образцы отобранных донных отложений	Высота побега, см			Степень изменения высоты побега по сравнению с контролем, %	Длина корней, см			Степень изменения длины корня по сравнению с контролем, N2, %	Всхожесть, %	Степень изменения всхожести семян по сравнению с контролем, N1, %
	мин.	макс.	сред.		мин.	макс.	сред.			
Пруд вблизи ЛШ	1,1	4,6	2,66	7	2,5	6,6	4,61	5	86,7	7
Воскресенский пруд	0,3	3,7	2,23	22	1,4	5,0	3,76	23	66,7	29
Верескинский пруд	1,2	3,3	2,35	18	2,0	5,0	3,85	21	73,3	21
Контроль (песок)	1,5	4,2	2,87		2,8	7,0	4,86		93,3	

Таблица 15

Оценка степени токсичности донных отложений с помощью пшеницы в 2023 году

Образцы отобранных донных отложений	Высота побега, см			Степень изменения высоты побега по сравнению с контролем, %	Длина корней, см			Степень изменения длины корня по сравнению с контролем, N2, %	Всхожесть, %	Степень изменения всхожести семян по сравнению с контролем, N1, %
	мин.	макс.	сред.		мин.	макс.	сред.			
Пруд вблизи ЛШ	3	12,5	8,13	26	1,5	9	6,31	5	41,7	19
Воскресенский пруд	0	0	0	100	0	0	0	100	0,0	100
Верескинский пруд	0,4	9,5	3,67	67	0,05	4,8	1,72	74	28,3	45
Контроль (песок)	7,3	13,5	10,99		2,5	12	6,65		51,7	

Перечень основных предприятий и объектов на территории г.о. Химки [27]

№ пп	Наименование	Адрес	Выпускаемая продукция	Размер СЗЗ, м (в скобках – наименование производства по классификации СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03)
1.	ОАО «НПО «Энергомаш»	ул. Бурденко,	Жидкостные ракетные двигатели космических ракет	500 (Производство воздушных судов, техническое обслуживание)
2.	ООО «НПФ АКАр»	ул. Заводская,	Производство медицинских и промышленных газов, в т. ч. ацетилена	1000 (Производство ацетилена из углеводородных газов и продуктов на его основе)
3.	ООО «Виктория»	ул. Бурденко,	Изготовление комплектующих по ракетной тематике, выпуск потребительских товаров	500 (Производство воздушных судов, техническое обслуживание)
4.	ООО «КОНВЭМ»	ул. Бурденко,	Изготовление комплектующих по ракетной тематике	500 (Производство воздушных судов, техническое обслуживание)
5.	ФГУП «НПО им. Лавочкина»	ул. Ленинградская,	Космические спутники многоцелевого назначения.	500 (Производство воздушных судов, техническое обслуживание)
6.	ООО «Весна-Металл»	ул. Ленинградская,	Производство строительных конструкций	300. (Производство строительных деталей)
7.	ЗАО «Декарт»	ул. Ленинградская,	Производство лакокрасочной продукции	100 (Производство эмалей на конденсационных смолах)
8.	ОАО 55 ПК ФЛ ОАО «ГУОВ»	Лобненское шоссе, вл.5	Производство товарного бетона, бетонных конструкций и бетонных плит различного назначения	300 (Производство железобетонных изделий)
9.	ОАО «МКБ «Факел»	ул. Академика Грушина,	Ракеты для систем и комплексов ПВО	500 (Производство воздушных судов, техническое обслуживание)
10.	МКБ «Искра»	ул. Репина, д.6	Компоненты тактического ракетного вооружения	500 (Производство воздушных судов, техническое обслуживание)
11.	ООО «Лига» (Химкинский бетонный завод)	ул. Заводская, д.1	Производство товарного бетона и изделий из бетона.	300 (Производство железобетонных изделий)
12.	ТПК «Рус Упаковка	ул. Репина, д.6	Производство упаковки	50 (Производство изделий из пластмасс)
13.	ООО «АКЕЛА – Н»	мкр. Сходня, 1-й Мичуринский тупик, д.20	Производство медицинских газов	300 (Производство сжатого азота, кислорода)
14.	ООО «Первый ликероводочный завод»	Вашутинское ш., вл. 4 Б,	Производство ликероводочной продукции	100 (Ликероводочные заводы)
15.	«Доктор Берест М»	ул. Репина, д.6	Производство сувенирной продукции	50 (Производство изделий из пластмасс)
16.	ООО «ГЕМ»	ул. Заводская, д.1	Производство оборудование и мебели для игорных заведений	100 (Сборка мебели с лакировкой и окраской)
17.	НП ЦВТ «ХимРар»	ул. Рабочая, 2-а, корп. 1	Разработка лекарств и других продуктов тонкого органического синтеза	50 (Производство готовых лекарственных форм)
18.	ФГУП НПЦ «Фармзащита» ФМБА	Вашутинское шоссе, 11	Производство, разработка лекарственных препаратов	50 (Производство готовых лекарственных форм)

19.	ЭО при ИМБП РАН»	Вашутинское ш., д. 1 корп. 1	Научная деятельность в области разработки и производстве средств спасения	не требуется
20.	Группа компаний «ПАКС-металл»	микрорайон Сходня, ул. Горная, 21а	Производство металлической мебели и металлоизделий	50 (Производство металлоштамп.)
21.	АО «ОКТБ ИС»	микрорайон Сходня, ул. Первомайская, д. 56	Производство кварцевого стекла	100 (Стеклодувное, зеркальное производство, шлифовка и травка стекол)
22.	ООО «Экспериментально-механический завод»	Нагорное шоссе	Продукция для нефтеперерабатывающего производства, горнодобывающей, фармацевтической, строительной и лесозаготовительной отраслей.	100 (Машиностроительные предприятия с металлообработкой, покраской без литья)
23.	АО «Экспериментально-керамический завод»	Подрезково, Центральная, д. 2/5	Производство керамических изделий	300 (Производство кирпича (красного, силикатного), строительных керамических и огнеупорных изделий)
24.	АО «Крюгер-Гранд»	Сходня, ул. Железнодорожная, д. 8	Чаеразвесочная фабрика «Гранд»	50 (Чаеразвесочные фабрики)
25.	СМУ «Кислородмонтаж»	ул. Машенцева, д. 5А	Монтажное управление (монтаж химического и криогенного оборудования)	100 (Машиностроительные предприятия с металлообработкой, покраской без литья)
26.	ООО «НТС-Лидер»	Нагорное шоссе	Монтаж, ремонт труб и оборудования для нефтедобычи	100 (Машиностроительные предприятия с металлообработкой, покраской без литья)
27.	ООО «РИТМ»	ул. Гоголя, д. 9а	Изготовление дорожных знаков, светофоров и др.	100 (Производство приборов для электрической промышленности (электроламп, фонарей и т. д.) при отсутствии литейных цехов и без применения ртути)
28.	Химкинский ПДСК (Асфальтный завод)	Коммунальный проезд, Заводская, д. 1а	Производство асфальта, производственная база, хранение техники	500 (Производство асфальтобетона на стационарных заводах)
29.	Полигон ТБО	ул. Московская, д. 12.	Уборка территории, удаление и обработка твердых отходов	100 (Механизированные транспортные паркы по очистке города (КМУ) без ремонтной базы)
30.	Автоколонна № 000 филиала ГУП МО «Мострансавто»		Хранение, эксплуатация и техническое обслуживание автобусов	300 Автобусные паркы с ремонтной базой)
31.	ДСП и Д»	Сходня, ул. Некрасова, д.2	Продукция деревообработки	300 (Деревообрабатывающее производство)
32.	Полигон ТБО «Левобережный»	750 м северо-восточнее жилого микрорайона «Левобережный»	Складирование и захоронение ТБО	500 (Участки компостирования твердых бытовых отходов)
33.	Фабрика «Сходня Мебель»	Сходня, ул. Некрасова д.2	Производство мебели	100 (Сборка мебели с лакировкой и окраской)

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОЧИСТКИ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ БИОПЛАТО СВОБОДНОПЛАВАЮЩИХ МАКРОФИТОВ-ОКСИГЕНАТОРОВ С ПЕРСПЕКТИВОЙ МАСШТАБИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ СОСЕНКА)



Рис. 1. Точки отбора проб воды из реки Сосенка

Таблица 1
Определение химического состава вод, отобранных из р. Сосенка (от 05.07.19)

Показатели химического состава воды	№1	№2	№3	ПДКв
рН	7,5	7,5	8,0	8,5
Растворенный кислород, мг/л	6,0	8,0	4,0	4,0
Фосфаты, мг/л	2,0	0,25	3,0	3,5
Аммонийный азот, мг/л	0,1	0,5	6,0	1,5
Нитриты, мг/л	0,25	0,08	3,0	3,0
Нитраты, мг/л	50,0	10,0	80,0	45,0
Органическое загрязнение, ед.	ниже нормы	ниже нормы	выше нормы	норма

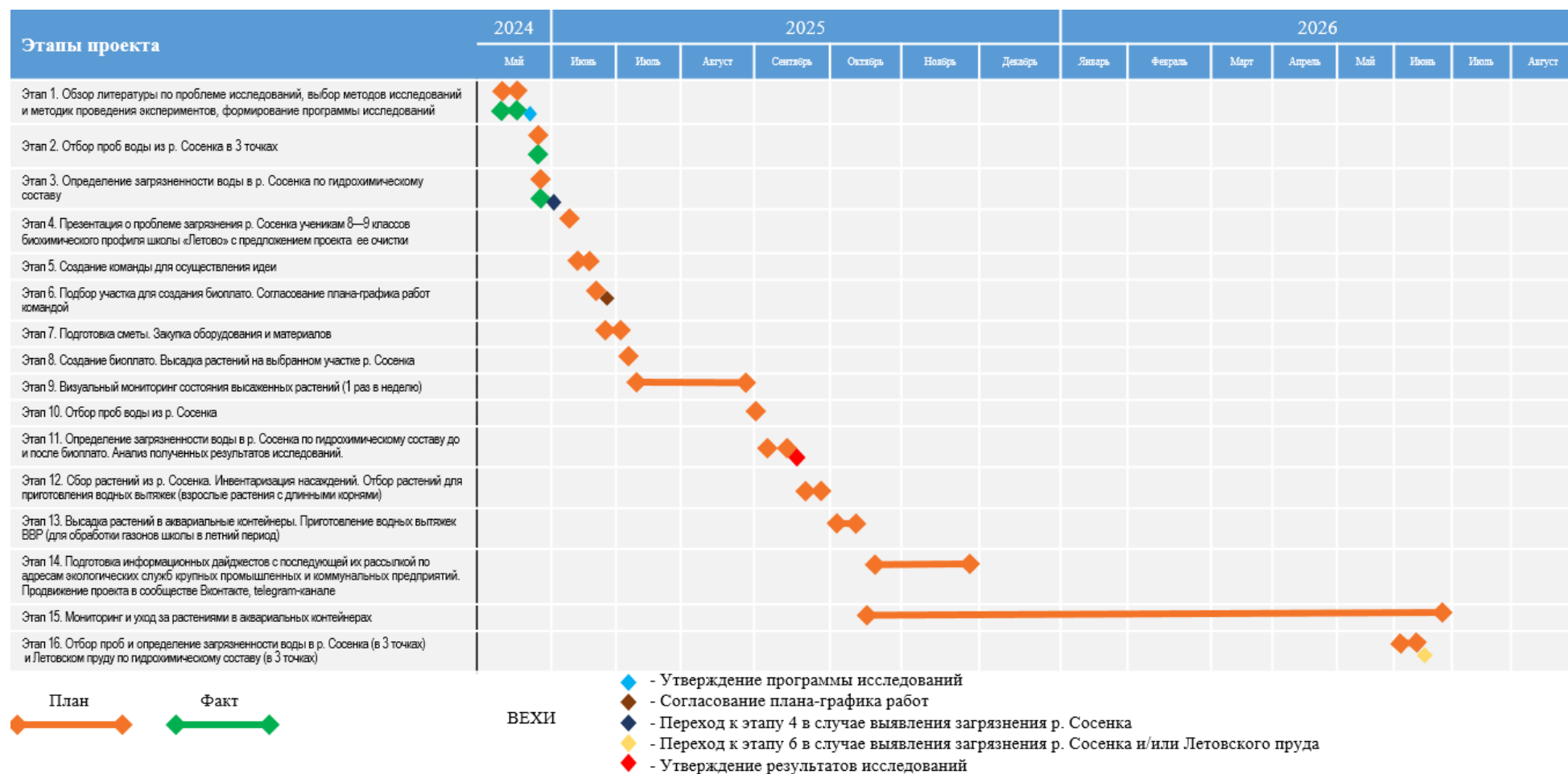


Рис. 2. Дорожная карта проекта по этапам

Таблица 2
Расчет стоимости ресурсов для будущего проекта

№	Название ресурса	Кол-во	Стоимость единицы, руб.	Сумма, руб.	Источник
1	Пистия телорезовидная	10	50,0	500,0	https://www.avito.ru/moskva/akvarium/prodam_akvariumnuyu_pistiyu_4267610518
2	Эйхорния толстоножковая	10	100,0	1 000,0	https://www.avito.ru/moskva/akvarium/akvariumnye_rasteniya_3547930369
3	Сальвиния плавающая	10	100,0	1 000,0	https://www.avito.ru/moskva/akvarium/salviniya_plavayuschaya_3996828221
4	VladOx профессиональный набор из 7-ти тестов (gH, kH, pH, NO ₂ , NO ₃ , NH ₃ /4, PO ₄)	1	2 054,0	2 054,0	https://www.ozon.ru/product/vladox-professionalnyy-nabor-iz-7-ti-testov-gh-kh-ph-no2-no3-nh3-4-po4-312059341/reviews/
5	Фильтр обеззоленный "Белая лента" d-90 мм	100	3,3	330,0	https://www.ozon.ru/product/filtr-obezzolennyy-belaya-lenta-d-90-mm-726509037/
6	Воронка лабораторная стеклянная В-100-150 мм	10	300,0	3 000,0	https://stoparik.pf/products/voronka-steklyannaya-v-100-150-mm?ysclid=m1f59x86an458564341
7	Весы электронные карманные МН-500 высокой точности с диапазоном измерения 0,1 гр - 500 гр.	1	344,0	344,0	https://market.yandex.ru/product-vesy-elektronnye-karmannye-mh-500-vysokoi-tochnosti-s-diapazonom-izmereniia-0-1-gr-500-gr/1809766244
8	Вода дистиллированная «Каждый день», 5 л	1	116,0	116,0	https://www.auchan.ru/product/kd-distilirovan-voda-d-avto-5l/
9	Горшок тканевый (мешок горшок) для растений с ручками, 127 л (60x45)	5	539,0	2 695,0	https://market.yandex.ru/product-gorshok-tkanevyi-meshok-gorshok-dlia-rastenii-s-ruchkami-62-5-l-100kh25kh25/77262668
10	Ящик универсальный Тех-Бокс 78.5x58.8x40.5 см с крышкой полипропилен цвет прозрачный, объем 150 л	10	2 228,0	22 280,0	https://leroymerlin.ru/product/yashchik-universalnyy-tex-box-785x588x405-sm-s-kryshkoy-polipropilen-cvet-prozrachnyy-89341437/
11	Сетка садовая, 1 x 10 м ячейка 1,5 x 1,5 см, чёрная, Greengo	1	1 057,0	1 057,0	https://www.ozon.ru/product/setka-sadovaya-1-10-m-yacheyka-1-5-1-5-sm-chernaya-greengo-233577120/
12	Защитная сетка для пруда и садовых растений PSPro Net 6x8 м	1	1 744,0	1 744,0	https://www.ozon.ru/product/zashchitnaya-setka-dlya-pruda-i-sadovyh-rasteniypspro-net-6h8-m-1206122109/
13	Компрессор для аквариума 150-250л, 2 выхода, с переключателем мощности	10	423,0	4 230,0	https://www.ozon.ru/product/kompressor-dlya-akvariuma-150-250l-2-vyhoda-s-pereklyuchatelem-moshchnosti-630609063/
14	Сачок для водорослей Pondtech Algae Net	1	2 315,0	2 315,0	https://www.ozon.ru/product/sachok-dlya-vodorosley-pondtech-algae-net-1422265227/
15	Фитолампа для растений, рассады, цветов светодиодная	10	337,0	3 370,0	https://www.ozon.ru/product/fitolampa-dlya-rasteniy-rassady-tsvetov-svetodiodnaya-fito-leek-15vt-898914393/
16	Wally Plastic Перчатки нитриловые, одноразовые, с добавлением винила, размер М, черного цвета, 100 штук (50 пар)	2	379,0	758,0	https://www.ozon.ru/product/wally-plastic-perchatki-nitrilovye-odnorazovye-s-dobavleniem-vinila-razmer-m-chemogo-tsвета-50-par-514883920/
17	Стоимость электроэнергии в год Компрессор 4 Вт	10	225,3	2 253,1	https://calcus.ru/energy?ysclid=lx9154g3xk702724727
18	Стоимость электроэнергии в год фитолампа 15 Вт	10	422,5	4 224,5	https://calcus.ru/energy?ysclid=lx9154g3xk702724727
19	Бесплатное ПО Telegram, Вконтакте	-	0	0	https://web.telegram.org https://vk.com
20	Учащиеся 8-9 классов школы Летово	-	0	0	https://letovo.ru
ИТОГО				53 270,6	

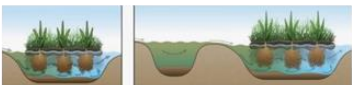
Таблица 3
Ожидаемые результаты от будущего проекта

Шаг	Время	Результат
1 Определение научного аппарата исследования	14 дней	Сформулированы: тема проекта, актуальность, цель и задачи, объект и предмет, проблема и гипотеза, методы исследований, методики проведения экспериментов, новизна и значимость.
2 Отбор проб воды из р. Сосенка	1 день	Отобранные пробы воды из р. Сосенка в трех точках, где возможны превышения ПДКв, исходя из источников СМИ
3 Определение загрязненности воды в р. Сосенка по гидрохимическому составу	1 день	Проведенный анализ качества воды в 3 точках по следующим показателям: pH, фосфаты, нитраты, аммонийный азот, фосфор, органическое загрязнение, растворенный кислород, жесткость. Выявлено превышение ПДКв
4 Подготовка презентации и выступление перед целевой аудиторией	10 дней	Выступление с презентацией по проблеме загрязнения реки с предложением способа очистки перед учениками 8—9 классов школы Лето: биохим профили и заинтересованных в волонтерстве из др. профилей
5 Создание команды для осуществления проекта	4 дня	Команда, объединенная общей целью и разделяющая способы ее достижения
6 Формирование и согласование плана-графика работ	7 дней	Утвержденный командой план-график работ с мероприятиями и сроками их реализации
7 Отбор участка для создания биоплато. Подготовка сметы. Закупка оборудования	14 дней	Для реализации проекта выбрана площадка для высадки высших водных растений (ВВР) на р. Сосенка, проведена закупка оборудования и материалов в соответствии с рассчитанной сметой
8 Создание биоплато. Высадка ВВР	2 дня	Для фиксации растений на выбранном участке с помощью садовой и защитной сетки для пруда создано биоплато, высажены ВВР
9 Визуальный мониторинг состояния биоплато из ВВР	1 раз в неделю в теч. 30 дней	Записи в дневнике наблюдений об еженедельном осмотре участка на предмет скорости наращивания биомассы ВВР, целостности биоплато и пр. характеристиками
10 Отбор проб воды из р. Сосенка в точках до и после биоплато	1 день	Отобранные пробы воды из р. Сосенка в трех точках - до биоплато, и в трех точках - после биоплато
11 Определение гидрохимического состава р. Сосенка. Анализ результатов	1 день	Проведенный анализ качества воды по показателям: pH, фосфаты, нитраты, аммонийный азот, фосфор, органическое загрязнение, растворенный кислород, жесткость на предмет соответствия норм ПДКв
12 Сбор ВВР из р. Сосенка. Инвентаризация насаждений	2 дня	1) наращенная биомасса ВВР: пистии, сальвинии, эйхорнии с известной массой растений и их количества. 2) взрослые растения с длинными корнями для приготовления биогербицидов (для полива клумб летом)
13 Высадка ВВР в аквариальные контейнеры. Приготовление водных вытяжек ВВР	2 дня	1) Высаженные ВВР в пластиковые контейнеры с компрессорами, наполненные водопроводной водой с добавлением 1 раза в неделю морковных и картофельных очисток (200 г). 2) Водные вытяжки ВВР - биогербициды
14 Формирование отчета по результатам исследований и размещение его в соцсетях	1 месяц	Продвижение проекта в сообществе ВКонтакте, Telegram-каналах и пр. для привлечения внимания представителей бизнеса и обмена опытом с природоохранными сообществами и экологическими службами
15 Мониторинг и уход за растениями в осенне-весенний период	8 месяцев	Наращенная биомасса ВВР: пистии, сальвинии, эйхорнии в лабораторных условиях при создании комфортной среды для их вегетативного роста и размножения
16 Отбор проб воды и определение гидрохимического состава р. Сосенка в 3 точках	2 дня	Отобранные пробы воды из р. Сосенка в трех точках, где возможны превышения ПДКв
17 Отбор проб воды и определение гидрохимического состава Летовского пруда	2 дня	Отобранные пробы воды из Летовского пруда в трех точках, где возможны превышения ПДКв
18 Отбор участка. Создание биоплато ВВР. Очистка воды ВВР	4 месяца	Очищенная вода до норм ПДКв
19 Обмен опытом в рамках участия в мероприятиях по обмену опытом	12 месяцев	Масштабирование и популяризация способа очистки воды до норм ПДКв высшими водными растениями: пистии, сальвинии, эйхорнии с дальнейшим их культивированием в лабораторных условиях для зимовки

Таблица 4

Сравнительная таблица технологий-аналогов биологической очистки воды от азотных соединений

Метод очистки	Достоинства	Недостатки
Процесс нитрификации и денитрификации (аэротенки, биофильтры)	1. Отсутствие неприятных запахов 2. Долгий срок службы сооружений	1. Образование избыточного количества активного ила 2. Высокие энергозатраты на аэрацию 3. Нехватка производительности для очистки больших объемов сточных вод
Анаммокс-процесс	1. Уменьшение концентрации аммонийной и нитритной форм азота без одновременного увеличения концентрации нитратов 2. Снижение затрат на электроэнергию на аэрацию 3. Меньшие объемы образования активного ила по сравнению с аэротенками и биофильтрами	1. Необходимость поддержания возраста ила и его удержания в очистном сооружении 2. Необходимость поддержания высокой концентрации ила для эффективности очистки
Фито-очистные системы Биоплато Биопруды	1. Использование только солнечной энергии для процесса 2. Отсутствие необходимости в химических реагентах	1. Необходимость значительных площадей для проведения очистки 2. Зависимость эффективности очистки от расхода сточных вод
Использование микроводорослей	1. Комплексная очистка загрязняющих веществ 2. Минимизация капитальных и эксплуатационных затрат 3. Не образуется отходов, требующих утилизации	1. Часть штаммов не эффективна при низких температурах



Вывод: перспективным методом биологической очистки сточных вод от азотных соединений является система комплексной очистки по типу фито-очистные системы с комплексным применением видов высшей и низшей растительности [Пашкевич М.А., Коротаева А.Э. Анализ биологических методов для очистки карьерных сточных вод от азотных соединений. Геология и геофизика Юга России. 2021. 11(4): 170-182.].

Таблица 5
Оценка рисков реализации проекта

Наименование	Описание	Снижение	Вероятность	Последствия	Управляемость
Организационные риски	- Потеря темпов и управляемости проекта (болезнь, поездки) - Неблагоприятные погодные условия могут привести к нарушению сроков реализации проекта	Проблемы не замалчиваются и вовремя решаются экспертом-руководителем проекта.			
	Неполнота и/или недостоверность информации, содержащейся в открытых источниках	- Я контролирую качество предоставленной информации. - При необходимости обращаюсь к эксперти-руководителю			
Научные риски	В ходе могут быть выявлены ограничения. Например, может выясниться, что отдельные виды измерений необходимы, но не обеспечены оборудованием в реальных условиях	Гибкое управление требованиями исходя из технической возможности			

 высокая вероятность / значительные последствия / слабо управляемый

 средняя вероятность / средние последствия / средне управляемый

 низкая вероятность / незначительные последствия / хорошо управляемый

Технико-экономическое обоснование проекта (на примере эйхорнии)

Расчет: $1400 \text{ м} \times 5 \text{ м} / (100 \text{ м}^2 \times 10 \text{ шт.}) = 700$ штук плавающих растений, где: 1400 м – длина участка р. Сосенка от Летовского пруда до СНТ «Сосенки»;

5 м – средняя ширина р. Сосенка на данном участке; $(100 \text{ м}^2 \times 10 \text{ шт.})$ – необходимое количество растений для поддержания качества воды в водоемах согласно литературным данным (<https://shop.gidrologia.ru/publikatsii/kolichestvo-rasteniy-v-plavatelnom-vodoeme.html>)

Выводы:

- для очистки 5 литров воды от содержания вредных примесей на 98,9-100% в течение 55 дней при средней температуре 20-22 °С необходимо 1 растение эйхорнии массой 100 г.;

для очистки реки Сосенка на промежутке от Летовского пруда до СНТ «Сосенки» (протяженность около 1400 м, средняя ширина около 5 м) от содержания вредных примесей на 98,9-100% в течение 55 дней при средней температуре 20-25 °С необходимо 700 растений эйхорнии общей массой 70 кг.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ФОТОГРАФИИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Точки отбора проб, 2019



Пруд вблизи Ленинградского шоссе



Воскресенский пруд



Верескинский пруд

Точки отбора проб, 2023

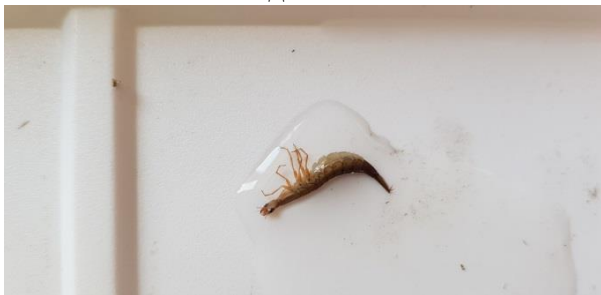


Воскресенский пруд



Верескинский пруд

Водные беспозвоночные животные, выявленные в прудах



Личинка жука - Плавунец



Клоп - Гребляк



Брюхоногие - Катушки



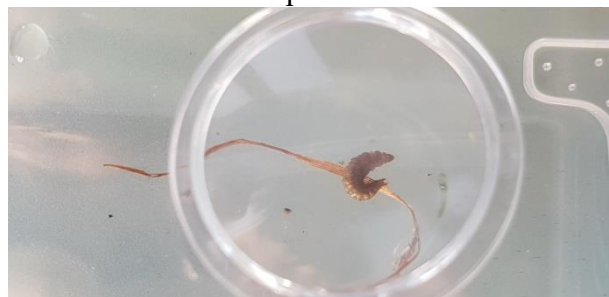
Личинка стрекозы - Коромысло



Личинка стрекозы - Бабка



Личинка комара - Птихоптера



Личинка жука - Водолюб



Улитковая пиявка



Личинка жука - Полоскун



Личинка стрекозы - Плосконожка



Куколка двукрылого комара



Брюхоногие - Прудовик



Личинка подёнки - Клоен бетис



Клоп - Гладыш, Брюхоногие - Болотный прудовик и Битиния



Брюхоногие - Физа



Личинка комара - Болотница



Клоп - Плавт



Малая ложноконская пиявка



Трубочник и Водный червь - Люмбрикус



Личинка ручейника – Гидропсиха



Личинка стрекозы – Красотка и Улитковая
пиявка



Личинка стрекозы - Стрелка



Личинка жука - Трясинник



Водяные ослики и Горошинка



Личинка подёнки – Гептагения



Пиявка большая ложноконская



Объявление об обработке гербицидами

Виды прибрежно-водной растительности прудов



Рдест разнолистный



Кубышка желтая



Хвощ речной



Частуха подорожниковая



Ежеголовник



Вейник наземный



Лютик ядовитый



Манник большой



Роголистник



Лапчатка гусиная



Черда поникшая



Ряска малая, Многокоренник обыкновенный
(внизу - Ситняг болотный, Ряска тройчатая)



Рдест блестящий, Пузырчатка обыкновенная,
Роголистник

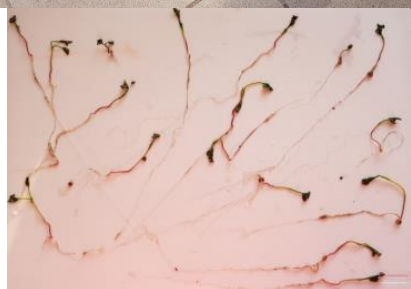


Рогоз широколистный, Борщевик
Сосновского

Определение фитотоксичности донных отложений прудов

Оценка степени токсичности донных отложений с помощью редиса

2019 г.



Контроль



Пруд вблизи Ленинградского шоссе



Воскресенский пруд



Верескинский пруд

2023 г.



Контроль



Пруд вблизи Ленинградского шоссе



Воскресенский пруд



Верескинский пруд

Оценка степени токсичности донных отложений с помощью пшеницы

2019 г.



Контроль



Пруд вблизи Ленинградского шоссе



Воскресенский пруд



Верескинский пруд

2023 г.



Контроль



Пруд вблизи Ленинградского шоссе

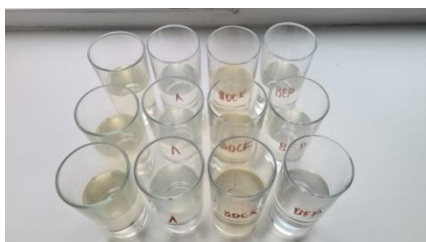
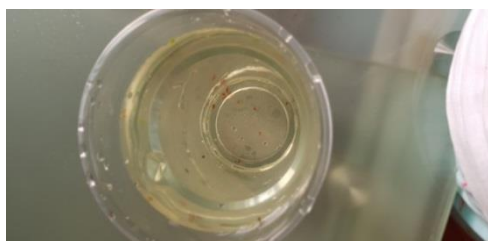


Воскресенский пруд



Верескинский пруд

Определение степени токсичности донных отложений (водных вытяжек) методом биотестирования с помощью дафний



Биотестирование донных отложений на личинках комаров (хируномид)



Определение сапробности прудов по видовому составу бентоса



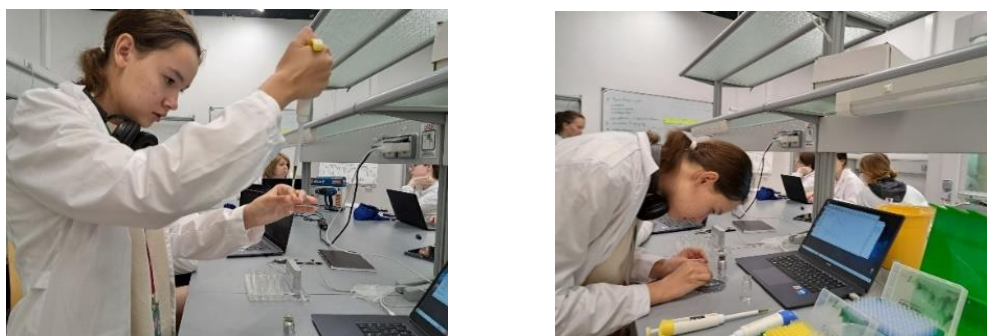
Изучение бактериальных сообществ донных отложений прудов по колонкам Виноградского



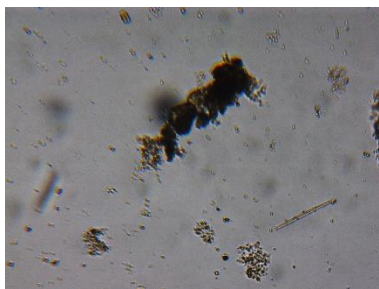
Определение химического состава проб воды, отобранных из прудов



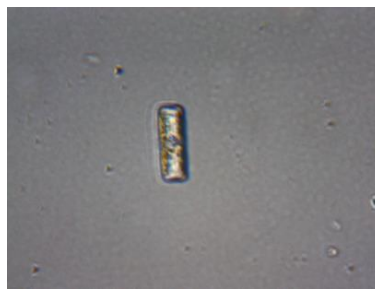
Оценка токсичности воды и смывов с листьев растений методом биолюминесцентного тестирования



Оценка сапробности водоемов методом альгоиндикации



Euglena viridis



Diatoma elongatum



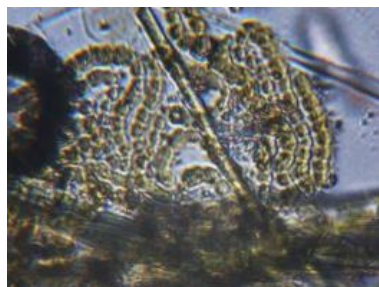
Navicula sp.



Chlamydomonas simplex



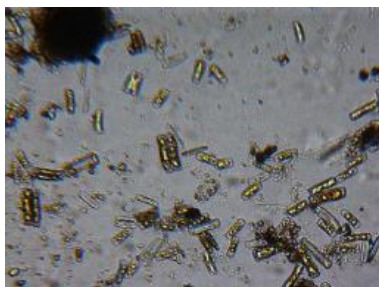
Oscillatoria sp.



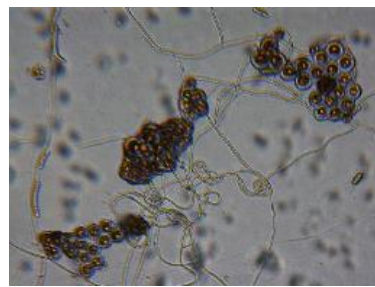
Nostoc sp.



Ulothrix sp.



Pinnularia sp.



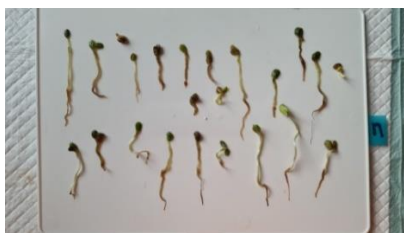
Phormidium sp.

Оценка влияния водных вытяжек макрофитов на прорастание семян борщевика Сосновского



Оценка влияния водных вытяжек макрофитов на прорастание семян люпина многолистного

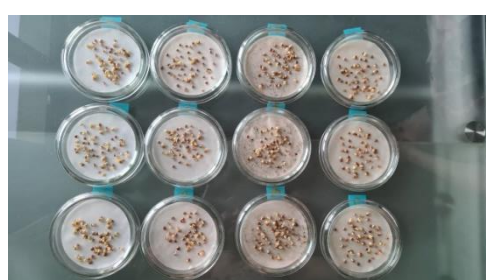
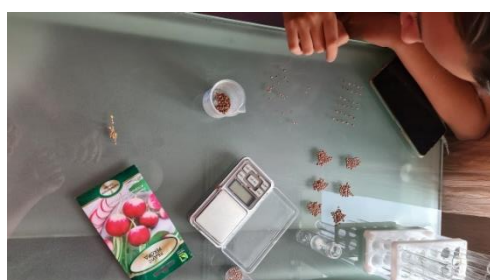




Приготовление водных вытяжек МО



Тест на прорастание семян редиса сорта Красный с белым кончиком

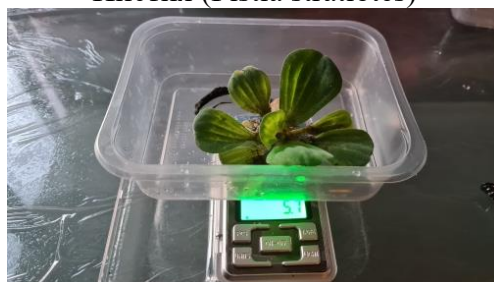


Взвешивание макрофитов-окислителей (МО)

Эйхорния (*Eichhornia crassipes*)



Пистия (*Pistia stratiotes*)



Сальвиния плавающая (*Salvinia natans*)



Уруть колосовая (*Myriophyllum spicatum*)

