

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГИМНАЗИЯ №7 г. ВИТЕБСКА»

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОД РЕКИ
ЗАПАДНАЯ ДВИНА МЕТОДАМИ ФИОТЕСТИРОВАНИЯ И
ЗООИНДИКАЦИИ (МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА)**

Выполнил:
учащаяся 7 «А» класса
Иванькова Василина Сергеевна

Научный руководитель:
Малах Ольга Николаевна
кандидат биологических наук,
доцент;
Данюк Мария Михайловна
учитель биологии;
Коваленко Елена Романовна
учитель биологии

г. Витебск, 2020

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 КРАТКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	5
1.1 Поверхностные воды как индикатор накопительного загрязнения окружающей среды.....	5
1.2 Биотестирование как метод оценки экологического состояния окружающей среды.....	7
1.3 Редис масляный, кресс-салат и ряска малая как тест-объекты....	9
1.4 Макрозообентос как индикатор качества воды.....	10
2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	11
2.1 Дизайн исследования.....	11
2.2 Предлагаемая методика фитотестирования.....	12
2.3 Предлагаемый метод зооиндикации.....	15
2.4 Определение физико-химических свойств речной воды.....	16
3 ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОД РЕКИ ЗАПАДНАЯ ДВИНА.....	17
3.1 Оценка степени загрязнения вод реки Западная Двина методом фитотестирования.....	17
3.2 Оценка степени загрязнения вод реки Западная Двина методом зооиндикации.....	28
3.3 Оценка физико-химических свойств речной воды.....	30
3.4 Источники возможного загрязнения вод реки Западная Двина и рекомендации по их улучшению.....	32
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	33
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	34
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	35

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность и практическая значимость исследования. Возрастающее загрязнение водных объектов Республики Беларусь при росте антропогенной нагрузки в последние годы достигло критических уровней, а на многих реках превысило их. В связи с этим, под угрозой находится сохранение основных функций чистой пресной воды: среды обитания гидробионтов и жизненно необходимого экологического фактора существования человека. Основными источниками, которые загрязняют природные воды, являются: очищенные сточные воды жилищно-коммунального хозяйства, промышленности и других сфер экономики; поверхностный смыв с городских и сельских территорий; стихийные свалки бытового мусора; не канализованная застройка частными домовладениями, автозаправками, гостиницами и другими объектами, находящимися в водоохранных зонах водных объектов, а также отсутствие канализации в селах, расположенных в долинах рек. В связи с этим поверхностные воды можно рассматривать как индикатор загрязнения окружающей среды. Все вредные вещества сохраняются в толще воды или донных отложениях, а затем по корневым системам данные вещества поступают в надземные части растений, где накапливаются, а далее по пищевым цепям попадают в организм животных и человека, нанося вред состоянию их здоровья. В настоящее время оценка, прогнозирование и разработка мероприятий по улучшению качества водной среды становится все более актуальной.

Водная оболочка земли загрязняется различными вредными химическими веществами, пестицидами, отходами сельского хозяйства, промышленного производства и коммунально-бытовых предприятий. Поступающие в водную среду химические соединения накапливаются в поверхностных водах, приводя к постепенному изменению химических и физических свойств водоемов, снижают в них численность живых организмов, ухудшают качество воды, что отрицательно сказывается на здоровье человека. В связи с тем, что гидросфера играет важнейшую роль в процессах, происходящих в биосфере, а также в обществе всей планеты чрезвычайно важно изучение ее современного состояния и изменения под влиянием антропогенной деятельности. Таким образом, в настоящее время необходимо иметь такие методы оценки загрязнения гидросферы, которые могли бы дать объективное представление о состоянии воды, то есть о том, насколько водная оболочка земли способна выполнять отведенные ей функции. Биотестирование является наиболее целесообразным методом определения интегральной токсичности поверхностных вод, а как следствие и речной воды. Он доступен и прост в исполнении, не требуется сложного дорогостоящего лабораторного оборудования и может быть рекомендован исследователям разных уровней подготовки. Исследования

такого рода могут служить важной основой для разработки широких профилактических мероприятий, направленных на оздоровление окружающей среды, на повышение чистоты воздуха, а также почвы и водного бассейна.

Цель исследования. Выявить степень загрязнения вод реки Западная Двина.

Задачи исследования:

1. Определить степень загрязнения вод реки Западная Двина, используя редис масляный, кресс-салат и ряску малую как тест-объекты.
2. Определить степень загрязнения вод реки Западная Двина, используя метод Майера.
3. Оценить физико-химические свойства вод реки Западная Двина.
4. Выявить источники возможного загрязнения вод реки Западная Двина на исследуемой территории.
5. Подготовить рекомендации по улучшению экологического состояния вод реки Западная Двина на исследуемой территории.

Объект исследования – река Западная Двина.

Предмет исследования – экологическое состояние и качественные характеристики вод реки Западная Двина.

Материалы исследования: пробы речной воды, семена редиса масляного и кресс-салата, ряска малая, зообентос, химические реактивы.

Методы исследования: анализ литературных источников, эксперимент, наблюдение, анализ и обобщение собранного экспериментального материала.

Гипотеза. Только использование различных тест-объектов в одном исследовании может дать объективную оценку загрязнения речной воды.

1 КРАТКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Поверхностные воды как индикатор накопительного загрязнения окружающей среды

Водные ресурсы являются важнейшим элементом природной среды и играют значительную роль во многих протекающих в природе процессах, а также в обеспечении жизни человека. Водная среда жизни, гидросфера, занимающая до 71% площади земного шара, включает около 1,46 млрд км³ воды. Основной объем воды (примерно 95%) сосредоточен в Мировом океане, львиная доля пресных вод – в ледниках (85%) и подземных водах суши (14%). На озера, водохранилища, пруды, болота, реки и ручьи приходится чуть более 0,6% от общего объема пресной воды, а остающиеся 0,35% заключены в почвенной влаге и парах атмосферы [13].

В настоящее время значительное воздействие, существенно изменяющее состав природных вод, оказывает именно антропогенная деятельность. Ежегодно используется около 5 тысяч км³ воды, а загрязняется в 10 раз больше. Менее 1% мировых запасов воды активно используется человеком и возвращается в круговорот в, основном, в загрязненном виде, но это составляет уже третью часть запасов пресной воды. За последние 40 лет были созданы наиболее крупные водохранилища, резко возросло промышленное и хозяйственно - бытовые водопотребление и водоотведение. Все это привело к изменению режима и водно-химического баланса речных вод, которые стали одним из основных накопителей загрязняющих веществ в природе [13].

Факторы, воздействующие на водные объекты посредством изменения поверхности речных водосборов, особо ощутимо сказываются на экологическом состоянии рек. Одна из основных особенностей рек – тесная связь формирования стока с ландшафтом бассейна. Это обуславливает необычайную уязвимость рек при интенсивном освоении водосбора. Увеличение распаханности земель, отставания почвозащитных мероприятий и распашка до уровня воды, вырубка лесов и осушение болот на их водосборах, строительство крупных животноводческих комплексов, ферм и птицефабрик без проведения сопутствующих природоохранных мероприятий и сброс в реки сточных вод без надлежащей очистки быстро приводит к нарушению экологической обстановки, ускорению старения рек [12].

Загрязнение речных вод может носить промышленный, бытовой характер, являться последствием сельскохозяйственных работ. Актуальными являются бытовое загрязнение и загрязнения, являющиеся следствием сельскохозяйственных работ, то есть вымывание из почвы в воду рек составных частей минеральных удобрений.

Значительным источником загрязнения рек могут быть бытовые сточные воды, которые уносят с собой физиологические выделения человека, кухонные помои, загрязнения от умывания, стирки белья и мытья помещений, а также некоторые плотные отбросы: бумагу, обрывки тканей, сор. В этих стоках 60% составляют органические вещества [13].

Весьма неблагоприятное влияние на реки оказывают поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые содержатся главным образом в бытовых стоках, поскольку ПАВ все больше используют как моющие средство. Водные растворы ПАВ имеют неприятный вкус и запах, дают стойкую пену, появление которой в водоемах препятствует аэрации, ухудшая тем самым очистительную способность водоемов. Кроме того, в пене концентрируются другие органические загрязнения и различные микроорганизмы (в том числе вызывающие заболевания человека) в такой степени, что содержание их в пене может превышать концентрацию в воде в сотни раз. ПАВ имеют способность эмульгировать другие загрязняющие вещества, и делать их более стойкими к окислению; даже в небольших количествах прекращают рост водорослей и другой водной растительности [12].

Кроме того, даже такие безобидные, казалось бы, гигиенические препараты, как шампунь от перхоти, и то могут повредить водоему, так как действующим началом противоперхостных шампуней является, например, пиритионат цинка и дисульфид селена – токсичные металлы [5].

Отличительной способностью бытовых сточных вод является их бактериальное загрязнение: в одном кубическом миллиметре воды могут содержаться десятки миллионов бактерий, в том числе болезнетворных, а также яйца глистов. Количество бытовых сточных вод примерно соответствует количеству потребляемой водопроводной воды [13]. По данным статистики на 15.07.2020 г в Витебской области увеличился сброс сточных вод в поверхностные сточные объекты с 140 млн. м³ в 2018 г до 142 млн. м³ в 2019 г, причем без предварительной очистки с 50 млн. м³ в 2018 г до 53 млн. м³ в 2019 г соответственно [15].

За последние несколько десятилетий, производство, а следовательно, и использование минеральных удобрений в стране выросло в несколько десятков раз, выросло и производство средств защиты растений. Производство этих веществ будет увеличиваться и в дальнейшем. Это способствует урожайности сельскохозяйственных культур. Однако удобрения и особенно ядохимикаты, предназначенные для уничтожения сорняков и насекомых, при неправильном их применении смываются в водоемы, а их растворы просачиваются в нижележащие водоносные слои грунта и тоже попадают в водоемы [13].

Сельскохозяйственные стоки также являются источниками многих металлов. Большинство тяжелых металлов, естественно, не могут находиться в водной среде в растворимом виде, но присутствуют, в виде

коллоидных частичек, а в смеси с другими органическими веществами часто выпадают на дно. Поэтому содержание металла в придонных осадках часто рассматривается как показатель степени загрязненности воды металлами [5].

Известное значение имеют также и ливневые стоки, которые смывают в реки загрязнения с поверхности земли: при сильных ливнях и затяжных дождях их количество может превышать бытовые стоки, а концентрация загрязняющих веществ в них оказаться высокой. Поэтому поддержание в чистоте верхних слоев почвы и промышленных площадок и особенно предотвращения загрязнения их химическими отходами имеет существенное значение для охраны рек от загрязнений [12].

Реки весьма чувствительны ко всем посторонним вмешательствам и необходимо бережное их сохранение, и рациональное использование их вод. Не случайно именно в рамках государственной научно-технической программы “Экологическая безопасность” белорусские ученые Центрального научно-исследовательского института комплексного использования водных ресурсов (ЦНИИКИВР) Минприроды сейчас проводят масштабную инвентаризацию водных объектов страны. Исследовательская работа по изучению рек проводится совместно с российскими учеными: А.Д. Быков (изучение фауны малых рек), Л.М. Межвинский (изучение флористического состава рек и прибрежной растительности), Е.С. Сапец и В.К. Ануфриев (химический состав речной воды).

К сожалению, изучая влияние антропогенной деятельности на состояние рек, ученые основываются лишь на определении химического состава воды и сравнении его с ПДК, что не позволяет определить весь спектр влияния все возрастающего количества вредных веществ, содержащихся в воде водотока. Хотя, применяя в комплексе химический анализ воды и биотестирование, можно лучше спрогнозировать, и предупредить негативные последствия антропогенного воздействия на природу и здоровье человека, а также постараться не допустить большого количества выбросов в поверхностный водоток вредных веществ, снизив, таким образом, экологическую опасность и сохранив в чистоте природную среду для будущих поколений.

1.2 Биотестирование как метод оценки экологического состояния окружающей среды

Биотестирование - процедура установления токсичности среды с помощью **тест-объектов** - специально отобранных и выращиваемых живых организмов, сигнализирующих об опасности независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения их жизненно важных функций [2, 4, 6]. В зависимости от целей и задач

токсикологического биотестирования в качестве тест - объектов применяются различные организмы: высшие и низшие растения, бактерии, водоросли, водные и наземные беспозвоночные.

Биологический способ тестирования окружающей среды и ее компонентов (в том числе и поверхностных вод) включает ботанические, зоологические, микробиологические и биохимические методы [3, 10].

Ботанические методы тестирования. В настоящее время эти методы достаточно хорошо разработаны и широко используются в практике научных исследований. Они дают хорошие результаты при дистанционном изучении почв, грунтов, грунтовых вод, полезных ископаемых. Фитотестирование заключается в использовании, как растительного покрова, так и отдельных сообществ видов в качестве показателя состояния исследуемых компонентов среды. Термин «фитоиндикатор» впервые предложил в 1914 г. А.П. Ильинский. Небезызвестно, что первые записи-предложения о растениях индикаторах можно встретить у «отца» ботаники – Теофраста (IV...III вв. до н.э.).

Наиболее ранние высказывания о растениях-индикаторах принадлежат А.Н. Радищеву, который писал: «Где растет дуб, вяз, яблонник, буковица, клубника, там земля добра. Березняк показывает убогую глину, а сосняк, можжевельник, молодило – сухую супесь, а тростник, мох, хвощ, осока – мокрую землю и болотную». С XIX века с развитием экологии растений была показана связь растений с факторами окружающей среды. О возможности растительной биоиндикации писал геолог А.М. Карпинский. Другой геолог – П.А. Ососков – использовал характер распределения растительных сообществ для составления геологических карт, а почвовед С.К. Чапанов – почвенных карт. Большой вклад в развитие биотестирования внес русский ученый почвовед В.В. Докучаев [4].

Почвенно-зоологическое тестирование. Тест-животных обычно выбирают среди наиболее чувствительных к загрязняющим компонентам видов. Другое важное требование заключается в том, что воздействие токсиканта на животное должно вызывать ответную реакцию. Знание механизмов специфического токсического действия позволяет ослаблять или усиливать действие токсиканта с помощью специально подобранных фармакологических средств [7]. Еще в 1837 г., на основании своих наблюдений за жизнедеятельностью дождевых червей Ч. Дарвин пришел к заключению, что для почвы термин «живой слой» даже более оправдан, чем обычно употребляемый «растительный слой». Лишь в последние годы почвенно-зоологические исследования начали успешно развиваться как у нас в стране, так и за рубежом, и многое сделано в данном направлении российским ученым М.С. Гиляровым [4].

Биотестирование как способ оценки качества воды вошел в практику в начале XX в. Первые биотесты на дафниях и циклопах были выполнены

в 1918 г. С конца 1930 г стали использовать гидробионты разного систематического уровня и разными трофическими связями. В 1940-1941 г.г. в систему включили простейших, ракообразных, червей, рыб. За биологические показатели принимались: выживаемость, размножение, выживаемость молоди, дыхательные и сердечные ритмы, потребление кислорода, темп роста и питания, увеличение массы [1].

Сейчас в качестве объектов применяются разнообразные организмы: бактерии, водоросли, высшие растения, пиявки, моллюски, рыбы [1]. Начиная с 80-х годов прошлого столетия, в ряде развитых стран дальнего (США, Канада, Франция, Германия) и ближнего (Россия, Латвия, Литва, Эстония, Казахстан) зарубежья биотестирование стало применяться в природоохранной практике наряду с химическими методами [12].

Биотестирование с середины XX в. широко используется в странах ЕЭС на всех промышленных предприятиях, имеющих сточные воды, сбрасываемые в водные объекты или поступающие на сооружения биологической очистки. В нашей стране долгое время широкое распространение метода сдерживалось отсутствием нормативно-правовых документов, регламентов токсикологического контроля и простых удобных методических руководств, пригодных для использования в условиях промышленных предприятий [12].

1.3 Редис масляный, кресс-салат и ряска малая как тест-объекты

Повышенной чувствительностью к загрязнению поверхностных вод обладают такие растения, как редис, кресс-салат и ряска.

Редис масляный (*Raphanus sativus* var. *radicula*) – однолетнее или двулетнее растение семейства крестоцветные и является разновидностью редьки посевной. Листья редиса простые, черешковые. Корневая система редиса стержневого типа. Стебель ветвистый. В высоту стебель редиса может достигать 20 см-1 метра. Цветки редиса собраны в соцветия в форме кисти, плод – стручки. Профессор Н.М. Иванютин рекомендует использовать редис в системах биотестирования [5].

Кресс-салат (*Lepidium sativum*) - однолетнее растение семейства крестоцветных высотой 30-60 см. Плод стручечек. Использование кресс-салата для тестирования качества воды является государственным тестом в Голландии.

Эти растения отличаются быстрым прорастанием семян и почти стопроцентной всхожестью, которая заметно уменьшается в присутствии загрязнителей. Преимущества данных растений как тест-объектов заключаются в том, что:

- побеги и корни этих растений под действием загрязнителей подвергаются заметным морфологическим изменениям (задержка роста и

искривление побегов, уменьшение длины и массы корней, а также числа и массы семян);

- действие стрессоров можно изучать одновременно на большом числе растений при небольшой площади рабочего места;

- семена данных растений прорастают уже на второй-третий день (короткие сроки эксперимента, в течение 10-15 суток).

Ряска малая (*Lemna minor*) – многолетнее растение, которое относится к семейству ароидные. Растение не делится на стебли и листья, но образует плоские, блестящие и зеленые диски – тело. Это тенелюбивое растение, устойчивое к низким температурам. Обитает в пресноводных участках с рН от 6,2 до 7,5, не переносит кислой и щелочной среды. В водоемах плавает в виде групп, образующихся в результате вегетативного размножения. Рясковые успешно применяются в исследовании загрязнения водоемов и почв. Их используют для определения загрязнения вод пестицидами и гербицидами [1].

1.4 Макрозообентос как индикатор качества воды

Другой распространенный способ оценки качества воды в текущих водах основан на изучении донных беспозвоночных (макрозообентоса). Во-первых, большинство донных беспозвоночных сравнительно крупны, видны невооруженным взглядом, малоподвижны, и поэтому их легко собирать сачком. Из-за малоподвижного образа жизни они не могут избежать влияния попавших в воду загрязняющих веществ. Это позволяет говорить о том, что состояние бентосных организмов лучше отражает качество воды в исследуемой речке. К тому же многие виды донных животных проводят в воде большую часть своего жизненного цикла, таким образом, на состояние сообществ бентоса влияет не только качество воды в данный момент, но и в прошлом [11, 14].

Таким образом, физические факторы или химические соединения, воздействуя на среду, иногда очень сильно модифицируются факторами живой и неживой природы; их окончательное влияние не всегда легко предвидеть. А биоиндикаторы дают точную картину, которая учитывает и те «сбросы» загрязнителей, которые могла пропустить, просмотреть контрольная служба, время от времени производящая замеры параметров среды.

2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Дизайн исследования

Исследование проводилось на территории г. Витебска и Витебского района. Объектом исследования является река Западная Двина. Длина реки - 1020 км, из них на Беларусь приходится 328 км. Исток находится на Валдайской возвышенности, на высоте 215 метров над уровнем моря. Впадает в Рижский залив Балтийского моря. Питание реки смешанное, пополнение реки происходит главным образом за счет таяния снега, а также грунтовых вод. Особенность режима – высокое половодье весной и низкая межень с частыми паводками после дождей летом и осенью. Река частично судоходна. Помимо транспортной функции, Западная Двина выполняет ряд других функций, в частности, ее воды используются для выработки электроэнергии на нескольких ГЭС. Она же – источник водоснабжения множества населенных пунктов.

Исследование носит многолетний характер, в котором были выделены следующие этапы: 1 этап – исследование проб воды реки Западная Двина в августе 2019 г.; 2 этап – исследование проб воды реки Западная Двина в августе 2020 г.

1 этап – исследование проб воды реки Западная Двина в августе 2019 г

Забор проб воды реки Западная Двина осуществлялся с семи участков (рис. 1, 5, 7-8, 11, 14, 17, 20):

контроль – дистиллированная вода;

№1 – район оздоровительного лагеря «Чайка» (до ГЭС);

№2 – Витебская гидроэлектростанция;

№3 – место для купания п. Лужесно (после ГЭС);

№4 – между микрорайоном Тирасполь и деревней Давыдовка;

№5 – городской пляж (г. Витебск);

№6 – п. Тарный (до очистных сооружений);

№7 – п. Тарный (после очистных сооружений).

Отбор проб воды для анализа проводили летом [1] (август 2019 г.) после того как выбрали постоянный створ для наблюдений. Для отбора проб воды использовали полиэтиленовые бутылки. Вода отбиралась путем захода на глубину до 1 м. Бутыль погружали с закрытой крышкой в реку на глубину 0,25-0,5 м от поверхности воды и не менее 10-15 см от дна, не допуская взмучивания. Далее крышку открывали и наполняли бутылку под самое горло, чтобы в горле бутылки не оставалась воздушная прослойка.

Затем проводили оценку качества воды, используя методы: фитотестирование (тест-объекты: редис масляный и кресс-салат), оценки физических свойств, химического анализа и математической статистики.

2 этап – исследование проб воды реки Западная Двина в августе 2020 г

Забор проб воды реки Западная Двина осуществлялся с шести участков (рис. 1, 6, 9-10, 12-13, 15-16, 18-19, 21):

контроль – дистиллированная вода;

№1 – район оздоровительного лагеря «Чайка» (до ГЭС);

№2 – место для купания п. Лужесно (после ГЭС);

№3 – между микрорайоном Тирасполь и деревней Давыдовка;

№4 – городской пляж (г. Витебск);

№5 – п. Тарный (до очистных сооружений);

№6 – п. Тарный (после очистных сооружений).

Отбор проб воды для анализа проводили летом [1] (август 2020 г.) после того как выбрали постоянный створ для наблюдений по методике описанной выше (1 этап).

Затем проводили оценку качества воды, используя методы: фитотестирование (тест-объекты: редис масляный, кресс-салат, ряска малая; витальное окрашивание), метод Майера, оценки физических свойств, химического анализа и математической статистики.

2.2 Предлагаемая методика фитотестирования

1 этап – исследование проб воды реки Западная Двина в августе 2019 г

Для большей достоверности в качестве тест-объектов были выбраны семена растений относящихся к двум видам: кресс-салат и редис масляный (рисунок 2, 3).

Прежде чем ставить эксперимент по фитотестированию загрязнений, партию семян, предназначенных для опытов, проверили на всхожесть. Процент проросших семян от числа посеянных (всхожесть) составил 70-95%, что считается нормой [5].

После определения всхожести семян был заложен эксперимент. В подготовленные контейнеры было выложено одинаковое количество семян (20 шт.). В каждый контейнер на смоченную соответствующей речной водой фильтровальную бумагу были уложены семена редиса масленого и кресс-салата (рисунок 22-29). В течение 10 дней наблюдали за прорастанием семян. Все контейнеры были помещены в одинаковые условия. Для того, чтобы семена и проростки не высыхали в контейнеры, по мере необходимости добавляли речную воду, полученную из створов тех же исследуемых участков. Каждый день эксперимента подсчитывали число проростков в 16 контейнерах, и фиксировали в дневнике наблюдений. Для оценки жизнеспособности растений в течение первых трех дней измеряли длину проростков и их частей (длина стебля и корня) (рисунок 49, 50). По данным, полученным в эксперименте, были рассчитаны следующие показатели: фитотоксичность субстрата, всхожесть семян, энергия прорастания семян, скорость прорастания семян.

Фитотоксичность субстрата (ФС) – способность субстрата подавлять рост и развитие растений. Фитотоксичность субстрата определяли по формуле: $ФС = ((\text{средняя длина ростка в контроле} - \text{средняя длина ростка в эксперименте}) / 100) \times \text{средняя длина ростка в контроле}$.

В зависимости от значения показателя фитотоксичности субстратам присваивали один из четырех уровней загрязнения:

- фитотоксичность не проявляется (менее 20);
- слабая фитотоксичность (20-40);
- средняя фитотоксичность (41-60);
- сильная фитотоксичность (более 60).

В конце эксперимента, на 3 сутки были проведены измерения длин корней, так как именно изменения (торможение или стимулирование) при развитии корневой системы по сравнению с контролем является основной тест-реакцией растения на наличие в воде загрязнителей. Снижение длины корней проростков семян в исследуемых пробах воды по сравнению с контролем, принятым за 100 %, являлось показателем токсичности проб воды.

Всхожесть – число проросших семян, выраженное в % от общего количества семян. В зависимости от значения показателя всхожести семян субстратам присваивали один из четырех уровней загрязнения:

- загрязнение отсутствует (всхожесть семян достигает 90-100%);
- слабое загрязнение (всхожесть семян достигает 60-89,9%);
- среднее загрязнение (всхожесть семян достигает 20-59,9%);
- сильное загрязнение (всхожесть семян менее 20%).

Энергия прорастания – число семян, проросших за первые трое суток, выраженные в % от общего количества семян, взятых для проращивания.

Скорость прорастания (СП) – сумма средних чисел семян, прорастающих ежедневно. Для расчета скорости прорастания использовали формулу: $СП = a + (b:2) + (v:3) + (g:4) \dots$, где а - число проросших семян за первые сутки, б – число семян проросших за вторые сутки, в – число семян проросших за третьи сутки, г - семян проросших за четвертые сутки и т.д.

2 этап – исследование проб воды реки Западная Двина в августе 2020 г

Фитотестирование с использованием таких тест-объектов как редис масляный и кресс-салат осуществляли также, как описано в 1 этапе исследований (рисунок 30-34). Во втором этапе был добавлен еще один тест-объект – ряска малая (рисунок 4).

Ряску малую отбирали из естественной популяции условно чистого водоема (река Лужеснянка), когда много молодых жизнеспособных побегов [1] (рисунок 65-71). При отборе обращали внимание на цвет растения и использовали зеленые популяции ряски без видимых

повреждений и имеющие лопасти и корни. Отобранные растения помещали отдельно в ведро с водой, взятой из этого же водоема. Затем закладывали эксперимент. В подготовленные емкости (стаканы) с речной водой, взятой с исследуемых участков, было помещено одинаковое количество растений (15 шт.). В течение 10 дней наблюдали за ряской малой. Все стаканы были помещены в одинаковые условия. Для того чтобы растения не высыхали в стаканы, по мере необходимости добавляли речную воду, полученную из створов тех же исследуемых участков. Каждый день эксперимента подсчитывали число листецов в 7 стаканах, и фиксировали в дневнике наблюдений. Для оценки жизнеспособности растений ежедневно учитывали выживаемость, изменение окраски листецов (некроз, хлороз), длину и ширину листецов, длину корней (рисунок 64). Повреждение растений устанавливали визуально. Качество воды определяли по таблице 1 [9].

Таблица 1 - Экспресс-оценка качества воды

% щитков с повреждениями	Отношение числа щитков к числу особей				
	0-1	1,3	1,7	2	> 2
0	1-2	2	3	3	3
10	3	3	3	3	3
20	3	4	3	3	3
30	4	4	4	3	3
40	4	4	4	3	-
50	4	4	4	-	-
60 и более	5	5	-	-	-

Качество воды: 1 – очень чистая, 2 – чистая, 3 – умеренно загрязненная, 4 – загрязненная, 5 – грязная, « - » – комбинации, встречаемость которых исключается.

Метод витального окрашивания. Метод основан на окрашивании мертвых клеток - красителем метиленовым синим. Живые клетки сильно ограничивают проницаемость внутрь органических веществ, и помещенные в раствор красителя практически не окрашиваются. В мертвые клетки краска проникает свободно, благодаря чему их можно сразу обнаружить и учесть. В качестве красителя используется метиленовый синий, поскольку он обладает способностью хорошо окрашивать стенки клеток. Количество окрашенных клеток является показателем токсичности поллютантов. [9] Листецы ряски малой на 10 минут помещали в раствор метиленового синего, затем промывали водой. Приготовление метиленового синего: 6 г растворяют в 100 мл 96% этанола. На основе насыщенного раствора готовили водный раствор на дистиллированной воде в соотношении 1:10. Окрашенные листецы микроскопировали при увеличении 40х400 (микроскоп с ЖК-дисплеем УХ-АК 16). Отмечали характер окрашивания листеца.

2.3 Предлагаемый метод зооиндикации

Отбор проб осуществляли с шести участков, указанных во втором этапе исследований (рисунок 81-99). Для работы на небольшой глубине использовали емкость (консервная банка) с диаметром дна 12 см. Консервная банка на дне имела несколько небольших отверстий для прохода воды. Такую банку, слегка покручивая, «ввинчивали» в дно, а потом переворачивали и вынимали вместе с грунтом. Для сбора бентоса также использовали гидрологический плотный сачок. Сачок ставили на дно и проводили им несколько раз в обе стороны, охватывая как можно большее пространство и соскребая верхнюю часть грунта. Для промывки проб грунта использовали обычное сито.

Метод Майера. Определение качества воды водоема по методу Ф. Майера не требует определения живых организмов с точностью до вида и подходит для любого типа водоемов. Метод использует приуроченность различных групп водных беспозвоночных к водоемам с определенным уровнем загрязненности. Организмы-индикаторы отнесены к одному из трех разделов (таблица 2) [11, 14].

Таблица 2 – Организмы-индикаторы

Обитатели чистых вод	Организмы средней степени чувствительности	Обитатели загрязненных водоемов
Личинки веснянок	Бокоплав	Личинки комаров-звонцов
Личинки поденок	Речной рак	Пиявки
Личинки ручейников	Личинки стрекоз	Водяной ослик
Личинки вислокрылок	Личинки комаров - долгоножек	Прудовики
Двустворчатые моллюски	Моллюски-катушки, моллюски-живородки	Личинки мошки
		Малощетинковые черви

Отмечали, какие из приведенных в таблице 2 индикаторных групп были обнаружены в пробах [11, 14]. Количество обнаруженных групп из первого раздела таблицы умножали на 3, количество групп из второго раздела - на 2, а из третьего - на 1. Получившиеся цифры складывали. Значение суммы характеризует степень загрязненности водоема:

более 22 – водоем чистый и относится к 1 классу качества;

от 17 до 21 – водоем относится ко 2 классу качества;

от 11 до 16 21 – водоем относится к 3 классу качества – умеренная загрязненность;

меньше 11 – водоем характеризуется как грязный.

Простота и универсальность метода Майера дают возможность быстро оценить состояние исследуемого водоема. Точность метода невысока, но если проводить исследования качества воды регулярно в течение какого-то времени и сравнивать полученные результаты, можно понять, в какую сторону изменяется состояние водоема.

2.4 Определение физико-химических свойств речной воды

Физико-химические свойства речной воды были определены по методикам С.Е. Мансуровой [8]. Для оценки физических свойств речной воды были определены: запах, цветность и мутность воды. Для определения запаха речной воды брали по 100 мл каждой пробы, помещали в пробирку, накрывали стеклом, и встряхивали. Затем определяли интенсивность запаха воды. Интенсивность запаха оценивается по пятибалльной системе: 1-едва уловимый, 2-слабый, 3-заметный, 4-сильный, 5-резкий.

Для определения прозрачности проб речной воды в пробирку наливали воду, через которую просматривается печатный текст, напечатанный жирным шрифтом, кегль 14. Перед замером воду взбалтывали. Каждую пробу сравнивали с контролем. Вода может быть прозрачной, слабо мутной и сильно мутной.

Для определения цветности проб речной воды в пробирку наливали воду, которую сравнивали с контролем и белым листом бумаги формата А4. Вода может быть бесцветной, слабо-желтой, интенсивно-желтой, голубой и зеленовато-голубой.

Для оценки химического анализа воды были определены такие показатели как кислотность, наличие или отсутствие содержания сульфат и сульфит ионов. Затем определили кислотность среды речной воды всех проб с помощью универсальной индикаторной бумаги. Для этого в каждую пробу помещалась полоска универсальной индикаторной бумаги, а потом сравнивалась со шкалой pH.

Для качественного химического анализа был использован набор для химических экспериментов «Юный химик» (производство Россия). Для обнаружения в исследуемых пробах сульфат-ионов в пробирку с речной водой добавляли 10 капель раствора соляной кислоты и 2 капли раствора соли бария. Наблюдали в течение 3 мин за помутнением.

Для обнаружения в исследуемых пробах сульфит-ионов в пробирку с речной водой добавляли 1-2 капли раствора йода. Наблюдали, что происходит с окрашенным раствором.

3 ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОД РЕКИ ЗАПАДНАЯ ДВИНА

3.1 Оценка степени загрязнения вод реки Западная Двина методом фитотестирования

В исследовании 2019 года первые всходы семян редиса масляного появились на следующие сутки после посева во всех образцах (таблица 3). Всходы семян кресс-салата появились на вторые и третьи сутки (таблица 4). Наименьшее количество всходов для двух растений обнаружено в образцах №4 и 6, а наибольшее – в №1, 2 и 5. Прорастание семян длилось во всех образцах 5-6 суток (рисунок 35-41, 49-53, 57-58).

В исследовании, проводимом в 2020 году, первые всходы семян обоих растений появились на следующие сутки после посева во всех образцах (таблица 3, 4). Наименьшее количество всходов для двух растений обнаружено в образце №5, а наибольшее – в №1, 2 и 4. Прорастание семян редиса масляного длилось 5 суток, а кресс-салата 2 суток во всех образцах (рисунок 42-48, 54-56, 59-64).

Таблица 3 - Количество всходов и всхожесть семян редиса масляного

Количество всходов семян редиса масляного (шт.)										
2019 г										
№ образца субстрата	Продолжительность эксперимента (сутки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль	13	16	18	19	19	19	19	19	19	19
1	11	19	20	20	20	20	20	20	20	20
2	8	20	20	20	20	20	20	20	20	20
3	9	15	17	17	17	17	17	17	17	17
4	8	15	15	16	16	16	16	16	16	16
5	7	18	18	18	19	19	19	19	19	19
6	7	15	15	15	16	16	16	16	16	16
2020 г										
контроль	1	8	14	15	16	18	18	18	18	18
1	2	9	10	13	13	13	17	17	17	17
2	0	13	14	14	14	14	14	14	14	14
3	3	7	8	9	14	16	16	16	16	16
4	1	11	12	15	15	18	18	19	19	19
5	0	8	8	8	8	8	8	8	8	8
6	0	4	9	10	11	12	12	12	12	12
Всхожесть семян редиса масляного (%)										
2019 г										

№ образца субстрата	Продолжительность эксперимента (сутки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль	65	80	90	95	95	95	95	95	95	95
1	55	95	100	100	100	100	100	100	100	100
2	40	100	100	100	100	100	100	100	100	100
3	45	75	85	85	85	85	85	85	85	85
4	40	75	75	80	80	80	80	80	80	80
5	35	90	90	90	95	95	95	95	95	95
6	35	75	75	75	80	80	80	80	80	80
2020 г										
контроль	5	40	70	75	80	90	90	90	90	90
1	10	45	50	65	65	65	85	85	85	85
2	0	65	70	70	70	70	70	70	70	70
3	15	35	40	45	70	80	80	80	80	80
4	5	55	60	75	75	90	90	95	95	95
5	0	40	40	40	40	40	40	40	40	40
6	0	20	45	50	55	60	60	60	60	60

Таблица 4 - Количество всходов и всхожесть семян кресс-салата

Количество всходов семян кресс-салата (шт.)										
2019 г										
№ образца субстрата	Продолжительность эксперимента (сутки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль	0	0	6	11	15	17	19	19	19	19
1	0	0	1	7	8	8	12	12	12	12
2	0	0	2	7	8	8	13	13	13	13
3	0	0	0	2	5	5	5	5	5	5
4	0	1	2	5	5	6	9	9	9	9
5	0	0	1	9	9	10	12	12	12	12
6	0	1	1	5	5	6	7	7	7	7
2020 г										
контроль	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
1	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17
2	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
3	15	18	18	18	18	18	18	18	18	18
4	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
5	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16
6	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Всхожесть семян кресс-салата (%)										
2019 г										

№ образца субстрата	Продолжительность эксперимента (сутки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль	0	0	30	55	75	85	95	95	95	95
1	0	0	5	35	40	40	60	60	60	60
2	0	0	10	35	40	40	65	65	65	65
3	0	0	0	10	25	25	25	25	25	25
4	0	5	10	25	25	30	45	45	45	45
5	0	0	5	45	45	50	60	60	60	60
6	0	5	5	25	25	30	35	35	35	35
2020 г										
контроль	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
1	80	85	85	85	85	85	85	85	85	85
2	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
3	75	90	90	90	90	90	90	90	90	90
4	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
5	75	80	80	80	80	80	80	80	80	80
6	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Максимальный процент всхожести семян в исследованиях 2019 года отмечен в пробах, взятых возле оздоровительного лагеря Чайка и п. Лужесно (редис масляный 100%, кресс-салат 63-68%). В образцах контроль, №1 и 5 данный показатель составил 95,0% для редиса масленного и 47-95% для кресс-салата, что на 10-15% (для редиса масленного) и на 21-41,7% (для кресс-салата) выше аналогичного показателя в образцах №3, 4, 6. Вместе с тем, следует отметить, что такой процент всхожести семян редиса масленного в образцах контроль, №1, 2 и 5 свидетельствует об отсутствии загрязнения, а семян кресс-салата – о слабой степени загрязнения (исключение контроль). Об этом свидетельствуют и высокие значения таких показателей, как энергия прорастания (60-100% для редиса масленного и 10% для кресс-салата), скорость прорастания семян (24,5-38,7 семян в сутки для обоих растений), а также крепкие, ровные с наибольшей длинной всходы семян обоих растений (таблица 5, 6) (рисунок 57-58).

В исследованиях 2020 года максимальный процент всхожести семян для редиса масленного отмечен в пробе № 4 (95%), а для кресс-салата – в пробах №2, 3 и 6 (90-100%), что свидетельствует об отсутствии загрязнения. Вместе с тем, следует отметить, что процент всхожести семян редиса масленного в образцах №1, 2 и 6 свидетельствует о слабой степени загрязнения, а в пробе №5 – о средней. Для семян кресс-салата процент всхожести семян в пробах №1, 4 и 5 показывает слабую степень загрязнения (исключение контроль). Об этом свидетельствуют и высокие значения таких показателей, как энергия прорастания (60-70% для редиса

масляного и 90-100% для кресс-салата), скорость прорастания семян (29,2-32,7 семян в сутки для обоих растений), а также крепкие, ровные с наибольшей длиной всходы семян обоих растений (таблица 5, 6) (рисунок 59-64).

Таблица 5 - Характеристика проростков редиса масляного

Длина всходов редиса масляного (см)										
2019 г										
№ образца субстрата	Продолжительность эксперимента (сутки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль	1,0	1,7	2,7	4,6	7,1	8,6	9,1	9,9	10,3	10,3
1	0,7	1,2	1,8	4,0	5,9	6,3	7,1	7,8	8,2	8,2
2	0,8	1,2	1,7	4,2	8,1	8,2	8,7	9,0	9,3	9,3
3	0,5	1,2	1,9	3,9	6,2	6,7	7,1	7,5	7,7	7,7
4	0,5	0,9	2,0	5,1	5,4	6,4	6,7	6,7	6,9	6,9
5	0,5	1,0	2,0	3,5	4,6	5,2	5,7	5,9	6,3	6,3
6	1,0	1,2	1,9	3,8	5,5	5,7	6,1	6,2	6,3	6,3
2020 г										
контроль	0,1	0,4	0,4	0,5	0,6	0,9	1,0	1,5	2,2	2,3
1	0,2	0,5	0,5	0,5	1,0	1,5	1,6	2,1	2,5	2,7
2	0	0,6	0,7	0,7	1,0	1,2	1,7	1,9	1,9	2,2
3	0,2	0,5	0,5	0,6	0,7	1,4	2,1	2,4	2,5	2,6
4	0,2	0,4	0,5	0,5	0,8	1,5	2,0	2,0	2,0	2,1
5	0	0,6	0,7	0,9	1,2	1,8	1,9	2,0	2,0	2,0
6	0	0,2	0,3	0,5	0,7	1,4	1,6	2,3	2,4	2,7
Длина стебля редиса масляного (см)										
2019 г										
№ образца субстрата	Продолжительность эксперимента (сутки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль	0,2	0,3	0,6	1,8	2,7	3,0	3,1	3,2	3,2	3,2
1	0,3	0,5	0,5	1,8	2,8	2,9	3,2	3,3	3,4	3,4
2	0,2	0,4	0,5	1,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0
3	0,2	0,4	0,6	1,6	2,8	3,0	3,3	3,4	3,5	3,5
4	0,1	0,3	0,5	2,3	2,3	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1
5	0,2	0,3	0,6	2,1	2,2	2,6	2,8	3,0	3,1	3,1
6	0,3	0,5	0,7	1,7	2,9	3,0	3,4	3,4	3,5	3,5
2020 г										
контроль	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,6	0,6	1,1	1,7	1,7
1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,6	1,1	1,1	1,2	1,5	1,5
2	0	0,2	0,3	0,3	0,6	0,8	1,2	1,2	1,4	1,4

3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,7	1,1	1,3	1,4	1,5
4	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,8	1,0	1,0	1,0	1,1
5	0	0,2	0,3	0,5	0,8	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
6	0	0	0,1	0,3	0,5	1,0	1,0	1,0	1,1	1,4
Длина корня редиса масляного (см)										
2019 г										
№ образца субстрата	Продолжительность эксперимента (сутки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль	0,8	1,4	2,1	2,8	4,4	5,6	6,0	6,7	7,1	7,1
1	0,4	0,7	1,3	2,2	3,1	3,4	3,9	4,5	4,8	4,8
2	0,6	0,8	1,2	2,4	5,2	5,3	5,8	6,0	6,3	6,3
3	0,3	0,8	1,3	2,3	3,4	3,7	3,8	4,1	4,2	4,2
4	0,4	0,6	1,5	2,8	3,1	3,3	3,6	3,6	3,8	3,8
5	0,3	0,7	1,4	1,4	2,4	2,6	2,9	2,9	3,2	3,2
6	0,7	0,7	1,2	2,1	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8
2020 г										
контроль	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6
1	0,1	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,9	1,0	1,2
2	0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,7	0,8
3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	1,0	1,1	1,1	1,1
4	0,1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	1,0	1,0	1,0	1,0
5	0	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7
6	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,6	1,3	1,3	1,3

Таблица 6 - Характеристика проростков кресс-салата

Длина всходов кресс-салата (см)										
2019 г										
№ образца субстрата	Продолжительность эксперимента (сутки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль	0	0	1,0	2,2	2,8	3,3	4,3	4,6	4,9	4,9
1	0	0	0,1	0,3	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8
2	0	0	0,1	0,4	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1
3	0	0	0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
4	0	0,1	0,1	0,2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
5	0	0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5
6	0	0,1	0,1	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
2020 г										
контроль	0,2	0,3	0,4	0,5	0,8	1,2	1,2	1,2	2,0	2,1
1	0,2	0,4	0,5	0,6	1,1	1,5	1,6	1,8	1,9	1,9
2	0,1	0,3	0,5	0,5	1,3	1,5	1,6	1,8	1,9	2,1

3	0,1	0,2	0,4	0,5	1,6	1,7	2,0	2,1	2,2	2,3
4	0,1	0,3	0,4	0,5	1,5	1,5	1,8	1,9	2,0	2,2
5	0,2	0,3	0,6	1,0	1,3	1,8	2,4	2,5	2,5	2,8
6	0,2	0,4	0,5	0,7	1,5	1,7	2,6	2,6	2,7	2,7
Длина стебля кресс-салата (см)										
2019 г										
№ образца субстрата	Продолжительность эксперимента (сутки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль	0	0	0,5	1,0	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,6
1	0	0	0	0,1	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
2	0	0	0	0,2	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8
3	0	0	0	0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
4	0	0	0	0,1	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
5	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4
6	0	0	0	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
2020 г										
контроль	0,1	0,2	0,2	0,3	0,6	0,9	0,9	0,9	1,4	1,5
1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,6	1,0	1,0	1,2	1,3	1,3
2	0	0,2	0,3	0,3	0,7	0,9	0,9	1,1	1,2	1,4
3	0	0,1	0,2	0,3	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,4
4	0,1	0,2	0,2	0,3	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	1,4
5	0,1	0,1	0,4	0,6	0,8	1,2	1,2	1,3	1,3	1,6
6	0,1	0,2	0,3	0,4	1,1	1,2	1,4	1,4	1,5	1,5
Длина корня кресс-салата (см)										
2019 г										
№ образца субстрата	Продолжительность эксперимента (сутки)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль	0	0	0,5	1,2	1,6	2,1	2,9	3,1	3,3	3,3
1	0	0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
2	0	0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
3	0	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
4	0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
5	0	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
6	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
2020 г										
контроль	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6
1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6
2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
3	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9
4	0	0,1	0,2	0,2	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8

5	0,1	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6	1,2	1,2	1,2	1,2
6	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	1,2	1,2	1,2	1,2

Вместе с тем, показатель фитотоксичности субстрата в исследованиях 2019 года во всех образцах для редиса масляного свидетельствует о слабой степени фитотоксичности и о сильной степени для кресс-салата (таблица 7). Следовательно, растения показали различную чувствительность.

В исследованиях, проводимых в 2020 году, фитотоксичность во всех образцах для редиса масляного не проявляется. Для кресс-салата в образцах №1-4 фитотоксичность, также не проявляется, исключение пробы №5 и 6, где отмечена слабая степень фитотоксичности. Следовательно, по такому показателю как фитотоксичность состояние вод реки Западная Двина по сравнению с 2019 годом улучшилось.

Таблица 7 - Показатели фитотоксичности субстрата, скорости и энергии прорастания семян тест-объектов

Показатель	Тест-объект	№ образца субстрата						
		контроль	1	2	3	4	5	6
2019 г								
Фитотоксичность субстрата, у.е.	редис масляный	0	20,4	9,7	25,4	33	38,8	38,8
	кресс-салат	0	83,7	83,7	93,9	83,7	89,8	87,8
Скорость прорастания семян, (количество семян/сутки)	редис масляный	38,7	27,2	24,7	26,4	24,5	33,5	29,1
	кресс-салат	36,5	3,7	4,02	1,5	4,4	6,1	4,1
Энергия прорастания семян, %	редис масляный	95	100	100	85	80	95	80
	кресс-салат	95	5	10	0	10	5	5
2020 г								
Фитотоксичность субстрата, у.е.	редис масляный	0	17,4	4,3	13,0	8,7	13,0	13,0
	кресс-салат	0	9,5	0	9,5	4,8	33,3	28,6
Скорость прорастания семян, (количество семян/сутки)	редис масляный	28	25,7	26,3	24,5	29,2	15,4	17,4
	кресс-салат	46,8	32,7	52,7	49,7	49,8	45,8	57,6
Энергия прорастания семян, %	редис масляный	70	50	70	40	60	40	45
	кресс-салат	80	85	90	90	85	80	100

В исследованиях 2019 года кресс-салат показал наибольший тест-отклик в пределах 3,1-9,1% в отличие от редиса масляного – 39-89%. У всех корней кресс-салата, выращенных на тестируемых водах, происходило торможение роста (длина корня в среднем в 11-33 раза меньше, чем в контроле), в отличие от корневой системы редиса, где наблюдалось незначительное отличие от контроля (длина корня в среднем в 1,5-2,5 раза меньше). Наибольший тормозящий эффект на обоих тест-растениях был получен в пробах №3 (граница микрорайона Тирасполя и д. Давыдовки) и 5 (п. Тарный до очистных сооружений).

Приведенные данные свидетельствуют о том, что развитие семян во всех пробах испытывает тормозящее действие исследуемых вод, причем семена кресс-салата показали более сильный тест-отклик. Редис также показал хороший тест-отклик, однако развитие растения снизилось незначительно по сравнению с контролем. Это возможно связано с избирательной чувствительностью тест-культур, которая выражается в том, что семена разных видов по-разному реагируют на определенные классы поллютантов.

В отличие от исследований 2019 года, исследования 2020 года показали отсутствие торможения роста для двух растений в исследуемых пробах (длина корня в среднем не отличалась от аналогичного показателя в контроле), а в некоторых случаях отмечалось стимулирование роста (длина корня в среднем была выше в 2 раза аналогичного показателя в контроле).

Для выявления более точной картины загрязнения вод реки Западная Двина в исследованиях 2020 года был использован еще один тест-объект – это ряска малая. Наибольший процент поврежденных листочков был отмечен в контроле, что связано с недостаточным количеством питательных веществ в дистиллированной воде. Наименьший процент поврежденных листочков был отмечен в образцах №. 5 и 6, здесь же зафиксировано и самое большое общее количество листочков по сравнению с другими пробами (таблица 8, 9). Возможно, это связано с тем, что в данных пробах содержатся поллютанты, оказывающие стимулирующее действие на растение. Это подтверждается и отсутствием торможения роста (длина корней в конце эксперимента практически не отличается от аналогичного показателя в начале эксперимента). Основными повреждениями листочков были побурение и их отмирание (рисунок 72-76). Это доказывает и витальное окрашивание листочков, которое было сетчатого типа (рисунок 77-80). Результаты, полученные в эксперименте с редисом масляным и кресс-салатом, подтверждаются результатами, полученными в эксперименте с ряской малой, исключение составили пробы воды №. 5 и 6. В предыдущих экспериментах в данных пробах было отмечено среднее и слабое загрязнение, а здесь его отсутствие. Возможно, это связано с различной чувствительностью растений.

Таблица 8 – Оценка качества воды по тест-объекту - ряска малая

№ образца субстрата	Общее количество листецов	Число листецов с повреждениями	Отношение числа листецов к числу особей	% поврежденных листецов	Качество воды
контроль	27	14	1,8	51,9	4 - грязная
1	36	5	2,4	13,9	3 – умеренно грязная
2	32	4	2,1	12,5	3 – умеренно грязная
3	32	4	2,1	12,5	3 – умеренно грязная
4	38	5	2,5	13,2	3 – умеренно грязная
5	76	5	5,1	6,6	2 - чистая
6	96	6	6,4	6,3	2 - чистая

Таблица 9- Результаты наблюдений за развитием ряски малой

Сутки	№ образца субстрата	Количество листецов	Насыщенно –зеленая окраска	Пожелтение листецов	Побурение листецов	Отмирание листецов	Средняя длина листецов (см)	Средняя ширина листецов (см)	Средняя длина корня (см)
1	контроль	15	15				0,2	0,2	3,4
	1	15	15				0,2	0,2	3,3
	2	15	15				0,2	0,2	3,6
	3	15	15				0,2	0,2	2,5
	4	15	15				0,2	0,2	3,8
	5	15	15				0,2	0,2	4,6
	6	15	15				0,2	0,2	5,0

5	контроль	20	14	2	3	1			
	1	18	14	1	2	1			
	2	24	21	1	2				
	3	20	13	2	2	3			
	4	20	16		2	2			
	5	33	29		4				
	6	33	32		1				
10	контроль	23	13		2	8			
	1	22	17		4	1			
	2	26	21		3	2			
	3	24	17		4	3			
	4	25	20		3	2			
	5	59	54		3	2			
	6	79	75		4				
15	контроль	27			2	12	0,2	0,2	корни отдельно от листецов
	1	36				5	0,2	0,2	4,1
	2	32				4	0,2	0,2	3,5
	3	32			1	3	0,2	0,2	2,5
	4	38			1	4	0,2	0,2	1,5
	5	76			2	3	0,2	0,2	4,4
	6	96			2	4	0,2	0,2	5,3

3.2 Оценка степени загрязнения вод реки Западная Двина методом зооиндикации

Анализ данных показал, что в исследуемых местах на реке Западная Двина практически отсутствуют организмы, которые являются индикаторами чистых вод (таблица 10). В основном присутствуют обитатели загрязненных водоемов (прудовик) (рисунок 85, 89, 90, 91, 97). По степени загрязненности водоема, грязными являются места исследования (забора проб воды) №2, 3, 4 и 5, а чистыми - №1 и 6.

Таблица 10 – Оценка степени загрязненности реки по методу Майера

№ места исследования (забора проб воды)	Обитатели чистых вод	Организмы средней степени чувствительности	Обитатели загрязненных водоемов	Степень загрязненности водоема
1	Личинки веснянок - 0 Личинки поденок - 0 Личинки ручейников - 0 Личинки вислоккрылок - 0 Двустворчатые моллюски - 1	Бокоплав - 0 Речной рак - 0 Личинки стрекоз – 0 Личинки комаров-долгоножек - 0 Моллюски-катушки, моллюски-живородки - 3	Личинки комаров-звонцов - 0 Пиявки - 0 Водяной ослик - 0 Прудовики - 14 Личинки мошки - 0 Малоцетинковые черви - 2	25 – водоем чистый
2	Личинки веснянок - 0 Личинки поденок - 0 Личинки ручейников - 0 Личинки вислоккрылок - 0 Двустворчатые моллюски - 0	Бокоплав - 0 Речной рак - 0 Личинки стрекоз – 0 Личинки комаров - 0 долгоножек - 0 Моллюски-катушки, моллюски-живородки - 0	Личинки комаров-звонцов - 0 Пиявки - 0 Водяной ослик - 4 Прудовики - 3 Личинки мошки - 0 Малоцетинковые черви - 0	7 – водоем грязный
3	Личинки веснянок - 0	Бокоплав - 0	Личинки комаров-	2 – водоем грязный

	Личинки поденок - 0 Личинки ручейников - 0 Личинки вислоккрылок - 0 Двустворчатые моллюски - 0	Речной рак - 0 Личинки стрекоз - 0 Личинки комаров-долгоножек - 0 Моллюски-катушки, моллюски-живородки - 1	звонцов - 0 Пиявки - 0 Водяной ослик - 0 Прудовики - 0 Личинки мошки - 0 Малоцетинковые черви - 0	
4	Личинки веснянок - 0 Личинки поденок - 0 Личинки ручейников - 0 Личинки вислоккрылок - 0 Двустворчатые моллюски - 1	Бокоплав - 0 Речной рак - 0 Личинки стрекоз - 0 Личинки комаров-долгоножек - 0 Моллюски-катушки, моллюски-живородки - 0	Личинки комаров-звонцов - 0 Пиявки - 0 Водяной ослик - 0 Прудовики - 2 Личинки мошки - 0 Малоцетинковые черви - 0	5 – водоем грязный
5	Личинки веснянок - 0 Личинки поденок - 0 Личинки ручейников - 0 Личинки вислоккрылок - 0 Двустворчатые моллюски - 0	Бокоплав - 0 Речной рак - 0 Личинки стрекоз - 0 Личинки комаров-долгоножек - 0 Моллюски-катушки, моллюски-живородки - 0	Личинки комаров-звонцов - 0 Пиявки - 0 Водяной ослик - 0 Прудовики - 3 Личинки мошки - 2 Малоцетинковые черви - 0	5 – водоем грязный
6	Личинки веснянок - 0 Личинки поденок - 0 Личинки ручейников - 0 Личинки	Бокоплав - 0 Речной рак - 0 Личинки стрекоз - 0 Личинки комаров-долгоножек - 0	Личинки комаров-звонцов - 6 Пиявки - 0 Водяной ослик - 0 Прудовики - 21	27 – водоем чистый

	вислокрылок - 0 Двустворчатые моллюски - 0	Моллюски-катушки, моллюски- живородки - 0	Личинки мошки - 0 Малощетинковые черви - 0	
--	--	---	--	--

Таким образом, воды реки Западная Двина являются по-прежнему загрязненными и непригодными для питья, бытовых нужд и орошения сельскохозяйственных культур, что связано:

- для проб №1-2 с работой доломитового карьера в п. Руба, животноводческой фермы, находящихся выше по течению, а также с постройкой ГЭС (со снижением уровня воды связаны застойные явления, что ухудшает процесс самоочищения воды), сточными водами дач и частных жилых домов с огородами без оборудованной канализации;
- для пробы №3 со сточными водами частной застройкой по берегу реки (дачи и жилые дома с огородами) без оборудованной канализации;
- для пробы №4 с многочисленными загрязненными стоками ливневой канализации (в ливневки попадает микропластик от шин, остатки нефтепродуктов и много других загрязняющих веществ. И при плохой работе ливневой канализации грязная вода прямиком оказывается в реке);
- для пробы №5 со сточными водами частной застройкой по берегу реки (дачи и жилые дома с огородами) без оборудованной канализации, а также работой ОАО Витебскдрев;
- для пробы №6 со сточными водами с территории кладбища и возможно недостаточной работой очистных сооружений УП Витебскоблводоканал.

3.3 Оценка физико-химических свойств речной воды

Динамика физико-химических свойств речной воды представлена в таблице 11. Результаты исследования 2019 года показали во всех образцах, за исключением контроля, наличие осадка. В связи с этим, речная вода в данных образцах характеризуется как слабо мутная (рисунок 101) с едва уловимым запахом (исключение пробы 3, 5 – резкий запах) (рисунок 105). По цветности все образцы не отличались от контроля (исключение пробы 3, 5 и 6 – желтый цвет) (рисунок 100).

Водородный показатель речной воды соответствует значениям слабощелочная среда, что соответствует норме (рН не должен выходить за пределы 6,5-8,5) (рисунок 107-108). Качественные реакции на содержание сульфат-ионов (рисунок 111-115) и сульфит-ионов (рисунок 123-125) отрицательная во всех образцах, что свидетельствует об отсутствии засоления. Исключение составил образец №6 (раствор помутнел) (рисунок 115).

Таблица 11 - Показатели физико-химических свойств речной воды

№ образца речной воды	Физические свойства речной воды			Химические свойства речной воды		
	цветность	интенсивность запаха	мутность	рН	сульфат-ионы	сульфит-ионы
2019 г						
контроль	бесцветная	нет	прозрачная	5.0	нет помутнения	цвет сохранен
1	бесцветная	едва уловимый	слабо мутная	7.0	нет помутнения	цвет сохранен
2	бесцветная	едва уловимый	слабо мутная	6.0	нет помутнения	цвет сохранен
3	желтый	резкий	слабо мутная	7.0	нет помутнения	цвет сохранен
4	бесцветная	едва уловимый	слабо мутная	6.0	нет помутнения	цвет сохранен
5	желтый	резкий	слабо мутная	7.0	нет помутнения	цвет сохранен
6	желтый	едва уловимый	слабо мутная	6.0	помутнения	цвет сохранен
2020 г						
контроль	бесцветная	нет	прозрачная	8.0	нет помутнения	цвет сохранен
1	желтый	едва уловимый	слабо мутная	6.0	нет помутнения	цвет посветлел
2	желтый	едва уловимый	слабо мутная	6.0	нет помутнения	цвет посветлел
3	желтый	резкий	слабо мутная	7.0	нет помутнения	цвет посветлел
4	желтый	резкий	слабо мутная	6.0	нет помутнения	цвет посветлел
5	желтый	резкий	слабо мутная	7.0	нет помутнения	цвет посветлел
6	желтый	едва уловимый	слабо мутная	7.0	нет помутнения	цвет посветлел

Результаты исследования 2020 года показали во всех образцах, за исключением контроля, наличие осадка (рисунок 104). В связи с этим, речная вода в данных образцах характеризуется как слабо мутная (рисунок 104) с едва уловимым запахом (исключение пробы 3, 4 и 5 – резкий запах) (рисунок 106). По цветности все образцы отличались от контроля (желтый цвет) (рисунок 102-103).

Водородный показатель речной воды соответствует значениям слабощелочная среда, что соответствует норме (рН не должен выходить за пределы 6,5-8,5) (рисунок 109-110). Качественные реакции на содержание сульфат-ионов (рисунок 116-122) отрицательная во всех образцах, что свидетельствует об отсутствии засоления. Качественные реакции на содержание сульфит-ионов свидетельствует об органическом загрязнении (раствор посветлел) (рисунок 126-129).

Таким образом, показатели физико-химических свойств речной воды полностью подтвердили данные по степени загрязнения речной воды, полученные в первом эксперименте (фитотестирование).

3.4 Источники возможного загрязнения вод реки Западная Двина и рекомендации по их улучшению

Для исследуемых участков реки Западная Двина выявлены следующие источники загрязнения воды: сточные воды жилищно-коммунального хозяйства; сточные воды промышленных предприятий; поверхностный смыв с городских и сельских территорий; сельскохозяйственная деятельность по берегам реки; стихийные свалки бытового мусора; не канализованная застройка частными домовладениями; последствия постройки ГЭС.

Основными рекомендациями по улучшению экологического состояния реки Западная Двина являются: своевременный вывоз бытового мусора от близко расположенных жилых домов; сортировка мусора (стекло, бумага, пластик); использование менее токсичных реагентов для дорожного покрытия; совершенствование способов и методов очистки сточных вод; рациональное ведение сельского хозяйства; ежегодный мониторинг речной воды методами биотестирования и биоиндикации; просвещение населения по вопросам рационального водопотребления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненной работы были сделаны следующие выводы:

- подтверждена гипотеза о том, что только использование различных тест-объектов в одном исследовании может дать объективную оценку загрязнения вод реки. Биотестирование и биоиндикация являются достаточно простыми методами, которые способны дать реальную оценку состояния речной воды и возможного влияния на организм человека;
- в целом воды реки Западная Двина на исследуемой территории по-прежнему являются загрязненными и непригодными для питья, бытовых нужд и орошения сельскохозяйственных культур. Увеличение токсичности воды фиксируется после прохождения водотока через п. Тарный, а также на участках реки Городской пляж, между д. Давыдовка и микрорайоном Тирасполь;
- для исследуемой территории выявлены такие источники загрязнения речной воды как не канализированные поселки и деревни, сельскохозяйственная деятельность на берегах реки, сброс недостаточно очищенных сточных вод, строительство ГЭС, а также плохая работа ливневой канализации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Александрова, В.В. Биотестирование как современный метод оценки токсичности природных и сточных вод: монография / В.В. Александрова. – Нижневартовск: НВГУ, 2013. – 119 с.
- 2 Богач, Я.М., Седлачек, Ф.К. Животные – биоиндикаторы промышленных загрязнений // Журн. Общей биологии. – 2007. - №5. – С. 5-11.
- 3 Еремеева, А.С., Донченко, М.И., Бучельнико,в В.С., Перегудина, Е.В., Азарова, С.В. Обзор методов биоиндикации и биотестирования для оценки состояния окружающей среды // Молодой ученый. - 2015. - №11. - С. 537-540.
- 4 Жукова, А.А., Мاستицкий, С.Э. Биоиндикация качества природной среды / А.А. Жукова, С.Э. Мастицкий. – Минск: БГУ, 2014. – 112 с.
- 5 Иванютин, Н.М. Изучение трансформации качества вод реки Альма под влиянием антропогенной деятельности // Вода и экология: проблемы и решения. – 2018. - №4. – С. 9-19.
- 6 Измайлова, Н.Л. Биотестирование и биоиндикация состояния водных объектов / Н.Л. Измайлова. – СПб.: СПбГТУРП, 2014. – 52 с.
- 7 Ляшенко, О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды / О.А. Ляшенко. – СПб: ГТУРП, 2012. – 67 с.
- 8 Мансурова, С.Е. Следим за окружающей средой нашего города: школьный практикум / С.Е. Мансурова. – М.: Владос, 2001. – 112 с.
- 9 Мусатова, О.В. Биоиндикация и биоповреждения: методические рекомендации к лабораторным работам / О.В. Мусатова. - Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2006. – 32 с.
- 10 Мэннинг, У.Дж., Федер, У.А. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений / У.Дж. Мэннинг, У.А. Федер. – М.: Гидрометеиздат, 1985. – 143 с.
- 11 Наблюдение рек. Пособие для общественного экологического мониторинга. – RW_manual_Appendix_3_Bioindication. Дата доступа 28.07.2020.
- 12 Никаноров, А.М. Комплексная оценка качества поверхностных вод суши / А.М. Никаноров, В.П. Емельянова // Водные ресурсы. – 2017. - №1. – С. 61-69.
- 13 Новиков, Ю.В. Методы исследования качества воды водоемов /Ю.В. Новиков. – М.: Медицина, 1990. – 381 с.
- 14 Рындевич, С.К. Определение экологического состояния водных Экосистем на основе анализа видового состава беспозвоночных: практическое руководство / С.К. Рындевич. – Барановичи, 2015. – 27 с.
- 12 Статистический ежегодник Витебской области. - 2020. - №781. – 53 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

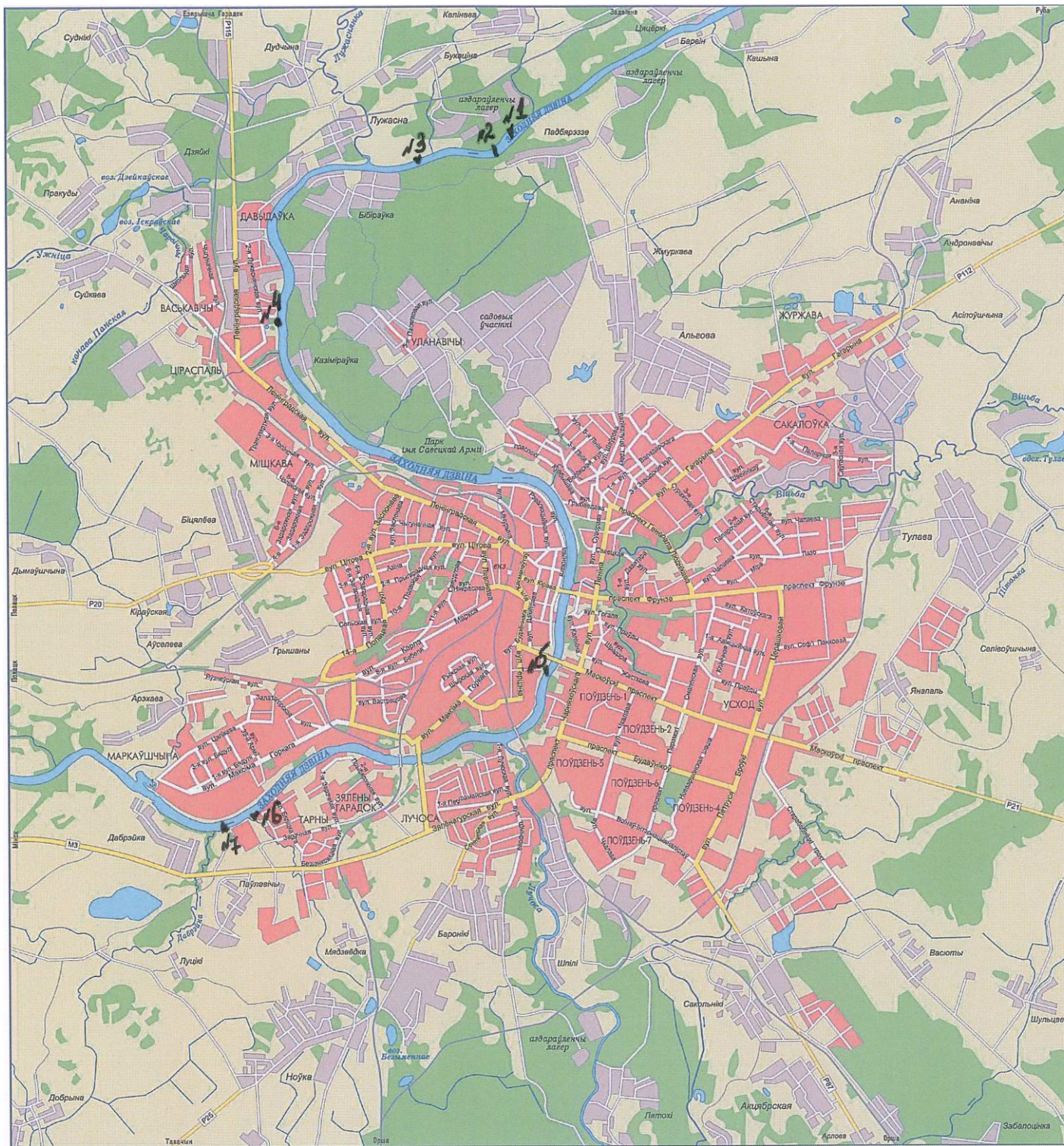


Рис. 1 Карта-схема с местами забора проб воды



Рис. 2 Кресс-салат



Рис. 3 Редис масляный



Рис. 4 Ряска малая



Рис. 5 Забор пробы воды №1 (оздоровительный лагерь Чайка, до ГЭС) в 2019 г



Рис. 6 Забор пробы воды №1 (оздоровительный лагерь Чайка, до ГЭС) в 2020 г



Рис. 7-8 Забор пробы воды №2 (п. Лужесно, после ГЭС) в 2019 г



Рис. 9-10 Забор пробы воды №2 (п. Лужесно, после ГЭС) в 2020 г



Рис. 11 Забор пробы воды №3 (граница между микрорайоном Тирасполь и д. Давыдовка) в 2019 г



Рис. 12-13 Забор пробы воды №3 (граница между микрорайоном Тирасполь и д. Давыдовка) в 2020 г



Рис. 14 Забор пробы воды №4 (Городской пляж) 2019 г



Рис. 15-16 Забор пробы воды №4 (Городской пляж) 2020 г



Рис. 17 Забор пробы воды №5 (п. Тарный до очистных сооружений) 2019 г



Рис. 18-19 Забор пробы воды №5 (п. Тарный до очистных сооружений) 2020 г



Рис. 20 Забор пробы воды №6 (п. Тарный после очистных сооружений) 2019 г



Рис. 21 Забор пробы воды №6 (п. Тарный после очистных сооружений) 2020 г



Рис. 22 Семена растений тест-объектов



Рис. 23 Собранные пробы воды в 2019 г



Рис. 24 Подготовка проб воды для эксперимента 2019 г



Рис. 25 Подготовка проб воды для эксперимента 2019 г



Рис. 26 Подготовка проб воды для эксперимента 2019 г



Рис. 27 Подготовленные пробы воды для эксперимента 2019 г



Рис. 28 Подготовленные пробы воды для эксперимента 2019 г



Рис. 29 Подготовленные пробы воды для эксперимента 2019 г



Рис. 30-34 Подготовленные пробы воды для эксперимента 2020 г



Рис. 35-36 Появление всходов растений тест-объектов 2019 г



Рис. 37 Появление всходов редиса
масленного 2019 г



Рис. 38 Появление всходов
редиса масленного 2019 г



Рис. 41 Появление всходов
кресс-салата 2019 г



Рис. 39-40 Появление всходов растений
тест-объектов 2019 г



Рис. 42-48 Появление всходов растений тест-объектов 2020 г



Рис. 49-50 Подсчет количества проростков и замеры проростков 2019 г



Рис. 51 Проростки семян тест-объектов 2019 г

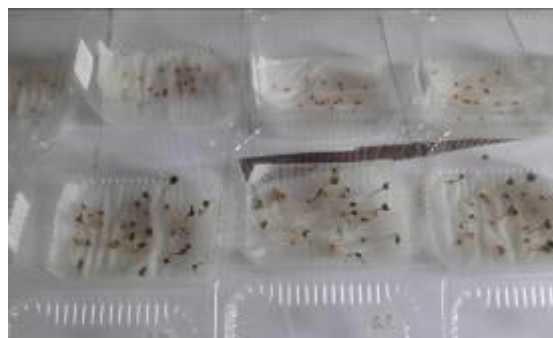


Рис. 52-53 Всходы тест-объектов на 5 сутки эксперимента 2019 г



Рис. 54-56 Всходы тест-объектов на 5 сутки эксперимента 2020 г



Рис. 57-58 Всходы тест-объектов на 10 сутки эксперимента 2019 г



Рис. 59-64 Всходы тест-объектов на 10 сутки эксперимента 2020 г

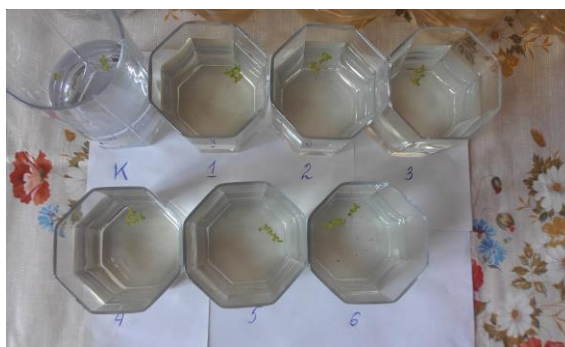
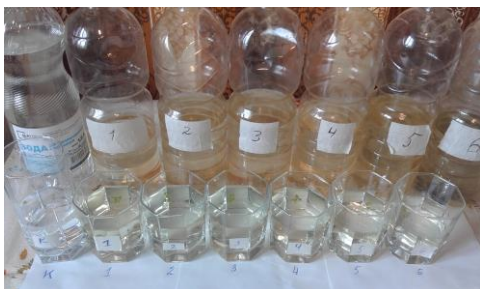


Рис. 65-71 Закладка эксперимента с ряской малой 2020 г

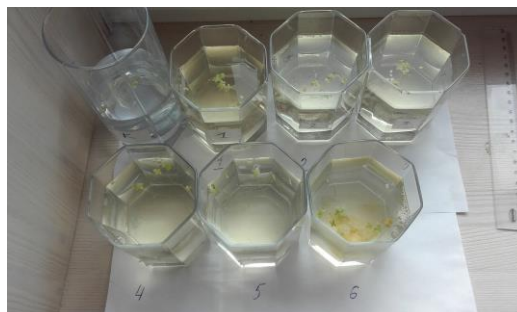
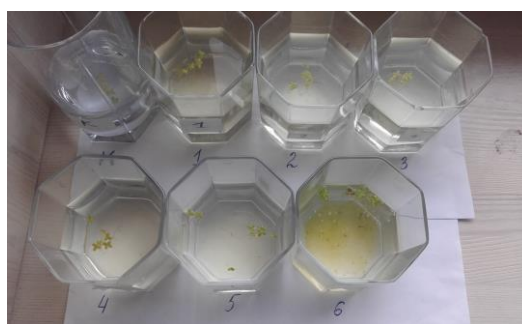
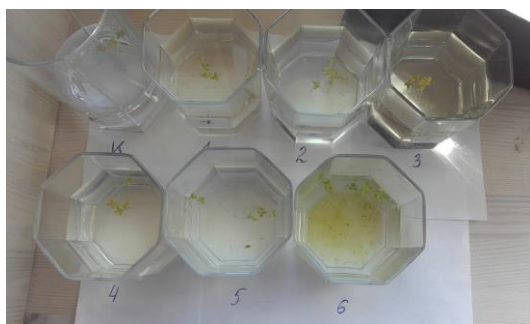


Рис. 72-76 Ряска малая в эксперименте 2020 г

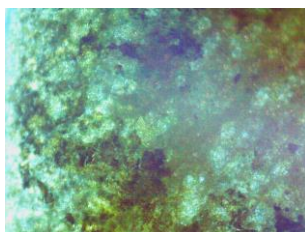
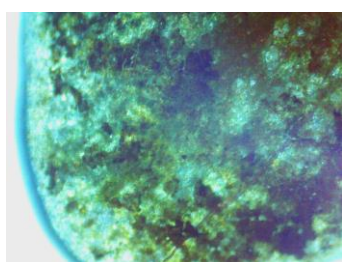


Рис. 77-80 Витальное окрашивание листцов 2020 г





Рис. 81-99 Метод Майера 2020 г



Рис. 100 Определение цветности речной воды 2019 г



Рис. 101 Определение мутности речной воды 2019 г

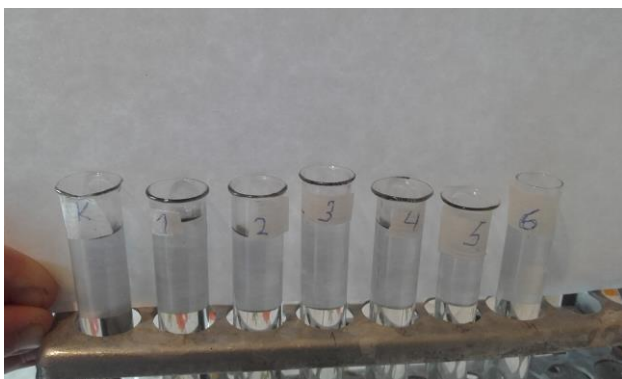


Рис. 102-103 Определение цветности речной воды 2020 г



Рис. 104 Определение мутности речной воды 2020 г



Рис. 105 Определение запаха речной воды 2019 г

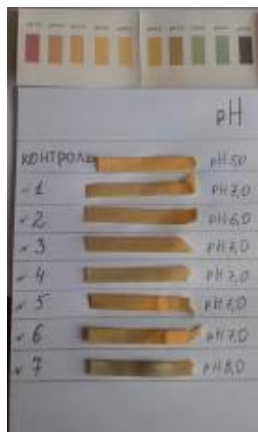


Рис. 107-108 определение pH речной воды 2019 г



Рис. 106 Определение запаха речной воды 2020 г



Рис. 109-110 определение pH речной воды 2020 г





Рис. 111-115 Результаты реакции на определение сульфат-ионов 2019 г





Рис. 116-122 Результаты реакции на определение сульфат-ионов 2020 г





Рис. 123-125 Результаты реакции на определение сульфит-ионов 2019 г



Рис. 126-129 Результаты реакции на определение сульфит-ионов 2020 г