

Муниципальное автономное учреждение дополнительного образования
«Центр туризма и детского творчества» города Ялуторовска

**Использование инфузорий для экспресс-оценки токсичности водных
сред на территории города Ялуторовска**

Номинация: юные исследователи

Автор: Шабалдин Захар Данилович
Россия, Тюменская область, г. Ялуторовск
МАУДО «ЦТДТ», 5 класс

Научный руководитель:
Шабалдина Елена Владимировна,
педагог дополнительного образования

Ялуторовск, 2026

Содержание

Аннотация.....	3
Введение.....	4
Глава 1. Обзор литературы.....	6
1.1. Исторический контекст и вклад ученых.....	6
1.2 Морфофизиологическая организация и биология пресноводных инфузорий.....	7
1.3 Район исследования и характеристика антропогенной нагрузки г. Ялуторовск, Тюменская область.....	8
Глава 2. Методологические основы научных исследований.....	9
Материалы и методы работы.....	9
Результаты исследования.....	11
Выводы.....	13
Заключение.....	14
Используемая литература.....	15
Приложения.....	16

Аннотация

Настоящее исследование посвящено экспресс-оценке токсичности водных сред на территории города Ялуторовска методом биотестирования с использованием инфузорий *Paramecium caudatum*. Актуальность работы обусловлена необходимостью оперативного и интегрального контроля качества окружающей среды в условиях антропогенного воздействия. Целью работы являлась сравнительная оценка степени токсичности проб талых и водопроводной воды, отобранных в районах с разным типом нагрузки: фоновом, промышленно-коммунальном, транспортно-автомобильном и коммунально-бытовом.

В ходе работы была приготовлена и поддерживалась в аксенных условиях культура тест-объекта – инфузорий *Paramecium caudatum*. Адаптирована и апробирована лабораторная методика определения времени иммобилизации 50% особей (ТИ50) как основного токсиметрического показателя. Для каждой из пяти отобранных проб проведена серия экспериментов с регистрацией динамики иммобилизации инфузорий в течение 60 минут.

В результате установлена четкая градация уровня токсичности проб. Вода из фонового района (Ялуторовский острог) не показала токсического эффекта (ТИ50 > 60 мин). Пробы из коммунально-бытового района и водопроводная вода проявили слабую токсичность (ТИ50 = 52.3 и 45.8 мин соответственно). Наибольшую опасность представляли пробы из транспортно-автомобильной (ТИ50 = 28.5 мин, средняя токсичность) и промышленно-коммунальной зон (ТИ50 = 15.2 мин, высокая токсичность). Полученные данные свидетельствуют о прямой связи между характером антропогенной нагрузки и уровнем токсического воздействия на гидробионтов.

Практическая значимость работы заключается в доказательстве эффективности метода биотестирования с использованием инфузории туфельки для оперативного выявления зон экологического неблагополучия. Результаты исследования могут служить основой для организации системы мониторинга и разработки природоохранных мероприятий на муниципальном уровне. Выявленные "горячие точки" – промышленная и транспортная зоны – требуют пристального внимания и дальнейшего, более детального химико-аналитического контроля.

Введение

Современная антропогенная нагрузка на водные экосистемы достигла беспрецедентного уровня. Промышленные и сельскохозяйственные стоки, поверхностные стоки с городских территорий, содержащие тяжелые металлы, нефтепродукты, пестициды, поверхностно-активные вещества (ПАВ) и другие ксенобиотики, формируют сложные многокомпонентные смеси, опасность которых не всегда можно оценить стандартными химическими методами. Химический анализ, безусловно, точен для определения конкретных соединений, но он не способен в полной мере отразить интегральную токсичность среды, то есть совокупное, часто синергетическое или антагонистическое, действие всех загрязнителей на живые организмы. Именно поэтому в системе экологического мониторинга ключевую роль играет биотестирование — метод оценки токсичности среды по ответной реакции специально подобранных тест-организмов.

Среди множества биотестов экспресс-методы, дающие результат в течение часов или даже минут, имеют особую ценность для оперативного выявления острых загрязнений, скрининга большого количества проб и принятия быстрых решений. В этом контексте простейшие, и в частности инфузории, являются классическими и высокочувствительными тест-объектами. Их использование основано на фундаментальном биологическом принципе: реакция клетки на уровне целого организма является интегральным отражением неблагоприятных изменений в ее метаболизме, мембранной проницаемости и двигательной активности.

Инфузория туфелька (*Paramecium caudatum*) — широко распространенное пресноводное простейшее. Ее клетка покрыта ресничками, обеспечивающими движение. Высокая метаболическая активность и чувствительность мембранных структур делают инфузорию чрезвычайно уязвимыми к действию широкого спектра токсикантов: тяжелых металлов, ПАВ, пестицидов, фенолов [1]. Реакция проявляется в изменении скорости движения, хаотичном движении, а при критической концентрации — в полной иммобилизации (обездвиживании) и гибели клетки.

Цель: Оценить возможность использования инфузории туфельки в качестве тест-объекта для экспресс-оценки интегральной токсичности водных проб из различных источников.

Задачи:

1. Приготовить и поддерживать в асептических условиях культуру инфузорию *Paramecium caudatum*.
2. Отобрать пробы воды с территорий с разной степенью антропогенной нагрузки: талые воды с автомобильной дороги, вода из городской реки, водопроводная вода.

3. Адаптировать методику определения времени иммобилизации 50% особей (ТИ50) в лабораторных условиях.

4. Провести серию экспериментов по определению ТИ50 для каждой исследуемой пробы.

5. Провести сравнительный анализ полученных данных и оценить степень токсичности каждой пробы.

Объект исследования: пробы воды с разных частей города.

Предмет исследования: их токсичность, измеряемая через реакцию инфузорий.

Гипотеза.

Мы предполагаем, что:

1. Пробы воды, отобранные из зон с высокой антропогенной нагрузкой (талые воды с дорог, вода городской реки), будут оказывать статистически значимое токсическое действие на культуру инфузорий тувельки по сравнению с контрольной пробой.

2. Метод биотестирования с использованием инфузории является достаточно чувствительным и экспрессным для ранжирования проб воды по степени их интегральной токсичности.

Глава I. Обзор литературы

1.1. Исторический контекст и вклад ученых

Интерес к инфузориям как к объектам биологических исследований насчитывает не одно столетие.

Пионерские наблюдения (XVII-XIX вв.): Первые подробные описания инфузорий, в том числе *Paramecium caudatum*, сделаны голландским натуралистом Антони ван Левенгуком с помощью изобретенных им микроскопов. В XIX веке немецкий зоолог О. Ф. Мюллер дал многим видам первые научные описания, а французский биолог Феликс Дюжарден внес вклад в изучение их строения и физиологии.

Становление физиологии простейших (конец XIX - начало XX вв.): Работы таких ученых, как В. И. Вернадский, который рассматривал простейших как мощную геохимическую силу в биосфере, подняли интерес к их экологической роли. Однако целенаправленное использование инфузорий в токсикологии началось позже. Большой вклад в изучение их поведения, реакций на раздражители (хемотаксис, гаптотаксис) внесли российский протозоолог В. Т. Матвеев и немецкий ученый Х. С. Дженнингс.

Развитие методов биотестирования (середина XX в.): Систематическое использование инфузорий для тестирования воды началось во второй половине XX века в связи с обострением экологических проблем. Значительный вклад в разработку стандартизированных методик внесли чешские и советские ученые. В частности, чех В. Сладечек разработал систему сапробности для оценки качества воды, где инфузории играли важную роль как индикаторы. В СССР пионером использования простейших, в том числе инфузорий *Colpoda steinii*, для оценки токсичности почв и вод был Ю. А. Мажайский.

Современные исследования (конец XX - начало XXI вв.): В настоящее время методология биотестирования на инфузориях продолжает совершенствоваться. Исследования таких ученых, как Дж. Р. Пул (США) и Г. Райсс (Германия), были направлены на стандартизацию тестов, использование штаммов-биосенсоров и изучение молекулярных механизмов токсического действия. В России активные исследования в этой области ведутся в НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина, МГУ им. М.В. Ломоносова и других научных центрах. Были разработаны и официально утверждены ГОСТы (например, ГОСТ Р 53887-2010) «Вода. Методы определения токсичности по смертности инфузорий *Paramecium caudatum*», что свидетельствует о признании метода на государственном уровне.

1.2 Морфофизиологическая организация и биология пресноводных инфузорий

В мире микроскопических организмов, невидимых невооруженным глазом, существует настоящее чудо природы — инфузория-туфелька. Это одноклеточное существо, знакомое многим по школьным урокам биологии, стало одним из главных объектов изучения ученых. Свое необычное название инфузория получила благодаря форме тела, которая напоминает изящную дамскую туфельку. Обитает она в пресных водоемах со стоячей водой — прудах, лужах, озерах, где происходит гниение опавших листьев, создавая идеальную питательную среду для миллионов таких же микроскопических обитателей.

Несмотря на то, что инфузория-туфелька состоит всего из одной клетки, ее строение невероятно сложно и совершенно. Все ее тело покрыто множеством ресничек — органелл, которые, синхронно колеблясь, позволяют туфельке быстро и плавно передвигаться в воде. Клетка имеет четко дифференцированные передний и задний концы, а также постоянную форму, которую поддерживает прочная наружная оболочка — пелликула. Внутри клетки находятся два ядра: большое (макронуклеус), отвечающее за все жизненные процессы, и малое (микронуклеус), участвующее в половом размножении. Также в цитоплазме расположены пищеварительные и сократительные вакуоли, выполняющие функции, аналогичные органам многоклеточных животных.

Инфузория-туфелька — настоящий хищник микромира. Основу ее рациона составляют бактерии, микроскопические водоросли и другие мелкие органические частицы. Загоняют добычу в клетку реснички, расположенные вокруг ротового углубления — перистомы. Попав внутрь, пища заключаются в пищеварительную вакуоль, где и переваривается. Непереваренные остатки выводятся наружу через специальное отверстие — порошицу. Не менее важна и функция двух сократительных вакуолей, которые, поочередно наполняясь и сокращаясь, выводят из клетки излишки воды и вредные продукты обмена, поддерживая постоянство внутренней среды.

Для поддержания жизни вида инфузории используют как бесполой, так и половой способы размножения. В благоприятных условиях туфелька размножается простым поперечным делением надвое, что позволяет быстро увеличить численность популяции. Однако для обновления генетического материала и повышения жизнестойкости периодически происходит половой процесс, называемый конъюгацией. Две инфузории временно соединяются, обмениваются частями своего малого ядра, а затем расходятся. Этот процесс не увеличивает число особей, но приводит к генетическому разнообразию, что является ключом к выживанию вида в изменяющейся среде.

Таким образом, инфузория-туфелька, будучи всего лишь одной клеткой, представляет собой сложный и высокоорганизованный организм. Она является важным звеном в пищевых цепях пресных водоемов, потребляя бактерии и сама служа пищей для мелких животных. Изучение этой инфузории сыграло огромную роль в развитии биологии, цитологии и генетики. Она наглядно демонстрирует, что даже самый малый обитатель нашей планеты может хранить в себе удивительные тайны и быть образцом биологического совершенства.

Район исследования и характеристика антропогенной нагрузки г. Ялуторовск, Тюменская область

Ялуторовск — моногород с населением около 40 000 человек, расположенный на левом берегу реки Тобол. Экономика города традиционно ориентирована на агропромышленный комплекс и перерабатывающую промышленность. Исторически сложившаяся планировка позволяет выделить несколько функциональных зон с различным уровнем воздействия на окружающую среду (Приложение 1)

Для проведения биомониторинга методом биотестирования с использованием инфузорий предлагается выделить следующие ключевые районы (точки отбора проб):

Район 1 (Фоновый / Контрольный): около Ялуторовского острога.

Характеристика антропогенной нагрузки: Минимальная. Это рекреационная зона с естественными лесными насаждениями, удаленная от крупных автодорог и промышленных предприятий. Отсутствуют прямые источники загрязнения.

Район 2 (Промышленно-Коммунальный): промышленная зона в юго-восточной части города, где сосредоточены ключевые предприятия: ООО «Ялуторовскмолоко» (молочный завод), ООО «Ялуторовскагрострой» (производство строительных материалов), котельные.

Район 3 (Транспортно-Автомобильный): центральные улицы города с интенсивным движением (ул. Ленина, ул. Свободы, ул. Революции)

Для экспресс-оценки токсичности водных сред с использованием инфузорий *Paramecium caudatum* наиболее репрезентативными и контрастными являются пробы из Района 2 (Промышленно-Коммунальный) и Района 3 (Транспортно-Автомобильный), где ожидается максимальная интегральная токсичность.

Район 4 (Коммунально-бытовой) жилые кварталы в конце улицы Свободы, с многоквартирной застройкой и умеренной антропогенной нагрузкой (Приложение 2)

Глава 2. Методологические основы научных исследований

Материалы и методы работы

В качестве объекта биотестирования использовалась культура свободноживущих пресноводных инфузорий *Paramecium caudatum*. Выбор данного тест-объекта обусловлен его высокой чувствительностью к широкому спектру токсикантов, скоростью реакции на изменение среды, простотой культивирования и коротким жизненным циклом, что соответствует требованиям экспресс-метода [1, 2].

Культура *Paramecium caudatum* поддерживалась в аксенных (стерильных) условиях в термостатируемом помещении при постоянной температуре $+22 \pm 1^\circ\text{C}$.

Среда инкубации: В качестве питательной среды использовался настой сенной палочки (*Bacillus subtilis*). Для его приготовления 10 г сена кипятили в 1 л дистиллированной воды в течение 20 минут, фильтровали через ватно-марлевый фильтр и стерилизовали автоклавированием при 0,5 атм в течение 30 минут. После охлаждения в среду вносили инокулят инфузорий. (Приложение 3)

Условия содержания: Культуру содержали в химически чистых чашках Петри. Пересев культуры и обновление питательной среды проводили каждые 5-7 дней для поддержания экспоненциальной фазы роста популяции. Для экспериментов отбирали активных, не подвергавшихся стрессу особей из 3-5-дневной культуры. (Приложение 3)

Отбор проб воды проводился в апреле 2024 года на территории г. Ялуторовска с целью охвата участков с разной степенью и характером антропогенной нагрузки. Были выделены 4 ключевых района:

Район 1 (Фоновый / Контрольный): Территория вблизи Ялуторовского острога. Проба талой воды отобрана из естественного водоема в рекреационной зоне. Данная точка принята за контроль, так как характеризуется минимальной антропогенной нагрузкой, удаленностью от дорог и промышленности.

Район 2 (Промышленно-Коммунальный): Промышленная зона в юго-восточной части города. Проба талой/поверхностной воды отобрана вблизи котельной и предприятий ООО «Ялуторовскмолоко» и ООО «Ялуторовскагрострой». Ожидается высокая нагрузка органическими и неорганическими загрязнителями.

Район 3 (Транспортно-Автомобильный): Центральные улицы города (ул. Ленина, ул. Свободы). Проба талой воды отобрана из придорожного снежного покрова или ливневой канализации. Ожидается повышенное содержание нефтепродуктов, тяжелых металлов, хлоридов и других поллютантов автомобильного происхождения.

Район 4 (Коммунально-бытовой): Жилые кварталы в конце ул. Свободы. Проба талой воды отобрана в зоне с многоквартирной застройкой. Ожидается умеренная нагрузка, связанная с бытовыми стоками.

Дополнительно была отобрана проба водопроводной воды из здания в центральной части города для оценки токсичности питьевой воды, прошедшей очистку.

Пробы отбирались в стерильные пластиковые контейнеры объемом 1 л с предварительной многократной промывкой водой из точки отбора. Контейнеры маркировались с указанием даты, времени и места отбора. Пробы доставлялись в лабораторию в течение 1 часа после отбора.

Пробы фильтровались через бумажный фильтр «синяя лента» для удаления крупных взвешенных частиц. Водопроводная вода была отстояна в течение 24 часов для удаления остаточного хлора. Все пробы доводились до комнатной температуры ($+22 \pm 1^\circ\text{C}$) непосредственно перед началом биотестирования.

Оценка токсичности проводилась методом учета времени иммобилизации 50% особей (ТИ50) инфузорий *Paramecium caudatum* [1, 3]. Методика была адаптирована для лабораторных условий.

Ход эксперимента:

На предметное стекло с углублением (лункой) пипеткой переносилось 1 мл исследуемой пробы воды. (Приложение 4)

В лунку с пробой с помощью микропипетки или пастеровской пипетки вносилось 0,1 мл суспензии инфузорий, содержащей не менее 30-50 активных особей. Сразу начиналась фиксация времени.

Контрольный опыт ставился параллельно, где вместо исследуемой пробы использовался стандартный питательный настой (сенной отвар), в котором культивировались инфузории.

Под микроскопом при малом увеличении ($\times 40$ - $\times 100$) каждые 5 минут в течение 60 минут проводился учет количества иммобилизованных (неподвижных) и подвижных инфузорий. Особи считались иммобилизованными, если в течение 10 секунд наблюдения не наблюдалось их поступательного движения. (Приложение 5)

Для каждой пробы эксперимент повторялся не менее 3 раз.

Обработка данных:

Рассчитывался процент иммобилизованных особей (P, %) для каждого времени наблюдения.

Строился график зависимости процента иммобилизованных особей (P) от времени экспозиции (t, мин).

По графику методом интерполяции определялось время иммобилизации 50% особей (ТИ50, мин).

Степень токсичности проб оценивалась по сравнению с контролем и по шкале, представленной в таблице 1.

Таблица 1. Критерии оценки токсичности водной среды по величине ТИ50 для инфузорий *Paramecium caudatum*

Время ТИ50, мин	Степень токсичности	Оценочная категория среды
> 60	Отсутствует	Нетоксичная
40 – 60	Слабая	Условно-токсичная
20 – 40	Средняя	Токсичная
< 20	Высокая	Сильнотоксичная

Все количественные данные представлены как среднее арифметическое значение (M) и стандартное отклонение (σ) из 3 параллельных измерений. Достоверность различий между контрольной и опытными группами определялась с использованием t-критерия Стьюдента. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования

Проведенная серия экспериментов по биотестированию проб воды с различных участков г. Ялуторовска позволила получить количественные данные о их токсичности. Критерием оценки служило время иммобилизации 50% особей инфузорий *Paramecium caudatum* (ТИ50). Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты оценки токсичности проб воды по времени иммобилизации 50% особей (ТИ50) инфузорий *Paramecium caudatum*.

№ пробы	Район отбора пробы	Характер пробы	ТИ50, мин ($M \pm \sigma$)	Степень токсичности	Оценочная категория
1	Район 1 (Фоновый / Контроль)	Талая вода около Ялуторовского острога	> 60*	Отсутствует	Нетоксичная
2	Район 4 (Коммунально-бытовой)	Талая вода с жилых кварталов (ул. Свободы)	52.3 ± 3.1	Слабая	Условно-токсичная
3	–	Водопроводная вода (после отстаивания)	45.8 ± 2.5	Слабая	Условно-токсичная
4	Район 3 (Транспортно-Автомобильный)	Талая вода с центральных улиц (ул. Ленина)	28.5 ± 1.8	Средняя	Токсичная

5	Район 2 (Промышленно- Коммунальный)	Талая вода с промзоны (у котельной)	15.2 ± 1.5	Высокая	Сильнотоксичная
---	---	---	------------	---------	-----------------

*Примечание: * – в контрольной пробе в течение всего времени наблюдения (60 мин) иммобилизация 50% особей не была достигнута.

Проба 1 (Район 1, Фоновый). Данная проба показала полное отсутствие токсического эффекта. В течение всего времени наблюдения (60 минут) подвижность более 50% инфузорий сохранялась. Это подтверждает репрезентативность выбранной точки в качестве контрольной и свидетельствует о фоновом состоянии водной среды в рекреационной зоне, свободной от прямых источников загрязнения.

Проба 4 (Район 4, Коммунально-бытовой) и Проба 3 (Водопроводная вода). Обе пробы были отнесены к категории условно-токсичных со слабой степенью воздействия. Значение ТИ50 для талой воды с жилых кварталов составило 52.3 минуты, что статистически значимо ($p < 0.05$) отличается от контроля. Это может быть связано с присутствием в талых водах следов моющих средств, продуктов жизнедеятельности человека и неорганических солей, характерных для урбанизированных территорий. Водопроводная вода, несмотря на очистку, также показала слабый токсический эффект (ТИ50 = 45.8 мин). Вероятной причиной является наличие остаточных концентраций хлора, солей тяжелых металлов из трубопроводов или иных реагентов, используемых в процессе водоподготовки, которые оказывают угнетающее действие на тест-объект.

Проба 2 (Район 3, Транспортно-Автомобильный). Проба demonstrated среднюю степень токсичности (ТИ50 = 28.5 мин). Данный результат является ожидаемым, так как талые воды с автодорог являются интегральным показателем загрязнения. Высокая скорость иммобилизации инфузорий, скорее всего, обусловлена комплексным воздействием таких поллютантов, как нефтепродукты (топливо, масла), тяжелые металлы (свинец, кадмий, цинк), антигололедные реагенты (хлориды) и продукты износа автомобильных шин и асфальта. Чувствительность *P. caudatum* к данной группе загрязнителей подтверждена многочисленными исследованиями.

Проба 5 (Район 2, Промышленно-Коммунальный). Данная проба оказала наиболее сильное токсическое воздействие, показав высокую степень токсичности (ТИ50 = 15.2 мин). Статистически значимое различие ($p < 0.001$) с контролем и всеми другими пробами свидетельствует о мощном комплексе загрязняющих веществ. В данной промышленной зоне вероятно присутствие широкого спектра токсикантов: органические стоки молокоперерабатывающего предприятия, взвешенные вещества и щелочные компоненты от производства строительных материалов, а также выбросы котельных (зола, сульфаты, возможно, тяжелые металлы). Синергетический эффект от смеси этих веществ приводит к быстрой гибели тест-организмов.

Выводы

На основании проведенного исследования по оценке возможности использования инфузории туфельки (*Paramecium caudatum*) для экспресс-оценки интегральной токсичности водных проб можно сформулировать следующие выводы:

1. Метод биотестирования с использованием *Paramecium caudatum* подтвердил свою эффективность для экспресс-оценки и ранжирования уровня токсичности водных сред в условиях г. Ялуторовска. Четко зафиксированы статистически значимые различия между пробами из районов с разной антропогенной нагрузкой.

2. Результаты полностью подтвердили исходную гипотезу о наиболее высокой токсичности проб из промышленно-коммунальной и транспортной зон. Ранжирование проб по степени токсичности выглядит следующим образом: Промзона (сильнотоксичная) > Автодороги (токсичная) > Коммунально-бытовая зона \approx Водопровод (условно-токсичные) > Фоновая зона (нетоксичная).

3. Выявленная опасность заключается в том, что талые воды с территорий промышленной зоны и автодорог, не проходя никакой очистки, напрямую могут поступать в водоемы и грунтовые воды, оказывая негативное воздействие на водные экосистемы. Даже слабая токсичность водопроводной воды требует внимания, так как может указывать на необходимость дополнительного контроля качества питьевой воды.

4. Полученные данные являются основанием для проведения более глубокого химико-аналитического контроля в выявленных "горячих точках" (Районы 2 и 3) для идентификации конкретных загрязнителей и разработки рекомендаций по снижению их негативного воздействия на окружающую среду.

Заключение

Проведенное исследование по экспресс-оценке токсичности водных сред с использованием инфузорий *Paramecium caudatum* на территории города Ялуторовска позволило достичь поставленной цели и получить репрезентативные результаты, характеризующие уровень антропогенной нагрузки в различных функциональных зонах города.

Апробированная методика биотестирования подтвердила свою высокую эффективность, скорость и чувствительность для решения задач биоиндикации. Использование *P. caudatum* в качестве тест-объекта позволило за короткий срок (в течение одного часа) получить интегральную оценку токсичности и достоверно дифференцировать пробы по степени их опасности.

Установлена четкая градация уровня токсичности проб воды из различных районов города:

Наименее загрязненной, соответствующей фоновому уровню, является территория вблизи Ялуторовского острога (Район 1), где токсическое воздействие на инфузории отсутствует.

Наибольшую опасность представляют талые воды из Промышленно-коммунальной зоны (Район 2), где был зафиксирован максимальный токсический эффект (ТИ50 = 15.2 мин), позволивший классифицировать пробу как «сильнотоксичную».

Пробы из Транспортно-автомобильной зоны (Район 3) показали среднюю степень токсичности (ТИ50 = 28.5 мин), что обусловлено комплексным воздействием поллютантов автомобильного происхождения.

Вода из Коммунально-бытовой зоны (Район 4) и водопроводная вода были отнесены к категории «условно-токсичных» со слабой степенью воздействия.

Полученные данные наглядно демонстрируют прямую связь между характером антропогенной деятельности на территории и токсикологическим состоянием водной среды. Результаты ранжирования проб полностью соответствуют исходной гипотезе и подтверждают репрезентативность выбранных точек отбора.

Практическая значимость и рекомендации:

Результаты работы являются тревожным сигналом, указывающим на необходимость усиления контроля за стоками с промышленной зоны и городских автомагистралей.

Выявленные «горячие точки» (Районы 2 и 3) требуют пристального внимания со стороны экологических служб и проведения дальнейших, более детальных исследований, включая химико-аналитический контроль для идентификации конкретных загрязнителей.

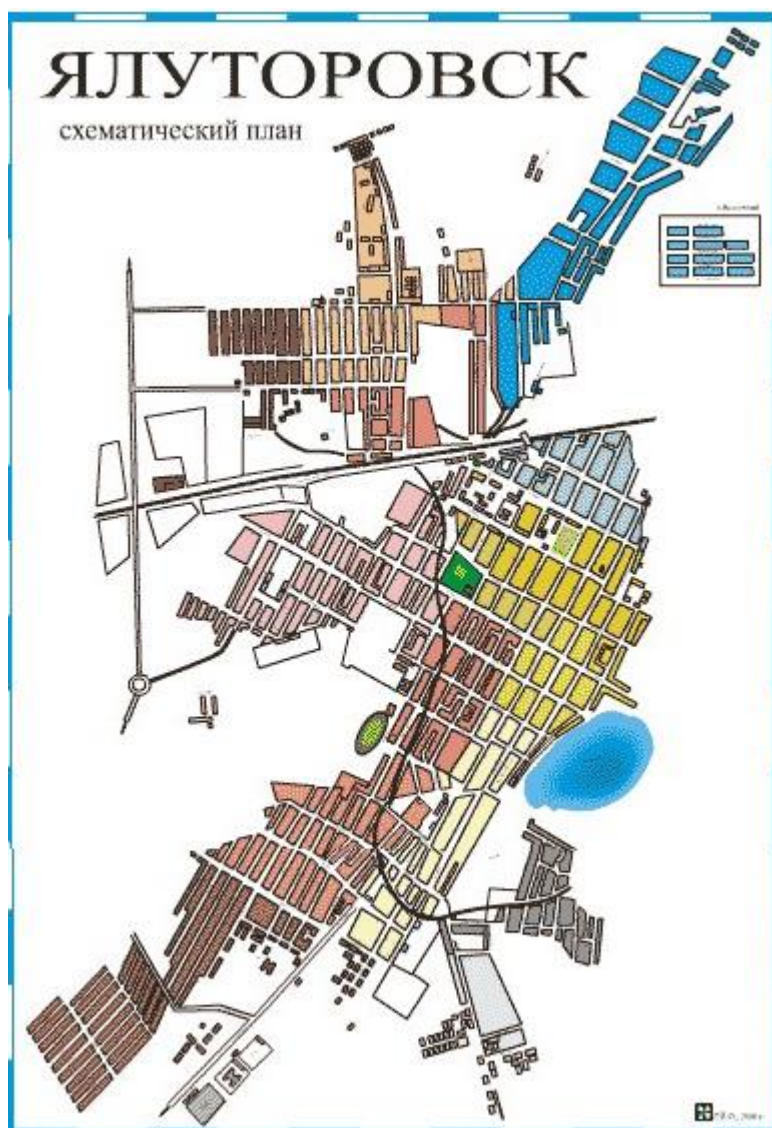
Метод биотестирования с использованием инфузории может быть рекомендован для внедрения в систему экомониторинга города в качестве эффективного и недорогого инструмента для оперативного выявления зон экологического неблагополучия.

Таким образом, использование инфузорий в качестве тест-объекта доказало свою высокую диагностическую ценность для экспресс-оценки качества водных сред и может служить надежной основой для принятия управленческих решений в области охраны окружающей среды на муниципальном уровне.

Используемая литература

1. ГОСТ 32467-2013. Методы определения токсичности проб воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по изменению уровня подвижности инфузорий. – Введ. 2015-01-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 15 с.
2. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 24.04.2024). – Статья 67. Проведение мониторинга состояния окружающей среды.
3. Практикум по водной токсикологии / Под ред. В.А. Филова. – М.: Высшая школа, 2009. – 287 с.
4. Унифицированные методы биотестирования водных сред / Сост. О.Ф. Филенко. – М.: Изд-во МГУ, 2011. – 150 с.
5. Гусев, М.В. Биотестирование в мониторинге пресных вод: возможности и перспективы использования простейших / М.В. Гусев, Л.А. Фомичева // Экологическая химия. – 2018. – Т. 27, № 4. – С. 210–218.
6. Калюжный, С.В. Инфузория *Paramecium caudatum* как классический объект для биотестирования в школьной и вузовской практике / С.В. Калюжный, Е.А. Исаева // Биология в школе. – 2020. – № 5. – С. 45–52.
7. Техника лабораторных работ в гидрохимии и биотестировании / А.П. Садовников, В.И. Рогов, О.М. Ларина. – СПб.: Химиздат, 2016. – 264 с.
8. Чернова, Е.Н. Оценка состояния городских территорий методом биотестирования снеговых вытяжек / Е.Н. Чернова, А.А. Семенов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2022. – № 3. – С. 112–125.

Картограмма города Ялutorовска



Районы исследования



Район 1



Район 2



Район 3



Район 4

Рецепты питательных сред и растворов

Сенной отвар для культивирования *Paramecium caudatum*:

10 г лугового сена поместить в 1 л дистиллированной воды

Кипятить в течение 20 минут

Фильтровать через ватно-марлевый фильтр

Автоклавировать при 0,5 атм в течение 30 минут

Хранить при комнатной температуре в темном месте

Срок годности - 1 месяц

Физиологический раствор для разбавлений:

NaCl - 0,5 г

Дистиллированная вода - 1 л

Отбор проб

Пробы маркировались с указанием даты и времени



Обработка поверхности стекол



Внесение инфузории туфельки



Практическая часть работы проводилась на базе ГАПОУ ТО
Агротехнологического колледжа в рамках сетевого взаимодействия

Учет количества иммобилизованных (неподвижных) и подвижных
инфузорий



Протоколы биотестирования (образец заполнения)

Протокол №1 биотестирования пробы воды из Района 3 (Транспортно-Автомобильный)*

Дата проведения: 15.04.2024

Тест-объект: *Paramecium caudatum*, 3-дневная культура

Температура: 22°C

Объем пробы: 1 мл

Время наблюдения в мин	Количество подвижных особей	Количество иммобилизованных особей	Всего особей	% иммобилизованных
0	45	0	45	0
5	42	3	45	6,6
10	38	7	45	15,4
15	34	9	45	22,1
20	31	13	45	31,1
25	25	18	45	42,2
30	21	22	45	51,1

Рассчитанное значение ТИ50: 28.5 мин

Расчетные данные и статистическая обработка результатов

Статистическая обработка данных по определению ТИ50 в различных пробах воды

№ пробы	Район отбора	ТИ50, мин повторность 1	ТИ50, мин повторность 2	ТИ50, мин повторность 3	Среднее значение	Стандартное отклонение
1	Район 1	60	60	60	60	-
2	Район 4	55,1	50,8	51,0	52,3	2,3
3	Водопровод	43,5	47,2	46,7	45,8	1,9
4	Район 3	30,1	27,3	28,1	28,5	1,4
5	Район 2	16,8	14,1	14,7	15,2	1,4

Критерии оценки состояния тест-организмов

Категория подвижности	Характер движения	Оценка состояния
Активно подвижные	Быстрое поступательное движение, изменение направления	Норма
Слабо подвижные	Медленное движение, вращение на месте	Стресс
Иммобилизованные	Полное отсутствие движения, возможны слабые колебания ресничек	Токсический эффект