

государственное общеобразовательное учреждение Ярославской области
«Лицей № 86»

Региональная конференция
по научно-техническому творчеству школьников
«Лабиринты науки»

**Мониторинг качества воды реки Великая
Ярославского района Ярославской области**

Секция: Экология

Автор: Лобов Илья Вячеславович,
9б класс, ГОУ ЯО «Лицей №86»

Руководители: Озерова Ольга Николаевна,
учитель биологии ГОУ ЯО «Лицей № 86»;
Масленникова Юлия Михайловна,
преподаватель ГПОАУ ЯО «Ярославский промышленно-
экономический колледж им. Н.П. Пастухова»

Ярославль, 2024

Оглавление

Введение.....	3
1. Химический и физико-химический анализ воды.....	5
1.1. Определение взвешенных веществ.....	5
1.2. Определение сухого остатка.. ..	6
1.3. Определение общей жесткости воды.. ..	6
1.4. Определение окисляемости воды.. ..	7
1.5. Определение цветности воды.. ..	8
1.6. Определение pH воды.....	8
2. Определение токсичности воды	10
Заключение.....	11
Список информационных источников.....	12
Приложение 1.....	13
Приложение 2.....	19
Приложение 3.....	20

Введение

Вода играет первостепенную роль в жизни всех живых организмов. Человек — не исключение. Больше всего воды содержит мозг человека — до 85 %, мышечная ткань — около 70 %. Для человеческого организма вода — это второе по значимости вещество после кислорода. Загрязняя реки сточными водами, мы наносим ущерб природным ресурсам нашей страны и своему здоровью. У каждой большой реки есть притоки, притоки реки важны тем, что они увеличивают ее объем и регулируют водный режим.

Изучение притоков рек является важной задачей для понимания водного режима территории и принятия эффективных мер по сохранению водных ресурсов.

Качество воды притоков является одним из главных показателей их экологического состояния. Для его изучения проводятся химические, бактериологические и радиометрические анализы воды.

Одним из притоков реки Волги является река Великая.

Великая – река в России, протекает в Ярославском районе Ярославской области, частично на южной границе городского округа Ярославль. Устье реки находится в 2607 км по правому берегу реки Волга. Длина реки составляет 24 км, площадь бассейна — 116 км².

Цель проекта: провести мониторинг качества воды реки Великая с помощью различных методов.

Задачи:

1. Изучить литературу по теме проекта.
2. Провести химический и физико-химический анализ воды в динамике.
3. Провести кресс-салатный тест с целью определения токсичности воды.

Объект исследования: образцы воды из реки Великая.

Предмет исследования: степень загрязнения и токсичность воды.

Методы исследования:

1. Анализ литературы.
2. Химический и физико-химический анализ.
3. Эксперимент (кресс-салатный тест).
4. Анализ результатов эксперимента.

Гипотеза: вода из реки Великая не пригодна для питья, т.к. имеет желтоватый оттенок и специфический запах.

1. Химический и физико-химический анализ воды

Химический и физико-химический анализ — это комплекс исследовательских мероприятий, направленных на установление уровня концентрации тех или иных веществ в воде.

Важность таких мероприятий заключается в определении степени соответствия содержания вредных и опасных для экосистемы и здоровья человека веществ, которые образуются в результате деятельности предприятий [1].

1.1. Определение взвешенных веществ

Определение взвешенных веществ в воде является важным заданием, так как наличие этих частиц может оказывать негативное влияние на качество воды и среду обитания водных организмов. Например, высокое содержание взвешенных веществ может привести к плохой видимости в водных системах, уменьшению проницаемости света и нарушению баланса экосистемы.

Результаты анализа взвешенных веществ в воде позволяют определить степень загрязнения водных систем, основные источники загрязнения и меры по их снижению. Это позволяет принять эффективные меры для охраны окружающей среды и обеспечения безопасности водопользования [2].

Существует несколько методов анализа взвешенных веществ в воде, я использовал гравиметрический метод (см. Приложение 1).

Результаты исследования по определению взвешенных веществ.

Концентрация взвешенных веществ в пробе воды в сентябре 2023 г. составила 88,6 мг/дм³, а в сентябре 2024 г. – 88,5 мг/дм³.

Заключение.

Общепринятой допустимой концентрацией взвешенных частиц, не наносящих вред экосистеме водной среды, считается показатель не более 300 мг/ дм³.

Вода в реке Великая, по показателю взвешенные вещества не наносит вред экосистеме реки Волги, но для водоснабжения по данному показателю, не пригодна.

1.2. Определение сухого остатка

Наличие сухого остатка указывает на содержание всех неорганических и органических веществ после испарения жидкости. Высокий уровень сухого остатка может указывать на наличие загрязнений в воде, а низкий уровень может говорить о нехватке минералов и солей [3].

Определение сухого остатка осуществляется с помощью выпаривания воды (см. Приложение 1).

Результаты исследования по определению взвешенных веществ.

Концентрация сухого остатка в пробе воды в сентябре 2023 г. составила 375,45 мг/дм³, а в сентябре 2024 г. – 313, 40 мг/дм³.

Заключение.

Допустимая концентрация сухого остатка, для централизованного водоснабжения не должна превышать 1000 мг/дм³. По показателям вода пригодна для питья.

1.3. Определение общей жесткости воды

У речной воды общая жесткость – это показатель, который указывает на количество растворенных минеральных веществ в воде, например кальция, магния.

Кальций и магний, которые присутствуют в речной воде, являются важными макроэлементами для питания растений. Высокая жесткость воды способствует улучшению питательных веществ для растений. В тоже время общая жесткость воды может приводить к образованию накипи в различных системах, таких как трубопроводы, котлы и водонагреватели. Некоторые виды рыб и другие водные организмы могут быть чувствительны к высокой общей жесткости воды. В целом, общая жесткость воды в реках имеет сложное взаимодействие с окружающей средой. Понимание этих

взаимосвязей является важным для разработки устойчивого и эффективного управления водными ресурсами [4,5].

Для определения жесткости воды мы использовали комплексометрический метод, сущность которого основана на образовании комплексных соединений трилона Б с ионами щелочноземельных элементов. Определение проводят титрованием пробы раствором трилона Б при $\text{pH}=10$ в присутствии индикатора. В конце титрования изменяется окраска раствора, из розового он становится синим (см. Приложение 1).

Результаты исследования по определению жесткости воды.

Общая жесткость воды в сентябре 2023 г. составила $5,65^\circ\text{Ж}$, а в сентябре 2024 г. – $12,65^\circ\text{Ж}$.

Заключение.

По величине общей жёсткости различают воду мягкую (до 2°Ж), средней жёсткости ($2\text{-}10^\circ\text{Ж}$) и жёсткую (более 10°Ж).

Оптимальная общая жесткость речной воды для человека составляет $5\text{-}7$ мг-экв/л или $^\circ\text{Ж}$. Общая жесткость воды в реке Великая за период исследования выросла более, чем в 2 раза, такая вода не может быть пригодна по этому показателю для питьевых целей. Однако подобное повышение жесткости безопасно для экосистемы.

1.4. Определение окисляемости воды

При высокой окисляемости воды происходит окисление органических веществ, что приводит к увеличению содержания металлов, солей и других вредных веществ в воде. Это может вызвать различные отрицательные последствия для окружающей среды, включая загрязнение природных водоемов и почвы, а также отравление растений и животных [6].

Сущность метода заключается в окислении органических и неорганических веществ, присутствующих в пробе анализируемой воды заданным количеством перманганата калия в сернокислой среде в процессе нагревания, последующем добавлении раствора щавелевой кислоты, и титровании его избытка раствором перманганата калия (см. Приложение 1).

Результаты исследования по определению жесткости воды.

Окисляемость пробы воды в сентябре 2023 г. составила 3,28 мгО/дм³, а в сентябре 2024 г – 3,38 мгО/дм³.

Заключение

ПДК перманганатной окисляемости воды не должен превышать 5,0 мгО/дм³. Наиболее пригодной для питья, полива, хозяйственных целей считается показатель 3,0 мг на литр. По этому показателю вода содержит низкую окисляемость и пригодна для питья, хозяйственных нужд.

1.5. Определение цветности воды

Цветность воды является одним из основных показателей качества питьевой воды. Она указывает на наличие в воде различных веществ, которые могут сказываться на ее внешнем виде и вкусовых характеристиках. Вода с высоким уровнем цветности может быть непригодной для питья и использования в быту, так как содержание вредных веществ может привести к отравлениям и заболеваниям. Кроме того, повышенная цветность может негативно сказываться на экосистеме водоема, приводя к гибели рыбы и других водных организмов [7].

Цветность я определял методом фотометрии (см. Приложение 1).

Результаты исследования по определению цветности воды.

Цветность анализируемой воды в сентябре 2023 г. составила 49,15 градус цветности, а в сентябре 2024 г. – 57 градус цветности.

Заключение.

Норма цветности для питьевой воды не должна превышать 20 градус цветности. Проба анализируемой воды относится к малой цветности (малая цветность находится в пределах от 25 до 50 градус цветности). Таким образом вода по показателю цветности не может применяться в качестве питьевой воды, но пригодна для обитателей экосистемы.

1.6. Определение рН воды

Одним из факторов воздействия на состав и качество воды может быть повышенное значение рН. Один из наиболее серьезных негативных эффектов

высокого pH — это загрязнение воды. Высокий pH может изменить химический баланс воды, что способствует размножению вредных микроорганизмов и водорослей.

Для измерения pH воды был использован pH-метр (см. Приложение 1).

Результаты исследования по определению pH воды.

pH анализируемой воды в сентябре 2023 г. составил 6,75 pH, а в сентябре 2024 г. – 7,8 pH.

Заключение

Исходя из концентрации ионов водорода, значение pH измеряется в пределах от 0 до 14. Величина pH бывают различны. Если pH=7 отвечает нейтральному состоянию воды, если меньше 7- кислотному, а если больше 7- щелочное.

Предельно допустимая концентрация от 6,5 до 8,5 pH.

В нашем случае анализируемая проба стабильно отвечает кислотному состоянию воды.

Физико-химический анализ воды проводился в лаборатории ЯПЭК (см. Приложение 3).

2. Определение токсичности воды

Специфический цвет и запах воды могут быть обусловлены её токсичностью. Под токсичностью воды понимают свойство воды оказывать вредное, патологическое, вплоть до гибели, воздействие на организм.

Токсичность воды можно определить при помощи метода биотестирования – процедуры установления токсичности среды с помощью тест-объектов, сигнализирующих об опасности. В лабораторном биотестировании для оценки загрязнения воды используется тест-объект – семена кресс-салата (*Lepidium sativum*), обладающего высокой чувствительностью к химическим веществам.

Биотест основан на определении всхожести – количества проросших семян в исследуемой воде по сравнению с проращиванием семян в дистиллированной воде, которое составляет точно 50%. По результатам биотестирования вычисляются количественные показатели качества природной воды: всхожесть семян кресс-салата и индекс токсичности воды [8].

Кресс-салатный тест легко выполним в течение одних суток, отличается большой точностью (см. Приложение 2).

Результаты исследования, проведенные в период с 30.10.2023 по 02.11.2023 и в период с 14.10.2024 по 17.10.2024, представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Всхожесть семян кресс-салата в воде из реки Великая

№ опыта	Количество проросших семян, %		
	Дистиллированная вода	Вода из реки Великая, 2023 г.	Вода из реки Великая, 2024 г.
1	96	88	86
2	84	84	85
3	94	84	86
Среднее значение	92	86	86

Вывод: средняя всхожесть семян кресс-салата в исследуемой воде составляет 86%. Индекс токсичности 0,07 ($< 0,1$).

Заключение

В ходе работы над проектом нам удалось не только исследовать качество воды реки Великой с помощью различных методов, в том числе провести химический и физико-химический анализ воды по ряду важнейших показателей, но и осуществить экологический мониторинг.

Так, вода в реке Великая, по таким показателям, как цветность и взвешенные вещества не наносит вред экосистеме реки Волги в целом, но для водоснабжения не пригодна. Однако по концентрации сухого остатка в пробе эта вода пригодна для питья так же, как по окисляемости и pH. За период наблюдений выросла общая жёсткость, что делает воду непригодной для питья и по этому показателю.

Таким образом, выдвинутая гипотеза подтвердилась.

С помощью анализа результатов проведённого биотестирования удалось определить, что по всхожести семян исследуемая вода имеет слабое загрязнение, однако токсичность отсутствует.

В перспективе планируется определение растворенного кислорода в воде как важного показателя качества воды. При обнаружении его снижения относительно нормы будет спланирована работа, направленная на выявление источников загрязнения.

Список информационных источников

1. Количественный химический анализ вод. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293812/4293812582.htm> (дата обращения: 17.09.2023).
2. Методика определения взвешенных веществ в воде. URL: <https://iskonspb.ru/voda/metodika-opredeleniya-vzvesennyx-veshhestv-v-vode> (дата обращения: 20.09.2023).
3. Методы определения сухого остатка в питьевой воде. URL: <https://iskonspb.ru/voda/metody-opredeleniya-suxogo-ostatka-v-pitevoi-vode> (дата обращения: 20.09.2023).
4. Речная вода общая жесткость. URL: <https://iskonspb.ru/voda/recnaya-voda-obshhaya-zestkost> (дата обращения: 20.09.2023).
5. Межгосударственный стандарт ГОСТ 31954-2012. Вода питьевая. Методы определения жесткости. Москва: «Стандартинформ», 2018.
6. Окисляемость воды: сущность и основные принципы. URL: <https://kalugaestates.ru/okislyaemost-vody-sushhnost-i-osnovnye-principy> (дата обращения: 20.09.2023).
7. Вода с повышенной цветностью водоемов. URL: <https://iskonspb.ru/voda/voda-s-povysennoi-cvetnostyu-vodoemov> (дата обращения: 20.09.2023).
8. Радченко Н.М., Шабунев А.А. Методы биоиндикации в оценке состояния окружающей среды. Вологда, 2006.

Описание методик химического и физико-химического анализа воды

Методика определения взвешенных веществ гравиметрическим методом

Этот метод основан на измерении массы отложений взвешенных веществ в воде. Для этого сначала производится фильтрация воды для отделения взвешенных частиц, затем полученное отложение сушится и взвешивается на аналитических весах. Результаты массы отложений используются для вычисления концентрации взвешенных веществ в воде.

Приборы, основное оборудование и реактивы.

Бюксы стеклянные, весы лабораторные, воронки лабораторные, тигли, шкаф сушильный, вода дистиллированная, фильтры бумажные.

Объём, отбираемый пробы должен быть (1000 - 2000) см³ для питьевой и природной воды и не менее 250 см³ - для сточной или загрязненной пробы воды.

Подготовка тиглей и маркировка тиглей.

На фарфоровые тигли наносят идентификационные метки (номера). Промаркированные фарфоровые тигли промывают раствором соляной кислоты, затем - дистиллированной водой, подсушивают на воздухе и прокаливают при (600 ± 15) °С в течение 1 часа, охлаждают и взвешивают.

Выполнение измерений.

Через подготовленный фильтр пропускают анализируемую воду. Фильтр подсушивают на воздухе (2 - 3) часа и помещают в тот же бюкс, где проводилось предварительное взвешивание.

Обработка результатов измерений.

Содержание взвешенных веществ в анализируемой пробе воды рассчитывают по формуле

$$X_1 = \frac{m_2 - m_1}{V} \times 1000$$

где X_1 - содержание взвешенных веществ, мг/дм³;

m_2 - масса бюкса с мембранным или бумажным фильтром со взвешенными веществами, г;

m_1 - масса бюкса с подготовленным мембранным или бумажным фильтром, г;

V - объём пробы воды, взятой для анализа, дм³.

Методика определения сухого остатка осуществляется с помощью выпаривания воды

Приборы, основное оборудование и реактивы.

Весы лабораторные, баня водяная лабораторная, испаритель, печь муфельная, шкаф сушильный, цилиндры мерные, воронки стеклянные, стаканы, чаши выпарительные фарфоровые, вода дистиллированная, бумага фильтровальная.

Объём отбираемой пробы воды составляет от 500 до 1000 см³.

На фарфоровые чашки наносят идентификационные метки. Затем чашки ставят в муфельную печь. Промаркированные фарфоровые чашки промывают дистиллированной водой, подсушивают на воздухе и прокаливают.

Выполнение измерений.

Для определения сухого остатка берут от 25 до 1000 см³ анализируемой пробы воды в зависимости от предполагаемой массовой концентрации сухого остатка. При выпаривании чашку наполняют водой не более чем на 3/4 объёма, постепенно прибавляя оставшуюся воду по мере упаривания пробы. После выпаривания внешнюю поверхность чашки с сухим остатком тщательно вытирают фильтровальной бумагой и помещают в сушильный

шкаф, нагретый до $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$, высушивают в течение трех часов, охлаждают в эксикаторе, взвешивают.

Обработка результатов измерений.

Массовую концентрацию сухого остатка X_c (мг/дм³) вычисляют по формуле

$$X_c = \frac{(M_1 - M_2)}{V} \times 10^6,$$

где

M_1 - масса чашки с высушенным остатком, г;

M_2 - масса пустой чашки, г;

V - аликвотная часть пробы воды, см³;

10^6 - коэффициент пересчета единиц измерения г/см³ в мг/дм³.

Методика определения жесткости воды комплексонометрическим методом

Приборы, основное оборудование и реактивы.

Весы лабораторные, рН-метр, колбы мерные, пипетки градуированные, бюретки, мерные цилиндры, колбы конические, вода дистиллированная, индикаторная бумага, плитка лабораторная.

Спирт этиловый, аммиак, кислота соляная.

Общая жесткость воды определяется:

$$Ж = \frac{M \cdot F \cdot K \cdot V_{\text{ТБ}}}{V_{\text{ПР}}}$$

где

M — коэффициент пересчета, равный $S_{\text{ТБ}}$,

где $S_{\text{ТБ}}$ — концентрация раствора трилона Б, моль/м³ (ммоль/дм³), (как правило $M = 50$);

F — множитель разбавления исходной пробы воды при консервировании (как правило $F = 1$);

К — коэффициент поправки к концентрации раствора трилона Б, рассчитанный по формуле (1);

V_{TB} — объем раствора трилона Б, израсходованный на титрование, см³;

$V_{пр}$ — объем пробы воды, взятой для анализа, см³.

$$Ж = \frac{Ж_1 + Ж_2}{2}$$

$$| Ж_1 - Ж_2 |$$

$$r = 0,1 \cdot Ж$$

где r — предел повторяемости

$Ж_1$ и $Ж_2$ — результаты определений в °Ж.

Методика определения окисляемости воды

Приборы, основное оборудование и реактивы. Весы, бюретки, пипетки градуированные, дозаторы пипеточные, колбы мерные, цилиндры мерные, термометры жидкостные стеклянные, секундомер пробирки, водяная баня, плитка электрическая, шкаф сушильный. Вода, дистиллированная, натрий щавелевокислый, калий марганцовокислый, серная кислота, щавелевая кислота.

В коническую колбу вносят определенное количество дистиллированной воды, добавляют рабочего раствора щавелевой кислоты и некоторое количество раствора серной кислоты. Смесь нагревают до кипения, снимают с плитки и через 2—3 мин титруют с использованием бюретки рабочим раствором перманганата калия до появления бледно розовой окраски, сохраняющейся в течение 30 с.

Перманганатную окисляемость в пересчете на атомарный кислород рассчитывают по формуле:

$$C = \frac{(V_{проб} \cdot KM_nO_4 - VKM_nO_4) \cdot T_{проб/опт} \cdot 10^6 \cdot K_{разб}}{V_{проб} H O_4}$$

Методика определения цветности методом фотометрии

Метод фотометрического определения цветности основан на измерении оптической плотности или коэффициента пропускания анализируемой пробы воды при фиксированной длине волны с последующим определением значения цветности по градуировочной характеристике, установленной для водных растворов шкалы цветности.

Приборы, основное оборудование и реактивы.

Спектрофотометр, кюветы, термометр жидкостный стеклянный, колбы мерные, пипетки, воронки лабораторные, устройство для фильтрования проб с использованием мембранных фильтров. Фильтры мембранные с порами, измерительные трубки, цилиндры мерные, кислота серная, вода дистиллированная, спирт этиловый ректификованный технический.

В начале опыта необходима подготовка оптических кювет. Наружные и внутренние поверхности кювет тщательно очищают этиловым спиртом, ополаскивают дистиллированной водой и сушат на воздухе. Качество очистки оптических кювет контролируют следующим образом: две кюветы заполняют дистиллированной водой и измеряют значение оптической плотности или коэффициента пропускания одной кюветы относительно другой. Затем заполняют кюветы анализируемой воды и по полученной оптической плотности на калибровочном графике находят величину цветности в градусах.

Методика определения рН воды при помощи рН-метра

Приборы, основное оборудование и реактивы.

рН-метр в комплекте с электродом стеклянным (в том числе твердоконтактным) и электродом сравнения любого типа, весы, термометр, цилиндр мерный, колба коническая, воронка лабораторная, стаканы, посуда стеклянная для хранения растворов, шкаф сушильный, электроплитка, калий хлористый, вода дистиллированная, натрий бромистый, фильтры бумажные.

При измерении pH воды потенциометрическим методом используется система, состоящая из стеклянного электрода, потенциал которого зависит от концентрации (активности) ионов водорода, и вспомогательного электрода. Электродная система при погружении в пробу воды создает разность потенциалов, линейно зависящую от активности водородных ионов.

Электроды тщательно ополаскивают дистиллированной водой, удаляют остатки воды, промокая их фильтровальной бумагой, опускают в анализируемую пробу и через 3 мин (после установления постоянного значения) записывают показания прибора. Повторяют измерения через 1 мин. Значение pH рассчитывают, как среднее арифметическое из двух измерений, отличающихся не более, чем на $\pm 0,06$ единиц pH.

Обработка результатов и измерений. Результаты измерений pH в документах, предусматривающих его использование, представляют в виде:

$$\bar{X} \pm \Delta, \text{ где}$$

$\bar{X}$ - среднее арифметическое значение двух результатов измерения pH, разность между которыми не превышает предела повторяемости γ (0,06 единиц pH);

$\pm \Delta$ - границы абсолютной погрешности измерения pH, единиц pH.

Абсолютные погрешности результатов измерений представляют числом, содержащим не более двух значащих цифр. Наименьшие разряды числовых значений результатов измерений принимают такими же, значений абсолютных погрешностей результатов измерений.

Описание методики кресс-салатного теста

Повторность – трехкратная. Данные обрабатывают статистически, выражают в процентах к контролю.

1. В опытных чашках фильтровальную бумагу смочите 7 мл исследуемой воды, а в контрольных чашках – 7 мл дистиллированной воды. Проращивание производите при комнатной температуре.
2. Высейте в каждую чашку по 100 всхожих семян кресс-салата.
3. Чашки прикройте крышками и поместите на одни сутки в темноту.
4. Определите всхожесть семян в опытных чашках. При этом надо стремиться, чтобы подсчет всхожести совпал по времени, когда семена в контрольных чашках прорастут точно на 50%. Проросшим считается семя, у которого корешок прорвал семенную оболочку.
5. Вычислите среднюю всхожесть семян кресс-салата и выразите в процентах к соответствующей всхожести на дистиллированной воде, чистота которой принимается за 100%.

Для количественного выражения токсического действия воды на всхожесть семян вычислите индекс токсичности по формуле:

$$J = \frac{V_{\text{контроль}} - V_{\text{опыт}}}{V_{\text{контроль}}},$$

где J – индекс токсичности, V контроль – всхожесть семян в контроле; V опыт – всхожесть семян в опытном варианте.

После вычисления средней всхожести семян и индекса токсичности определите степень загрязнения природной воды по Таблице 2.

Таблица 2. Показатели и критерии загрязнения воды

Показатели	Степень загрязнения			
	Загрязнение отсутствует	Слабое загрязнение	Среднее загрязнение	Сильное загрязнение
Всхожесть, %	90-100	65-90	30-65	<30
Токсичность	<0,1	0,1-0,35	0,36-0,7	>0,71

Проведение исследования в химической лаборатории ЯПЭК

