

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова»
Кафедра физиологии человека и животных

Сдано на кафедру

« ____ » _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой

д.б.н., профессор

(степень, звание)

Н.Н. Тятенкова

(подпись) *(ФИО)*

« ____ » _____ 20__ г.

Комплексная оценка качества водопроводной воды Заволжского

и Фрунзенского районов г. Ярославля

(направление подготовки 06.03.01 Биология)

Научный руководитель

к.б.н., доцент

(степень, звание)

О.А. Ботяжова

(подпись) *(ФИО)*

« ____ » _____ 20__ г.

Студент группы Б 41БО

В.А. Бутина

(подпись) *(ФИО)*

« ____ » _____ 20__ г.

Ярославль 20__ г.

РЕФЕРАТ

88 стр., 28 табл., 5 рис., 62 источника.

БИОТЕСТИРОВАНИЕ, ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ТОКСИЧНОСТЬ ВОДЫ, КРИТЕРИИ ТОКСИЧНОСТИ, ЦЕРИОДАФНИЯ

Объект исследования – водопроводная вода из разводящих сетей жилых домов в Заволжском и Фрунзенском районах г. Ярославля.

Тест-объект – культура *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg.

Цель работы – проведение комплексной оценки качества водопроводной воды Заволжского и Фрунзенского районов г. Ярославля.

Установили, что нативная вода Заволжского и Фрунзенского районов г. Ярославля во всех точках отбора проб проявляла очень высокую токсичность, так как летальность цериодафний составляла более 50%. Уровень безопасного водопользования для 31% проб достигался разбавлением нативной воды в 8 раз. Остальные пробы требовали большего разведения.

Выявили, что наименьшие токсические свойства водопроводная вода в обоих районах города проявляла в зимний период. Качество нативной воды в период исследований с 2016 по 2018 годы не имело межгодовых различий по токсическим свойствам.

Определили, что водопроводная вода с проезда Матросова соответствует нормам по цветности в осенний сезон, по запаху – в летний период 2017 года. По проспекту Авиаторов показатель вкуса отвечал норме в летний сезон. В остальные периоды исследования водопроводная вода по показателям цветности, запаха, вкуса и жесткости превышает допустимые нормы СанПиН.

Выявили, что кипячение водопроводной воды приводит к снижению токсических свойств. Фильтрация нативной воды через бытовые фильтры существенно улучшает ее качество.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	6
1.1. Качество питьевой воды и здоровье населения	6
1.2. Характеристика поверхностных источников водозабора в Ярославле.	10
1.3. Биотестирование как метод оценки качества водной среды.....	13
1.4. Гидрохимический анализ как метод оценки качества питьевой воды..	15
1.4.1. Органолептические показатели качества питьевой воды.....	16
1.4.2. Физико – химические показатели качества питьевой воды	17
1.4.3. Биологические показатели качества питьевой воды.....	20
2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	22
2.1. Характеристика <i>Ceriodaphnia affinis</i> как тест-объекта	22
2.2. Подготовка и выполнение биотестирования.....	25
2.3. Обработка результатов и критерии токсичности	27
2.4. Химические методы определения качества воды.....	27
2.4.1. Определение органолептических свойств водопроводной воды	27
2.4.2. Определение физико-химических показателей воды	30
3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	36
3.1. Летальность цериодафний в растворе стандартного токсиканта	36
3.2. Сезонная и межгодовая динамика качества водопроводной воды Заволжского района г. Ярославля	38
3.3. Сезонная и межгодовая динамика качества водопроводной воды Фрунзенского района г. Ярославля	49
3.4. Химический анализ водопроводной воды Заволжского и Фрунзенского районов г. Ярославля	59
3.4.1. Органолептические свойства водопроводной воды.....	60
3.4.2. Физико-химические показатели водопроводной воды	68
ВЫВОДЫ.....	80
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	81

ВВЕДЕНИЕ

Вода является самым необходимым ресурсом в жизни человека [7]. В связи с этим проблема обеспечения населения питьевой водой, соответствующей всем нормативным показателям, остается одной из самых актуальных.

Ярославская область имеет достаточно большое количество поверхностных и подземных источников водопользования [46], однако только небольшая часть из них соответствует нормам [53].

К поверхностным водам города Ярославля относятся реки Волга и Которосль. Они являются основой водоснабжения города, не смотря на то, что имеют статус очень загрязненных рек [4, 46].

Кроме источника водозабора, на качество питьевой воды влияют методы ее очистки на станциях водоподготовки, сброс опасных веществ с заводов и разводящие водопроводные сети. На данный момент, доля водопроводов, не отвечающих санитарно-эпидемиологическим требованиям, составляет 17,8%; 70% труб предельно изношены [60].

Низкое качество питьевой воды приводит к аллергии, появлению различных заболеваний (кишечные инфекции, поражение почек, хрупкость сосудов, гепатит, и мн.др.), снижению продолжительности жизни, увеличению смертности. Уже сейчас, по данным Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения с неудовлетворительным качеством питьевой воды в РФ связаны 14 тыс. смертей и более 3 млн. случаев заболеваний в год [60].

Таким образом, проблема изучения безопасности качества питьевой воды является актуальной.

Оценка качества воды только по токсикологическим показателям является недостаточной, так же как и определение ее качества только посредством химического анализа. Невозможно дать полную характеристику

исследуемому объекту, применяя только один из методов. Чем больше их используется, тем исследование становится более достоверным и из него можно сделать более широкие выводы.

Исходя из этого, в данной работе применялся комбинированный подход для оценки качества водопроводной воды с использованием методов биотестирования и гидрохимического анализа.

Целью данной работы являлось проведение комплексной оценки качества водопроводной воды Заволжского и Фрунзенского районов г. Ярославля.

Были поставлены следующие задачи:

1. Дать токсикологическую характеристику водопроводной воды Фрунзенского и Заволжского районов г. Ярославля в разные сезоны года по результатам биотестирования.

2. Оценить качество водопроводной воды Фрунзенского и Заволжского районов г. Ярославля по гидрохимическим показателям в разные сезоны года.

3. Дать сравнительную комплексную оценку водопроводной воды разных районов г. Ярославля.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Качество питьевой воды и здоровье населения

Вода – ценнейший природный ресурс, обеспечивающий существование жизни на Земле и являющийся единственным видом природных ресурсов, без которого не может развиваться ни одна отрасль экономики. Вода является основным элементом необходимым для жизни человека. Около 60% всей массы тела состоит из воды, а мозг - почти на 85%. Вода – это посредник, благодаря которому происходит огромное количество внутриклеточных метаболических взаимодействий химических веществ [53].

Согласно санитарно – эпидеологическим правилам и нормативам питьевая вода должна быть безопасной в эпидемиологическом и радиационном отношении, безвредной по химическому составу и должна иметь благоприятные органолептические свойства [34]. От качества питьевой воды напрямую зависит здоровье населения. К сожалению, на данный момент, качество воды оценивается как неудовлетворительное. Последние 5 лет удельный вес неудовлетворительных проб воды поверхностных водоисточников стабильно высокий, как по санитарно – химическим, так и микробиологическим показателям. Доля неудовлетворительных проб по санитарно – химическим показателям в Ярославской области в 2011 г. составила 35,89%, по микробиологическим показателям – 23,7%. Качество воды подземных источников водоснабжения осталось на прежнем уровне и в 2012 году доля неудовлетворительных проб воды по санитарно – химическим показателям составила 66,8%, микробиологическим показателям – 5,38% [31].

Питьевая вода, не соответствующая нормативным показателям, приводит к различным заболеваниям и повышению уровня смертности. Уже сейчас, по данным Российской ассоциации водоснабжения и водоотведения,

с неудовлетворительным качеством питьевой воды в РФ связаны 14 тыс. смертей и более 3 млн. случаев заболеваний в год [61]. Из-за загрязненной воды население сталкивается с рядом болезней, таких как диарея, арсеникоз (флюороз), шистосомоз, гельминтоз, малярия, денге, болезнь легионеров, аллергия, онкологии и многие другие.

Множество болезней можно предотвратить с помощью безопасного водоснабжения, достаточного качества санитарных услуг и более строгого соблюдения требований гигиены. Одни лишь диарейные заболевания составляют примерно 3,6% и приводят к гибели 1,5 млн. человек (ВОЗ, 2012 г.). По оценкам специалистов ВОЗ 58%, или 842 000 смертей в год объясняется отсутствием безопасности в области водоснабжения, санитарии и гигиены; в это число входят 361 000 случаев смерти детей в возрасте до пяти лет, главным образом, в странах с низким уровнем доходов [48]. Из-за воды, не соответствующей нормативным показателям, по Ярославской области 31,4 тысячи ярославцев имеют онкологические заболевания. Общая заболеваемость в регионе за 2015 г. выросла на 5,5% [51].

Заболевания, связанные с химическим составом питьевой воды. Питьевая вода, не соответствующая нормативным показателям [34], оказывает негативное влияние на организмы, приводя к различному роду заболеваний. Прежде всего, это связано с нарушением органолептических свойств воды (цвет, вкус, запах), химическим и бактериальным составом. Заболевания человека могут быть обусловлены недостатком или избытком некоторых солей, микро- и макроэлементов, содержащихся в воде, а также присутствием в ней токсических соединений.

Концентрация ионов железа имеет большое значение для характеристики качества питьевой воды. Их избыточное содержание в воде оказывает токсическое действие на работу печени, селезенки, головного мозга, усиливает различные воспалительные процессы, приводит к дефициту меди и цинка [9]. Токсичность железа основана на его способности

катализировать регенерацию радикалов, которые повреждают клеточные макромолекулы и способствуют гибели клеток и тканей. Избыточное содержание железа в печени приводит к раку [45]. Также повышенное содержание железа представляет большую опасность для новорожденных. Такие дети рождаются с низким весом [44].

Марганец. Является не менее важным микроэлементом, оказывающим сильное воздействие на здоровье. Он необходим для развития центральной нервной системы, однако его избыток приводит к нейротоксичности. У взрослых людей может стать причиной болезни Паркинсона [43]. Кроме этого, избыток марганца представляет большую опасность для новорожденных, результатом которого является низкий вес [44].

Общая жесткость воды. Обусловлена присутствием растворимых и малорастворимых минеральных солей, главным образом, кальция и магния. Высокая жесткость воды может способствовать развитию мочекаменной и желчекаменной болезни. Высокое содержание солей Ca^{2+} в организме приводит к повышенной свёртываемости крови и образованию тромбов.

Вода с низким содержанием солей кальция и магния также опасна для здоровья. Низкая жесткость способствует развитию сердечно-сосудистых заболеваний. Кроме того, недостаток солей Ca^{2+} в организме человека понижает возбудимость центральной нервной системы, а ионы Mg^{2+} способствуют выведению холестерина [3, 22]. Также ионы Mg^{2+} и Ca^{2+} играют важную роль в образовании и распаде веретена деления [23].

Перманганатная окисляемость. Указывает на содержание в воде легко окисляющихся органических соединений, многие из которых отрицательно влияют на печень, почки, репродуктивную функцию организма [18].

Цветность. Не соответствующие требованиям, показатели цветности водопроводной воды, способствуют развитию таких заболеваний как хронический опит, фарингит. Также, известно, что в результате действия

гуминовых кислот на 50-100% повышается проницаемость стенок кишечника для катионов Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, сульфатионов [55].

Нитраты и нитриты. Повышенное содержание солей азота (нитраты, нитриты) в питьевой воде оказывает токсическое действие на организм. Токсичность нитратов и нитритов проявляется в резком увеличении метгемоглобина в крови. Связанное с этим уменьшение снабжения органов и тканей организма кислородом (гипоксия) ведет к изменению функций центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы и т.д. Особенно чувствительны к нитратам дети раннего возраста, лица преклонных лет, беременные женщины, больные, страдающие заболеваниями дыхательной и сердечно-сосудистой систем [21].

Соли тяжелых металлов. Вызывают острые и хронические отравления людей. К таким металлам относятся свинец и мышьяк. Основным источником поступления свинца в организм человека служат продукты питания; при этом важную роль играет поступление с почвой и пылью, питьевой водой и вдыхаемым воздухом. Данные по содержанию свинца в крови детского населения России свидетельствуют о том, что почти у 44% детей в городах России могут возникать проблемы в поведении и обучении, обусловленные воздействием свинца; около 9%. Свинец вызывает хронические отравления с весьма разнообразными клиническими проявлениями: обладает способностью поражать центральную и периферическую нервную систему, костный мозг и кровь, сосуды, синтез белка, генетический аппарат клетки и оказывать эмбриотоксическое действие.

Отравления мышьяком известны при употреблении питьевой воды в районах разработки полиметаллических руд с повышенным содержанием в них мышьяка. Мышьяк приводит к нарушению тканевого дыхания, некротическому поражению тканей, раковому поражению кожи, поражению

респираторной и лимфатической систем, поражению желудочно-кишечного тракта [41].

1.2. Характеристика поверхностных источников водозабора в Ярославле

В Российской Федерации проблема обеспечения населения доброкачественной питьевой водой является нерешенной. Во многих республиках и областях нашей страны, в том числе и Ярославской, наблюдается неудовлетворительное качество питьевой воды.

Качество питьевой воды зависит от состояния источников водоснабжения, работы централизованных систем подготовки питьевой воды (методы очистки на станциях водоподготовки) и санитарно-технического состояния водоразводящих сетей [35].

Водоснабжение Ярославля базируется, в основном, на поверхностных водах реки Волги и ее притоков [46], к которым, в первую очередь, надо отнести реку Которосль.

Реки Волга и Которосль относятся к очень загрязненным водным объектам города Ярославля [4, 46].

Воды реки Которосли по химическому составу относятся к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе. Минерализация речной воды в половодье около 100 мг/л, в период летней межени – 350–400 мг/л. Многие участки реки загрязнены. Устьевой участок р. Которосли находится под воздействием сбросов промышленных предприятий. Качество воды в реке ухудшилось, в настоящее время вода оценивается как грязная. Основные загрязняющие вещества: железо общее, медь, фенолы и др. [57].

Воды реки Волги относятся к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе. Минерализация вод в верхнем течении Волги в период повышенного стока не превышает 100 мг/л. Ниже по течению реки она возрастает до 180 – 200 мг/л. Среднегодовая мутность воды в верховьях Волги изменяется от 10

до 140 г/м³. Наибольшая мутность характерна для весеннего половодья, наименьшая – зимнего периода. Создание водохранилищ привело к значительному уменьшению мутности и стока взвешенных наносов. В вершине дельты сток взвешенных наносов равен 6,7 млн т/год (1961–2006 гг.). Приоритетными загрязняющими веществами водных объектов являются нефтепродукты, медь, железо и легко окисляемые органические вещества. Периодически отмечается загрязнение водных объектов аммонийным азотом, нитратным азотом, нитритным азотом, фосфором, цинком, фенолами и марганцем [47].

Большое влияние на качество водных объектов Ярославля оказывают стоки промышленных предприятий.

Сточные воды (СВ) – это сложный, многокомпонентный комплекс механических, химических и биологических составляющих, основой которого является природная вода, использованная человеком в процессе жизнедеятельности и промышленного производства.

Сточные воды в зависимости от условий образования делят на:

1. Бытовые сточные воды. Более чем наполовину они состоят из органических веществ (экскреты, образующиеся в результате жизнедеятельности человека). Из неорганических преобладают: аммонийный азот, калий, фосфаты, хлориды. Присутствуют поверхностно-активные вещества. Данные сточные воды достаточно безопасны, легко очищаются биологическим методом (при использовании «активного ила»)

2. Атмосферные (ливневые) сточные воды. При их образовании происходит смыв загрязняющих веществ с поверхности субстрата, который в городской зоне может контактировать с компонентами промышленного производства, выбросами автотранспорта, и др.

3. Промышленные сточные воды. Делятся на две группы:

а) условно-чистые формируются в теплообменных установках, а также при любых условиях, в которых отсутствует непосредственный контакт воды с веществами, участвующими в технологическом цикле.

б) Сточные воды, образующиеся при непосредственном контакте с веществами, участвующими в технологическом цикле (компоненты нефтепереработки – предельные и непредельные алифатические и ароматические углеводороды, гидроксил-, карбоксил-содержащие соединения, альдегиды и кетоны, неорганическую составляющую – катионы аммония, калия, натрия, кальция, железа(III), алюминия и др.; анионы – нитриты, нитраты, сульфаты и др., газообразные компоненты – азот, оксиды азота (II) и (VI), сероводород метан и др.) [28].

Крупнейшими загрязнителями вод в Ярославле являются: муниципальное предприятие «Ярославльводоканал» (объем сброса более 100 млн. кубометров загрязненных сточных вод), ОАО «Ярославский шинный завод» (более 20 млн. кубометров), ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез» (более 10 млн. кубометров), ОАО «Автодизель» (более 6 млн. кубометров). Качество сточных вод большинства предприятий не отвечают экологическим требованиям на сброс загрязняющих веществ в водные объекты. Объемы сброшенных стоков зачастую значительно превышают производительность очистных сооружений. Большая часть стоков сбрасывается вообще без очистки. Многие очистные сооружения города находятся в неудовлетворительном состоянии. В связи с этим в водные объекты города Ярославля поступает большое количество загрязняющих веществ [46].

Методологически для определения опасности стока используются расчетный или экспериментальный метод. Расчетный метод предполагает суммировать показатели опасности веществ, содержащихся в сточных водах. Перечень компонентов отхода и их количественное содержание

устанавливаются по составу исходного сырья и технологическим процессам его переработки или по результатам количественного химического анализа.

Экспериментальный метод основан на биотестировании. Биологические методы позволяют получить информацию об отклонении водной среды от жизненного оптимума, и дают возможность оценить стоки в целом. С учетом присутствия и взаимодействия в них как основных, так и минорных компонентов, содержание которых в изучаемых стоках может достигать нескольких десятков и определение каждого из них методически трудоемко, невозможно или нецелесообразно [39].

1.3. Биотестирование как метод оценки качества водной среды

Многообразные загрязняющие вещества, попадая в окружающую среду, могут претерпевать в ней различные изменения, усиливая при этом свое токсическое действие. Это приводит к необходимости разработки комплексных, интегральных методов контроля качества ряда объектов окружающей природной среды, в том числе воды, почвы и воздуха, позволяющих оценить их качество и возможную опасность различных источников загрязнения [6].

Одним из методов контроля качества объектов природной среды является биотестирование. Под биотестированием обычно понимают процедуру 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 [24].

Традиционно биотестирование использовали для изучения токсичности отдельных химических веществ. Однако в последнее время эти методы широко используются для оценки антропогенной нагрузки на природные комплексы: почвы, воды и т.д., а также при контроле безопасности сточных

вод, подаваемых на очистные сооружения биологического типа, с целью предупреждения проникновения опасных веществ в биоценозы активного ила [17].

Цель биотестирования водной среды – выявление на гидробионтах степени и характера токсичности воды, загрязненной биологически опасными веществами и оценка возможной опасности этой воды для водных и других организмов. Главные достоинства биотестирования – простота и доступность приемов их постановки, высокая чувствительность тест-организмов к минимальным концентрациям токсических агентов, быстрота, отсутствие надобности в дорогостоящих реактивах и оборудовании [2].

Токсичность воды – свойство воды вызывать патологическое изменения или гибель организмов, обусловленные присутствием в ней токсичных веществ. Токсичность определяется по тест-объектам различных систематических групп. Под тест-объектом понимают живой организм, используемый в биотестировании [6]. При выборе таких организмов приходится соблюдать определенные требования, среди которых возможность фиксировать четкий, воспроизводимый и объективный отклик на воздействие внешних факторов, чувствительность этого отклика на малые содержания загрязнителей и др. [16].

В качестве тест-объектов используются дафнии, инфузории, цериодафнии, бактерии, водоросли и т.п., которые проявляют более высокую чувствительность к анализирующему отходу [39]. В качестве организмов-индикаторов также используются водообитающие микроорганизмы, беспозвоночные (коловратки, ракообразные, моллюски). Надежным тест-объектом могут служить некоторые виды рыб. Отметим, что на некоторых крупных внеплощадных очистных сооружениях во вторичных отстойниках (перед сбросом очищенных вод) содержат рыбок гуппи [38].

Тест-объекты должны обладать важными свойствами, одним из которых является чувствительность. Чувствительность – способность организма реагировать на изменения факторов среды обитания [37].

Исследуемыми показателями являются, например, люминесценция светящихся бактерий и водорослей, электрическая реакция клеток водорослей, двигательная активность инфузорий, их выживаемость, нарушение фототаксиса (движения на свет) коловраток, реакция закрывания створок моллюсков, дыхательная и сердечная активность рыб и многое другое [38].

При мониторинге природных и сточных вод предприятий оказались удобными такие тест-объекты, как фитопланктон и дафнии. Показателем при этом служит выживаемость гидробионта [16].

Преимущества Ceriodaphnia affinis как тест-объекта. Вид является легкодоступным для исследований, так как распространен в водоемах по всему земному шару, на территории России – повсеместно, кроме южных районов Азиатского региона [32, 40]. Рачки легко культивируются в лабораторных условиях, поэтому биотестирование можно проводить в течение года. Данные тест-организмы являются очень чувствительными к токсиканту, даже маленькой концентрации. Это связано с тем, что они прокачивают большие объемы воды, так как по типу питания являются фильтраторами. Упрощает проведение опытов и маленький размер организмов, высокая плодовитость и короткий жизненный цикл [5, 32].

1.4. Гидрохимический анализ как метод оценки качества питьевой воды

Для наиболее полной оценки качества воды наряду с токсикологическими характеристиками, полученными по результатам биотестирования, используют гидрохимические показатели. Среди них выделяют три группы: физико-химические, биологические и

органолептические. К физико-химическим показателям качества воды относятся: содержание в ней солей, металлов, сухой остаток, жёсткость, температура, растворенный кислород, химическая потребность кислорода (ХПК), кислотность. Биологические показатели качества характеризуют количество бактерий и микробов, количество органических примесей, биологический показатель качества (БПК). Органолептические показатели качества воды – это её вкус, цвет, запах, мутность, прозрачность [19].

Гигиенические требования к качеству питьевой воды при централизованном водоснабжении регламентируется СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода». Гигиенические требования к качеству воды централизованного водоснабжения «Контроль качества» [34]. На основании требований указанных правил питьевая вода должна быть безопасна в эпидемическом и радиационном отношении, безвредна по химическому составу и иметь благоприятные органолептические свойства. При этом качество питьевой воды должно соответствовать гигиеническим нормативам перед ее поступлением в распределительную сеть, а также в точках водозабора наружной и внутренней водопроводной сети [30].

В целом по стране более 20% проб воды не соответствует гигиеническим требованиям по санитарно-химическим показателям и более 8% по бактериологическим показателям. Около 5% проб питьевой воды подтверждают реальную эпидемиологическую опасность, так как уровень их загрязнения в десятки раз превышает допустимый [35].

1.4.1. Органолептические показатели качества питьевой воды

Вкус и запах. Выделяют четыре основных вида вкуса: соленый, кислый, сладкий и горький. Остальные ощущения – привкусы (железный, хлорный, металлический, щелочной, землистый и др.).

Выделяют землистый, гнилостный, травянистый, фенольный, рыбный, запах нефти и др. Интенсивность запаха определяют при той же температуре, что и характер запаха [27]. Вкус и запах воды, предназначенной для питьевых целей не должны превышать 2 баллов [34].

Цветность. Цветность – показатель качества воды, характеризующий интенсивность ее окраски и обусловленный содержанием окрашенных соединений.

Цветность природных вод обусловлена наличием в воде гуминовых и фульвокислот, их солей и соединений железа [13]. Так же она зависит от присутствия в воде микроорганизмов (бактерий, фито- и зоопланктона), частичек ила и различных примесей, попадающих со сточными водами предприятий [27]. Предельно допустимая величина цветности в питьевых водах – 20° по платиново-кобальтовой шкале [34].

Мутность. Мутность воды обуславливают грудодиспергированные примеси (частицы диаметром более 100 нм). Она может быть вызвана присутствием неорганических частиц (песок, глина) и некоторых органических компонентов (продукты распада растительных и животных организмов) [27]. Мутность питьевой воды согласно санитарным нормам, не должна превышать 1,5 мг/л по каолину [34].

Прозрачность. Прозрачность (или светопропускание) природных вод обусловлена их цветом и мутностью, т.е. содержанием в них различных окрашенных и взвешенных органических и минеральных веществ. Вода для хозяйственно-питьевого водоснабжения должна иметь прозрачность «по кресту» не менее 300 см, а по «шрифту» не менее 30 см [13, 27].

1.4.2. Физико – химические показатели качества питьевой воды

Хлорид – ионы. Первичными источниками хлоридов являются магматические породы, в состав которых входят хлорсодержащие минералы

(содалит, хлорапатит) и соленосные отложения в основном галит. Также на содержание хлоридов оказывают промышленные и хозяйственно бытовые воды.

Промышленные содержания хлоридов ухудшают вкусовые качества воды и делают ее малопригодной для питьевого водоснабжения [13, 27].

ПДК хлоридов в питьевой воде составляет не более 350 мг/л [34].

Ионы железа. В воду железо попадает главным образом из-за выветривания и растворения горных пород. Также из сточных вод металлургической, металлообрабатывающей, текстильной, лакокрасочной промышленности и с сельскохозяйственными стоками.

В питьевой воде железо может содержаться из-за плохого состояния водопроводов и применения коагулянтов, содержащих Fe.

В природной воде железо может находиться в растворенном, коллоидном и взвешенном состоянии, в зависимости от валентности: Fe⁺², Fe⁺³, а также в виде различных химических соединений. ПДК ионов железа (III) 0,3 мг/л [34].

Сульфат-ионы. Главным источником сульфатов являются процессы химического выветривания и растворения серосодержащих минералов, в основном гипса, а также окисление сульфидов и серы. Сульфаты поступают в водоем в процессе отмирания организмов. Также они выносятся со сточными водами предприятий стекольной, бумажной, текстильной промышленности и с бытовыми стоками и водами, выносимыми с сельхозугодий [13]. ПДК сульфат - ионов не более 500 мг/л [34].

Нитриты и нитраты. Азот присутствует в сточных водах в виде органических и неорганических соединений. Основную часть органических азотистых соединений составляют вещества белковой природы – фекалии и пищевые отходы. Неорганические соединения азота представлены восстановленными формами азота NH₄ и NH₃, находящимися в воде в

растворенном состоянии и окисленными формами NO_2^- и NO_3^- . Аммонийный азот в большом количестве образуется при гидролизе мочевины.

В городских сточных водах до их очистки азот в окисленных формах (нитриты, нитраты), как правило, отсутствует. Денитрификация примесей сточной воды объясняется процессами анаэробного разложения при транспортировании сточных вод по системе водоотведения, действием бактерий, денитрифицирующих окисленные формы азота до молекулярной формы [13]. ПДК нитраты 45 мг/л, ПДК нитриты 3,0 мг/л [34].

Жесткость. Жесткость воды отражает содержание в ней ионов кальция и магния. Различают общую (J_o), карбонатную (J_k) и некарбонатную ($J_{нк}$) жесткость: $J_o = J_k + J_{нк}$. Общая жесткость не удаляется кипячением.

Карбонатная жесткость обусловлена присутствием в воде гидрокарбонатов кальция ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) и магния ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$), некарбонатная – хлористыми, сернокислыми и другими некарбонатными солями Ca^{2+} и Mg^{2+} [13]. Различают также постоянную ($J_{пост}$) и временную ($J_{вр}$) жесткость. Жесткость питьевой воды в норме должна составлять 7 мг-экв/л [34].

Перманганатная окисляемость. Окисляемость природных вод зависит от общей биологической продуктивности водоемов, степени их загрязнения органическими веществами и соединениями биогенных элементов.

Окисляемость – это количество кислорода (мг/л) окислителя (перманганат или дихромат), идущее на окисление содержащихся в воде органических веществ. Для анализа мало загрязненных вод определяют перманганатную окисляемость, дающую представление о содержании в воде легко окисляющихся в воде органических веществ. Этот показатель может служить индикатором загрязненности воды водоисточника сточными водами [18]. ПДК не более 5,0 мг O_2 /л [34].

1.4.3. Биологические показатели качества питьевой воды

Одним из самых важных требований для питьевой воды является ее эпидемиологическая безопасность. Она определяется соответствующими нормативами по микробиологическим и паразитологическим показателям. Такие показатели и их нормативы [34] приведены в Таблице 1.1. Микробиологические исследования воды, предназначенной для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, производятся в соответствии с МУК 4.2. 1018-01 «Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды» [30].

Таблица 1.1

Нормативы по микробиологическим и паразитологическим показателям для питьевой воды

Показатели	Единицы измерения	Нормативы
Общее микробное число	Число образующих колонии бактерий в 1 мл	Не более 50
Общие колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Термотолерантные колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	Отсутствие
Колифаги	Число бляшкообразующих единиц (БОЕ) в 100 мл	Отсутствие
Споры сульфитредуцирующих клостридий	Число спор в 20 мл	Отсутствие
Цисты лямблий	Число цист в 50 л	Отсутствие

Общее микробное число – это число мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, которые способны

образовывать колонии на питательном агаре при температуре 37°C в течение 24 часов.

Общие колиформные бактерии (ОКБ) – грамотрицательные, оксидазоотрицательные, не образующие спор палочки, способные расти на дифференциальных лактозных средах, ферментирующие лактозу до кислоты, альдегида и газа при температуре $37\pm 1^\circ\text{C}$ в течение 24-48 часов.

Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ) входят в число общих колиформных бактерий, обладают всеми их признаками и, кроме того, способны ферментировать лактозу до кислоты, альдегида и газа при температуре $44\pm 0,5^\circ\text{C}$ в течение 24 часов.

Сульфитредуцирующие клостридии – спорообразующие анаэробные палочковидные микроорганизмы, редуцирующие сульфит натрия на железосульфитном агаре при температуре $44\pm 1^\circ\text{C}$ в течение 16-18 ч [26].

Патогенные микроорганизмы попадают в водоемы с оседающей пылью из воздуха, с поверхностными стоками во время дождей или снеготаяния, но в основном – со сточными водами различного происхождения. Наиболее часто в водные источники попадают сальмонеллы, шигеллы, лептоспиры, бактерии группы *Coli*, пастереллы, вибрионы, микробактерии, энтеровирусы человека, амeboидные цисты и личинки нематод [13].

Таким образом, проведение комплексной оценки воды, используемой в питьевых целях, имеет очень большое значение. От качества питьевой воды зависит здоровье населения.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для токсикологической оценки качества водопроводной воды являлись данные по выживаемости ветвистоусых ракообразных *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. Определение выживаемости рачков в пробах водопроводной воды и в контроле проводили в соответствии с методическим руководством по биотестированию воды РД-118-02-90 [33, 42].

Материалом для гидрохимического анализа качества водопроводной воды являлись данные по 4 органолептическим и 6 физико-химическим показателям. Определение гидрохимических показателей проводили согласно ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества [12, 27].

Пробы водопроводной воды отбирали по шести точкам из разводящих сетей жилых домов в Заволжском и Фрунзенском районах г. Ярославля. В Заволжском районе: проспект Авиаторов, д. 131; проспект Авиаторов, д. 94, корп. 2; ул. Папанина, д. 5, корп. 3. Во Фрунзенском районе: проезд Матросова, д. 9; Московский проспект, д.123; ул. Корабельная, д. 18.

2.1. Характеристика *Ceriodaphnia affinis* как тест-объекта

В качестве тест-объекта использовали *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Рис. 2.1), так как рачки имеют широкое распространение [32, 40], легко культивируются в лабораторных условиях, чувствительны к токсиканту, имеют маленькие размеры, высокую плодовитость и короткий жизненный цикл [5, 32].

Систематическое положение:

Тип: Членистоногие (*Arthropoda*)

Класс: Ракообразные (*Crustacea*)

Отряд: Ветвистоусые (*Cladocera*)

Семейство: Дафниды (*Daphniidae*)

Род: Цериодафния (*Ceriodaphnia*)

Вид: Цериодафния аффинис (*Ceriodaphnia affinis*) [25].

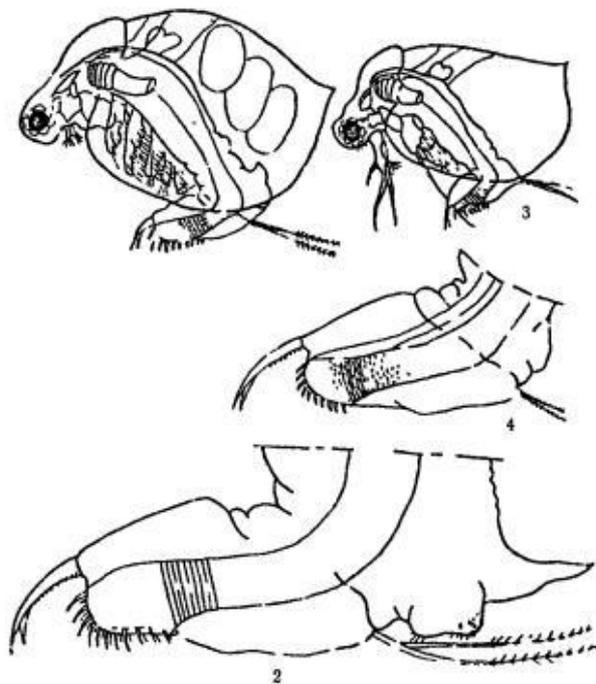


Рис. 2.1. Строение *Ceriodaphnia affinis*: 1 - самка, 2 - постабдомен самки, 3 - самец, 4 - постабдомен самца

Морфология. Тело округлое или овальное [29], заключено в раковинку и очень мало сжато с боков. Раковинка серая, с хорошо заметной ретикуляцией [25]. Тело нечетко сегментировано на грудной, брюшной (абдоминальный) отделы [33]. Голова маленькая и низкая, отделена от туловища перехватом [29]. Впереди, под головным отделом, находятся две маленькие антенулы, вооруженные осязательными щетинками. По бокам головы расположены две задние сильно развитые антенны, служащие для скачкообразного передвижения в толще воды [33]. У самцов передние антенны очень длинные. У самок они короткие, с чувствительной щетинкой, направленной вперед [25]. В грудном отделе расположено пять пар грудных ножек, которые покрыты многочисленными щетинками, участвующими в процессе фильтрации воды, питания и дыхания. Сердце находится на спинной стороне грудного отдела [33]. Длина самки 0.9-1.0, самца 0.8 мм. Для брюшного (абдоминального) отдела самок характерны хорошо развитые

два абдоминальных выроста, характерные для вида: верхний, длинный, конусовидный, заостренный, нижний – маленький, округленный, снабженный небольшим пучком волоском. У самцов абдоминальные выросты рудиментарны. Постабдомен и у самцов, и у самок довольно высокий, в дистальной части менее высокий, чем в проксимальной, округленный на дистальном конце, с легка вогнутым в середине верхним краем. Края анального отверстия вооружены зубчиками. Рострум отсутствует [25].

Питание. Отбору пищевых частиц способствуют особенности строения пищевого желобка и развитие очистительных щетинок конечностей. Створки раковины широко раздвинуты по всей длине, что облегчает доступ крупных частиц пищи. В сложный комплекс приспособлений для отбора пищевых частиц включается движение каудального отдела тела, коготки которого при взаимодействии с ротовыми частями удаляют неподходящие по размерам частицы, попавшие в пространство между створками с током воды. Эти движения включаются в ритм действия всего аппарата и следуют после 15-20 ударов его конечностей. Третья и четвертая пары ног значительно увеличивают функцию фильтрации; пятая пара представляет собой приспособление, обеспечивающее выход воды. Пищей для цериодафний служат одноклеточные водоросли, одноклеточные бактерии и мелкие органические остатки – детрит [25].

Размножение. Размножение происходит двумя способами – партеногенетическим и двуполом, или гамогенетическим. Наступление двуполого размножения, в результате которого формируются покоящиеся яйца, связано с воздействием внешних факторов. Среди последних имеют значение повышение солености воды в солоноватых водах, воздействие низких температур, накопление продуктов обмена, голодание. Изменение количества пищи играет решающую роль в наступлении двуполого

размножения. При одновременном влиянии двух факторов действие каждого из них усиливается взаимно [25].

Биология. Обитатель озер, водохранилищ, прудов, медленно текущих рек, мелких водоемов. Моноциклический, и эфиппиумы развиваются осенью [25, 32].

Распространение. По всему земному шару, на территории России — повсеместно, кроме южных районов Азиатского региона [32, 40].

2.2. Подготовка и выполнение биотестирования

Перед биотестированием водопроводной воды, было проведено предварительное тестирование раствора эталонного токсиканта ($K_2Cr_2O_7$) с использованием культуры тест-объекта, с целью определения соответствия чувствительности культуры цериодафний определённым критериям. Для определения средней летальной концентрации вещества (LK_{50}) готовили серию растворов эталонного токсиканта (Таблица 2.1).

Таблица 2.1

Летальность цериодафний в растворе стандартного токсиканта

Концентрация $K_2Cr_2O_7$, мг/л	Гибель цериодафний, %
0,3	0
0,7	18
1,2	35
1,5	51
1,7	70
3,0	100

Нормальный диапазон реагирования тест-организмов на стандартный токсикант составляет от 0,9 до 2,0 мг/л [33]. По результатам предварительного тестирования LK_{50} $K_2Cr_2O_7$ составила 1,54 мг/л. Данное

значение входит в нормальный диапазон чувствительности тест-объекта, следовательно культуру цериодафний можно использовать для дальнейшего биотестирования.

Биотестирование водопроводной воды проводили не позднее 6 ч после отбора проб [33]. Опыты ставили на синхронизированной культуре цериодафний (одновозрастная культура в третьем поколении). Для получения одновозрастных особей, маточную культуру цериодафний помещали в емкость, заполненную на 2/3 культивационной водой и ставили в климатостат. Через неделю самки адаптировались и начинали размножаться партеногенезом. В климатостате постоянно находился источник искусственного освещения (лампы дневного света); температура в камере для культивирования рачков составляла от +23 до +25°C.

Культуру тест-организмов один раз в неделю пересаживали в свежую отстоянную воду. Взрослых особей также раз в неделю отделяли от молодежи при помощи ситечка. Кормление осуществляли три раза в неделю. Один раз в качестве пищи использовали культуру зеленых водорослей – *Scenedesmus* или *Chlorella*, два раза – дрожжевую суспензию.

Биотестирование водопроводной воды проводили в остром опыте продолжительностью 48 ч. Для определения безопасного для здоровья уровня воды, ее разбавляли в соотношениях 1:1, 1:4 и 1:8. Разбавления делали с использованием культивационной воды. В качестве контрольного опыта также использовали отстоянную, аэрированную воду. Каждый опыт проводили в трех повторностях.

Опыты ставили в пузырьках объемом по 15 мл, в каждый из которых помещали по одной цериодафнии. Токсичность водопроводной воды определяли по летальности тест-организмов, при условии, если гибель рачков в контроле составляет менее 10%.

В конце биотестирования визуально подсчитывали количество живых цериодафний. Живыми считают организмы, которые свободно двигаются в толще воды или всплывают со дна сосуда после его легкого встряхивания.

2.3. Обработка результатов и критерии токсичности

При биотестировании рассчитывали количество погибших цериодафний по сравнению с контролем по формуле (2.1):

$$A = \frac{X_k - X_t}{X_k} \times 100\%, \quad 2.1$$

где A (%) – процент погибших цериодафний, в тестируемой воде;

X_k – количество выживших цериодафний в контроле;

X_t – количество выживших цериодафний в тестируемой воде.

Для токсикологической оценки воды использовали критерии, предложенные Б.А. Флеровым, при которых:

- если A не превышает 20% - вода является не токсичной;
- если A составляет от 20 до 50% - вода является токсичной;
- если A 50% и более - вода является очень токсичной [42].

2.4. Химические методы определения качества воды

2.4.1. Определение органолептических свойств водопроводной воды

Определение мутности. Определение мутности проводили в соответствии с общепринятой методикой [10, 27]. Для определения мутности водопроводной воды были приготовлены основные стандартные суспензии каолина. Для этого навески каолина (0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5;

0,7; 1,0 мг) растворяли в 100 мл дистиллированной воды. Затем готовили рабочие суспензии каолина, для чего в мерные колбы вносили 0,037; 0,074; 0,111; 0,148; 0,185; 0,37; 0,74; 1,85 мл основной стандартной суспензии и доводили ее объем до 100 мл. В результате получили рабочие суспензии с концентрацией каолина 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0 мг/л. В дальнейшем проводили калориметрии рабочих суспензий (Спектрофотометр Юнико 1201) и определяли их оптическую плотность. Контролем являлась дистиллированная вода. Длина волны составляла 540 нм.

Определение цветности. Для определения цветности нативной воды были приготовлены 4 раствора: раствор А (к 0,25 г $K_2Cr_2O_7$ добавили 1 мл концентрированной H_2SO_4 и довели объем до 1 л), раствор Б (к 5 г $CoSO_4 \times 7H_2O$ добавили 0,5 мл концентрированной H_2SO_4 и довели объем до 0,5 л дистиллятом), раствор В (1 мл концентрированной H_2SO_4 растворили в дистиллированной воде и довели объем до 1 л) и стандартный раствор 500 градусов (350 мл раствора А, 200 мл раствора Б и 450 мл раствора В). Затем смешивали стандартный раствор 500 градусов с раствором В для получения рабочих растворов с определённым уровнем цветности (Таблица 2.2). Длина волны составляла 350 нм [27].

Таблица 2.2

Уровень цветности рабочих растворов

Стандартный раствор, мл	0	1	2	3	4	5	6	8	10	12	14	20	40	50
Раствор В, мл	100	99	98	97	96	95	94	92	90	88	86	80	60	50
Цветность рабочих растворов, градус (°)	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	100	200	500

Запах и вкус. Согласно ГОСТ 3351-74 [10] характер и интенсивность запаха водопроводной воды определяли при температуре 20 и 60 градусов [27].

Интенсивность запаха (Таблица 2.3) и вкусов (Таблица 2.4) воды оценивают по 5 – балльной шкале [27, 34].

Таблица 2.3

Оценка интенсивности запаха пробы воды

Балл	Характер проявления запаха	Интенсивность запаха
0	никакого запаха	отсутствие осязаемого запаха
I	очень слабый	запах, не замечаемый потребителем, но обнаруживаемый специалистом
II	слабый	запах, обнаруживаемый потребителем, если обратить на это внимание
III	заметный	запах, легко обнаруживаемый, может быть причиной того, что вода непригодна для питья
IV	отчетливый	запах, обращающий на себя внимание, может заставить воздержаться от питья
V	очень сильный	запах, настолько сильный, что делает воду непригодной для питья

Оценка интенсивности вкуса пробы воды

Балл	Интенсивность вкуса	Характер проявления вкуса
0	никакого вкуса	не ощущается
I	очень слабый	не ощущается потребителем
II	слабый	замечается потребителем, если обратить внимание
III	заметный	легко замечается, неодобрительный отзыв
IV	отчетливый	обращает внимание, заставляет воздержаться от питья
V	очень сильный	непригодна для питья

2.4.2. Определение физико-химических показателей воды

Определение Fe^{3+} . Для определения ионов Fe^{3+} в колбах на 50 мл были приготовлены стандартные растворы. Для этого в них вносили определенный объем $Fe(NH_4)(SO_4)_2 \times 12H_2O$ (0,5; 1; 2; 3; 4; 5 мл) и доливали до риски дистиллированной водой. Затем содержимое переливали в колбы объемом на 100 мл и в каждую из них добавляли 1 мл 4N раствора NO_3 и несколько кристаллов $K_2S_2O_8$. Хорошо перемешав, добавляли 1 мл 10%-го раствора KCNS и сразу измеряли оптическую плотность на ФЭКе. Контролем являлась дистиллированная вода. Длина волны составляла 430 нм. Затем проделали тоже с водопроводной водой и измерили ее оптическую плотность [27].

Определение хлоридов. Для определения хлоридов рассчитывали поправку (K) на молярную концентрацию эквивалента нитрата серебра в трех повторностях по формуле (2.2):

$$K = \frac{10}{V}, \quad (2.2)$$

где 10 – объем хлорида натрия, мл; V – объем нитрата серебра, пошедшего на титрование, мл.

Для этого в мерную колбу налили 10 мл NaCl и довели объем до 100 мл дистиллированной водой и прибавили 1 мл хромата калия. Затем титровали при постоянном перемешивании раствором нитрата серебра до появления устойчивого красно-бурого осадка [27].

Определение сульфатов. Для определения сульфат - ионов использовали 250 мл исследуемой воды. Нагрели до кипения, затем добавили 5 мл взболтанной суспензии хромата бария и 1 мл 2,5 N раствора соляной кислоты. Оставили кипеть 3-4 минуты. Проявляется желто-красная или красно-бурая окраска. Завершив нагревание, нейтрализовали горячую жидкость 5% раствором аммиака, добавляя его по каплям до лимонно-желтой окраски. Для удаления избытка аммиака продули раствор с помощью пипетки с грушей. Необходимо, чтобы раствор имел слабо - щелочную реакцию. Содержимое количественно перенесли в мерную колбу и довели до метки дистиллированной водой.

Содержимое мерной колбы взболтали и профильтровали через складчатый фильтр. Из фильтрата в мерную колбу отобрали 100 мл раствора и перелили в коническую колбу с притертой пробкой. Затем прибавили 10 мл 10%-го раствора KI и 10 мл 2, 5 N раствора соляной кислоты и оставили в темноте на 15-20 минут. После этого оттитровали выделившийся йод раствором тиосульфата натрия до слабо-желтого цвета. Затем прилили 1 мл

2%-го раствора крахмала и завершили титрование при исчезновении синей окраски.

Содержание сульфат - ионов определили по формуле (2.3):

$$X = \frac{96 \times V1 \times 0,05 \times 2,5 \times 1000}{V2 \times 3}, \quad (2.3)$$

где 96 – молярная масса сульфат - ионов; V1 – V тиосульфата натрия; 0,05 – концентрация тиосульфата натрия; 2,5 – коэффициент, учитывающий, что из 250 мл исследуемого раствора на титрование взято 100 мл; 1000 – перерасчет в мг/л; 3 – число эквивалентов хромата калия; V2 – объем исследуемой пробы воды [27].

Определение нитрит ионов. Для определения нитритов были приготовлены растворы для сравнения: взяли от 1 до 5 мл рабочего раствора, 1 мл которого содержит 0,005 мг азота, и довели до метки в мерной колбе на 100 мл дистиллированной водой. В другую мерную колбу (100 мл) налили исследуемую воду. Данные растворы перелили в конические колбы и добавили по 5 мл реактива Грисса. Перемешали содержимое колб и поставили на водяную баню при температуре 60-70 градусов на 15-20 минут. Далее растворы проколориметрировали в цилиндрах Генера.

Содержание азота нитритов определили по формуле (2.4):

$$X = \frac{C_{ст} \times n \times h_{ст} \times 1000}{h_{и} \times V}, \quad (2.4)$$

где C_{ст} – концентрация азота в рабочем растворе, мг/мл; n – объем рабочего раствора, взятый для приготовления 100 мл раствора для сравнения, мл; h_{ст} – высота столба жидкости раствора для сравнения в цилиндре Генера при равенстве окрасок (объем), мл; h_и – высота столба жидкости исследуемой

воды в цилиндре Генера при равенстве окрасок (объем), мл; 1000 – пересчет на 1л; V– объем исследуемой воды, взятой для определения, мл [27].

Определение общей жесткости. Согласно ГОСТ 31954-2012 [11] для определения общей жесткости было взято 100 мл исследуемой воды. Далее к ним добавили 5 мл аммиачной буферной смеси и от 0,05 до 0,1 г индикатора. В качестве индикатора использовали эриохром черный Т. Полученный раствор перемешивали, при этом он окрашивался в красновато-фиолетовый цвет. Затем начали его титрование. В качестве титранта использовали трилон Б. Титрование продолжали до тех пор, пока раствор не изменит окраску на синий цвет. Опыт проводили в трех повторностях, затем высчитывали среднее.

Общую жесткость воды вычисляли по формуле (2.5):

$$Ж_0 = \frac{C(\text{трилона Б}) \times V(\text{трилона Б}) \times 1000 \times K}{V(H_2O)}, \quad (2.5)$$

где K – поправочный коэффициент для трилона Б; он вводится тогда, когда его концентрация не равна 0,1 моль-экв/л [11].

Категорию воды по показателю жёсткости оценивают в соответствии с данными Таблицы 2.5. По критериям жёсткости выделяют следующие категории воды: очень мягкая (<1,5 мг-экв/л), мягкая (1,5-4,0 мг-экв/л), средняя (4,0-8,0 мг-экв/л), жёсткая (8,0-12,0 мг-экв/л), очень жёсткая (>12,0 мг-экв/л).

Показатели жесткости воды [8]

Категория воды	Показатель жесткости, мг-экв/л
Очень мягкая	<1,5
Мягкая	1,5-4,0
Средняя	4,0-8,0
Жесткая	8,0-12,0
Очень жесткая	>12,0

Определение молярной концентрации эквивалента перманганата калия. Для проверки концентрации $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ налили в мерную колбу на 50 мл дистиллированной воды; 15 мл 0,01N раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; 10 мл раствора HCl (2:1); высыпали сухой KI и сразу начали титровать тиосульфатом натрия до слабо желтой окраски. Затем налили 100 мл дистиллированной воды и 1 мл крахмала. Далее титровали до исчезновения синей окраски.

Концентрацию тиосульфата определили по формуле (2.6):

$$X = \frac{N \times V1}{V2}, \quad (2.6)$$

где $V1$ – объем $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (мл); $V2$ – объем $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ (мл); N – нормальность $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

После определения концентрации тиосульфата натрия, налили 100 мл исследуемой воды в коническую колбу и внесли 2-3 кипелки. Затем прибавили 5 мл раствора H_2SO_4 (1:3) и нагрели. В начале кипячения добавили 10 мл раствора KMnO_4 (0:1) и закрыли пробкой-холодильником.

Кипятили 10 минут. Затем пробу охладили и добавили 0,5 г KI. Выделившийся йод титровали раствором $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$ до светло-желтой окраски. Далее добавили 1 мл крахмала и продолжили титрование до исчезновения синей окраски. Аналогично провели холостое определение для 100 мл дистиллированной воды [27].

Окисляемость рассчитывали по формуле (2.7):

$$X = \frac{8 \times N(V1 - V2) \times 1000}{V}, \quad (2.7)$$

где N – нормальность тиосульфата натрия; V1 – объем тиосульфата натрия в холостой пробе; V2 – объем тиосульфата натрия в исследуемой пробе; V – объем исследуемой воды.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Летальность цериодафний в растворе стандартного токсиканта

С целью определения соответствия чувствительности культуры цериодафний определённым критериям, перед проведением опытов по основному биотестированию водопроводной воды необходимо проведение предварительного биотестирования раствора эталонного токсиканта с использованием культуры тест-объекта. Нормальный диапазон реагирования тест-организмов на стандартный токсикант составляет от 0,9 до 2,0 мг/л [33]. В качестве стандартного (эталонного, модельного) токсиканта использовали бихромат калия ($K_2Cr_2O_7$) который продолжительное время сохраняет первоначально внесенную концентрацию, стабилен в растворах и относится к классу сильно токсичных веществ [15].

С помощью данного метода была установлена зависимость гибели цериодафний (%) от концентрации бихромата калия. Опыты проводили согласно методике биотестирования [33]. Результаты представлены в Таблице 3.1.

В ходе острого опыта (48 ч) по определению чувствительности культуры цериодафний, используемой для биотестирования воды, было установлено, что в контроле выживаемость тест-объектов составляла 100%. В экспериментальных растворах с бихроматом калия была выявлена прямая зависимость между выживаемостью организмов и концентрацией эталонного токсиканта, а именно при увеличении концентрации бихромата калия доля погибших особей также возрастает.

Анализ полученных результатов показал, что в растворах $K_2Cr_2O_7$ с концентрациями 0,3 и 0,7 мг/л гибель тест-объекта составила менее 20%. Сравнение этих данных с критериями токсичности [42] свидетельствует о

том, что эталонный токсикант не проявляет токсичные свойства в отношении выживаемости цериодафний.

Таблица 3.1

Летальность цериодафний в растворе стандартного токсиканта

Концентрация $K_2Cr_2O_7$, мг/л	Гибель цериодафний, %
0,3	0
0,7	18
1,2	35
1,5	51
1,7	70
3,0	100

При концентрации раствора 1,2 мг/л летальность цериодафний увеличивалась и составляла 35% по отношению к контрольным опытам, что превышает допустимый порог гибели в 20%, т.е. раствор обладал токсичностью. В концентрациях растворов $K_2Cr_2O_7$ 1,5 мг/л, 1,7 мг/л и 3,0 мг/л гибель особей ещё более возрастала, составляла более 50%, что указывает на очень высокую токсичность стандартного токсиканта по сравнению с контролем.

Данные, полученные в ходе острого эксперимента, не позволяют напрямую определить среднелетальную концентрацию (LC_{50}) $K_2Cr_2O_7$. В связи с этим определение LC_{50} проводили с помощью графического метода. Для этого строили график зависимости летальности организмов от концентрации эталонного вещества (Рис. 3.1). По уравнению линии тренда была рассчитана медианная летальная концентрация, которая составила 1,54 мг/л.

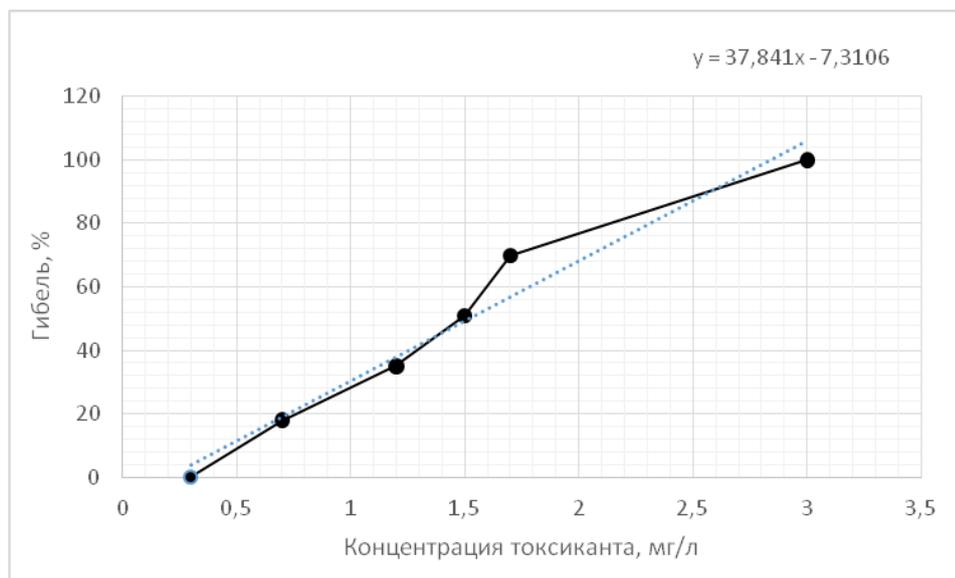


Рис. 3.1. Зависимость гибели цериодафний от концентрации стандартного (эталонного) токсиканта $K_2Cr_2O_7$

Полученное значение входит в нормальный диапазон реагирования от 0,9 до 2,0 мг/л [33], поэтому данную культуру цериодафний можно использовать для проведения биотестирования водопроводной воды.

3.2. Сезонная и межгодовая динамика качества водопроводной воды Заволжского района г. Ярославля

В Заволжском районе г. Ярославля было проведено биотестирование качества водопроводной воды, взятой из распределительной сети жилых домов по 3 адресам. Биотестирование проводили в осенний, зимний, весенний и летний сезоны 2016-2018 гг. В таблицах 3.2 – 3.8 представлены показатели летальности цериодафний в нативной, разбавленной, кипяченой и фильтрованной воде.

Летальность цериодафний в нативной водопроводной воде по проспекту Авиаторов, 131 и по улице Папанина, составляла 100 %. Сравнение с критериями токсичности [42] свидетельствуют о том, что вода является очень токсичной, т.к. летальность тест-объекта превышает 50% (Таблица 3.2).

Летальность цериодафний (%) в водопроводной воде Заволжского района
города Ярославля в осенний период 2016 г.

место отбора уровень разбавления	проспект Авиаторов, д. 131	улица Папанина, д.5, к.3	проспект Авиаторов д. 94, к. 2
1:0	100	100	13
1:1	87	90	0
1:4	53	83	0
1:8	20	37	0
кипяченая	97	100	0

Термическая обработка воды не приводила к снижению токсических свойств. На это указывают показатели гибели организмов в кипячёной воде. Они составляли в пробах воды с проспекта Авиаторов, 131 и по улице Папанина соответственно 97% и 100%, т.е. термическая обработка не удаляет вредные вещества. В обоих случаях вода после забора из водопроводной сети была пропущена через бытовые фильтры фирмы «Аквафор» и потом подвергалась кипячению. С чем связана такая высокая токсичность воды объяснить достаточно сложно. С большой долей вероятности на качество воды сильно влияет состояние водопроводных сетей. Кроме того, в процессе кипячения в воде могут образовываться комплексы соединений, являющихся токсичными для тест-организмов [62].

Для определения безопасного уровня водопользования было проведено биотестирование разбавленной водопроводной воды. При разбавлении нативной воды в 2 и в 4 раза она оставалась очень токсичной, так как гибель тест-объекта превышала 50%. При разбавлении в 8 раз токсичность снижалась до 20% и 37% соответственно на проспекте Авиаторов, дом 131 и

ул. Папанина, но при этом оставалась токсичной и не достигала безопасного уровня водопользования.

По проспекту Авиаторов, дом 94, корпус 2 нативная водопроводная вода, также как и кипяченая, не проявляла токсичных свойств, на что указывает сравнение выживаемости в опытной и контрольной пробах на основании критериев токсичности [42].

Таким образом, в водопроводной воде, по проспекту Авиаторов, дом 94, корпус 2, токсичные свойства не проявлялись. По проспекту Авиаторов, дом 131 и улице Папанина токсичность нативной воды была очень высокой. Даже при ее разбавлении в 8 раз, не удалось достичь безопасного уровня водопользования.

В зимний период 2017 года результаты биотестирования показали, что летальность цериодафний по трем исследуемым адресам Заволжского района составляла 100%. Сравнение с критериями токсичности [42] свидетельствуют о том, что нативная вода является очень токсичной, т.к. летальность тест-объекта превышала 50%.

Для определения безопасного уровня водопользования было проведено биотестирование разбавленной водопроводной воды. При разбавлении в 2 и в 4 раза водопроводная вода оставалась очень токсичной, так как гибель цериодафний превышала 50% (Таблица 3.3).

При разбавлении в 8 раз, ее токсичность снизилась во всех исследуемых точках. По проспекту Авиаторов, дом 131 и Авиаторов, дом 94, корпус 2 вода не проявляла токсичных свойств, так как летальность тест-организмов составила менее 20%. На улице Папанина токсичность воды оставалась высокой, так как гибель цериодафний составила 34%, т.е. более 20% уровня.

Интересным представляется тот факт, что вода с ул. Папанина и после дополнительной термической обработки обладала очень высокой токсичностью, на что указывает гибель цериодафний, составившая 100%. В

данном случае кипячение воды не приводило к удалению вредных веществ. Возможно, в процессе кипячения в воде могут образовываться комплексы соединений, являющихся токсичными для тест-организмов [62].

Таблица 3.3

Летальность цериодафний (%) в водопроводной воде Заволжского района города Ярославля в зимний период 2017 г.

место отбора уровень разбавления	проспект Авиаторов, д. 131	улица Папанина, д. 5, к. 3	проспект Авиаторов, д. 94, к. 2
1:0	100	100	100
1:1	90	97	100
1:4	50	90	83
1:8	13	34	0
кипяченая	0	100	10

Токсичность кипяченой воды по проспекту Авиаторов, дом 131 и по проспекту Авиаторов, дом 94, к. 2 не проявляется, на что указывает сравнение выживаемости в опытной и контрольной пробах на основании критериев токсичности [42]. Значения, полученные в ходе проведения опытной пробы, составили 0 и 10%.

Таким образом, высокая токсичность водопроводной воды наблюдалась во всех местах отбора проб. По проспекту Авиаторов, дом 131 и Авиаторов, дом 94, корпус 2 удалось достичь безопасного уровня водопользования только при разбавлении нативной воды в 8 раз.

В водопроводной воде по проспекту Авиаторов, дом 94 в зимних опытах, по сравнению с осенними пробами, наблюдалось увеличение гибели рачков. Возможно, объяснение этому факту может дать очень нестабильный температурный фон и даже «плюсовые» температуры воздуха в конце февраля 2017 года.

Выживаемость тест-объектов по проспекту Авиаторов, дом 131 и улице Папанина в зимних опытах была выше, чем в осенних. Это связано с тем, что по этим адресам опыты были поставлены в январе и в начале февраля. В эти периоды перепады температур отсутствовали и наблюдались стабильные значительные морозы.

В весенний период 2017 года результаты биотестирования показали, что летальность цериодафний по трем исследуемым адресам Заволжского района составляла 100% (Таблица 3.4).

Таблица 3.4

Летальность цериодафний (%) в водопроводной воде Заволжского района города Ярославля в весенний период 2017 г.

место отбора уровень разбавления	проспект Авиаторов, д. 131	улица Папанина, д. 5, к. 3	проспект Авиаторов, д. 94, к. 2
1:0	100	100	100
1:1	100	100	100
1:4	83	93	83
1:8	23	72	73
кипяченая	3	86	23

Для определения безопасного уровня водопользования был проведен анализ разбавленной водопроводной воды. При разбавлении в 2 и в 4 раза гибель цериодафний составляла более 50%, что свидетельствует о высокой токсичности водопроводной воды. При разбавлении в 8 раз токсичность нативной воды значительно снизилась только на проспекте Авиаторов, 131 и составила 23%. Так как летальность тест-объекта составила более 20%, исследуемая вода свидетельствует о ее токсичности. При разбавлении в 8 раз

на улице Папанина и проспекте Авиаторов, 94 не удалось достичь безопасного уровня пользования, так как гибель рачков составила более 50%.

Термическая обработка привела к значительному снижению токсических свойств водопроводной воды на проспекте Авиаторов, д.131 и д.94 и составила соответственно 3% и 23%. Однако, только на проспекте Авиаторов, 131 она достигла безопасного уровня пользования, так как летальность цериодафний составляет менее 20%. Вода, отобранная с ул. Папанина после дополнительной термической обработки обладала высокой токсичностью, на что указывает гибель цериодафний, составившая 86%. В данном случае кипячение воды не приводило к удалению вредных веществ. Возможно, в процессе кипячения в воде могут образовываться комплексы соединений, являющихся токсичными для тест-организмов [62].

Проведение биотестирования нативной воды в летнем сезоне 2017 года (Таблица 3.5), показало, что летальность тест-объектов по трем исследуемым адресам составила 100%. При разбавлении в 2 и в 4 раза гибель цериодафний составляла более 50%, что свидетельствует о высокой токсичности водопроводной воды. При разбавлении в 8 раз, на проспекте Авиаторов, 94 летальность снизилась до 27%, что говорит о проявлении токсических свойств в отношении выживаемости цериодафний. На проспекте Авиаторов, 131 и улице Папанина вода также оставалась очень токсичной, так как гибель рачков составляла более 50%.

Термическая обработка по всем исследуемым адресам не снизила токсичности водопроводной воды, так как по проспекту Авиаторов, 131 и улице Папанина летальность тест-объекта составила 100%, а на проспекте Авиаторов, 94 – 50%.

Летальность цериодафний (%) в водопроводной воде Заволжского района города Ярославля в летний период 2017 г.

место отбора уровень разбавления	проспект Авиаторов, д. 131	улица Папанина, д. 5, к. 3	проспект Авиаторов, д. 94, к. 2
1:0	100	100	100
1:1	100	100	100
1:4	100	100	73
1:8	83	80	27
кипяченая	100	100	50
фильтр	100	100	13

Фильтрация нативной воды через проточный фильтр фирмы «Аквафор» по проспекту Авиаторов, 131 и через фильтр кувшин фирмы «Аквафор» на улице Папанина также не снизила уровень токсичности, так как летальность рачков составляла 100%. Вероятно, это связано с тем, что кассеты для фильтров давно не меняли, либо данные фильтры не достаточно качественно очищают воду [59]. На проспекте Авиаторов, 94 после пропуска через фильтр кувшин фирмы «Барьер», токсичные свойства воды не проявлялись.

В осенний сезон 2017 г. летальность цериодафний в нативной водопроводной воде по проспекту Авиаторов, 94 и по улице Папанина, составляла 100 % (Таблица 3.6). Сравнение с критериями токсичности [42] свидетельствуют о том, что вода является очень токсичной, т.к. летальность тест-объекта превышает 50%.

Летальность цериодафний (%) в водопроводной воде Заволжского района города Ярославля в осенний период 2017 г.

место отбора уровень разбавления	проспект Авиаторов, д. 131	улица Папанина, д. 5, к. 3	проспект Авиаторов, д. 94, к.2
1:0	93	100	100
1:1	87	93	87
1:4	87	70	77
1:8	73	43	43
кипяченая	69	3	40
фильтр	73	97	33

Термическая обработка воды привела к снижению токсических свойств водопроводной воды. Однако безопасного уровня водопользования удалось достичь только на улице Папанина, так как гибель тест-организмов составила менее 20%. По проспекту Авиаторов, 94 вода оставалась токсичной, а по проспекту Авиаторов, 131 – очень токсичной. Вероятно, это связано с плохим состоянием водопроводных сетей. Кроме того, в процессе кипячения в воде могут образовываться комплексы соединений, являющихся токсичными для тест-организмов [62]. Вода с улицы Папанина и проспекта Авиаторов, 94, пропущенная через фильтры кувшины для очистки, (фирмы «Аквафор» и «Барьер»), и вода с проспекта Авиаторов, 131, пропущенная через проточный фильтр, (фирмы «Аквафор») также проявляла токсичные свойства. По проспекту Авиаторов, 131 и улице Папанина вода была очень токсичной, так как гибель цериодафний превышала 50 %. По проспекту Авиаторов, 94 исследуемая вода обладала токсичными свойствами, так как гибель рачков составила более 20%. Скорее всего, это связано с тем, что

кассеты для фильтров давно не меняли, либо данные фильтры не достаточно качественно очищают воду [59].

Для определения безопасного уровня водопользования было проведено биотестирование разбавленной водопроводной воды. При разбавлении нативной воды в 2 и в 4 раза она оставалась очень токсичной, так как гибель тест-объекта превышала 50%. При разбавлении в 8 раз она проспекте Авиаторов, дом 131 вода оставалась очень токсичной, и ул. Папанина и проспекте Авиаторов, 94 проявляла токсичные свойства.

Таким образом, в водопроводной воде, по всем исследуемым адресам проявлялись токсичные свойства. Даже при ее разбавлении в 8 раз, не удалось достичь безопасного уровня водопользования.

В зимний сезон 2018 г. летальность тест-организмов в нативной водопроводной воде по всем адресам составляла 100 % (Таблица 3.7). Вода является очень токсичной, т.к. летальность тест-объекта превышает 50% [42].

Таблица 3.7

Летальность цериодафний (%) в водопроводной воде Заволжского района города Ярославля в зимний период 2018 г.

место отбора уровень разбавления	проспект Авиаторов, д. 131	улица Папанина, д. 5, к. 3	проспект Авиаторов, д. 94, к. 2
1:0	100	100	100
1:1	100	90	90
1:4	100	50	83
1:8	93	43	53
кипяченая	83	100	43
фильтр	90	100	30

Термическая обработка воды привела к снижению токсических свойств водопроводной воды только на проспекте Авиаторов, 94. Однако вода оставалась токсичной. Безопасного уровня водопользования достичь не удалось. По проспекту Авиаторов, 131 и ул. Папанина вода оставалась очень токсичной. Вероятно, это связано с тем, что по данным адресам старые водопроводные сети. Кроме того, в процессе кипячения в воде могут образовываться комплексы соединений, являющихся токсичными для тест-организмов [62]. Вода с улицы Папанина и проспекта Авиаторов, 94, пропущенная через фильтры кувшины для очистки, (фирмы «Аквафор» и «Барьер»), и вода с проспекта Авиаторов, 131, пропущенная через проточный фильтр, (фирмы «Аквафор») также проявляла токсичные свойства. По проспекту Авиаторов, 131 и улице Папанина вода была очень токсичной, так как гибель цериодафний составила 90 и 100 % – соответственно. По проспекту Авиаторов, 94 исследуемая вода обладала токсичными свойствами, так как гибель рачков составила более 20%. Скорее всего, это может быть связано с тем, что кассеты для фильтров давно не меняли, либо данные фильтры не достаточно качественно очищают воду [59].

Для определения безопасного уровня водопользования было проведено биотестирование разбавленной водопроводной воды. При разбавлении нативной воды в 2 и в 4 раза она оставалась очень токсичной, так как гибель тест-объекта превышала 50%. При разбавлении в 8 раз она проспекте Авиаторов, дом 131 и проспекте Авиаторов, 94 вода оставалась очень токсичной, и ул. Папанина проявляла токсичные свойства.

Таким образом, в водопроводной воде, по всем исследуемым адресам проявлялись токсичные свойства. Даже при ее разбавлении в 8 раз, не удалось достичь безопасного уровня водопользования. Скорее всего, это может быть связано с морозами и с плохими водораспределительными сетями.

В весенний сезон 2018 г. летальность тест-организмов в нативной водопроводной воде по всем адресам составляла 100 % (Таблица 3.8). Вода является очень токсичной, т.к. летальность тест-объекта превышает 50% [42].

Таблица 3.8

Летальность цериодафний (%) в водопроводной воде Заволжского района города Ярославля в весенний период 2018 г.

место отбора уровень разбавления	проспект Авиаторов, д.131	улица Папанина, д. 5, к. 3	проспект Авиаторов, д. 94, к. 2
1:0	100	100	100
1:1	100	100	83
1:4	72	83	31
1:8	7	45	7
кипяченая	83	86	90
фильтр	72	66	41

Термическая обработка воды не привела к снижению токсических свойств по всем исследуемым адресам. Безопасного уровня водопользования достичь не удалось. Вероятно, это связано с тем, что по данным адресам старые водопроводные сети. Кроме того, в процессе кипячения в воде могут образовываться комплексы соединений, являющихся токсичными для тест-организмов [62]. Вода с улицы Папанина и проспекта Авиаторов, 94, пропущенная через фильтры кувшины для очистки (фирмы «Аквафор» и «Барьер»), и вода с проспекта Авиаторов, 131, пропущенная через проточный фильтр (фирмы «Аквафор») также проявляла токсичные свойства. По проспекту Авиаторов, 131 и улице Папанина вода была очень токсичной, так как гибель цериодафний составила 83 и 86 % – соответственно. По проспекту

Авиаторов, 94 исследуемая вода обладала токсичными свойствами, так как гибель рачков составила более 20%. Скорее всего, это может быть связано с тем, что кассеты для фильтров давно не меняли, либо данные фильтры не достаточно качественно очищают воду [59].

Для определения безопасного уровня водопользования было проведено биотестирование разбавленной водопроводной воды. При разбавлении нативной воды в 2 и в 4 раза она оставалась очень токсичной, так как гибель тест-объекта превышала 50%. При разбавлении в 8 раз на проспекте Авиаторов, 131 и проспекте Авиаторов, 94 удалось достичь безопасного уровня водопользования. На улице Папанина вода проявляла токсичные свойства. Вероятно, это может быть связано с плохими водораспределительными сетями.

Сравнение результатов выживаемости рачков в течение 4 сезонов показывает, что в летний и зимний период летальность тест-организмов была значительно выше, чем в осенний и весенний, т.е. осенью и весной вода была чище, в связи с невысоким, по сравнению с летом и зимой, содержанием токсичных веществ. Данные литературы показывают, что такие особенности в проявлении токсических свойств воды могут быть связаны с климатическими и погодными условиями в разные сезоны года [14, 20].

3.3. Сезонная и межгодовая динамика качества водопроводной воды Фрунзенского района г. Ярославля

Во Фрунзенском районе г. Ярославля было проведено биотестирование качества водопроводной воды, взятой из распределительной сети жилых домов по 3 адресам: проезд Матросова, д.9, Московский проспект, д.123 и ул. Корабельная, д. 18. Биотестирование проводили в осенний, зимний, весенний и летний сезоны 2016-2018 гг. В Таблицах 3.9 – 3.15 представлены

показатели летальности цериодафний в нативной, разбавленной, кипяченой и фильтрованной воде.

Анализ результатов выживаемости цериодафний в нативной воде свидетельствует об очень высокой токсичности воды по трем исследуемым адресам, т.к. в сравнении с критериями токсичности [42], летальность тест-организмов составляет более 50% (Таблица 3.9).

Для определения безопасного уровня водопользования было проведено биотестирование разбавленной водопроводной воды. При разбавлении в 2 и в 4 раза вода оставалась очень токсичной во всех пробах, так как гибель тест-объектов составляла более 50%. При разбавлении водопроводной воды в 8 раз летальность цериодафний незначительно снизилась до 45 и 47% соответственно в пробах с улицы Корабельной и проезда Матросова, что говорит о проявлении токсических свойств в отношении выживаемости цериодафний. В воде с Московского проспекта гибель рачков составила менее 20%, т.е. вода была не токсичной.

Таблица 3.9

Летальность цериодафний (%) в водопроводной воде Фрунзенского района города Ярославля в осенний период 2016 г.

место отбора уровень разбавления	проезд Матросова, д. 9	Московский проспект, д. 123	улица Корабельная, д.18
1:0	100	87	100
1:1	67	63	100
1:4	53	53	90
1:8	47	10	45
кипяченая	17	57	0

В кипяченой воде летальность рачков отмечали на Московском проспекте, она составляла 57%, т.е. была в 2,5 раза выше нормы. Как

показывают результаты термическая обработка не снижает содержание вредных веществ. С чем связана такая высокая токсичность воды объяснить достаточно сложно. Данные литературы показывают, что в процессе кипячения в нативной воде могут образовываться комплексы соединений, являющиеся токсичными для тест-организмов. Подвергая термической обработке водопроводную воду, особенно повторной, происходит изменение ее химического состава. Вместо удаления опасных веществ из воды, они начинают накапливаться. Высокая температура приводит к образованию нитрозаминов, мышьяка и фтора. Эти вещества представляют большую опасность для здоровья человека, так как они приводят к различным серьезным заболеваниям [62].

Токсичность воды по улице Корабельной и проспекту Матросова не проявлялась, так как гибель цериодафний составляла менее 20%, т.е. не превышала допустимый уровень.

Таким образом, высокая токсичность нативной воды наблюдалась по всем исследуемым адресам. Только на Московском проспекте дом 123 при разбавлении в 8 раз вода достигла безопасного уровня пользования.

По результатам выживаемости цериодафний в нативной водопроводной воде зимнего периода по трем исследуемым адресам летальность тест-объекта составила 100% (Таблица 3.10). Это свидетельствует об очень высокой токсичности воды в сравнении с критериями токсичности [42].

Для определения безопасного уровня водопользования было проведено биотестирование разбавленной водопроводной воды. Разбавленная в 2 и в 4 раза водопроводная вода во всех трех местах отбора является очень токсичной, так как гибель цериодафний составляет более 50%.

При разбавлении водопроводной воды в 8 раз ее токсичность снизилась, но гибель тест-организмов соответствовала норме только на Московском проспекте, так как составила менее 20%. По проезду Матросова

и на улице Корабельная летальность рачков была 23 и 31% соответственно. Токсичные свойства в кипяченой воде, взятой по этим адресам, не наблюдались.

Таблица 3.10

Летальность цериодафний (%) в водопроводной воде Фрунзенского района города Ярославля в зимний период 2017 г.

место отбора уровень разбавления	проезд Матросова, д. 9	Московский проспект, д. 123	улица Корабельная, д. 18
1:0	100	100	100
1:1	100	77	100
1:4	53	57	82
1:8	23	10	31
кипяченая	0	63	0

Кипяченая вода на Московском проспекте проявляла очень высокую токсичность, гибель цериодафний, составившая 63%, превышает норму в 3 раза. То есть термическая обработка не снижает содержание вредных веществ. Такая высокая токсичность воды может объясняться образованием новых комплексных соединений с более выраженными токсическими свойствами для тест-организмов, по сравнению с исходными веществами, находившимися в нативной воде [62].

Таким образом, высокая токсичность водопроводной воды в зимний сезон года наблюдалась по всем исследуемым адресам. На Московском проспекте, дом 123 при разбавлении в 8 раз, вода достигла безопасного уровня пользования.

В весенний период 2017 года выживаемость цериодафний в нативной воде по трем исследуемым адресам свидетельствуют об очень высокой

токсичности воды, т.к. в сравнении с критериями токсичности [42], летальность тест-организмов составляет 100% (Таблица 3.11). При разбавлении в 2, 4 и 8 раза не удалось достичь безопасного уровня пользования. Вода оставалась очень токсичной, так как гибель рачков составила более 50%.

Таблица 3.11

Летальность цериодафний (%) в водопроводной воде Фрунзенского района города Ярославля в весенний период 2017 г.

место отбора уровень разбавления	проезд Матросова, д.9	Московский Проспект, д.123	ул. Корабельная, д.18
1:0	100	100	100
1:1	90	100	100
1:4	40	80	87
1:8	36	57	60
кипяченая	17	0	27

Термическая обработка привела к снижению токсичных свойств на проезде Матросова и Московском проспекте, так как летальность цериодафний составила менее 20%. По улице Корабельной она составила 27% соответственно.

В летний период 2017 года результаты биотестирования показали (Таблица 3.12) , что нативная вода по трем исследуемым адресам является очень токсичной, т.к. летальность тест-организмов составляет более 100%.

Для определения безопасного уровня водопользования было проведено биотестирование разбавленной водопроводной воды. При разбавлении в 2 и в 4 раза не удалось достичь снижения токсичности, так как гибель цериодафний составляет более 50 %. При разбавлении в 8 раз удалось

достичь безопасного уровня водопользования только по проезду Матросова и Московскому проспекту, т.к. в сравнении с критериями токсичности [42], летальность цериодафний составляет менее 20%.

Таблица 3.12

Летальность цериодафний (%) в водопроводной воде Фрунзенского района города Ярославля в летний период 2017 г.

место отбора уровень разбавления	проезд Матросова, д. 9	Московский проспект, д. 123	ул. Корабельная, д. 18
1:0	100	100	100
1:1	93	90	100
1:4	50	63	100
1:8	17	13	67
кипяченая	57	47	23
фильтр	17	17	-

Термическая обработка не приводит к безопасному уровню водоиспользования, так как гибель рачков составляет более 20%. На проезде Матросова вода является очень токсичной, т.к. летальность тест-организмов превышает 50%. На Московском проспекте и улице Корабельная вода является токсичной.

После фильтрации нативная вода на проезде Матросова и Московском проспекте не обладала токсичными свойствами, т.к. летальность цериодафний составляет менее 20%. На улице Корабельной исследование водопроводной воды после фильтрации не удалось сделать из-за отсутствия фильтра.

Сравнение качества воды в разные сезоны 2016-2017 года показывает, что на Московском проспекте выживаемость рачков в зимней пробе воды

ниже, чем в осенней. Можно предположить, что это связано с температурными изменениями погодных условий в конце февраля месяца. В это время температура воздуха была положительной, и начиналось усиленное таяние снега, который мог существенно снижать качество поверхностных водоисточников из-за загрязнённых стоков [60].

В осенний период 2017 года выживаемость цериодафний в нативной воде по трем исследуемым адресам свидетельствуют об очень высокой токсичности воды (Таблица 3.13), т.к. в сравнении с критериями токсичности [42], летальность тест-организмов составляет 100%. При разбавлении в 2 и 4 раза вода оставалась очень токсичной, так как гибель рачков составила более 50%. При разбавлении в 8 раз по всем исследуемым адресам не удалось достичь безопасного уровня водопользования, так как летальность цериодафний составила более 20%.

Таблица 3.13

Летальность цериодафний (%) в водопроводной воде Фрунзенского района города Ярославля в осенний период 2017 г.

место отбора уровень разбавления	проезд Матросова, д.9	Московский проспект, д.123	улица Корабельная, д.18
1:0	100	100	100
1:1	90	90	100
1:4	70	77	87
1:8	40	30	47
кипяченая	53	47	37
фильтр	23	13	-

Термическая обработка воды привела к снижению токсических свойств водопроводной воды только на Московском проспекте и улице Корабельная. Однако вода оставалась токсичной, так как летальность тест-объектов

превышала 20%. Безопасного уровня водопользования достичь не удалось. По проезду Матросова вода оставалась очень токсичной. Вероятно, это связано со старыми водопроводными сетями. Кроме того, в процессе кипячения в воде могут образовываться комплексы соединений, являющихся токсичными для тест-организмов [62]. Вода с Московского проспекта, пропущенная через проточный фильтр для очистки (фирмы «Аквафор») не проявляла токсичные свойства. Вода с проезда Матросова, пропущенная через фильтр кувшин для очистки (фирмы «Барьер») оставалась токсичной, так как гибель тест организмов составила 23%.

В зимний период 2018 года выживаемость цериодафний в нативной воде по трем исследуемым адресам свидетельствуют об очень высокой токсичности воды, т.к. в сравнении с критериями токсичности [42], летальность тест-организмов составляет 100% (Таблица 3.14). При разбавлении в 2 и 4 раза вода оставалась очень токсичной, так как гибель рачков составила более 50%. При разбавлении в 8 раз на Московском проспекте и проезде Матросова удалось достичь безопасного уровня водопользования, так как летальность цериодафний составила менее 20%. На улице Корабельная при разбавлении в 8 раз вода оставалась очень токсичной. Скорее всего, это связано с плохим качеством водоснабжения [58].

Термическая обработка воды привела к снижению токсических свойств водопроводной воды только на Московском проспекте и улице Корабельная. Однако вода оставалась токсичной, так как летальность тест-объектов превышала 20%. Безопасного уровня водопользования достичь не удалось. По проезду Матросова вода оставалась очень токсичной. Вероятно, это связано со старыми водопроводными сетями. Кроме того, в процессе кипячения в воде могут образовываться комплексы соединений, являющихся токсичными для тест-организмов [62].

Таблица 3.14

Летальность цериодафний (%) в водопроводной воде Фрунзенского района города Ярославля в зимний период 2018 г.

место отбора уровень разбавления	проезд Матросова, д.9	Московский проспект, д.123	улица Корабельная, д.18
1:0	100	100	100
1:1	93	90	100
1:4	50	63	100
1:8	17	13	67
кипяченая	57	47	23
фильтр	17	17	-

Вода с проезда Матросова, пропущенная через фильтр для очистки, (кувшин фирмы «Барьер») и с Московского проспекта (проточный фильтр фирмы «Аквафор») не проявляла токсичные свойства. Фильтрация воды полностью снижает токсичность нативной воды.

В весенний период 2018 года нативная вода обладала очень токсичными свойствами, так как летальность тест-организмов составила 100% (Таблица 3.15).

При разбавлении в 2 и 4 раза вода оставалась очень токсичной, так как гибель рачков составила более 50%. При разбавлении в 8 раз только на Московском проспекте удалось достичь безопасного уровня водопользования, так как летальность цериодафний составила менее 20%. По проезду Матросова вода проявляла токсичные свойства. На улице Корабельная при разбавлении в 8 раз вода оставалась очень токсичной. Скорее всего, это связано с плохим качеством водоснабжения [58].

Летальность цериодафний (%) в водопроводной воде Фрунзенского района города Ярославля в весенний период 2018 г.

место отбора уровень разбавления	проезд Матросова, д.9	Московский проспект, д.123	улица Корабельная, д.18
1:0	100	100	100
1:1	83	77	93
1:4	50	57	83
1:8	40	13	57
кипяченая	37	47	40
фильтр	63	27	-

Термическая обработка воды привела к снижению токсических свойств водопроводной воды по всем исследуемым адресам. Однако вода оставалась токсичной, так как летальность тест-объектов превышала 20%. Безопасного уровня водопользования достичь не удалось. Вероятно, это связано со старыми водопроводными сетями. Кроме того, в процессе кипячения в воде могут образовываться комплексы соединений, являющихся токсичными для тест-организмов [62]. Вода с Московского проспекта, пропущенная через проточный фильтр для очистки, (фирмы «Аквафор») проявляла токсичнее свойства. Вода с проезда Матросова, пропущенная через фильтр для очистки, (кувшин фирмы «Барьер») оставалась очень токсичной. Скорее всего, это может быть связано с тем, что кассеты для фильтров давно не меняли, либо данные фильтры не достаточно качественно очищают воду [59].

Результаты биотестирования воды Фрунзенского района г. Ярославля в осенний и зимний периоды 2008 г. показали, что вода также как и в 2016-2018 г., обладала очень высокой токсичностью. Об этом свидетельствуют показатели летальности рачков в разбавленной воде, а именно, безопасный

уровень водопользования достигался при разведении нативных проб в 8 раз [36].

Сравнение результатов биотестирования воды Заволжского и Фрунзенского районов указывает на то, что нативная вода проявляет очень высокую токсичность в обоих районах города в разные сезоны 2016-2018 гг. Это может объясняться рядом причин: разные источники водозабора, степень износа оборудования и уровень технологий на станциях водоподготовки, наконец, состояние разводящих водопроводных сетей, подающих воду потребителю [56, 61].

3.4. Химический анализ водопроводной воды Заволжского и Фрунзенского районов г. Ярославля

Гидрохимический анализ водопроводной воды проводили в летний и осенний сезон 2017 года, и в зимний и весенний сезон 2018 года. Пробы были отобраны из распределительной водопроводной сети по адресам – проспект Авиаторов, д. 131 и проезд Матросова, д. 9. В качестве объектов для проведения химического анализа были взяты пробы нативной воды.

Определяли две группы показателей:

1. Органолептические свойства – мутность, цветность, запах, вкус;
2. Физико – химические показатели – Fe^{3+} , хлориды, сульфаты, нитрат и нитрит ионы, перманганатную окисляемость, жесткость.

Эти показатели являются одними из основных для определения качества питьевой воды [54]. Избыток или дефицит биогенных элементов оказывает негативное влияние на здоровье населения, приводя к различного рода заболеваниям [1, 54].

Соответствие химического состава питьевой воды и показателей качества определяли путём сопоставления полученных нами результатов химического анализа водопроводной воды Фрунзенского и Заволжского

районов с нормативами и предельно допустимыми концентрациями химических веществ по СанПиН 2.1.4.1074-01 [34].

3.4.1. Органолептические свойства водопроводной воды

Определение мутности. Результаты калориметрии рабочих суспензий приведены в Таблице 3.16.

Таблица 3.16

Значения оптической плотности растворов в зависимости от содержания в них каолина

Содержание каолина, мг/л	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1,0	2,0	5,0
Оптическая плотность	0,0345	0,07	0,091	0,159	0,173	0,245	0,530	1,757

По полученным данным построили калибровочный график зависимости оптической плотности суспензии каолина в воде от концентрации каолина в рабочей суспензии (Рис. 3.2).

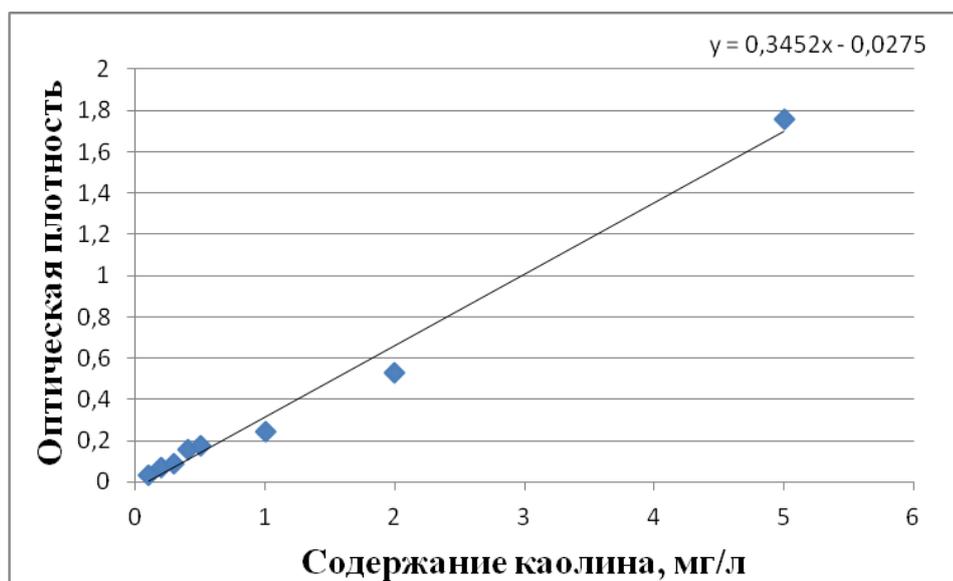


Рис. 3.2. Зависимость оптической плотности от содержания каолина

Затем измерили на ФЭЖе оптическую плотность тестируемой водопроводной воды, взятой по двум адресам. Подставив полученные данные в уравнение линии тренда, рассчитали значения мутности в исследуемой воде.

Определение мутности воды в пробах 2017 года, отобранных в летний период, показало, что оптическая плотность водопроводной воды, взятой по адресу проезд Матросова, 9 составила 0,014. Расчёт по уравнению линии тренда даёт показатель мутности, составляющий 0,12 мг/л.

Оптическая плотность водопроводной воды по адресу проспект Авиаторов, 131 составила 0,016. Подставив данное значение в уравнение линии тренда, определили мутность воды, которая составила 0,13 мг/л.

В соответствии с СанПиН мутность воды по каолину в норме должна составлять не более 1,5 мг/л [34]. Полученные нами результаты свидетельствуют, что мутность нативной воды по двум исследуемым адресам не превышает указанную норму.

В осенний период результаты анализа водопроводной воды показали, что ее оптическая плотность по адресу Матросова, 9 составила 0,020, по адресу Авиаторов, 131 – 0,086. Подставив данные значения в уравнение линии тренда, определили мутность исследуемой воды. По проезду Матросова она составила 0,14 мг/л, по проспекту Авиаторов 0,33 мг/л.

В осенних пробах водопроводной воды по проспекту Авиаторов, значение мутности было в 2,5 раза выше, чем по проезду Матросова и выше, по сравнению с летними результатами. Вероятно, это может быть связано с механическим отрывом продуктов коррозии трубопроводов и биоплёнок, развивающихся в системе центрального водоснабжения или от наличия микроорганизмов в распределительных сетях [49].

Мутность нативной воды по двум исследуемым адресам не превышает норму [34].

Пробы водопроводной воды, отобранные в 2018 году, в зимний сезон показали, что оптическая плотность по проезду Матросова, 9 составила 0,078, по проспекту Авиаторов, 131 – 0,071. Подставив данные значения в уравнение линии тренда, определили, что мутность нативной воды по первому адресу составила 0,31 мг/л, по второму 0,29 мг/л.

Полученные нами результаты свидетельствуют, что мутность нативной воды по двум исследуемым адресам в зимний период не превышает указанную норму [34].

Пробы водопроводной воды, отобранные в 2018 году, в весенний сезон показали, что оптическая плотность по проезду Матросова, 9 составила 0,068, по проспекту Авиаторов, 131 – 0,078. Подставив данные значения в уравнение линии тренда, определили, что мутность нативной воды по первому адресу составила 0,28 мг/л, по второму 0,31 мг/л.

Полученные нами результаты свидетельствуют, что мутность нативной воды по двум исследуемым адресам в весенний период не превышает норму по СанПиН [34].

Таким образом, сравнение результатов мутности воды по двум адресам в течение 4 сезонов показывает, что все полученные значения не превышают допустимую норму (Таблица 3.18 и 3.19) [34]. Однако, значения мутности в зимний и весенний сезоны по проезду Матросова, 9 увеличились в 2-2,5 раза по сравнению с летними и осенними результатами. Также значения мутности в осенний, зимний и весенний сезоны по проспекту Авиаторов, 131 были выше в 2-2,5 раза по сравнению с летними результатами.

Определение цветности. На ФЭЖе определили оптическую плотность рабочих растворов (Таблица 3.17).

Таблица 3.17

Значения оптической плотности рабочих растворов

Градусы цветности, °	0	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	100	200	500
Оптическая плотность	0,001	0,012	0,022	0,022	0,026	0,035	0,045	0,053	0,066	0,077	0,082	0,128	0,249	0,311

По полученным данным (Таблица 3.17) построили калибровочный график (Рис. 3.3).

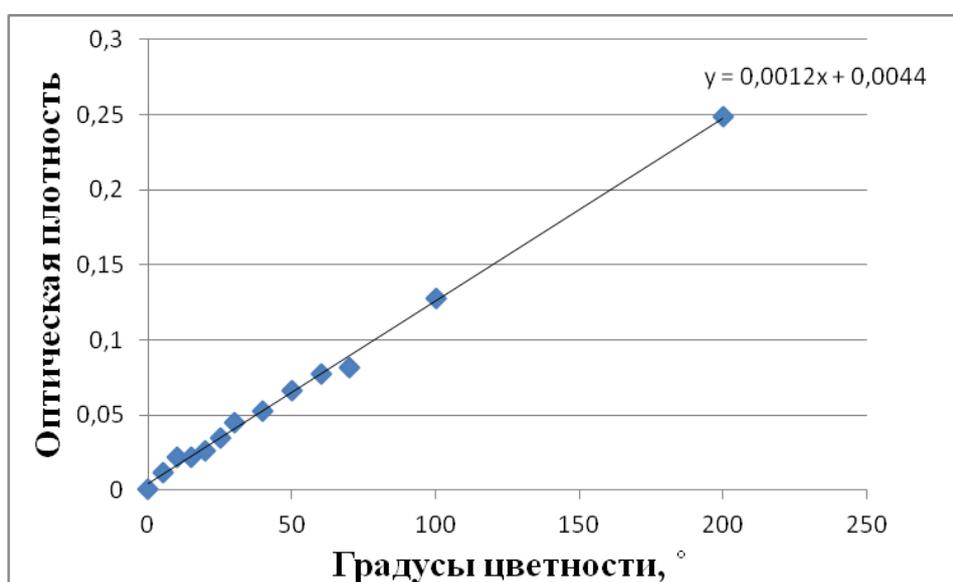


Рис. 3.3. Зависимость оптической плотности от градусов цветности

Затем измерили на ФЭКе оптическую плотность тестируемой водопроводной воды, взятой по двум адресам. Подставив полученные данные в уравнение линии тренда, рассчитали значения цветности в исследуемой воде.

В летний сезон 2017 года, проезду Матросова, 9 – 0,041 оптическая плотность составила по проспекту Авиаторов, 131 – 0,035. Полученные значения подставили в уравнение линии тренда и вычислили значение цветности. По проезду Матросова цветность нативной воды составила 30,5°, а проспекту Авиаторов – 25,5°.

В соответствии с СанПиН цветность воды в норме должна составлять не более 20° [34]. Полученные нами результаты свидетельствуют, что цветность нативной воды по двум исследуемым адресам превышает указанную норму. Вероятно, это связано с тем, что в домах по исследованным адресам старые водораспределительные сети. Цветность водопроводной воды может быть повышена из-за коррозии труб или наличия на их стенках колоний водорослей и бактерий [50].

В осенний сезон 2017 года оптическая плотность составила по проезду Матросова, 9 – 0,020, а по проспекту Авиаторов, 131 – 0,036. Подставив полученные значения в уравнение линии тренда, вычислили значение цветности. По проезду Матросова цветность нативной воды составила 13° , а по проспекту Авиаторов $26,3^{\circ}$,

По проспекту Авиаторов цветность водопроводной воды превышает допустимую норму. По проезду Матросова значение цветности находится в пределах нормы, т.к. ПДК должна составлять не более 20° [34].

В зимний сезон 2018 года результаты калориметрии показали, что оптическая плотность по проезду Матросова составила 0,032, а по проспекту Авиаторов – 0,042. Подставив полученные значения в уравнение линии тренда, вычислили значение цветности. По проезду Матросова цветность нативной воды составила 23° , а по проспекту Авиаторов – $31,3^{\circ}$.

По двум исследуемым адресам цветность водопроводной воды превышает норму по СанПиН [34].

Цветность воды, не соответствующая допустимой норме, не только ухудшает органолептические свойства питьевой воды и затрудняет ее водоочистку, но и представляет риск для здоровья людей [52]. Повышенная цветность питьевой воды способствуют развитию таких заболеваний как хронический опит, фарингит. Также в результате действия гуминовых кислот на 50-100% повышается проницаемость стенок кишечника для катионов Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, сульфатионов [55].

В весенний сезон 2018 года результаты калориметрии показали, что оптическая плотность по проезду Матросова составила 0,032, а по проспекту Авиаторов – 0,044. Подставив полученные значения в уравнение линии тренда, вычислили значение цветности. По проезду Матросова цветность нативной воды составила 23°, а по проспекту Авиаторов – 33°.

По двум исследуемым адресам цветность водопроводной воды превышает норму по СанПиН [34].

Таим образом, сравнение результатов цветности воды по двум адресам в течение 4 сезонов показало, что полученные значения превышают допустимую норму (Таблица 3.18 и 3.19). Исключение составили пробы водопроводной воды, отобранные осенью 2017 года во Фрунзенском районе. Значение цветности в данный сезон составило 13°, что не превышает норму по СанПиН [34].

Определение запаха. В летний период 2017 года по проезду Матросова, 9 при температуре в 20 и 60 градусов запах был слабым, поэтому интенсивность запаха при 60 градусов по Таблице 2.3 оценили в 2 балла. По проспекту Авиаторов, 131 запах был заметным, поэтому интенсивность запаха при 20 и 60 градусов по Таблице 2.3 оценили в 3 балла.

По проспекту Авиаторов, 131 запах водопроводной не соответствует норме, так как в воде, предназначенной для питьевых целей, он не должен превышать 2 баллов [34].

В осенний сезон 2017 года по проезду Матросова, 9 и по проспекту Авиаторов, 131 запах был заметным, поэтому его интенсивность при 20 и 60 градусов по Таблице 2.3 оценили в 3 балла.

По всем исследуемым адресам запах нативной воды не соответствует норме, так как в воде, предназначенной для питьевых целей, он не должен превышать 2 баллов [34].

В зимний сезон 2018 года по двум исследуемым адресам запах водопроводной воды был заметным, поэтому его интенсивность при 20 и 60

градусов по Таблице 2.3 оценили в 3 балла. Запах не соответствует норме, так как в воде, предназначенной для питьевых целей, он не должен превышать 2 баллов [34].

В весенний сезон 2018 года результаты были аналогичными с осенними и зимними данными. Скорее всего, это связано с проблемами водораспределительных сетей. Наличием в такой воде разлагающихся органических веществ или присутствием химических загрязнителей [50].

Таким образом, сравнение результатов запаха воды по двум адресам в течение 4 сезонов показывает, что питьевая вода соответствует норме только в летний сезон по проезду Матросова (Таблица 3.18 и 3.19).

Определение вкуса. В летний сезон 2017 года по проезду Матросова, 9 вкус нативной воды был заметным, с металлическим привкусом, поэтому интенсивность вкуса по Таблице 2.4 оценили в 3 балла. По проспекту Авиаторов, 131 вкус водопроводной воды был слабым, с хлорным привкусом, поэтому интенсивность вкуса по Таблице 2.4 оценили в 2 балла.

По проезду Матросова вкус исследуемой воды, предназначенной для питьевых целей, не соответствует норме, так как не должен превышать 2 баллов [34].

В осенний сезон 2017 года по проезду Матросова, 9 вкус нативной воды был заметным, с металлическим привкусом, поэтому интенсивность вкуса по Таблице 2.4 оценили в 3 балла. По проспекту Авиаторов, 131 вкус водопроводной воды был заметным, с хлорным привкусом, поэтому интенсивность вкуса по Таблице 2.4 оценили в 3 балла.

По исследуемым адресам вкус водопроводной воды не соответствует норме, так как превышает 2 балла [34].

В зимний и весенний сезоны 2018 года результаты были аналогичными с осенними данными. Вероятно, это связано с проблемами водораспределительных сетей [50].

Таким образом, сравнение результатов вкуса воды по двум адресам в течение 4 сезонов показывает, что питьевая вода соответствует норме только в летний сезон по проспекту Авиаторов (Таблица 3.18 и 3.19).

В задачи нашего исследования входило проведение гидрохимического анализа и оценка качества водопроводной воды по органолептическим и физико-химическим показателям.

Питьевая вода, не соответствующая нормативным показателям [34], приводит к появлению различных заболеваний. Прежде всего, это связано с нарушением органолептических свойств воды (цвет, вкус, запах), химическим и бактериальным составом. Заболевания человека могут быть обусловлены недостатком или избытком некоторых солей, микро- и макроэлементов, содержащихся в воде, а также присутствием в ней токсических соединений.

Показатели по органолептическим свойствам представлены в Таблицах 3.18 и 3.19.

Таблица 3.18

Органолептические свойства питьевой воды, отобранной по проезду Матросова, в разные сезоны 2017-2018 гг.

№	Показатели	Единицы измерения	Норма	Содержание			
				Лето	Осень	Зима	Весна
1	Мутность	мг/л	1,5	0,12	0,14	0,31	0,28
2	Цветность	градус	20	30,5	13	23	23
3	Запах	балл	2	2	3	3	3
4	Вкус	балл	2	3	3	3	3

Таблица 3.19

Органолептические свойства питьевой воды, отобранной по проспекту Авиаторов, в разные сезоны 2017-2018 гг.

№	Показатели	Единицы измерения	Норма	Содержание			
				Лето	Осень	Зима	Весна
1	Мутность	мг/л	1,5	0,13	0,33	0,29	0,31
2	Цветность	градус	20	25,5	26,3	31,3	33
3	Запах	балл	2	3	3	3	3
4	Вкус	балл	2	2	3	3	3

3.4.2. Физико-химические показатели водопроводной воды

Определение Fe^{3+} . Результаты калориметрии стандартных растворов с дистиллированной водой приведены в Таблице 3.20.

Таблица 3.20

Значения оптической плотности растворов в зависимости от концентрации в них Fe^{3+}

Концентрация, мг Fe^{3+} /л	Оптическая плотность
0,1	0,161
0,2	0,347
0,4	0,647
0,6	0,893
0,8	1,469
1	1,730

По полученным данным построили калибровочный график (Рис. 3.4) зависимости оптической плотности от концентрации ионов Fe^{3+} в воде.

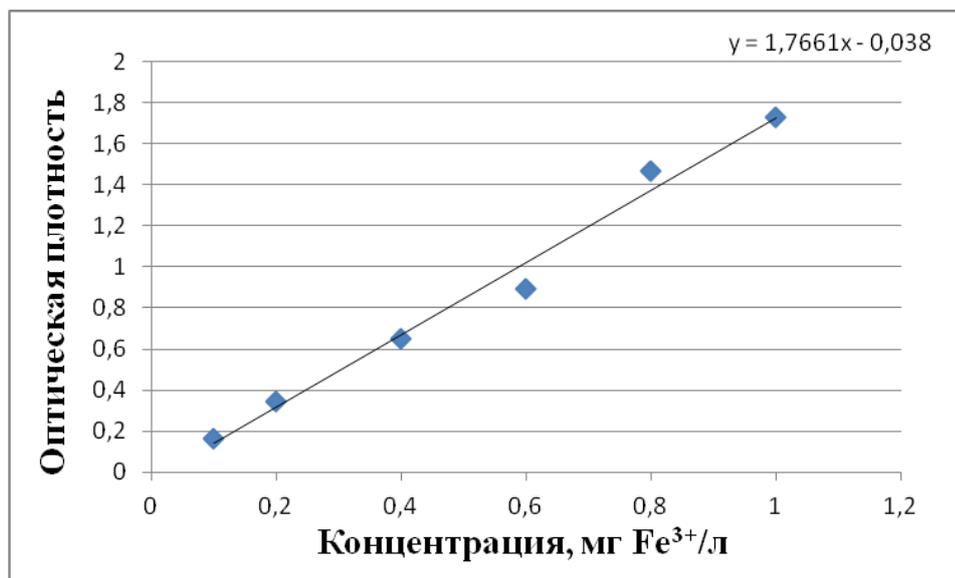


Рис. 3.4. Зависимость оптической плотности от концентрации Fe³⁺

Затем добавили уравнение и линию тренда, по которой наблюдаем прямую зависимость концентрации от плотности. Далее провели определение оптической плотности исследуемой воды по двум адресам. В летний сезон 2017 года оптическая плотность водопроводной воды по адресу Матросова, 9 составила 0,182. Подставив данное значение в уравнение линии тренда, определили концентрацию мг Fe³⁺/л в исследуемой воде, которая составила 0,125 мг Fe³⁺/л.

Оптическая плотность нативной воды на проспекте Авиаторов, 131 составила 0,068. Подставив данное значение в уравнение линии тренда, определили концентрацию мг Fe³⁺/л в исследуемой воде, которая составила 0,060 мг Fe³⁺/л.

По проезду Матросова концентрация ионов железа в воде в 2 раза балы выше, чем по проспекту Авиаторов, и выше, чем в осенний и зимний сезоны года. Скорее всего, это связано с механическим отрывом продуктов коррозии трубопроводов [49].

В соответствии с СанПиН концентрация Fe³⁺ водопроводной воды в норме должна составлять не более 0,3 Fe³⁺/л [34]. Полученные нами результаты свидетельствуют, что концентрация Fe³⁺ в нативной воде по двум исследуемым адресам не превышает указанную норму.

В осенний сезон 2017 года оптическая плотность водопроводной воды по адресу Матросова, 9 составила 0,092, по проспекту Авиаторов 131 – 0,061. Подставив данные значения в уравнение линии тренда, определили концентрацию мг Fe³⁺/л в исследуемой воде, которая составила по проезду Матросова 0,074 мг Fe³⁺/л, по проспекту Авиаторов – 0,056 мг Fe³⁺/л.

Концентрация Fe³⁺ в водопроводной воде по двум исследуемым адресам соответствует норме [34].

В зимний сезон 2018 года оптическая плотность водопроводной воды по адресу Матросова, 9 составила 0,117, по проспекту Авиаторов 131 – 0,097. Подставив данные значения в уравнение линии тренда, определили концентрацию мг Fe³⁺/л в исследуемой воде, которая составила по проезду Матросова 0,088 мг Fe³⁺/л, по проспекту Авиаторов – 0,076 мг Fe³⁺/л.

Концентрация Fe³⁺ в водопроводной воде по двум исследуемым адресам соответствует норме [34].

В весенний сезон 2018 года оптическая плотность водопроводной воды по адресу Матросова, 9 составила 0,072, по проспекту Авиаторов 131 – 0,076. Подставив данные значения в уравнение линии тренда, определили концентрацию мг Fe³⁺/л в исследуемой воде, которая составила по проезду Матросова 0,062 мг Fe³⁺/л, по проспекту Авиаторов 0,065 – мг Fe³⁺/л.

Оба значения не превышают допустимую норму [34].

Таким образом, сравнение результатов концентрации железа в воде по двум адресам показывает, что все их значения соответствуют норме (Таблица 3.21 и 3.22) [34]. В летнем сезоне 2017 года по проезду Матросова значения концентрации железа в воде превышали в 2 раза значения, полученные в осенний сезон 2017 года и в зимний и весенний сезоны 2018 года.

Определение хлоридов. Для определения хлоридов рассчитали поправку (К) на молярную концентрацию эквивалента нитрата серебра в трех повторностях и вычислили среднее значение.

$$K_1=10/10,5=0,95; K_2=10/10,6=0,94; K_3=10/10,8=0,93$$

Расчёт среднего значения поправки показал, что оно составляет: $K_{cp}=0,94$.

В летний период 2017 года содержание хлоридов в водопроводной воде по проезду Матросова, 9 составило 13,16 мг Cl /л, по проспекту Авиаторов, 131 – 10,34 мг Cl /л.

$$X (\text{Матросова, 9}) = 1,4 \times 1 \times 0,94 \times 1000 / 100 = 13,16 \text{ мг Cl /л}$$

$$X (\text{Авиаторов, 131}) = 1,1 \times 1 \times 0,94 \times 1000 / 100 = 10,34 \text{ мг Cl /л}$$

В соответствии с СанПиН концентрация хлоридов в водопроводной воде в норме должна составлять не более 350 мг/л [34]. Полученные нами результаты свидетельствуют, что концентрация ионов хлора по двум исследуемым адресам не превышает допустимую норму.

В осенний период 2017 года содержание хлоридов в водопроводной воде по проезду Матросова, 9 составило 12,22 мг Cl /л, по проспекту Авиаторов, 131 – 11,28 мг Cl /л.

$$X (\text{Матросова, 9}) = 1,3 \times 1 \times 0,94 \times 1000 / 100 = 12,22 \text{ мг Cl /л}$$

$$X (\text{Авиаторов, 131}) = 1,2 \times 1 \times 0,94 \times 1000 / 100 = 11,28 \text{ мг Cl /л}$$

Оба значения не превышают допустимую норму [34].

В зимний период 2018 года содержание хлоридов в водопроводной воде по проезду Матросова, 9 составило 9,4 мг Cl /л, по проспекту Авиаторов, 131 – 11,28 мг Cl /л.

$$X (\text{Матросова, 9}) = 1 \times 1 \times 0,94 \times 1000 / 100 = 9,4 \text{ мг Cl /л}$$

$$X (\text{Авиаторов, 131}) = 1,2 \times 1 \times 0,94 \times 1000 / 100 = 11,28 \text{ мг Cl /л}$$

Концентрация хлоридов в водопроводной воде по двум исследуемым адресам соответствует норме [34].

В весенний период 2018 года содержание хлоридов в водопроводной воде по проезду Матросова, 9 составило 12,22 мг Cl /л, по проспекту Авиаторов, 131 – 14,1 мг Cl /л.

$$X (\text{Матросова, 9}) = 1,3 \times 1 \times 0,94 \times 1000 / 100 = 12,22 \text{ мг Cl /л}$$

$$X (\text{Авиаторов, 131}) = 1,5 \times 1 \times 0,94 \times 1000 / 100 = 14,1 \text{ мг Cl /л}$$

Оба значения не превышают допустимую норму [34].

Таким образом, сравнение результатов концентрации хлоридов в воде по двум адресам показывает, что все их значения соответствуют норме (Таблица 3.21 и 3.22) [34]. Также наблюдались незначительные колебания значений в течение 4 сезонов.

Определение сульфатов. В летний сезон 2017 года на титрование водопроводной воды по проезду Матросова потребовалось 5,4 мл тиосульфата натрия, на титрование по проспекту Авиаторов, 131 – 4,6 мл тиосульфата натрия. Подставив данные значения в формулу, определили содержание сульфат - ионов в исследуемой воде. В водопроводной воде по проезду Матросова содержание сульфатов составило – 94 мг $\text{SO}_4^{2-}/\text{л}$, по проспекту Авиаторов 80 мг $\text{SO}_4^{2-}/\text{л}$.

$$X (\text{Матросова}, 9) = (96 \times 4,7 \times 0,05 \times 2,5 \times 1000) / (200 \times 3) = 94 \text{ мг } \text{SO}_4^{2-}/\text{л}$$

$$X (\text{Авиаторов}, 131) = (96 \times 4 \times 0,05 \times 2,5 \times 1000) / (200 \times 3) = 80 \text{ мг } \text{SO}_4^{2-}/\text{л}$$

В соответствии с СанПиН содержание сульфатов в питьевой воде должно составлять не более 500 мг $\text{SO}_4^{2-}/\text{л}$ [34]. Полученные нами результаты свидетельствуют, что количество сульфат - ионов по двум исследуемым адресам не превышает указанную норму.

В осенний сезон 2017 года на титрование водопроводной воды по проезду Матросова, 9 потребовалось 5,4 мл тиосульфата натрия, по проспекту Авиаторов, 131 потребовалось 4,6 мл тиосульфата натрия.

$$X (\text{Матросова}, 9) = (96 \times 5,4 \times 0,05 \times 2,5 \times 1000) / (200 \times 3) = 108 \text{ мг } \text{SO}_4^{2-}/\text{л}$$

$$X (\text{Авиаторов}, 131) = (96 \times 4,6 \times 0,05 \times 2,5 \times 1000) / (200 \times 3) = 92 \text{ мг } \text{SO}_4^{2-}/\text{л}$$

В ходе данного опыта, было установлено, что в водопроводной воде по проезду Матросова содержание сульфат - ионов составило 108 мг $\text{SO}_4^{2-}/\text{л}$, по проспекту Авиаторов 92 мг $\text{SO}_4^{2-}/\text{л}$. Оба значения соответствуют норме [34].

В зимний сезон 2018 года на титрование водопроводной воды по проезду Матросова, 9 потребовалось 5,1 мл тиосульфата натрия, на титрование по проспекту Авиаторов, 131 потребовалось 4,5 мл тиосульфата натрия. Подставив данные значения в формулу, определили содержание

сульфат - ионов в исследуемой воде. В водопроводной воде по проспекту, по проезду Матросова содержание сульфатов составило 102 мг $\text{SO}_4^{2-}/\text{л}$ Авиаторов – 90 мг $\text{SO}_4^{2-}/\text{л}$. Оба значения соответствуют норме [34].

$$X (\text{Матросова, 9}) = (96 \times 5,1 \times 0,05 \times 2,5 \times 1000) / (200 \times 3) = 102 \text{ мг } \text{SO}_4^{2-}/\text{л}$$

$$X (\text{Авиаторов, 131}) = (96 \times 4,5 \times 0,05 \times 2,5 \times 1000) / (200 \times 3) = 90 \text{ мг } \text{SO}_4^{2-}/\text{л}$$

В весенний сезон 2018 года на титрование водопроводной воды по проезду Матросова, 9 потребовалось 4,9 мл тиосульфата натрия, на титрование по проспекту Авиаторов, 131 потребовалось 4,4 мл тиосульфата натрия. Подставив данные значения в формулу, определили содержание сульфат - ионов в исследуемой воде. В водопроводной воде по проспекту, по проезду Матросова содержание сульфатов составило 98 мг $\text{SO}_4^{2-}/\text{л}$ Авиаторов – 88 мг $\text{SO}_4^{2-}/\text{л}$. Полученные значения соответствуют норме [34].

$$X (\text{Матросова, 9}) = (96 \times 4,9 \times 0,05 \times 2,5 \times 1000) / (200 \times 3) = 98 \text{ мг } \text{SO}_4^{2-}/\text{л}$$

$$X (\text{Авиаторов, 131}) = (96 \times 4,4 \times 0,05 \times 2,5 \times 1000) / (200 \times 3) = 88 \text{ мг } \text{SO}_4^{2-}/\text{л}$$

Таким образом, сравнение результатов концентрации сульфатов в воде по двум адресам, что все их значения соответствуют норме [34]. Также наблюдались незначительные колебания значений в течение 4 сезонов (Таблица 3.21 и 3.22).

Определение нитрит ионов. В летний период 2017 года, содержание нитритов в водопроводной воде по проезду Матросова составило 0,056 мг N/л по проспекту Авиаторов – 0,059 мг N/л.

$$X (\text{Матросова, 9}) = 0,005 \times 1 \times 100 \times 1000 / 90 \times 100 = 0,056 \text{ мг N/л}$$

$$X (\text{Авиаторов, 131}) = 0,005 \times 1 \times 100 \times 1000 / 85 \times 100 = 0,059 \text{ мг N/л}$$

В соответствии с СанПиН концентрация нитрит ионов в водопроводной воде в норме должна составлять не более 0,08 мг N/л [34]. Полученные нами результаты свидетельствуют, что концентрация нитритов в нативной воде по двум исследуемым адресам не превышает указанную норму.

В осенний период 2017 года, содержание нитритов в водопроводной воде по проезду Матросова составило 0,057 мг N/л, по проспекту Авиаторов – 0,054 мг N/л.

$$X (\text{Матросова, 9}) = 0,005 \times 1 \times 100 \times 1000 / 87 \times 100 = 0,057 \text{ мг N/л}$$

$$X (\text{Авиаторов, 131}) = 0,005 \times 1 \times 100 \times 1000 / 93 \times 100 = 0,054 \text{ мг N/л}$$

Оба значения не превышают допустимую норму [34].

В зимний период 2018 года, содержание нитритов в водопроводной воде по проезду Матросова составило 0,053 мг N/л, по проспекту Авиаторов – 0,060 мг N/л.

$$X (\text{Матросова, 9}) = 0,005 \times 1 \times 100 \times 1000 / 95 \times 100 = 0,053 \text{ мг N/л}$$

$$X (\text{Авиаторов, 131}) = 0,005 \times 1 \times 100 \times 1000 / 84 \times 100 = 0,060 \text{ мг N/л}$$

Оба значения не превышают допустимую норму [34].

В весенний период 2018 года, содержание нитритов в водопроводной воде по проезду Матросова составило 0,053 мг N/л, по проспекту Авиаторов – 0,060 мг N/л.

$$X (\text{Матросова, 9}) = 0,005 \times 1 \times 100 \times 1000 / 90 \times 100 = 0,055 \text{ мг N/л}$$

$$X (\text{Авиаторов, 131}) = 0,005 \times 1 \times 100 \times 1000 / 82 \times 100 = 0,061 \text{ мг N/л}$$

Таким образом, сравнение результатов концентрации нитритов в воде по двум адресам показывает, что все их значения соответствуют норме [34].

Определение общей жесткости. В летний период 2017 года на титрование исследуемой воды по проезду Матросова потребовалось 2,5 мл трилона Б.

$$Ж_0 = 0,1 \times 2,5 \times 1000 / 100 = 2,5 \text{ мг-экв/л}$$

На титрование водопроводной воды по проспекту Авиаторов потребовалось 2,4 мл трилона Б.

$$Ж_0 = 0,1 \times 2,4 \times 1000 / 100 = 2,4 \text{ мг-экв/л}$$

В осенний период 2017 года на титрование исследуемой воды по проезду Матросова потребовалось 2,8 мл трилона Б.

$$Ж_0 = 0,1 \times 2,8 \times 1000 / 100 = 2,8 \text{ мг-экв/л}$$

На титрование водопроводной воды по проспекту Авиаторов потребовалось 2,6 мл трилона Б.

$$Ж_0 = 0,1 \times 2,6 \times 1000 / 100 = 2,6 \text{ мг-экв/л}$$

В зимний период 2018 года на титрование исследуемой воды по проезду Матросова потребовалось 2,6 мл трилона Б.

$$Ж_0 = 0,1 \times 2,6 \times 1000 / 100 = 2,6 \text{ мг-экв/л}$$

На титрование водопроводной воды по проспекту Авиаторов потребовалось 2,4 мл трилона Б.

$$Ж_0 = 0,1 \times 2,4 \times 1000 / 100 = 2,4 \text{ мг-экв/л}$$

В весенний период 2018 года на титрование исследуемой воды по проезду Матросова потребовалось 2,1 мл трилона Б.

$$Ж_0 = 0,1 \times 2,1 \times 1000 / 100 = 2,1 \text{ мг-экв/л}$$

На титрование водопроводной воды по проспекту Авиаторов потребовалось 2,8 мл трилона Б.

$$Ж_0 = 0,1 \times 2,8 \times 1000 / 100 = 2,8 \text{ мг-экв/л}$$

В соответствии с СанПин жесткость воды в норме должна составлять 7 мг-экв/л [34]. Полученные нами результаты свидетельствуют, что жесткость нативной воды по двум исследуемым адресам в течение 4 сезонов – ниже указанной нормы (Таблица 3.21 и 3.22). Такая вода относится к мягкой (Таблица 2.5).

Жесткость воды, не соответствующая допустимой норме, представляет риск для здоровья людей. В данном случае, низкая жесткость способствует развитию сердечно-сосудистых заболеваний. Кроме того, недостаток солей Ca^{2+} в организме человека понижает возбудимость центральной нервной системы, а ионы Mg^{2+} способствуют выведению холестерина [3, 22].

Определение молярной концентрации эквивалента перманганата калия. Концентрация тиосульфата натрия составила 0,013.

$$N (Na_2S_2O_3 \times 5H_2O) = (0,01 \times 15) / 11,9 = 0,013$$

В летний период 2017 года на титрование исследуемой воды по проезду Матросова потребовалось 5,7 мл тиосульфата натрия. Перманганатная окисляемость составила 1 мг O₂/л.

$$X=(8\times 0,013\times(4,6-5,7)\times 1000)/100 = 1 \text{ мг O}_2/\text{л}$$

На титрование исследуемой воды по проспекту Авиаторов потребовалось 6 мл тиосульфата натрия. Перманганатная окисляемость составила 1,5 мг O₂/л.

$$X=(8\times 0,013\times(4,6-6)\times 1000)/100 = 1,5 \text{ мг O}_2/\text{л}$$

В осенний период 2017 года на титрование исследуемой воды по проезду Матросова потребовалось 5,4 мл тиосульфата натрия. Перманганатная окисляемость составила 0,8 мг O₂/л.

$$X=(8\times 0,013\times(4,6-5,4)\times 1000)/100 = 0,8 \text{ мг O}_2/\text{л}$$

На титрование исследуемой воды по проспекту Авиаторов потребовалось 5,8 мл тиосульфата натрия. Перманганатная окисляемость составила 1,3 мг O₂/л.

$$X=(8\times 0,013\times(4,6-5,8)\times 1000)/100 = 1,3 \text{ мг O}_2/\text{л}$$

В зимний период 2018 года на титрование исследуемой воды по проезду Матросова потребовалось 6,3 мл тиосульфата натрия. Перманганатная окисляемость составила 1,8 мг O₂/л.

$$X=(8\times 0,013\times(4,6-6,3)\times 1000)/100 = 1,8 \text{ мг O}_2/\text{л}$$

На титрование исследуемой воды по проспекту Авиаторов потребовалось 6,5 мл тиосульфата натрия. Перманганатная окисляемость составила 2 O₂/л.

В весенний период 2018 года на титрование исследуемой воды по проезду Матросова потребовалось 6,1 мл тиосульфата натрия. Перманганатная окисляемость составила 1,6 мг O₂/л.

$$X=(8\times 0,013\times(4,6-6,1)\times 1000)/100 = 1,6 \text{ мг O}_2/\text{л}$$

На титрование исследуемой воды по проспекту Авиаторов потребовалось 6,3 мл тиосульфата натрия. Перманганатная окисляемость составила 1,8 O₂/л.

$$X=(8 \times 0,013 \times (4,6-6,3) \times 1000) / 100 = 1,8 \text{ мг O}_2/\text{л}$$

Таким образом, сравнение результатов перманганатной окисляемости по двум адресам показывает, что все их значения соответствуют норме [34].

Показатели по физико-химическим свойствам представлены в Таблицах 3.21 и 3.22.

Таблица 3.21

Физико-химические показатели качества питьевой воды, отобранной по проезду Матросова, в разные сезоны 2017-2018 гг.

№	Показатели	Единицы измерения	Норма	Содержание			
				Лето	Осень	Зима	Весна
1	Ионы железа (Fe ³⁺)	мг/л	0,3	0,125	0,074	0,088	0,062
2	Хлорид - ионы	мг/л	350	13,16	12,22	9,4	12,22
3	Сульфат - ионы	мг/л	500	94	108	102	98
4	Нитрит - ионы	мг/л	0,08	0,056	0,057	0,053	0,055
5	Жесткость общая	мг-экв/л	7,0	2,5	2,8	2,6	2,1
6	Перманганатная окисляемость	мг O ₂ /л	5,0	1	0,8	1,8	1,6

Таблица 3.22

Физико-химические показатели качества питьевой воды, отобранной по проспекту Авиаторов, в разные сезоны 2017-2018 гг.

№	Показатели	Единицы измерения	Норма	Содержание			
				Лето	Осень	Зима	Весна
1	Ионы железа (Fe ³⁺)	мг/л	0,3	0,060	0,056	0,076	0,065
2	Хлорид - ионы	мг/л	350	10,34	11,28	11,28	14,1
3	Сульфат - ионы	мг/л	500	80	92	90	88
4	Нитрит - ионы	мг/л	0,08	0,059	0,054	0,060	0,061
5	Жесткость общая	мг-экв/л	7,0	2,4	2,6	2,4	2,8
6	Перманганатная окисляемость	Мг O ₂ /л	5,0	1,5	1,3	2	1,8

Таким образом, в ходе исследований было выявлено, что водопроводная вода по проезду Матросова и проспекту Авиаторов не соответствует допустимым нормам по таким органолептическим показателям как цветность, запах, вкус и физико-химическому показателю – жесткость. По проезду Матросова цветность соответствовала норме в осенний сезон 2017 г., запах – в летний сезон 2017 г. По проспекту Авиаторов вкус

соответствовал норме только в летний сезон. Значения показателя жесткости по всем исследуемым адресам значительно ниже допустимой нормы.

ВЫВОДЫ

1. Нативная вода Заволжского и Фрунзенского районов г. Ярославля во всех точках отбора проб проявляла очень высокую токсичность, так как летальность цериодафний составляла более 50%. Уровень безопасного водопользования для 31% проб достигался разбавлением нативной воды в 8 раз. Остальные пробы требовали большего разведения.

2. Наименьшие токсические свойства водопроводная вода в обоих районах города проявляла в зимний период, на что указывают показатели выживаемости цериодафний в пробах воды разных сезонов года. Качество нативной воды в период исследований с 2016 по 2018 годы не имело межгодовых различий по токсическим свойствам.

3. Водопроводная вода с проезда Матросова соответствует нормам по цветности в осенний сезон, по запаху – в летний период 2017 года. По проспекту Авиаторов показатель вкуса отвечал норме в летний сезон. В остальные периоды исследования водопроводная вода по показателям цветности, запаха, вкуса и жесткости превышает допустимые нормы СанПиН.

4. Кипячение водопроводной воды приводит к снижению токсических свойств. Фильтрация нативной воды через бытовые фильтры существенно улучшает ее качество, о чем свидетельствует снижение показателей летальности тест-объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акайзина А. Э., Акайзин Э. С. Исследование питьевых вод Ивановской области на соответствие критериям физиологической полноценности // Здоровье человека и окружающая среда. – Ярославль: Филигрань, 2017. – Выпуск 3. – 192 с.
2. Александрова В. В. Применение метода биотестирования в анализе токсичности природных и сточных вод (на примере Нижневартовского района Тюменской области): Монография. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. Гуманит. Ун-та, 2009. – С. 9-10.
3. Ботяжова О.А., Болтанов А.А. Оценка качества родниковых вод как питьевых водоисточников. Экология и рациональное природопользование: материалы Всерос. науч.-пр. конф. 12-16 сент. 2017 г. Ярославль - Переславль-Залесский. – Ярославль; Переславль-Залесский, 2017. – С. 35-40.
4. Ботяжова О.А. Сезонная и пространственная динамика качества воды реки Которосль в 2006 году // Актуальные проблемы Ярославской области. – Ярославль, 2008. – Выпуск 4. – Т.1. – С. 241-244.
5. Брагинский Л.П. Размерно-весовая характеристика руководящих форм прудового зоопланктона // Вопросы ихтиологии. – Минск, 1987. – № 9. – С. 188-191.
6. Бубнов А.Г. Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды: учеб.-метод. пособие / под общ. ред. В. И. Гриневича. – Иваново: ГУО ВПО Иван.гос.хим.-технол.ун-т, 2007. – С. 5, 8, 36.
7. Нормирование и снижение загрязнения окружающей среды: учеб. пособие / Я. Д. Вишняков и др. – М.: Издательский центр «Академия», 2015. – С.150.
8. Волкова И. Н., Сибриков С. Г. Химический анализ: метод. указания. – Ярославль: ЯрГУ, 2008. – С. 78-79.

9. Роль химических элементов и их соединений в природе и в процессах жизнедеятельности человека часть 1. Химические вещества в экологии, и микроэлементозы и общие вопросы безопасного питания / М. Д. Гольдфейн и др. // Вестник Казанского технол. Университета. – Казань: Каз.ТУ, 2015. – Т.18. – №16. – С. 296-300.

10. ГОСТ 3351-74. Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 8 с.

11. ГОСТ 31954-2012. Вода питьевая. Методы определения жесткости (с Поправкой). – М.: Стандартиформ, 2013. – 16 с.

12. ГОСТ Р 51232-98. Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. – М.: Стандартиформ, 2010. – 21 с.

13. Экологический мониторинг техносферы: учеб.пособие / Дмитренко, В. П. и др. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012. – 368 с.

14. Долгоносов Б.М., Корчагин К.А. Сезонные изменения в распределении вероятностей показателей качества речной воды // Известия Российской Академии Наук. Серия биологическая. Водные ресурсы. – М: Изд-во «Наука», 2014. – Т. 41. – №1. – С. 39-48.

15. Дятлова Е.С. Сравнительная чувствительность ветвистоусых ракообразных к бихромату калия // Экология моря. – Севастополь: Изд-во Института морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН. – 2001. – Т. 58. – С.79-83.

16. Евгенийев М.И. Тест-методы и экология // Соровский образовательный журнал. – Казань, Каз.ТУ, 1999. – №11. – С. 33.

17. Иванченко О.Б., Хабибулин Р.Э., Хусаннова Х.Р. Биотесты в мониторинге экологической безопасности сточных вод // Вестник Казанского технол.ун-та. – Казань: Каз.ТУ, 2006. – Выпуск №4. – С. 166.

18. Исакова О.Н. и др. Санитарно-гигиеническая оценка качества питьевой воды централизованного водоснабжения города Самары //

Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара: НЦ РАН, 2014. – С. 869-873.

19. Касьяненко А.А. Современные методы оценки рисков в экологии учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2008. – 271 с.

20. Кляцкая И.О., Гудков А.Б., Бобун И.И. Сезонные изменения качества поверхностных вод устьевого участка Северной Двины // Экология человека. – Архангельск: СГМУ, 2008. – №5. – С. 9-16.

21. Койка С.А., Скориков В.Т. Нитраты и нитриты в продукции растениеводства // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агротомия и животноводство. – М: Изд-во РУДН, 2008. – 6 с.

22. Лаврушина Ю.А. О качестве питьевой воды // Экология и промышленность России. – 2004. – № 3. – С. 38, 39

23. Ларинова Н.В., Бабошкина С.В., Лиходумова И.Н. Генотоксикологическая оценка питьевой воды и некоторые показатели заболеваемости населения северо-казахстанской области // Экологическая генетика. – 2012. – Т.10. – №4. – 10 с.

24. Лященко О.А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды. – СПб.: Изд-во СПбГТУРП, 2012. – С. 67.

25. Мануйлова Е.Ф. Ветвистоусые рачки фауны СССР. – Л: Наука, 1964. – 326 с.

26. МУК 4.2.1018-01. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды. Методические указания. Введ. 2001-07-01. – М.: Минздрав России, 2001.

27. Орлова Т.Н., Базлов Д.А., Орлов В.Ю. Химия природных и промышленных вод. – Ярославль: ЯрГУ, 2013. – 120 с.

28. Орлова Т.Н., Ганжа В.В. Методы анализа и очистки сточных вод. – Ярославль: ЯрГУ, 2008. – С. 21-22.

29. Пахоруков Н.М., Лямин М.Я. Биоразнообразие и экология беспозвоночных животных. Водная фауна: учеб. пособие по полевой практике. Перм. ун-т. – Пермь, 2007. – С. 54.

30. Пивоваров Ю.П., Королик В.В., Зиневич Л.С. Гигиена и основы экологии человека. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 528 с.

31. Пономаренко, Ю. В. Качество воды в 2011 году. Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ярославской области. – Ярославская область, 2012.

32. Приказ росрыболовства от 04.08.2009 № 695 «Об утверждении методических указаний по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения.

33. Рябухина Е.В., Зарубин С.Л. Биотестирование. Биологические методы определения токсичности водной среды: метод. указания. Яросл. гос. ун-т. – Ярославль: ЯрГУ, 2006. – 64 с.

34. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенический требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Введ. 2002-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2002.

35. Скворцов Л.С., Жмур Н.С. Современное состояние и перспективы улучшения водоснабжения в Российской Федерации. – М: Вестник Российской академии естественных наук, 2003. – С. 35-39.

36. Смирнова Т. Оценка качества водопроводной воды разных районов г. Ярославля с использованием *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg. – Ярославль, 2009. – С. 36-37.

37. Снакин В. В. Словарь-справочник по экологии / под ред. академика А. Л. Яшина. Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского

фонда фундаментальных исследований (99-04-62081) и Фонда им. В. И. Вернадского.

38. Стадницкий Г.В. Родионов А.И. Экология: учеб. пособие для вузов. – СПб: 1997. – 240 с.

39. Таранцева К.Р., Фирсова Н.В., Мартынова М.А. Биотестирование как инструмент принятия экологически обоснованных технологических решений // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. – Пенза: ПГПУ, 2011. – С. 596-600.

40. Биотест-системы для задач экологического контроля: методические рекомендации по практическому использованию стандартизированных тест-культур / Терехова В.А. и др.. – М.: Доброе слово, 2014. – С. 16.

41. Черных Н.А., Баева Ю.И. Тяжелые металлы и здоровье человека. – М: Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, 2004. – С. 125-134.

42. Флеров Б.А., Комов В.Т. Оценка экологического состояния водоемов при антропогенном воздействии // Гидробиологический журнал. – Ярославская область: Институт гидробиологии, 1991. – Т.27. – №3. – С.23-31.

43. Cordova F. M. and other. Manganese-exposed developing rats display motor deficits and striatal oxidative stress that are reversed by Trolox. Springer-Verlag in Arch. Toxicol. Arch. Toxicol. 2013. – Vol. 87, pp 1231-1244.

44. Grazuleviciene R. and other. Effect of Elevated Levels of Manganese and Iron in Drinking Water. – Kaunas, Lithuania: Pol. J. Environ. Stud, 2009. – Vol. 18, No. 5. – pp.819-825.

45. Papanikolaou G. Iron metabolism and toxicity. – Montreal, Quebec, Canada, 2004. – pp.199-211.

46. Александров А. Поверхностные и подземные воды Ярославской области [Электронный ресурс] // Информационное агентство, освещающее

проблемы экологии России и мира. – Режим доступа:
http://www.ecoinform.ru/public/release/id_10041

47. Алексеевский Н.И. Вода России [Электронный ресурс] // Научно-популярная энциклопедия «Вода России». Режим доступа:
http://waterrf.ru/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%8B/80/%D0%92%D0%BE%D0%BB%D0%B3%D0%B0

48. Всемирная организация здравоохранения. Вода, санитария и гигиена. Болезни и риски [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/ru/

49. ГОСТвода. Основные проблемы воды [Электронный ресурс].
– Режим доступа: <http://gostvoda.ru/problem-voda>

50. Дебаркадер Л.А. Перманганатная окисляемость: превышение в многоэтажном доме [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://interesko.info/permanganatnaya-okislyaemost/>

51. Елкина А. Страшная экология: ярославскую воду пить нельзя [Электронный ресурс]. – Ярославская область, 2016. – Режим доступа:
<http://76.ru/text/news/198934584885248.html>

52. Иванов М. Цветность воды [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: https://aqua-therm.ru/articles/articles_259.html

53. Крейг У.Д. Вода необходима для жизни и здоровья [Электронный ресурс] // Пища и ваше будущее. – 2011. – Режим доступа:
<http://vseputem.net/water/78-water-is-essential-for-life-and-health.html>

54. Онищенко Г.Г. Проблемы качества питьевой воды в Российской Федерации и пути их решения [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа: <http://www.vstmag.ru/ru/archives-all/2010/2010-12/96830>

55. Медицинский портал. Цветность и мутность воды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eurolab.ua/encyclopedia/3863/34999/>

56. Михиенкова Ю. Между качеством воды и здоровьем людей – связь прямая [Электронный ресурс] // Комсомольская правда. – 2016. – №145. – Режим доступа: http://yarreg.ru/articles/dmitriy_mironov_mejdu_kachestvom_vody_i_zdorovem_lyudey_%E2%80%93_svyaz_pryamaya/

57. Повалишников Е.С. Вода России [Электронный ресурс] // Научно-популярная энциклопедия «Вода России». – Режим доступа: http://waterrf.ru/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%8B/2329/%D0%9A%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D0%BB%D1%8C.

58. Рыжиков Р.В. Ярославле из кранов потекла черная вода [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: https://news.yandex.ru/yandsearch?cl4url=www.yar.aif.ru/society/gkh/v_zavolzhs_kom_rayone_iz_kranov_yaroslavcev_potekla_chernaya_voda&lang=ru&from=reg_portal&stid=k7ozOwH4y7XkaHhfspXO&t=1519628364&lr=16&msid=1519628364.81021.22883.11150&mlid=1519628364.geo_16.6bcf396f

59. Фильтры и счетчики воды. Как выбрать фильтры для воды: обзор лучших вариантов, рейтинг производителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sovet-ingenera.com/vodosnab/filtr-schet/kak-vybrat-filtry-dlya-vody.html>

60. Хабаров А.В. Ярославле две ТЭЦ сбрасывали в Волгу неочищенную воду [Электронный ресурс]. – Ярославль, 2017. – Режим доступа: <http://www.province.ru/yaroslavl/news/item/3862.html>.

61. Ярославская областная газета «Золотое кольцо». Питьевая вода в Ярославской области одна из худших в России, но тарифы просят повысить [Электронный ресурс]. – Ярославская область, 2015. – Режим доступа: <http://goldring.ru/news/show/115723>.

62. Helmenstine A.M. Warning: Why You Should Never Reboil Water Again! [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа:

<http://www.whydontyoutrythis.com/2015/06/warning-why-you-should-never-reboil-water-again.html>