



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Кафедра прикладной и системной экологии**

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**  
Бакалаврская работа

**На тему** Гидрохимическая характеристика реки Охты в районе города  
Мурино

**Исполнитель** Ардалина Алина Олеговна

(фамилия, имя, отчество)

**Руководитель** кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Алексеев Денис Константинович

(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»**

**Заведующий кафедрой**

(подпись)

кандидат географических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Алексеев Денис Константинович

(фамилия, имя, отчество)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Санкт–Петербург

2022

Оглавление	
Введение .....	4
Глава 1: Физико-географическая характеристика района исследований....	6
1.1 Гидрологическая характеристика р. Охты и гидрография ее бассейна.	6
1.2 Рельеф, геологическое строение, растительность и почвенный покров района исследований.....	8
1.3 Климат.....	10
1.4 Гидрологический и гидрохимический режим р. Охты.....	11
1.4.1 Гидрологический режим .....	11
1.4.2 Гидрохимический режим .....	12
Глава 2: Информация об использовании р. Охты в хозяйственных целях и о качестве ее вод.....	13
2.1 Хозяйственная деятельность на водосборе.....	13
2.2 Качество вод реки Охты по литературным данным.....	16
Глава 3: Материалы и методы исследований .....	20
3.1 Материалы и методы полевых работ.....	20
3.2 Материалы и методы лабораторных исследований.....	21
3.2.1 Методика определения жесткости воды и содержания ионов кальция и магния в поверхностных водах .....	22
3.2.2 Методика определения содержания железа общего в поверхностных водах.....	23
3.2.3 Методики определения концентрации растворенного кислорода и биологического потребления кислорода (БПК <sub>5</sub> ) в поверхностных водах .....	24
3.2.4 Методики определения содержания нитритного азота, аммонийного азота, фосфатного фосфора в поверхностных водах.....	25
3.2.5 Методика определения токсичности поверхностных вод.....	26
Глава 4: Межгодовая динамика загрязнения .....	28
4.1 Результаты химического анализа и биотестирования .....	28

4.1.1 Межгодовая динамика жесткости и концентраций ионов кальция и магния .....	29
4.1.2 Межгодовая динамика концентраций железа общего.....	33
4.1.3 Межгодовая динамика концентраций растворенного кислорода и биохимического потребления кислорода (БПК <sub>5</sub> ) .....	35
4.1.4 Межгодовая динамика концентраций элементов азотной группы и фосфатов .....	39
4.1.5 Межгодовая динамика токсичности исследуемых природных вод..	46
4.2 Оценка однородности исследуемых рядов наблюдений.....	47
Заключение .....	50
Список использованной литературы.....	53

## Введение

В основе жизни любого населенного пункта, от сельского поселка до мегаполиса, лежит много факторов и ресурсов, но всегда одно из важнейших мест в этом списке занимает оснащенность территории водными ресурсами. Водоснабжение населенного пункта невозможно переоценить в условиях современного темпа жизни и уровня ее комфортности.

Однако интенсивное развитие городов и миграция в города сельского населения, несомненное, оказывает влияние на городские водные артерии: повышается антропогенная нагрузка на водные экосистемы и другие экосистемы, неизменно связанные с ними. В отсутствии должного мониторинга качества водных объектов мы рискуем столкнуться с нарушением баланса водных экосистем и их возможным разрушением в будущем, что повлияет на все сопряженные экосистемы и жизнь города, зависящую от доступности водных ресурсов.

Уже много лет мы можем наблюдать бурное развитие и увеличение численности населения города Санкт-Петербурга и населенных пунктов Ленинградской области, об одном из которых далее пойдет речь.

С 2010 года на границе города Санкт-Петербурга и Ленинградской области (Всеволожский район) активно развивается город Мурино, чьей основной водной артерией является река Охта, приток реки Невы. За последние 10 лет население Мурино стремительно увеличилось более, чем на 70 тыс. человек и составило 78 тыс. человек в 2019 году. В связи с таким бурным развитием города нельзя не обратить внимание на повышение антропогенной нагрузки на водотоки в городской черте.

На фоне такой стремительной урбанизации города Мурино актуальным является изучение динамики гидрохимических характеристик городских водотоков, а именно реки Охты – основной водной артерии города Мурино.

Цель настоящей выпускной квалификационной работы заключается в оценке качества вод реки Охты по данным гидрохимических и гидробиологических показателей за 2020–2021 гг.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи были сформированы следующие задачи:

1. Выявить физико-географические особенности бассейна реки Охты;
2. Проанализировать хозяйственную деятельность на водосборе р. Охты;
3. Оценить качество вод по гидрохимическим показателям;
4. Выполнить токсикологическую оценку качества вод с помощью методов биотестирования.

Научная новизна настоящей выпускной квалификационной работы заключается в том, что на исследуемом участке р. Охты впервые была выполнена комплексная оценка качества вод, включающая в себя методы биотестирования.

Актуальность дипломной работы состоит в том, что полученные результаты позволят планировать хозяйственную деятельность и определять допустимую нагрузку на водную экосистему.

Объем дипломной работы – 54 страницы. Работа состоит из Введения, 4 разделов, 10 подразделов, 12 пунктов, Заключения, Списка использованной литературы.

## Глава 1: Физико-географическая характеристика района исследований

### 1.1 Гидрологическая характеристика р. Охты и гидрография ее бассейна

Река Охта является одним из крупнейших притоков Невы и относится к бассейну Балтийского моря (Охта – Нева – Невская губа – Финский залив). Также можно встретить название Большая Охта – это часть р. Охты, проходящей выше ее впадения в р. Оккервиль. Река берет начало на северо-востоке в 2,5 км от д. Термолово. Охта впадает в р. Неву в 12 км от ее устья с правого берега.

Ее длина составляет 90 км [12], ширина 10-50 м, глубина 0,5-5,5 м, средний уклон реки – 1,4 ‰, средний уклон водосбора – 12,3 ‰ [11]. Площадь водосбора реки составляет 768 км<sup>2</sup> [11]. Густота речной сети бассейна Охты равна 1,29 км/км<sup>2</sup> [11].

Бассейн р. Охты с северо-запада и запада граничит с бассейнами рек восточного побережья Финского залива (р. Сестра), с северо-востока – с бассейнами рек Ладожского озера (р. Морье) и с востока – с верхними притоками Невы. У подножья склонов можно обнаружить выходы грунтовых вод.

На р. Охте отсутствуют особо охраняемые природные территории в соответствии с кадастровым отчетом ИАС «ООПТ России» [7].

Истоки реки Охты расположены на склоне водораздельной северной возвышенности (Лемболовская возвышенность) на высоте порядка 130 м над уровнем моря. Началом реки является место соединения двух ручьёв, ниже слияния которых долина хорошо разработана, имеет ширину от 50 до 80 м.

В южной и центральной части бассейна преобладает равнинный рельеф, тогда как в северной расположены котловинные понижения, нередко заболоченные, и холмы, чередующиеся с грядами [11]. Меандрирование реки происходит в ее верхнем течении, а ниже Охтинского водохранилища, непосредственно, в черте города, свободного меандрирования не наблюдается [11].

С 1716 года на р. Охте было основано Охтинское водохранилище позднее получившее второе название – Ржевский гидроузел. Данное водохранилище относится к русловому типу и имеет протяженность, равную 5,1 км. Площадь водосбора водохранилища составляет 14,6 км<sup>2</sup> с площадью зеркала – 1,8 км<sup>2</sup>, средней глубиной 2,7 м и объемом 2,91 млн.м<sup>3</sup> [13]. Водоохранилище и р. Охту разделяет плотина на улице Коммуны [13]. Ресурсы водохранилища используются для нужд предприятий, в рекреационных целях и как приемник сточных вод.

Устьевая часть Охты, расположенная ниже Ржевского гидроузла, находится под влиянием подпора уровней воды со стороны р. Невы. На этом участке в Охту слева впадает три крупных притока: р. Лубья (Луппа), р. Жерновка и р. Оккервиль, которые берут свое начало на Колтушевской возвышенности; суммарная площадь водосбора этих притоков по отношению ко всему бассейну р. Охты составляет 35,5 % [16].

Кроме прочего, в бассейн р. Охты входят несколько озер, а именно: Кавголовское, площадь которого вместе с Курголовским озером равна 6,8 км<sup>2</sup>, и Ждановское с площадью 0,8 км<sup>2</sup>. Кавголовское озеро имеет ледниковое происхождение, основные его характеристики представлены далее: площадь зеркала составляет 5,96 км<sup>2</sup>, средняя глубина – 2,3 м, максимальная глубина – 3,6 м. Объем воды, сосредоточенный в озере, составляет 13,7 млн.м<sup>3</sup> [16]. Курголовское является частью Кавголовского озера, соединяется с ним протокой. Площадь зеркала озера – 0,91 км<sup>2</sup>, средняя глубина – 2,7 м, максимальная глубина – 5 м. В озере сосредоточено 2,4 млн.м<sup>3</sup> воды [16].

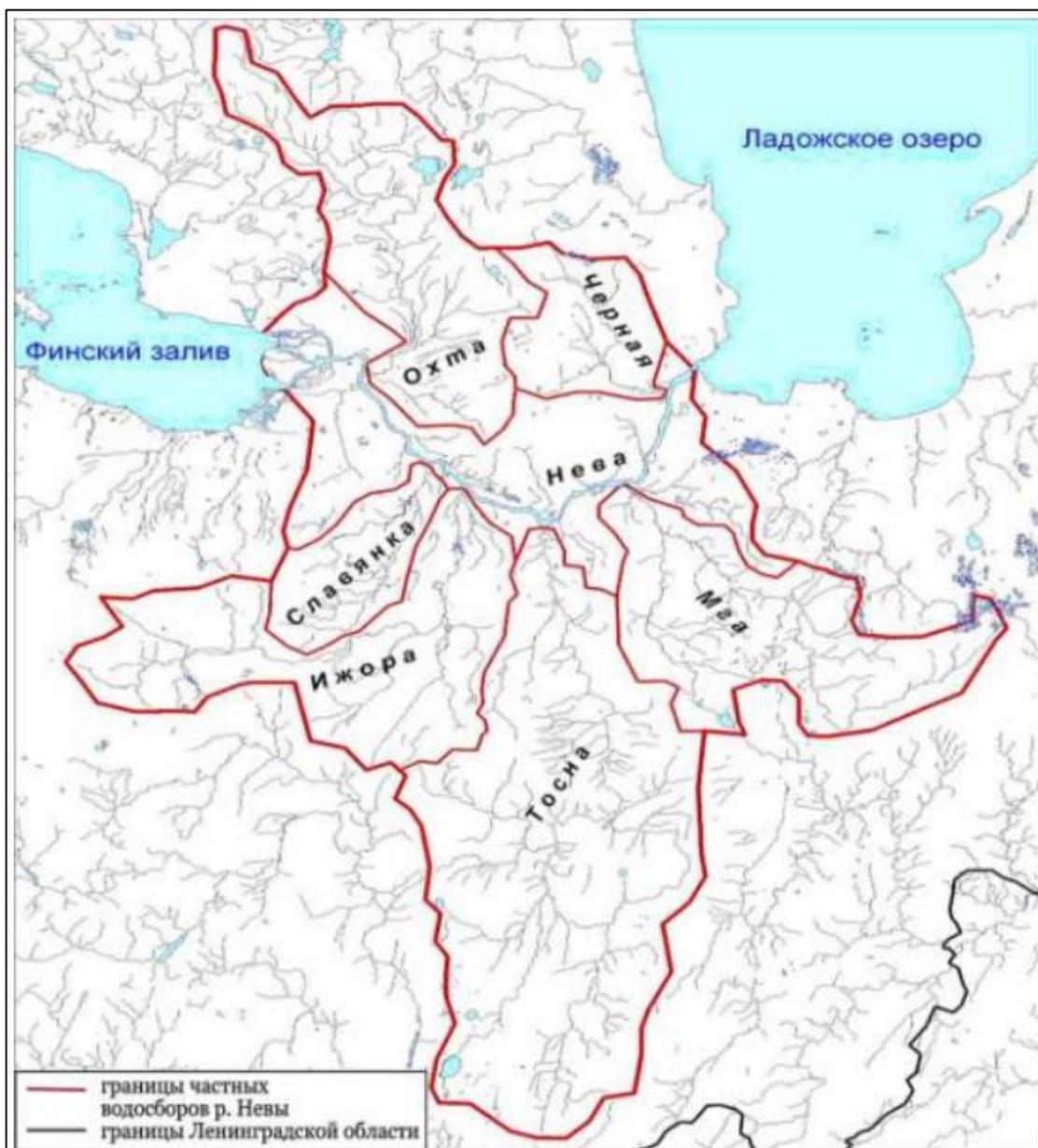


Рисунок 1.1 – Карта-схема границ водосборов основных притоков р. Нева [16]

## 1.2 Рельеф, геологическое строение, растительность и почвенный покров района исследований

Река Охта берет свое начало на Лемболовской возвышенности, расположенной на Карельском перешейке на высоте 130-170 м над ур. м., и далее протекает по территории Приневской низменности.

Водосбор сформирован на отложениях протерозойской группы [5]. Геологический состав Лемболовской возвышенности включает в себя флювиогляциальные и озерно-ледниковые отложения смешанного типа, которые слагают камовые террасы и гряды по восточной территории возвышенности. Особенностью геологического состава возвышенности является повышенное содержание железа в водах рек, протекающих на ее территории.

Нельзя не отметить огромную разнообразность литологического состава озерно-ледниковых отложений: они состоят из четвертичных пород, где можно встретить как глины, так и песчано-гравийный материал, однако в составе отложений преобладают пески различной зернистости, от тонких до крупных, нередко с примесью гравия (до 15 %) [2]. Приневская низменность также состоит из озерно-ледниковых отложений, а именно: песков и супесей к северу от г. Санкт-Петербурга, а также суглинков и глин [8].

Ландшафт Лемболовской возвышенности камовый, при этом он имеет характер плато в центральной части и холмисто-грядовый – на востоке. Наибольшую выраженность камового рельефа можно отметить в Кавголовском и Токсовском районах. Валдайское оледенение, происходившее 50–10 тыс. лет назад, стало главным фактором формирования такого рельефа водосбора р. Охты, который нам известен сейчас [16].

Протекает р. Охта по территориям, расположенным на дерново-подзолистых, торфяно- и торфянисто-подзолистых глеевых почвах. На территории водосборного бассейна реки можно отметить массивы еловых лесов, среди которых преобладают зеленомошники. Значительные площади заняты вторичными мелколиственными лесами, имеются верховые болота [2]. Также в районе исследования присутствуют сосновые леса, самые крупные массивы которых обнаруживаются на Лемболовской возвышенности и Токсовских высотах.

### 1.3 Климат

Санкт-Петербург и Ленинградская область относятся к атлантико-континентальной зоне умеренного климата, переходного от океанического к континентальному, с умеренно мягкой зимой и умеренно теплым летом [10].

Климат в регионе является весьма разнообразным, т.к. формируется переменчивыми воздушными массами, подразделяющимися на арктические, континентальные и морские. С запада, юго-запада и северо-запада в регион поступают морские воздушные массы, приносящие, как правило, осадки и повышенную ветреность, похолодание в летний сезон, а в зимнее время – потепление. Восточное, южное и юго-восточное направления обеспечивают регион сухим континентальным воздухом и антициклонами, которые являются причиной малооблачной сухой погоды, жаркой в летнее время и холодной в зимний сезон. Арктические воздушные массы, сформированные надо льдами, приходят со стороны Карского моря, принося с собой резкое похолодание и ясную погоду.

В целом, в связи с движением атлантических воздушных масс регион отличается большим количеством осадков, что делает их основным типом питания для многих рек (в том числе для р. Охты). Средняя годовая температура в Санкт-Петербурге составляет 5,6 °С [18]. В связи с большим количеством осадков региону характерна высокая влажность воздуха, составляющая около 80 % в среднем в течение года [18]. Среднегодовая сумма осадков равна 653 мм [18].

Выпадение осадков в Санкт-Петербурге определяется, главным образом, интенсивностью циклонической деятельности. На теплый период года приходится наибольшая часть осадков (до 70 %) [18].

## 1.4 Гидрологический и гидрохимический режим р. Охты

### 1.4.1 Гидрологический режим

По типу водного режима р. Охта относится к восточно-европейским рекам: во время весеннего половодья происходит резкое повышения уровня воды, летне-осенняя межень нарушается дождевыми паводками, наибольшая часть которых происходит в осенний сезон, далее следует низкая зимняя межень. Максимальные расходы воды можно заметить в весеннее половодье или осенне-зимние паводки. Замерзание реки происходит в ноябре-декабре ежегодно, а вскрытие – в апреле-мае. Здесь стоит отметить, что для р. Охты характерно вскрытие с заторами практически каждый год [15].

Питание реки, как и для большей части рек Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга, смешанного типа и обусловлено осадками (как дождевыми, так и снеговыми) и регулируется озерами, входящими в ее водосбор (Елизаветинское озеро, Охтинское водохранилище). В целом, сбросы Ржевского гидроузла сильно влияют на уровень воды в р. Охте, как и изменения уровня воды р. Невы.

Ниже представлена многолетняя динамика годового стока р. Охты.

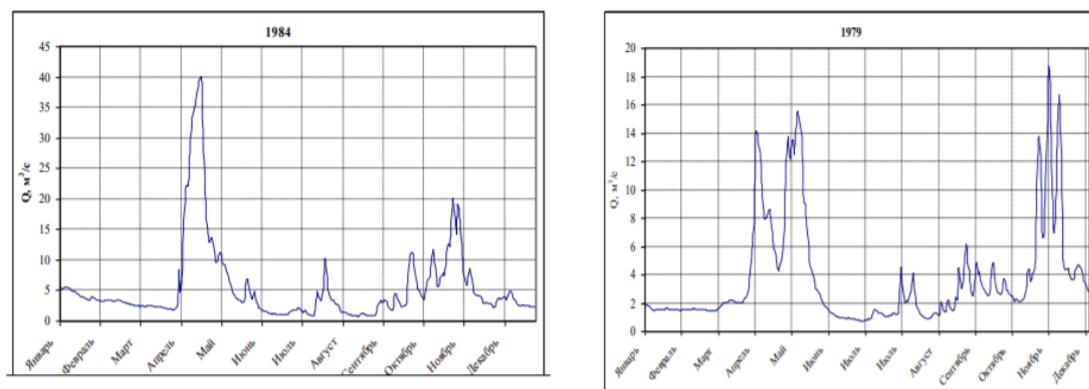


Рисунок 1.2 – Гидрограф стока р. Охты – д. Новое Девяткино многоводный (1984) и в маловодный (1979) годы

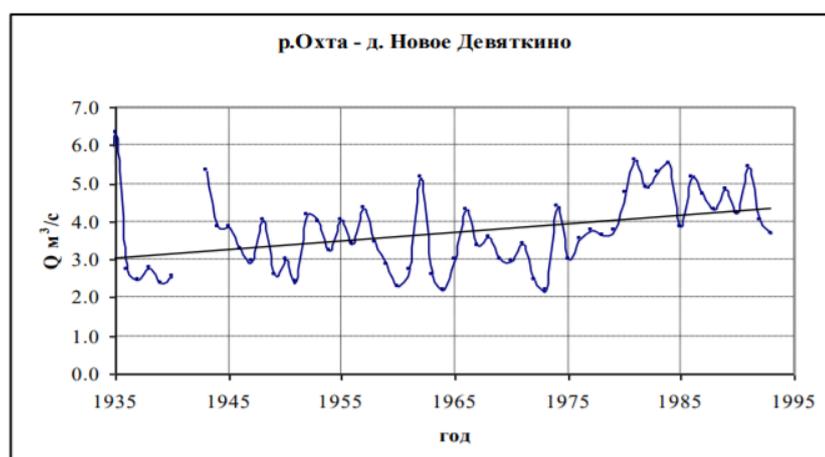


Рисунок 1.3 – Многолетняя динамика годового стока р. Охта

#### 1.4.2 Гидрохимический режим

Гидрохимический режим реки тесно связан с ее гидрологическим режимом и определяется переувлажненностью почв в течение всего года. Также влияние оказывает наличие водохранилищ и болот.

В связи с непрочностью структуры дерново-подзолистых почв и их обедненностью органическими и минеральными веществами можно сделать вывод о том, что воды р. Охты являются маломинерализованными. Минерализация вод не является постоянной и меняется в зависимости от сезона года от 30 до 450 мг/л. Максимум минерализации мы можем наблюдать во время минимального уровня воды, т.е. в зимнюю и летнюю межени, однако в основное время минерализация составляет 30-40 мг/л, что позволяет отнести воды к категории ультрапресных вод. Исходя из ионного состава, воды р. Охты относят к гидрокарбонатному классу и группе кальциевых вод 2 типа, что определяется соотношением ионов, а именно, главных катионов и анионов.

Содержание катионов магния варьируется в пределах 6-8 мг/дм<sup>3</sup>, кальция – 10-20 мг/дм<sup>3</sup>. Значения цветности изменяются по течению реки, но, в среднем, составляет около 100 градусов цветности. Также для водотока характерно повышенное содержание органических веществ.

## Глава 2: Информация об использовании р. Охты в хозяйственных целях и о качестве ее вод

### 2.1 Хозяйственная деятельность на водосборе

Как было указано ранее, р. Охта протекает на территории г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области. В связи с тем, что исследование сосредоточено на определенном участке реки, расположенном в районе г. Мурино в Ленинградской области, будет уместно подробнее рассказать об этом населенном пункте.

Муниципальный округ Мурино включает в себя, непосредственно, город Мурино и деревню Лаврики. На момент 1 января 2020 года по данным администрации МО Мурино численность населения г. Мурино составила 74939 человек, а деревни Лаврики – 946 человек [19].

Статус города населенному пункту Мурино был присвоен в 2019 году на фоне бурного роста численности, до этого времени поселение находилось в статусе поселка. Город расположен на границе г. Санкт-Петербурга и его области. На территории города есть станция метро «Девяткино», в целом, инфраструктура развита намного слабее, чем в г. Санкт-Петербурге, однако ее бурное развитие осуществляется вместе с развитием города и увеличением числа жителей, что особенно заметно в последние пять лет.

Как известно, р. Охта является главной водной артерией г. Мурино и важной составляющей водоснабжения Ленинградской области в целом, что подразумевает активное использование ее вод в хозяйственных целях.

Для питьевых нужд Ленинградской области из р. Охты, протекающей на территории области, отбирается 94,6% воды питьевой категории от суммарного забора воды [17]. Стоит отметить, что в исследуемом районе не предусмотрена система оборотного водоснабжения, из чего следует, что отработанная и очищенная после этого вода сливается в р. Охту. Очистка сточных вод на

территории РФ регламентируется Водным Кодексом Российской Федерации, в соответствии с 5 главой которого необходимо производить очистку сточных вод, а также представлять достоверную информацию о составе и свойствах этих вод.

На 2020 год «Актуализация схемы водоснабжения и водоотведения МО Муринское городское поселение» информирует о том, что на территории г. Мурино расположены действующие очистные сооружения, но в дер. Лаврики очистные сооружения не эксплуатируются в связи с высоким износом вышеуказанных, на основании чего сброс канализационных нечистот без очистки осуществляется, непосредственно, в р. Охту.

Также известно, что не все очистные сооружения в г. Мурино соответствуют нормативам. Так срок службы оборудования, используемого предприятием АО «НПО «Поиск», превышает предельно допустимый, а ливневые очистные сооружения того же предприятия вовсе выведены из эксплуатации. Известно, что износ магистральных коллекторов хозяйственно-бытовой канализации составляет 50-70 %, износ дворовых и уличных сетей хозяйственно-бытовой и ливневой канализации – 70-100 % [1].

Ниже представлена карта, на которой отражено местоположение водовыпусков некоторых водопользователей на территории г. Мурино.

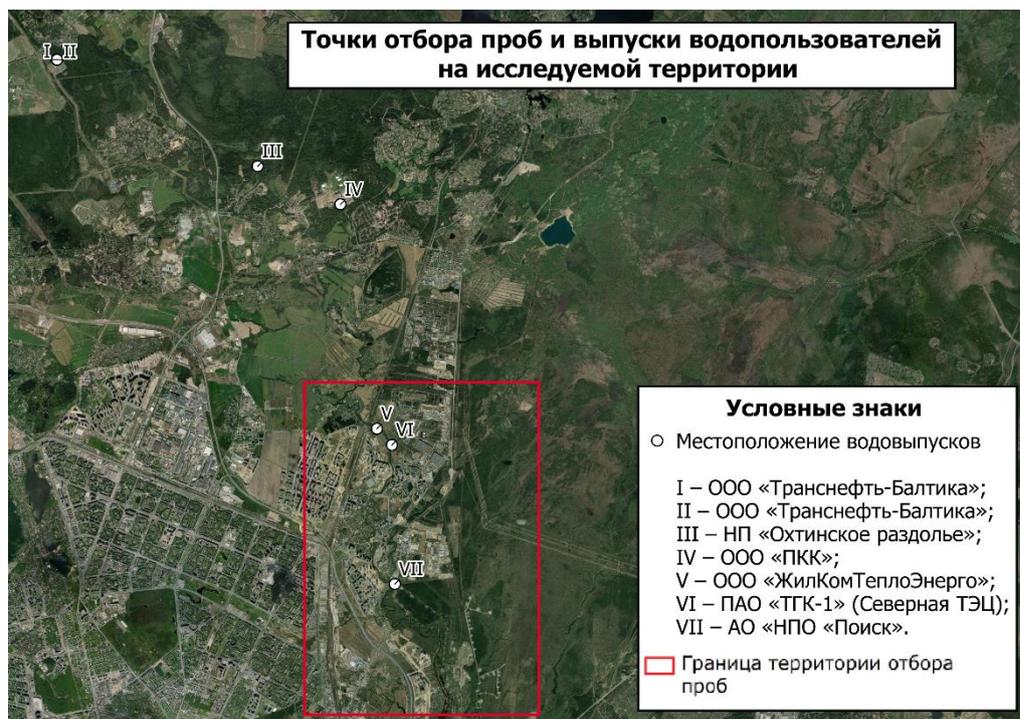


Рисунок 2.1 – Местоположение выпусков водопользователей и точек отбора проб на исследуемой территории

На исследуемой территории в число водопользователей входит ПАО «ТГК-1» – производитель электрической и тепловой энергии в Северо-Западном регионе России. Северная ТЭЦ, относящаяся к этому предприятию, находится в д. Новое Девяткино и осуществляет сброс сточных и (или) дренажных вод в р. Охту. Водоотведение составляет 2027 тыс.м<sup>3</sup>/год. Однако сама компания уточняет, что сточные воды проходят очистку, и в 2020–2021 гг. производилась модернизация комплекса очистных сооружений Северной ТЭЦ.

Загородный поселок для постоянного проживания НП «Охтинское раздолье» производит сбросы сточных вод в районе д. Мистолово Всеволожского р-на. ООО «ЖилКомТеплоЭнерго» (г. Мурино) и ООО «ПКК» (п. Бугры), являющиеся ресурсоснабжающими организациями, также производят сбросы сточных и (или) дренажных вод. Об очистных сооружениях не сообщается.

Нефтегазовая компания ООО «Транснефть-Балтика», занимающаяся транспортировкой нефтепродуктов, имеет два водовыпуска, расположенных на

территории НПС «Сестрорецкая», где помимо транспорта нефти производится и ее дополнительная очистка, однако нет никакой информации об очистке сточных или дренажных вод.

АО «НПО «Поиск» – компания, занимающаяся изготовлением взрывателей, артиллерийских боеприпасов и т.д.

В целом, мы можем говорить о достаточно интенсивном использовании вод р. Охты в различных целях, что, несомненно оказывает влияние на их качество. Учитывая всю приведенную выше информацию, необходимо обратиться к источникам, где отражена информация о качестве вод р. Охты, чтобы определить, каким было качество воды в предыдущие годы, существуют ли какие-то тенденции, связанные с концентрациями различных химических веществ и т.д.

Как уже отмечалось ранее, очистка сточных вод на территории г. Мурино производится на территории ООО «Новая Водная Ассоциация», ООО «К-Система», АО «НПО «Поиск» и ГУП «Петербургский Метрополитен», а также стоки передаются на очистку в ГИПХ пос. Кузьмолowo и в ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». Учитывая все вышеизложенное, следует вывод о среднем уровне экологической безопасности на территории г. Мурино. На территории дер. Лаврики экологическая безопасность низкая в связи с отсутствием очистки канализационных стоков, как сообщалось выше. [1]

## 2.2 Качество вод реки Охты по литературным данным

Под качеством воды мы понимаем ее пригодность для конкретных видов водопользования, определяющуюся свойствами воды и ее составом. Качество воды нормируется различными документами. Самое высокое качество характерно для вод рыбохозяйственного назначения, так как гидробионты существуют в воде в течение всей жизни и способны аккумулировать

определенные вещества, которые могут быть токсичными для тех, кто станет следующим звеном в пищевой цепи.

В настоящее время качество вод регламентирует законодательство РФ, а именно: СанПиН 2.1.3684-21, а также Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552, регламентирующий качество вод рыбохозяйственного значения.

Говоря о качестве вод, мы должны затронуть тему загрязнения и загрязняющих веществ, как основной причины ухудшения качества вод.

Загрязнение – это явление привнесения в водный объект загрязняющих веществ или образование загрязняющих веществ, непосредственно, в водном объекте. Загрязнение подразделяется на несколько типов, а именно: физическое, в которое входит тепловое загрязнение; химическое, то есть загрязнение различными химическими веществами; биологическое загрязнение – это привнесение в воду патогенных микроорганизмов, простейших, вирусов, бактерий, которые ухудшают качество воды и могут быть причиной отравления людей и животных; радиационное загрязнение связано с попаданием в воды веществ, обладающих радиоактивностью (здесь следует различать природную, т.е. естественную и антропогенную радиоактивность); механическое загрязнение обосновано наличием в воде твердых частиц, а также различного мусора, например, залесенность реки относится к механическому загрязнению.

Источники загрязнения в свою очередь подразделяются на точечные и диффузные. К точечным относятся источники, у которых можно четко определить места выпуска загрязняющих веществ, например, сливные трубы предприятий или канализации. Диффузные источники представляют собой сельскохозяйственные, ливневые стоки и т.д. Диффузные или неточечные источники являются причиной загрязнения окружающей среды в большей степени, чем точечные, но возникают определенные трудности с контролем таких источников, так как очень непросто и, в целом, не всегда возможно определить, кто должен понести ответственность за загрязнение.

Большой проблемой для р. Охты являются сбросы коммунально-бытовых и промышленных вод. Так, на участке р. Охты на территории Ленинградской области и, непосредственно, в г. Мурино треть всех сбросов осуществляется промышленными предприятиями, всего же на этой территории сбросы в реку осуществляют 24 предприятия.

Учитывая информацию, предоставленную официальным сайтом ПАО «ТГК-1», об обновлении системы очистки вод, тем не менее, загрязнение вод на участке р. Охта, где расположена ТЭЦ-21 (Северная), тяжелыми металлами составляет 31-78 % [14].

Согласно информации, предоставленной Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности г. Санкт-Петербурга, в 2020 г. в пробах воды р. Охты на исследуемой территории наблюдалось значительное превышение ПДК марганца и составило, в среднем,  $0,36 \text{ мг/дм}^3$  (36,0 ПДК) [6]. Кроме того, в 2019–2020 гг. р. Охта относилась к классу 4-а или «загрязненная». Исследование донных отложений р. Охты методом биотестирования в 2020 г. с использованием в качестве тест-объекта инфузории (*Paramecium caudatum* Ehrenberg) определило степень токсичности отложений как высокую, но при 10-кратном разбавлении вытяжки – как допустимую (I группа токсичности). При использовании тест-объекта хлореллы (*Chlorella vulgaris* Beijer) в 2020 г. была отмечена высокая степень токсичности вод р. Охты, но допустимая – при 10-кратном разбавлении вытяжки, как и в случае с тест-объектом инфузурией. Таким образом на 2020 г. донные отложения р. Охты можно было отнести к V и IV классам опасности.

По данным Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды на 2018 г. в водах р. Охты соединения меди составляли 8,0 ПДК (максимальное содержание составило 22,0 ПДК), железа – 8,0 ПДК, соединения цинка – 4,0 ПДК, органические вещества (по ХПК) –  $33,6 \text{ мг/дм}^3$ , легкоокисляемые органические вещества (по БПК<sub>5</sub>) –  $2,78 \text{ мг/дм}^3$  [9]. Также в единичных пробах воды в створе на территории г. Мурино было отмечено

превышение ПДК соединений никеля в 2 раза. В летний сезон содержание растворенного кислорода в водах было снижено до 2,1 мгО<sub>2</sub>/л [9], что также не соответствует нормам. Воды реки были отнесены 4 классу качества, разряду «а», т.е. «загрязненные».

В целом, за период 2016–2020 гг. можно было отметить стабильный дефицит растворенного кислорода в водах реки и превышение ПДК биологического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>) [3]. Повсеместное и постоянное превышение ПДК содержания железа в водах типично для исследуемой реки и связано с геохимическими особенностями Карельского перешейка [15].

Таким образом, основываясь на информации, предоставленной различными литературными и электронными источниками, мы можем сделать вывод о том, что качество вод р. Охты является низким, что связано с хозяйственным использованием реки, в том числе и со сбросами загрязненных сточных вод ресурсоснабжающими компаниями и т.д. Однако, на сегодняшний день известно, что ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» завершило строительство Охтинского тоннельного канализационного коллектора и уже ввело его в эксплуатацию. В своем ежегодном отчете за 2020 г. ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» сообщает о том, что в начале 2021 г. на Охтинский коллектор переключено 19 выпусков без очистки [4], что позволяет предположить возможное улучшение качества вод р. Охты.

## Глава 3: Материалы и методы исследований

### 3.1 Материалы и методы полевых работ

Исследование включает в себя полевые работы, а также химический анализ и биотестирование, результаты которых были проанализированы и представлены в данной выпускной квалификационной работе. Карта с местоположением точек представлена ниже.

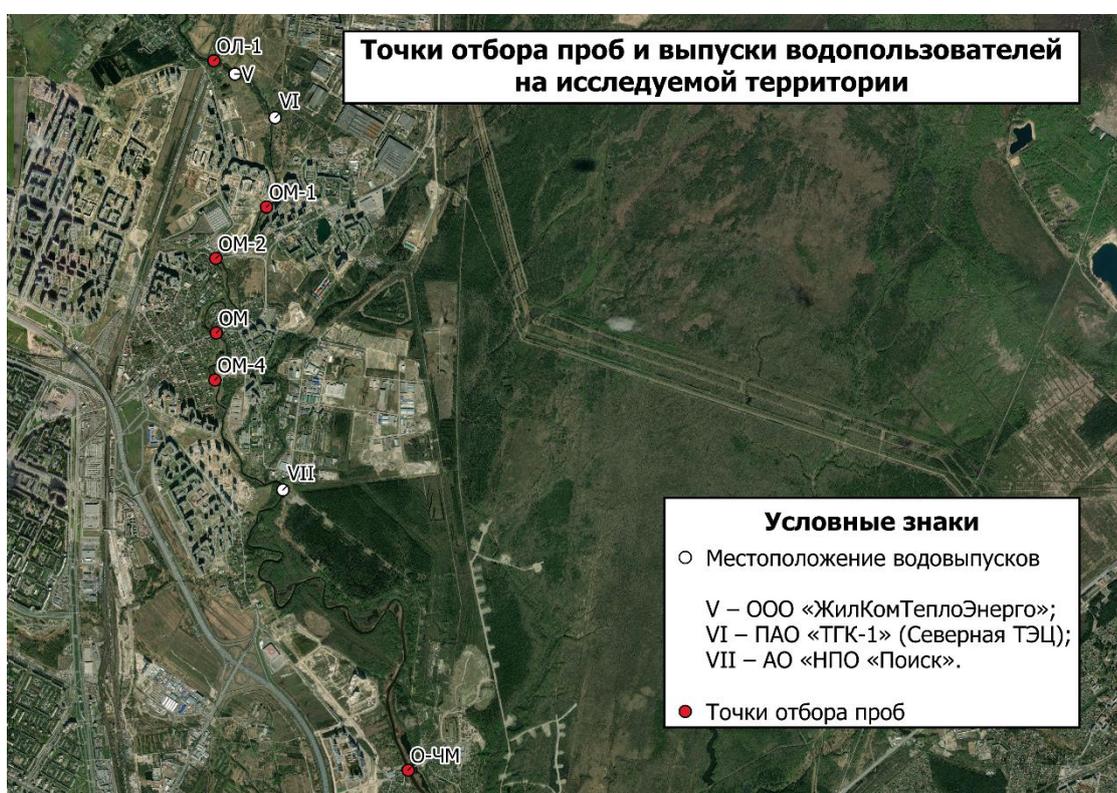


Рисунок 3.1 – Местоположение точек отбора проб и выпусков некоторых водопользователей на исследуемой территории

Непосредственно полевые работы проводились на территории г. Мурино (Всеволожск, Ленинградская область). Отбор проб был проведен в июне 2021 г. при аномально высокой для данного месяца температуре воздуха: +32°C и нормальном атмосферном давлении – 762 мм. рт. ст. По итогам полевых работ в

2021 г. пробы были отобраны в 4-х точках. В 2020 г. отбор производился в 5 точках.

Для удобства отбора проб, который проводился с использованием ручного батометра, точки пробоотбора было решено расположить на мостовых конструкциях. Решение об отборе проб с мостов было принято не только из-за их доступности и удобства, но и в том числе из-за того, что в таком случае пробоотбор возможен при любых погодных условиях, и можно контролировать положение точки отбора как по вертикали, так и по горизонтали, что позволяет получить репрезентативную пробу воды.

Итак, в ходе полевых работ были отобраны пробы воды из нескольких точек р. Охты в районе г. Мурино для дальнейшего исследования в условиях лаборатории. В том числе происходил отбор проб для анализа содержания растворенного кислорода в воде, который является важным показателем и может дать косвенную оценку загрязненности водного объекта. Для корректности результатов была произведена фиксация кислорода в пробах воды, непосредственно, на месте отбора в соответствии с РД 52.24.419–2019 «Массовая концентрация растворённого кислорода в водах. Методика измерений йодометрическим методом».

Проба воды для анализа концентрации растворенного кислорода была взята первой и зафиксирована растворами хлорида марганца и йодида калия в кислородной склянке, которую в дальнейшем изолировали от света и доставили в лабораторию со всеми остальными пробами.

### 3.2 Материалы и методы лабораторных исследований

Непосредственно исследование проб воды осуществлялось в лабораторных условиях на базе эколого-аналитической лаборатории ФГБОУ ВО «РГГМУ». В ходе работы были определены такие гидрохимические показатели,

как: жесткость воды, концентрации ионов кальция, магний, железа общего, концентрация растворенного кислорода, биохимическое потребление кислорода в течение 5 суток (БПК<sub>5</sub>), концентрации азота нитритного, азота аммонийного и фосфора фосфатного. Также была определена токсичность вод р. Охты.

### 3.2.1 Методика определения жесткости воды и содержания ионов кальция и магния в поверхностных водах

Определение содержания жесткости в поверхностных природных водах проводится в соответствии с РД 52.24.395–2017 «Жесткость воды. Методика измерений титриметрическим методом с трилоном Б».

Как мы можем понять из названия РД, определение жесткости происходит с помощью титрования заранее отфильтрованной от примесей и подготовленной пробы воды трилоном Б, который вступает в реакцию с добавленным в пробу индикатором. Конечная точка титрования устанавливается по изменению окраски исследуемой пробы. Расчеты производятся по формуле, также представленной в РД:

$$X = \frac{c(1/2C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2) * V_T * 1000}{V_{пр}}, \quad (1)$$

где  $c(1/2C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2)$  – молярная концентрация раствора трилона Б, моль/дм<sup>3</sup>;  $V_T$  – объем раствора трилона Б, израсходованный на титрование пробы воды, см<sup>3</sup>;  $V_{пр}$  – объем пробы воды, взятый для титрования, см<sup>3</sup>.

Определение содержания ионов кальция в поверхностных природных водах проводится в соответствии с РД 52.24.403–2018 «Массовая концентрация ионов кальция в водах. Методика измерений титриметрическим методом с трилоном Б» и очень схоже с определением жесткости. Титрование подготовленной отфильтрованной пробы воды также проходит в присутствии в

пробе индикаторов. Титрантом является трилон Б. Конечная точка титрования – изменение окраски раствора. Результаты обрабатываются по формуле:

$$X = \frac{20,04 * c(1/2C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2) * V_T * 1000}{V_{пр}}, \quad (2)$$

где 20,04 – молярная масса ( $1/2 Ca^{2+}$ ), мг/ммоль;  $c(1/2C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2)$  – молярная концентрация раствора трилона Б, моль/дм<sup>3</sup>;  $V_T$  – объем раствора трилона Б, израсходованный на титрование пробы воды, см<sup>3</sup>;  $V_{пр}$  – объем пробы воды, взятый для титрования, см<sup>3</sup>.

Массовая концентрация ионов магния определяется расчетным путем. Формула представлена ниже:

$$X_{Mg} = \left( X - \frac{X_{Ca}}{20,04} \right) \quad (3)$$

где 12,15 – молярная масса ( $1/2Mg^{2+}$ ), мг/ммоль;  $X$  – общая жесткость, °Ж;  $X_{Ca}$  – массовая концентрация ионов кальция, мг/дм<sup>3</sup>; 20,04 – молярная масса ( $1/2Ca^{2+}$ ), мг/ммоль.

### 3.2.2 Методика определения содержания железа общего в поверхностных водах

Концентрация железа общего в поверхностных водах в данном исследовании определялась фотометрическим методом, который основан на определении оптической плотности окрашенного в растворе комплекса. Оптическая плотность измерялась на спектрофотометре «ПЭ – 5400в». После работы со спектрофотометром с помощью градуировочного графика определяется содержание железа общего, а его массовая концентрация рассчитывается по формуле:

$$X = C * \eta * 1,02, \quad (4)$$

где  $\eta$  – кратность разбавления по 10.1 ( $\eta=1$ , если разбавление не проводилось); 1,02 – коэффициент, учитывающий разбавление пробы при консервации.

### 3.2.3 Методики определения концентрации растворенного кислорода и биологического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>) в поверхностных водах

Определение содержания концентрации растворенного кислорода в пробах воды проводится в соответствии с РД 52.24.419–2019 «Массовая концентрация растворённого кислорода в водах. Методика измерений йодометрическим методом». После проведения фиксации растворенного кислорода в пробах на месте пробоотбора, о чем более подробно изложено в подглаве 3.1, пробы доставляют в лабораторию и анализируют, используя йодометрический метод титрования, результаты которого используют в формуле расчета массовой концентрации растворенного в воде кислорода:

$$X = \frac{8 * c(Na_2S_2O_3) * V_T * V_K * 1000}{V_2 * (V_K - V_1)}, \quad (5)$$

где 8 – 1/2 атомной массы кислорода, мг/ммоль;  $V_T$  – объём раствора тиосульфата натрия, израсходованный на титрование, см<sup>3</sup>;  $V_K$  – вместимость кислородной склянки (объём), см<sup>3</sup>; 1000 – коэффициент пересчета;  $V_1$  – суммарный объём растворов хлорида марганца и йодида калия, добавленных в склянку при фиксации растворённого кислорода, см<sup>3</sup>;  $V_2$  – объём аликвоты пробы воды, титруемой тиосульфатом, см<sup>3</sup> (в случае определения БПК<sub>5</sub> объём пробы – 50 см<sup>3</sup>).

Методика определения БПК<sub>5</sub> регламентируется РД 52.24.420–2019 «Биохимическое потребление кислорода в водах. Методика измерений титриметрическим и амперометрическим методами». Она очень схожа с методикой определения растворенного кислорода. Отличие состоит в том, что

пробой воды заполняют склянку с гидрозатвором и выдерживают в термостате в течение 5 суток без фиксации кислорода на месте пробоотбора. Кислород фиксируют уже в лаборатории после извлечения из термостата, и по истечении времени осаждения продуктов реакции со связанным кислородом производят титрование. Расчеты осуществляются в два этапа. Первый этап выполняется по формуле (5). Второй этап, непосредственно, установление биологического потребления кислорода за указанное время выдержки выполняется по следующей формуле:

$$\text{БПК}_5 = X_{\text{н}} - X_{\text{к}}, \quad (6)$$

где  $X_{\text{н}}$  – массовая концентрация растворённого кислорода в пробе анализируемой воды до инкубации, мг/дм<sup>3</sup>;  $X_{\text{к}}$  – массовая концентрация растворённого кислорода в пробе анализируемой после 5 суток инкубации, мг/дм<sup>3</sup>.

#### 3.2.4 Методики определения содержания нитритного азота, аммонийного азота, фосфатного фосфора в поверхностных водах

Методики определения содержания нитритного и аммонийного азота, а также фосфатного фосфора имеют некоторое сходство, так как определение во всех случаях происходит с помощью спектрофотометра путем измерения оптической плотности раствора анализируемой пробы. Методику определения содержания нитритного азота регламентирует РД 52.24.381–2017 «Массовая концентрация нитритного азота в водах. Методика измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса», аммонийного азота – ПНДФ 14.1:2:4.262-10 «Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в питьевых, поверхностных (в том числе морских) и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера», фосфатного фосфора – РД 52.24.382–2019

«Массовая концентрация фосфатного фосфора в водах. Методика измерений фотометрическим методом».

При анализе проб после определения оптической плотности спектрофотометром, рассчитывают массовую концентрацию азота нитритного (7), фосфора фосфатного (8) или азота аммонийного (9).

$$X = X_{\text{гр}} * \frac{100}{V} \quad (7)$$

$$X = X_{\text{гр}} * \eta \quad (8)$$

где  $X_{\text{гр}}$ - массовая концентрация искомого вещества в разбавленной пробе, найденная по градуировочной зависимости, мг/дм<sup>3</sup>; 100 - объем мерной колбы, см<sup>3</sup>;  $V$  - аликвота анализируемой пробы воды, см<sup>3</sup>;  $\eta$  – кратность разбавления.

$$X = \frac{C * 50 * n}{V} \quad (9)$$

где  $C$  – содержание ионов аммония, найденное по калибровочному графику, мг;  $V$  – объем пробы, взятой для анализа, см<sup>3</sup>;  $n=1$  при прямом определении ионов аммония ( $n=10$  при определении с предварительной отгонкой аммиака).

### 3.2.5 Методика определения токсичности поверхностных вод

Токсичность поверхностных вод р. Охты определялась в соответствии с ФР.1.39.2015Л9244 «Методика определения токсичности отходов производства и потребления экспресс-методом с применением прибора серии «Биотестер». В соответствии с методикой тест-объектом служила культура инфузории-туфельки (*Paramecium caudatum*). Расчет индекса токсичности осуществлялся по формуле:

$$T = \frac{I_{\text{ср.к.}} - I_{\text{ср.а.}}}{I_{\text{ср.к.}}} * K, \quad (10)$$

где  $I_{\text{ср.к.}}$ ,  $I_{\text{ср.а.}}$  – средние показания прибора для контрольных и анализируемых проб соответственно;  $K$  – коэффициент разбавления пробы.

Определение степени токсичности происходит по следующей шкале: I – допустимая степень токсичности ( $0,00 < T \leq 0,40$ ); II – умеренная степень токсичности ( $0,40 < T \leq 0,70$ ); III – высокая степень токсичности ( $T > 0,70$ ).

## Глава 4: Межгодовая динамика загрязнения

### 4.1 Результаты химического анализа и биотестирования

В ходе проделанной в лаборатории работы по анализу гидрохимических показателей вод исследуемой р. Охты были получены результаты, которые необходимо проанализировать с целью определения качества вод р. Охты на исследуемой территории.

Проводя первичный анализ данных, отраженных в таблицах 4.1 и 4.2, мы можем отметить как стойкое превышение ПДК некоторых гидрохимических компонентов в течение двух лет, что дает нам возможность говорить о системном превышении нормативов, так и превышение ПДК некоторыми химическими компонентами только в 2021 г.

Таблица 4.1 – Результаты химического анализа и биотестирования вод р. Охты в 2020 г.

Параметр	Характеристики					
	Объем выборки	макс.	мин.	среднее $C_{cp}$	ПДК	Кратность превышения ( $C_{cp}/ПДК$ )
$Ca^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	5	24,60	19,80	23,00	180	0,1
$Mg^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	5	10,44	4,20	6,14	40	0,2
Ж, мг-экв/дм <sup>3</sup>	5	1,98	1,39	1,66	7	0,2
$O_2$ , мг $O_2$ /дм <sup>3</sup>	5	7,16	4,17	6,36	6	0,9*
БПК <sub>5</sub> , мг $O_2$ /дм <sup>3</sup>	5	8,39	3,45	6,68	2,1	3,2
$Fe_{общ}$ , мг/дм <sup>3</sup>	5	0,99	0,19	0,59	0,1	5,9
$N/NO_2^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	5	0,08	0,04	0,05	0,02	2,7
$N/NH_4^+$ , мг/дм <sup>3</sup>	5	4,69	1,99	3,03	0,4	7,6
$P/PO_4^{3-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	5	0,20	0,07	0,14	0,15	0,9
Токсичность	5	0,29	0,12	0,20	–	–

\*Примечание: кратность превышения для растворенного кислорода ( $O_2$ ) – ПДК/( $C_{cp}$ )

Таблица 4.2 – Результаты химического анализа и биотестирования вод р. Охты в 2021 г.

Параметр	Характеристики					
	Объем выборки	макс.	мин.	среднее $C_{cp}$	ПДК	Кратность превышения ( $C_{cp}/ПДК$ )
$Ca^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	4	18,04	14,03	16,03	180	0,1
$Mg^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	4	7,91	6,09	6,85	40	0,2
Ж, мг-экв/дм <sup>3</sup>	4	1,40	1,30	1,35	7	0,2
$O_2$ , мг $O_2$ /дм <sup>3</sup>	4	6,88	1,88	4,38	6	1,4
БПК <sub>5</sub> , мг $O_2$ /дм <sup>3</sup>	4	8,21	5,53	7,46	2,1	3,6
$Fe_{общ}$ , мг/дм <sup>3</sup>	4	2,11	1,62	1,89	0,1	18,9
$N/NO_2^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	4	0,22	0,19	0,20	0,02	10,2
$N/NH_4^+$ , мг/дм <sup>3</sup>	4	4,64	2,97	3,51	0,4	8,8
$P/PO_4^{3-}$ , мг/дм <sup>3</sup>	4	1,21	0,98	1,07	0,15	7,1
Токсичность	4	0,14	0,00	0,06	–	–

\*Примечание: кратность превышения для растворенного кислорода ( $O_2$ ) – ПДК/( $C_{cp}$ )

Далее подробно изложено о межгодовой и пространственной изменчивости каждого определенного гидрохимического компонента природных вод р. Охты в исследуемом районе за рассматриваемый в исследовании отрезок времени, а именно: за период 2020–2021 гг.

#### 4.1.1 Межгодовая динамика жесткости и концентраций ионов кальция и магния

Жесткость является определенным свойством воды, которое обусловлено наличием в ней растворенных металлов щелочно-земельной группы. Далее речь пойдет о неустраняемой (некарбонатной или постоянной) жесткости, где

основную роль играют катионы кальция ( $\text{Ca}^{2+}$ ) и магния ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Жесткость подвержена сезонным колебаниям, в связи с чем ее максимум можно наблюдать в периоды, когда уровень воды в водном объекте максимально низкий (зимняя и летняя межени), а минимальный – в периоды паводка соответственно.

Отдельно стоит отметить, что в связи со своей крайне высокой активностью, кальций в природных водах встречается, в основном, в виде соединений (сульфаты и карбонаты). Кальций в ионной форме можно встретить только в маломинерализованных водах.

Источниками ионов кальция и магния, которые обуславливают жесткость, служат процессы растворения горных пород (в основном доломиты, известняки, гипс), а также их химическое выветривание. Также в качестве естественного источника можно выделить микробиальные внутрипочвенные процессы и микробиальные процессы в донных отложениях водных объектов. Антропогенным источником поступления ионов кальция и магния и, как следствие, увеличения жесткости являются металлургическая, химическая, силикатная промышленности, а также сельскохозяйственные стоки.

ПДК жесткости не должна превышать  $7,0 \text{ мг-экв/дм}^3$ , и полученные результаты (таблицы 4.1 и 4.2) данному требованию соответствуют. Постоянная жесткость составила  $1,66 \text{ мг-экв/дм}^3$  в 2020 г. и  $1,35 \text{ мг-экв/дм}^3$  в 2021 г.

Пространственное изменение неустраняемой жесткости (рисунок 4.1) позволяет нам отследить незначительно снижение концентраций, начиная с 4-ой станции (ОМ) по течению реки в 2020 г., тогда как в 2021 г. на всех станциях наблюдалось единообразие результатов, что может говорить о стабильности жесткости в 2021 г. и отсутствии какой-либо ярко-выраженной динамики концентраций внутри исследуемого года.

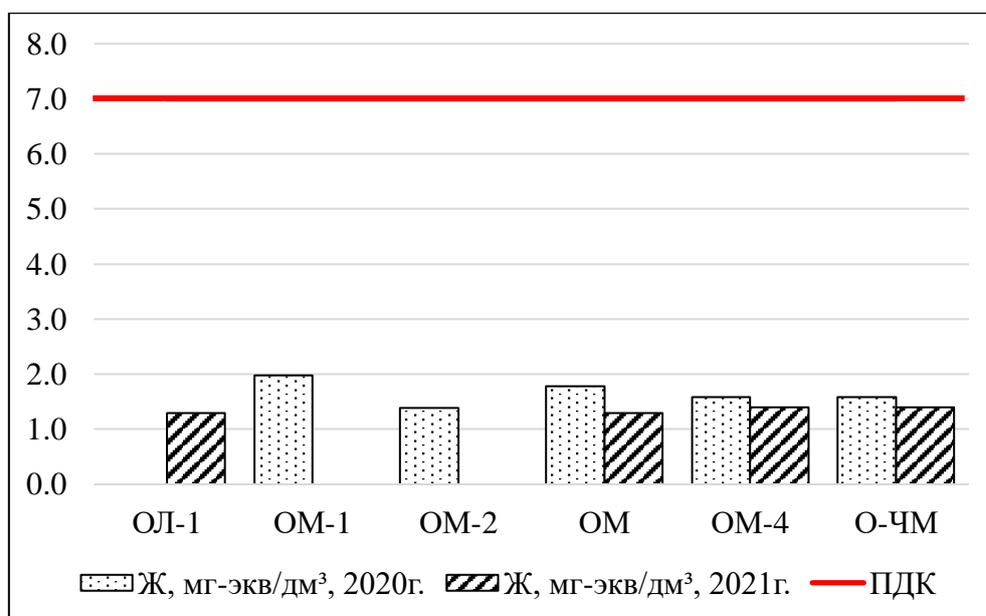


Рисунок 4.1 – Пространственное распределение постоянной жесткости в 2020–2021 гг., мг-экв/дм<sup>3</sup>

Предельно допустимые концентрации содержания ионов кальция и магния равны 180 мг-экв/дм<sup>3</sup> и 40 мг-экв/дм<sup>3</sup> соответственно. Полученные результаты не превысили ПДК ни на одной станции и составили, в среднем, для 2020 г. 23,0 мг-экв/дм<sup>3</sup> для катионов кальция и 6,14 мг-экв/дм<sup>3</sup> – для катионов магния; для 2021 г.: 16,03 мг-экв/дм<sup>3</sup> для катионов кальция и 6,85 мг-экв/дм<sup>3</sup> – для катионов магния. Таким образом, в 2020 г. концентрации ионов кальция были выше, чем в 2021 г., а концентрации ионов магния, соответственно, ниже.

Обращаясь к графическому отображению результатов исследования (рисунок 4.2), мы не можем выделить какую-либо явную закономерность динамики концентраций ионов кальция в 2020 или 2021 гг. Однако, стоит отметить, что содержание кальциевых катионов в 2020 г. оказалось несколько больше, чем в 2021 г. В целом же, результаты достаточно однородны внутри исследуемого года, так как резкие скачки повышения или понижения концентраций отсутствуют как в 2020, так и в 2021 гг.

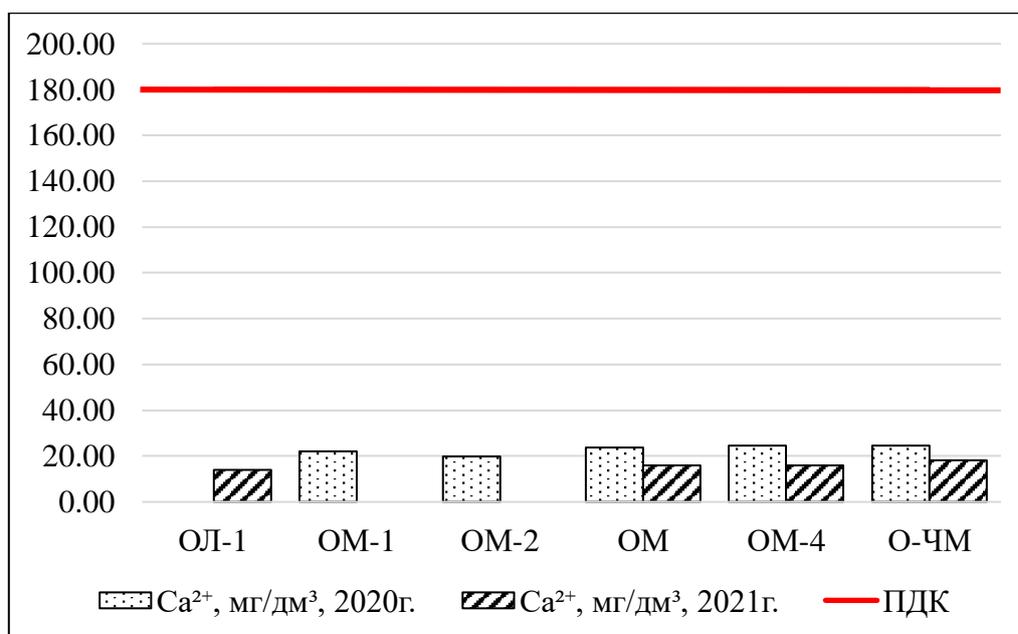


Рисунок 4.2 – Пространственное распределение ионов кальция в 2020–2021 гг., мг/дм<sup>3</sup>

Пространственное распределение ионов магния не выглядит так же однородно (рисунок 4.3). Здесь мы можем наблюдать чередование повышений и понижений концентраций от точки к точке. В связи с таким чередованием подъемов и падений нельзя сказать, что присутствует какая-то тенденция в изменении концентраций по направлению течения реки.

Какие-либо закономерности межгодовой динамики также не могут быть определены визуально, так как между результатами двух лет исследования наблюдается заметная разница.

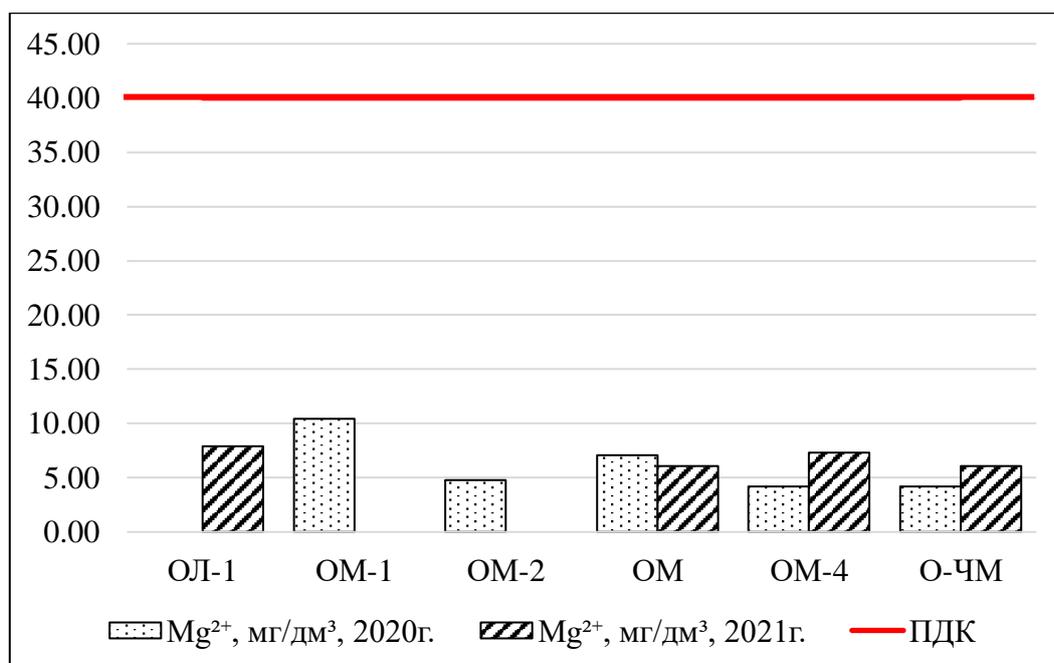


Рисунок 4.3 – Пространственное распределение ионов магния в 2020–2021 гг., мг/дм<sup>3</sup>

В целом, основываясь на анализе трех графиков и таблиц, где концентрации исследуемых компонентов выражены количественно, мы можем с уверенностью заявить о том, что воды р. Охты являются мягкими и не обладают высокой минерализацией. Такая характеристика является типичной для исследуемой реки, так как воды р. Охта всегда не были жесткими и не обладали высокими концентрациями катионов кальция и магния соответственно.

#### 4.1.2 Межгодовая динамика концентраций железа общего

Железо является важным микроэлементом, входящим в состав живых клеток, тканей, организмов. Концентрация железа оказывает некоторое влияние на интенсивность развития микрофлоры в водных объектах. В речных водах железо, как правило, представлено в виде ионов железа Fe<sup>2+</sup> и Fe<sup>3+</sup>.

Источники ионов железа могут быть естественными и антропогенными. К первым мы можем отнести процесс выветривания горных пород и процесс

вымывания этого элемента из горных пород деятельностью воды. Антропогенными источниками выступают сбросы отработанных вод на металлургических, металлообрабатывающих и химических производствах.

Предельно допустимая концентрация железа общего в природных водах составляет 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Итак, обращаясь к таблицам 4.1 и 4.2, мы наблюдаем кратность превышения ПДК железа общего в 6 раз в 2020 г. и в 19 раз в 2021 г. Так как нарушение нормативов зафиксировано в оба исследуемых года, мы можем говорить о том, что превышение ПДК железа общего носит закономерный характер.

Принимая во внимание особенности исследуемой территории, такие результаты наиболее вероятно связаны с геохимическими особенностями исследуемой территории, так как повышенное содержание этого компонента типично для водных объектов Карельского перешейка. Однако значительную разницу между данными 2020 г. и 2021 г. (рисунок 4.4) можно обосновать аномальными погодными условиями: высокая температура воздуха до и во время отбора проб могла оказать влияние на испаряемость воды в водотоке, тем самым снизив уровень воды в речной экосистеме, что привело к увеличению концентраций различных веществ, в том числе – железа общего. Кроме того, необходимо отметить, что максимальные концентрации исследуемого компонента типично фиксируют именно в летний или зимний период, так как в связи с гидрологическими и климатическими особенностями происходит падение уровня воды в водном объекте и повышение концентраций ряда веществ.

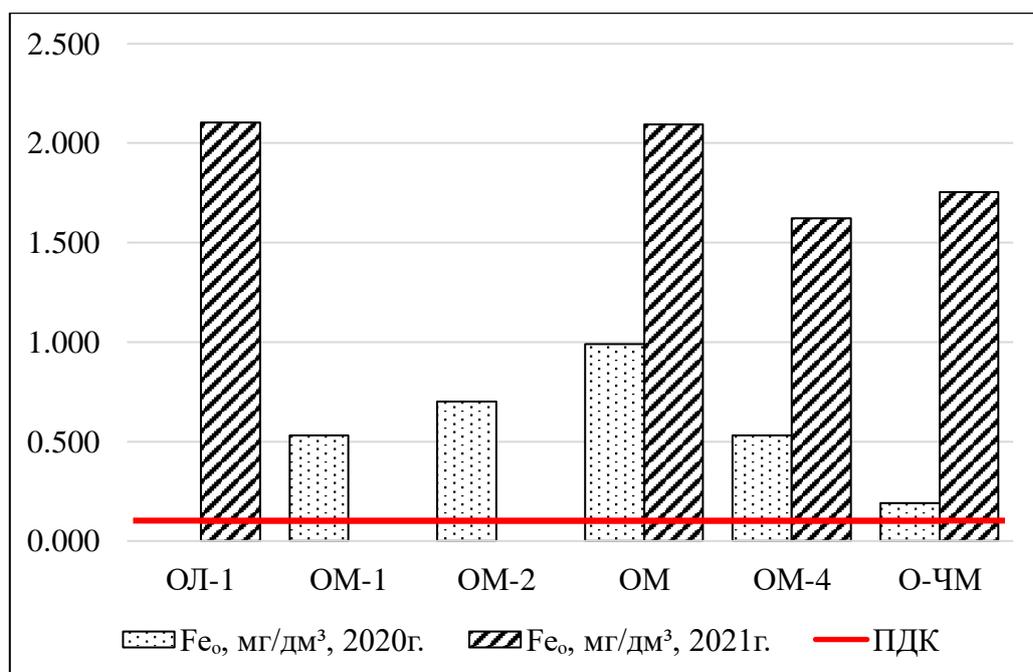


Рисунок 4.4 – Пространственное распределение железа общего в 2020–2021 гг., мг/дм<sup>3</sup>

Анализируя графическое отображение результатов 2020 г., мы можем зафиксировать повышение концентраций железа общего на первых четырех станциях и последующее их снижение. Такая закономерность отсутствует в 2021 г. Проводя анализ межгодовой динамики, мы можем говорить о том, что полученные результаты не схожи и сильно разнятся между собой за два исследуемых года, однако повсеместное превышение ПДК регистрируется на всех точках отбора проб за все годы исследования.

#### 4.1.3 Межгодовая динамика концентраций растворенного кислорода и биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>)

Растворенный в воде кислород (O<sub>2</sub>) является необходимым условием жизни и функционирования водной экосистемы любого водного объекта. Без растворенного кислорода невозможно осуществление процессов

жизнедеятельности организмов и самоочищение водоема путем окисления и разложения органических соединений, содержащихся в поверхностных водах.

Оценка концентрации растворенного в воде кислорода проводится с целью определения условий обитания гидробионтов и, соответственно, с целью косвенного определения качества исследуемой природной воды.

Растворенный кислород является неустойчивым компонентом, в связи с чем его концентрация в водах постоянно меняется в зависимости от ряда факторов, к числу которых можно отнести температурный режим, вертикальное перемешивание, изменение численности гидробионтов и планктонных организмов.

ПДК, установленные для растворенного в воде кислорода, составляют 6,0 мг/дм<sup>3</sup>. Сравнивая полученные результаты с данной величиной, мы можем заключить, что в 2020 г. зафиксирована кратность превышения ПДК в 1 раз, а в 2021 г. – в 1,5 раза. Результаты за оба года не удовлетворяют необходимым требованиям, к тому же, средняя концентрация растворенного кислорода в 2021 г. несколько снижается относительно результатов химического анализа прошлого года (рисунок 4.5).

Изображенную на графике линию «ПДК» следует рассматривать не как предельно допустимую границу, а как необходимый минимум содержания растворенного кислорода в водах (в летний период это количество должно составлять не менее 6,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>).

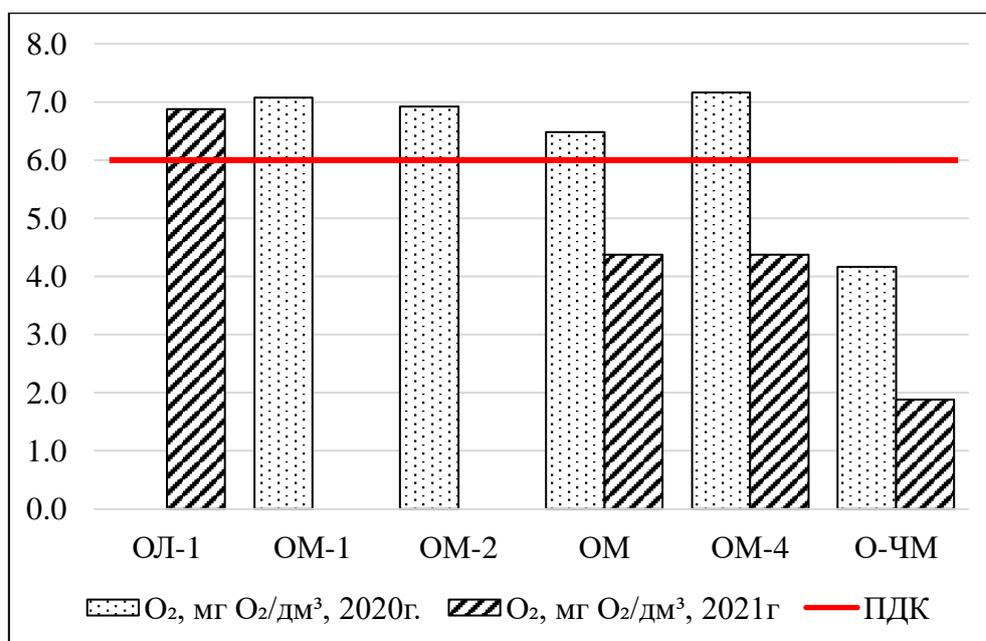


Рисунок 4.5 – Пространственное распределение растворенного кислорода в 2020–2021 гг., мгO<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>

На графике отчетливо видно закономерное снижение концентраций растворенного кислорода в 2021 г., в то время как в 2020 г. какая-либо явная закономерность отсутствует. Проводя анализ межгодовой изменчивости, мы можем отметить ярко выраженное снижение концентраций кислорода в 2021 г.

Между растворимостью кислорода и температурой воды в водном объекте существует обратная закономерность: чем ниже температура воды, тем выше растворимость в ней кислорода. Аномально высокие температуры воздуха, безусловно, оказали влияние на температуру воды в речной экосистеме, в связи с чем может наблюдаться некоторая разница между результатами распределения растворенного кислорода в двух годах исследования. К тому же, температура так же влияет и на бурный рост гидробионтов – потребителей кислорода. Кроме того, полученные значения можно связать с большим количеством органических соединений в водотоке, на окисление которых требуется кислород.

Все перечисленные факторы могут оказать существенное влияние на кислородный режим.

Как было изложено ранее, концентрация растворенного кислорода в воде зависит от большого числа факторов, в число которых входят процессы окисления органических веществ, которое происходит вследствие деятельности бактерий, осуществляющих аэробное биохимическое окисление органических веществ, которые могут образовываться в водном объекте естественным путем (мертвые гидробионты, попадание в воду листвы и прочих растительных компонентов) или быть следствием антропогенного воздействия (лигнины, как отходы лесобработывающего производства, белковые соединения, как отходы мясокомбинатов, бытовые и сельскохозяйственные стоки).

БПК или биохимическое потребление кислорода количественно характеризует содержание органических веществ в водном объекте. Данная характеристика относится к интегральным показателям загрязненности водного объекта, благодаря чему, путем проведения данного анализа можно сделать косвенные выводы о качестве исследуемых вод. Биохимическое потребление кислорода разделяют на полное (БПК<sub>полн</sub>) и в течение пяти суток (БПК<sub>5</sub>).

Министерство сельского хозяйства устанавливает предельно допустимую концентрацию БПК<sub>5</sub> не более 2,1 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. По результатам химического анализа ни в 2020 г., ни в 2021 г. количественный показатель БПК<sub>5</sub> норме не соответствовал: в первом случае кратность превышения составила 3,2 раза, а во втором 3,6 раза.

Обращаясь к графической интерпретации полученных результатов (рисунок 4.6), мы можем отметить отсутствие четкой закономерности пространственного изменения концентраций БПК<sub>5</sub>, так как не наблюдается явное возрастание или понижение концентрации по течению реки. Затрагивая тему межгодовой изменчивости, нельзя сделать однозначный вывод, но, тем не менее, можно говорить о том, что, как минимум, в 2 случаях количественный показатель БПК<sub>5</sub> оказался выше в 2021 г., чем в 2020 г.

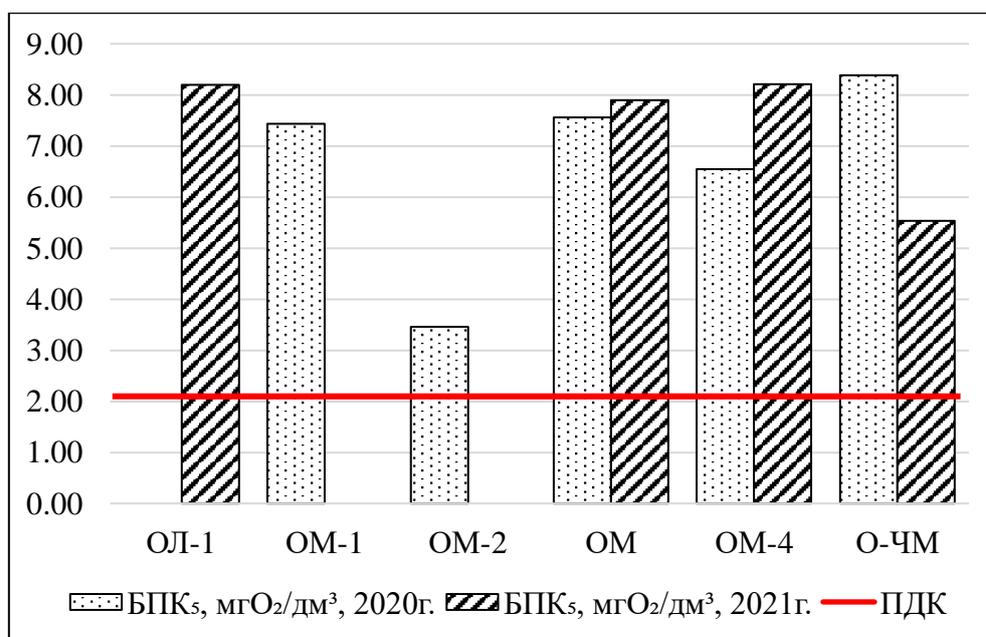


Рисунок 4.6 – Пространственное распределение биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>) в 2020–2021 гг., мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>

Учитывая то, что БПК сильно зависит от концентрации кислорода в водном объекте, такие изменения могут быть связаны с тем, что в 2021 г. концентрации растворенного кислорода были существенно ниже, чем в 2020 г. В целом, приведенные выше теоретические положения о причинах повышения интенсификации БПК и результаты исследования позволяют автору предполагать, что подобные высокие значения могут быть связаны со сбросами сточных вод, так как в непосредственной близости от исследуемой территории отсутствуют промышленные комплексы и предприятия, способные оказать такое влияние на водную экосистему.

#### 4.1.4 Межгодовая динамика концентраций элементов азотной группы и фосфатов

Биогенные элементы, о которых речь пойдет ниже, представляют собой растворенные в воде химические элементы, необходимые для живых организмов. В их число входят азот и фосфор.

Азот, который находится в растворенном виде в природных поверхностных водах, часто обнаруживается в виде ионов аммония ( $\text{NH}_4^+$ ) или в виде нитритов, то есть солей азотистой кислоты ( $\text{NO}_2^-$ ). Нитриты являются некоторой промежуточной стадией между аммонийным и нитратным азотом, возникая в процессе окисления ионов аммония.

Ионы аммония и нитриты легко окисляются, таким образом являясь нестойкими соединениями, и в связи с этим в условиях отсутствия антропогенной нагрузки не накапливаются в водах водотоков в больших концентрациях. Максимальные концентрации аммонийного азота, как и прочих биогенных элементов, можно наблюдать летом, однако, тем не менее, они не должны превышать установленных нормативов в любой сезон, так как соединения азота обладают высокой токсичностью и могут создать ряд нежелательных явлений, которые приведут к нарушению баланса экосистемы водного объекта и ее возможному разрушению. В число таких явлений входит резкое увеличение планктонных организмов, усиление темпов эвтрофикации (или ее появление), снижение концентраций растворенного кислорода и повышения показателя биохимической окисляемости водного объекта, замор рыбы и прочих гидробионтов.

Антропогенными источниками соединений азота может служить химическая, нефтехимическая, пищевая промышленность, сельскохозяйственные и коммунально-бытовые стоки. К естественным источникам мы можем отнести процесс разложения мертвых организмов (гидробионтов, изначально присутствовавших в водной экосистеме), а также разложение листового опада, который также нередко попадает в поверхностные природные воды, и прочих элементов природной среды.

ПДК аммонийного азота в соответствии с документом, нормирующим предельно допустимые концентрации содержания различных химических веществ в поверхностных водах, составляет  $0,4 \text{ мг/дм}^3$ , для нитритного азота –  $0,02 \text{ мг/дм}^3$ . Обращаясь к таблицам 4.1 и 4.2, мы можем отметить, что в оба года исследования концентрации соединений азота норме не соответствовали, существенно превышая установленные нормы, а именно: кратность превышения ПДК азота аммонийного в 2020 и 2021 гг. составила 7,6 и 8,8 раз соответственно; для азота нитритного в 2020 и 2021 гг. кратность превышения ПДК равнялась 2,7 и 10,2 раз соответственно.

Анализируя полученные результаты, мы можем сказать о том, что в случае ионов аммония разница не слишком велика, соответственно, есть смысл говорить об определенной закономерности между значениями двух лет исследований. Относительно нитритов говорить о закономерностях нерезонно, так как различия между кратностью превышения ПДК в двух годах исследования слишком велики. Для того, чтобы анализ был более полным, ниже представлены графики пространственного распределения соединений азотной группы в водах р. Охты на исследуемой территории (рисунки 4.7, 4.8).

В целом, обращаясь к графику распределения аммонийного азота (рисунок 4.7), можно проследить некоторую закономерность изменения концентраций в 2020 г.: на графике прослеживается постепенное повышение концентрации ионов аммония по течению реки, начиная от 3 станции и далее. Относительно результатов исследования по данному компоненту за 2021 г. говорить о каких-либо закономерностях не приходится, так как изменения концентраций аммонийного азота в пространстве носят хаотичный характер и не позволяют сделать однозначных выводов.

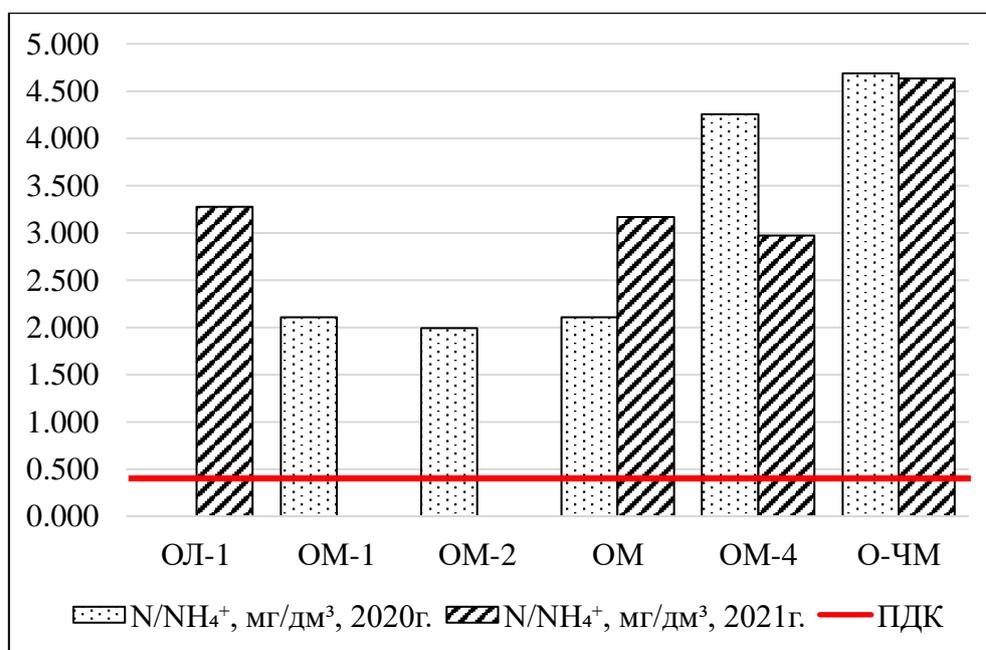


Рисунок 4.7 – Пространственное распределение азота аммонийного в 2020–2021 гг., мг/дм<sup>3</sup>

Однако необходимо отметить некоторую особенность, которая отличает этот компонент от всех прочих: в данном случае нельзя сказать, что концентрации ионов аммония были выше в 2021 г., как произошло с большей частью исследуемых компонентов; более вероятно, что концентрации были несколько выше именно в 2020 г. Однако все равно мы не можем сказать о том, что визуально полученные результаты однородны, так как даже при первичном визуальном анализе графических данных заметна, в большинстве случаев, значительная разница между концентрациями двух годов исследования.

Если в случае анализа аммонийного азота мы можем говорить о некоторой однородности, то ситуация с нитритным азотом является диаметрально противоположной. Графическая интерпретация (рисунок 4.8) позволяет нам проследить полное отсутствие какой-либо схожести результатов 2020 и 2021 гг., за исключением момента повсеместного превышения ПДК в оба года исследования.

Какая-либо пространственная закономерность также отсутствует, так как мы не можем проследить стойкое повышение или понижение концентраций нитритного азота по течению реки ни в 2020 г., ни в 2021 г.

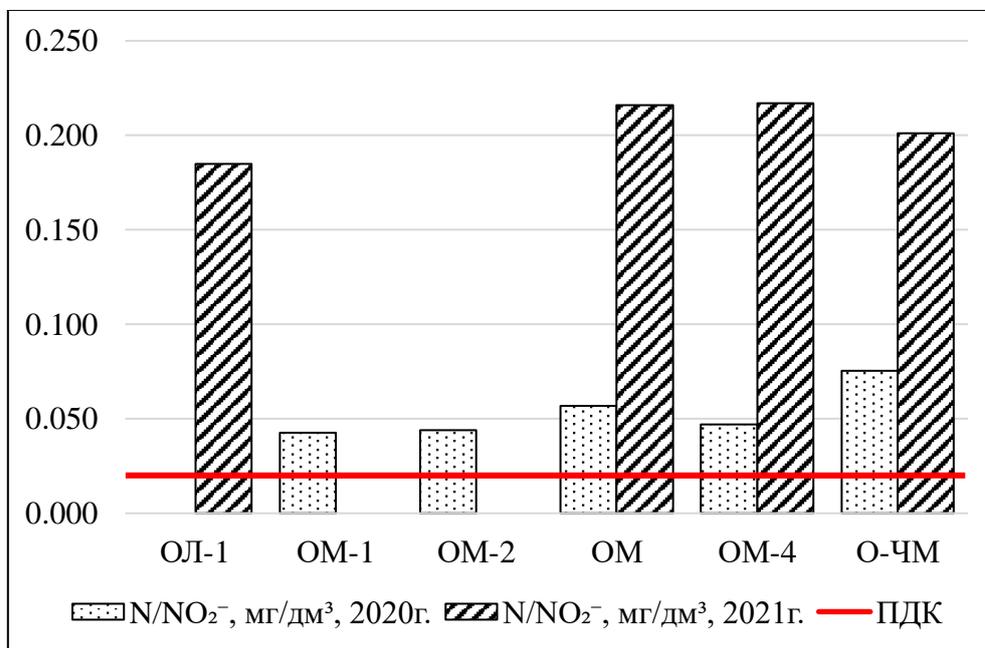


Рисунок 4.8 – Пространственное распределение азота нитритного в 2020–2021 гг., мг/дм<sup>3</sup>

Таким образом, проведя анализ содержания элементов азотной группы в поверхностных водах р. Охта, мы можем говорить не только о недостатке растворенного кислорода для рыбохозяйственной деятельности, но также и о превышении ПДК аммонийного и нитритного азота. О причинах такого результата нельзя сказать однозначно, так как на содержание биогенных веществ оказывает влияние большое количество факторов. Однако, принимая во внимание все, написанное выше, результаты, превышающие ПДК в несколько раз, вряд ли могут быть связаны с естественными гидробиологическими процессами, но увеличение интенсивности разложения органических веществ при дефиците кислорода может обуславливать полученные значения, что наиболее вероятно связано с наличием сбросов сточных вод, которые не проходят достаточную или какую-либо очистку, о чем упоминалось ранее, в

главе 2, так как все эти неорганические соединения выделяются в процессе жизнедеятельности организмов и разложении органических веществ. Итак, полученные результаты сигнализируют о вероятном сильном загрязнении водного объекта.

Проводя анализ концентраций биогенных элементов в поверхностных водах, нельзя оставить без внимания соединения фосфора, которые также входят в эту категорию. Далее речь пойдет о фосфатах ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).

Подобно другим биогенным элементам, фосфор входит в биогеохимический цикл, являясь необходимым условием для существования и развития организмов. Таким образом, фосфор является одним из лимитирующих факторов и оказывает сильное влияние на экосистему водного объекта.

Источниками фосфатного фосфора являются хозяйственно-бытовые стоки, коммунальные сточные воды, сточные воды с сельскохозяйственных полей, животноводческих комплексов, предприятия химической и пищевой промышленности, а также естественные процессы гидроэкосистемы (смерть и разложение гидробионтов и водной растительности).

Избыток фосфора способен запустить процесс неконтролируемого роста биомассы в водотоке или водоеме, в связи с чем произойдет закономерное изменение концентраций ряда других важных для гидробионтов и состояния водного объекта компонентов, что может повлечь за собой разрушение экосистемы со всеми процессами, сопутствующими этому явлению. Разумеется, водотоки в меньшей степени, чем водоемы, подвержены эвтрофированию, но, несмотря на это, необходимо строго контролировать содержание фосфатов в поверхностных водах.

Приказ Министерства сельского хозяйства устанавливает предельно допустимую концентрацию содержания фосфатного фосфора не более  $0,15 \text{ мг/дм}^3$ . В таблицах 4.1 и 4.2 наглядно продемонстрировано полное несоответствие полученных результатов необходимой норме: в 2020 г. ПДК была превышена в 1 раз, в 2021 г. – в 7 раз, что, несомненно, сказывается на

качество исследуемой воды в худшую сторону. Проводя сравнительный анализ имеющихся результатов, мы можем отметить резкое повышение концентраций фосфатов в 2021 г., что типично для большей части гидрохимических компонентов, исследуемых в настоящей работе.

Графическая интерпретация результатов химического анализа (рисунок 4.9) также подтверждает большую разницу между концентрациями фосфатов двух лет исследования. Стоит отметить тенденцию плавного понижения концентрации фосфатов по течению реки в 2021 г., а в 2021 г. постепенное снижение мы можем наблюдать со второй станции также по направлению течения водотока.

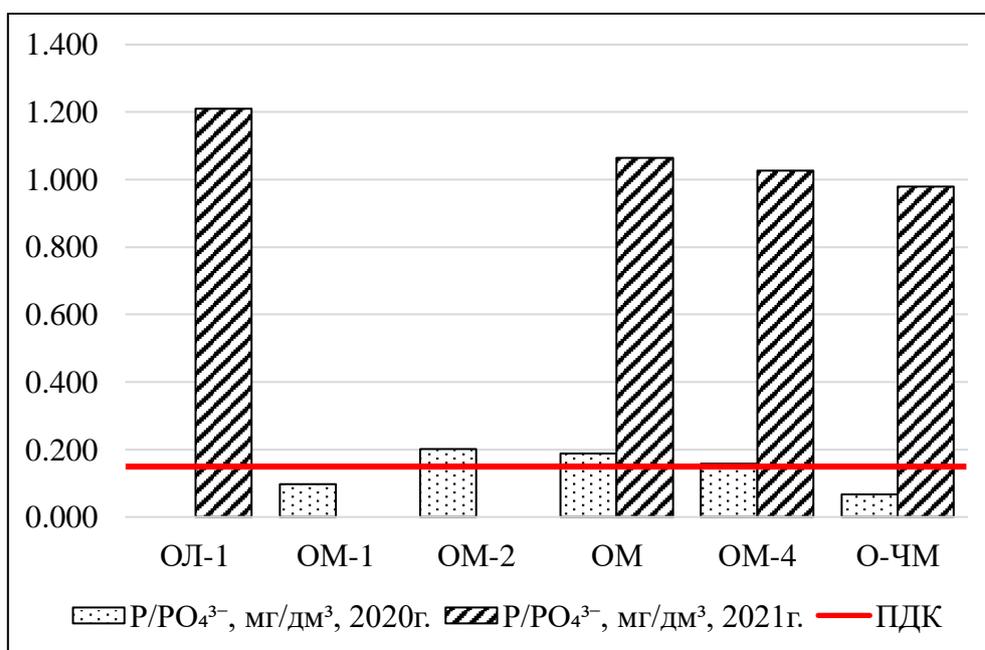


Рисунок 4.9 – Пространственное распределение фосфора фосфатного в 2020–2021 гг., мг/дм<sup>3</sup>

Нерезонно в данном случае предполагать наличие какой-либо закономерности между результатами двух исследуемых лет, так как наравне с повсеместным превышением ПДК фосфатного фосфора в 2021 г. в прошлый год превышение было зарегистрировано только в двух точках отбора проб.

Итак, во всех случаях заметна большая разница между двумя годами исследования, так как, вероятно, сложились благоприятные условия для интенсификации естественных гидробиологических процессов, и, как следствие, увеличение количества биогенных веществ в речной экосистеме. Кроме того, не исключено их поступление в водный объект в связи с неочищенными хозяйственно-бытовыми и прочими стоками и сбросами.

#### 4.1.5 Межгодовая динамика токсичности исследуемых природных вод

Токсичность поверхностных вод определяет биотестирование воды.

Биотестирование воды – это комплекс экспериментальных мероприятий, который направлен на оценку того, насколько безопасна (или вредоносна) вода для биоты, обитающей в водном объекте, подвергнувшись этому исследованию.

Индекс токсичности определялся с использованием тест-объекта инфузории (*Paramecium caudatum*). В связи с тем, что данный тест-объект реагирует на широкий спектр токсических веществ, нельзя сказать наверняка, какое токсическое вещество внесло наибольший вклад в полученные результаты, представленные в таблицах 4.1 и 4.2.

Для токсичности нет разработанной предельно допустимой концентрации – данный параметр заменяется степенями токсичности, подробнее о которых изложено в главе 3 настоящей работы. Так как результаты биотестирования составили 0,20 у.е. и 0,06 у.е. в 2020 и 2021 гг. соответственно, сравнительный анализ будет происходить с допустимой степенью токсичности ( $0,00 < T \leq 0,40$ ).

Итак, в двух рассматриваемых годах исследования индекс токсичности соответствовал I степени (допустимой) на всех точках отбора проб. В 2020 г. заметна тенденция повышения индекса токсичности по течению реки, начиная с 4 точки (рисунок 4.10), однако в 2021 г. нельзя выделить какую-либо закономерность. Отсутствие схожих тенденций и большая разница

концентраций позволяют нам предположить вероятное отсутствие достоверной связи между двумя годами исследования. Максимум токсичности наблюдался на последней станции (О-ЧМ) и в 2020 г., и в 2021 г.

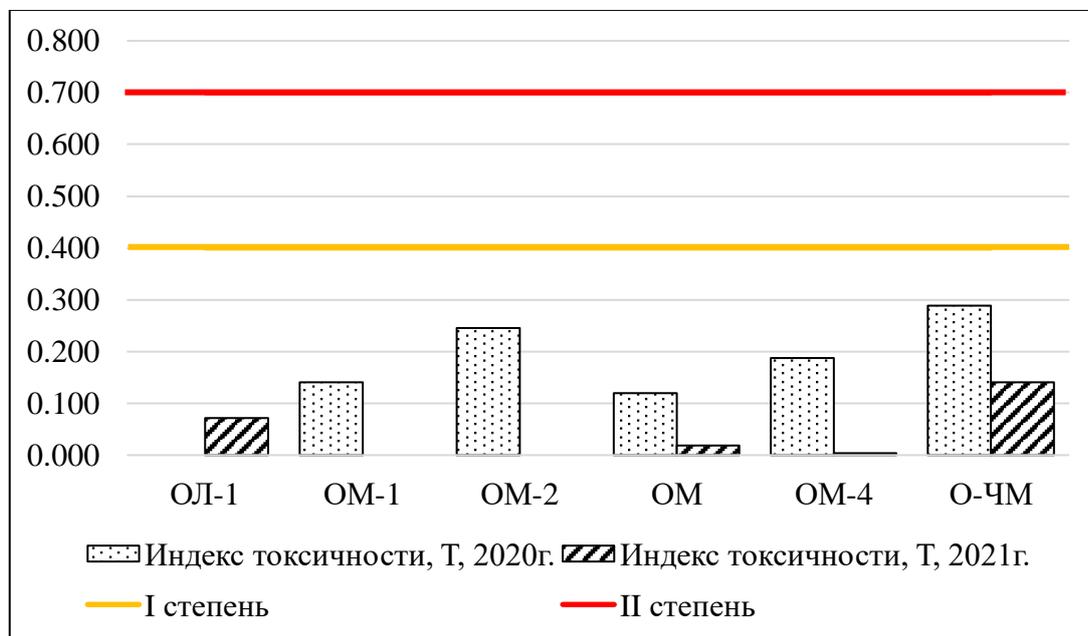


Рисунок 4.10 – Пространственное распределение индекса токсичности в 2020–2021 гг., у.е.

#### 4.2 Оценка однородности исследуемых рядов наблюдений

Итак, в ходе подробного рассмотрения результатов химического анализа и биотестирования, отраженных в таблицах, а также их графических интерпретаций удалось проследить некоторые закономерности изменения концентраций различных веществ, вызывающих интерес в рамках настоящего исследования. Однако, анализ пространственного изменения и межгодовой изменчивости компонентов, составляющих гидрохимическую характеристику р. Охты, нельзя считать полным без более точного определения однородности результатов исследования за два исследуемых года.

Так как визуальный анализ на основе графиков не является точным, для оценки межгодовой изменчивости исследуемых гидрохимических и гидробиологических параметров природных вод р. Охты была выполнена оценка на однородность по непараметрическому критерию Манна-Уитни.

U-критерий Манна-Уитни – это непараметрический статистический критерий, использующийся для сравнения выраженности показателей в двух несвязных выборках. Этот критерий позволяет выявлять различия в значении параметра между малыми выборками.

Таким образом, используя этот критерий, мы можем однозначно сказать, являются ли концентрации исследуемых гидрохимических и гидробиологических компонентов однородными в 2020 и 2021 гг. или же нет. Такое понятие, как однородность, является крайне важным статистическим параметром, которое обозначает отсутствие систематических различий между результатами наблюдений за разные промежутки времени на протяжении исследуемого периода наблюдений. Иными словами, проведя анализ однородности рядов концентраций в рамках настоящего исследования, мы можем сделать вывод о том, являются ли результаты, полученные в 2021 г. типичными для исследуемой речной экосистемы.

Итак, результаты расчетов для удобства анализа приведены в таблице 4.3. Помимо, непосредственно результатов расчетов в таблице также находится величина  $U_t$ , с которой необходимо сравнить величину  $U$ . Ряды концентраций считаются однородным, если выполнено условие:  $U > U_t$ .

Таблица 4.3 – Результаты определения непараметрического критерия Манна-Уитни для гидрохимических и гидробиологических компонентов

Параметр	$U_t$	$U$	Результат
$Ca^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	6,1	0	Гипотеза опровергается
$Mg^{2+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	6,1	6	Гипотеза опровергается
Ж, мг-экв/дм <sup>3</sup>	6,1	2	Гипотеза опровергается
$O_2$ , мг $O_2$ /дм <sup>3</sup>	6,1	4	Гипотеза опровергается
БПК <sub>5</sub> , мг $O_2$ /дм <sup>3</sup>	6,1	7	Гипотеза не опровергается

Продолжение таблицы 4.3

Параметр	$U_t$	U	Результат
Fe <sub>общ</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	6,1	0	Гипотеза опровергается
N/NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	6,1	0	Гипотеза опровергается
N/NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	6,1	7	Гипотеза не опровергается
P/PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	6,1	0	Гипотеза опровергается
Токсичность	6,1	1	Гипотеза опровергается

Итак, обращаясь к таблице 4.3, мы можем выделить такие параметры, как БПК<sub>5</sub> и аммонийный азот – концентрации именно этих компонентов являются однородными в 2020–2021 гг. Предположение об этом было сделано еще при визуальном анализе графиков (рисунки 4.6 и 4.7), и теперь оно подтверждено расчетным методом определения непараметрического критерия Манна-Уитни.

Наличие однородности между концентрациями азота аммонийного и БПК<sub>5</sub> в 2020-2021 гг. дают нам право говорить о наличии связи между концентрациями в исследуемые годы. Таким образом, мы можем сделать вывод о том, что концентрации аммонийного азота и БПК<sub>5</sub> закономерны.

## Заключение

Водные ресурсы реки Охты интенсивно используются населением Ленинградской области в различных целях, среди которых можно выделить питьевое и коммунально-бытовое назначение, а также воды реки используют различные сельско-хозяйственные комплексы и промышленные предприятия. Принимая во внимание отсутствие на территории г. Мурино качественной очистки сточных вод, сбрасываемых в р. Охту, которое связано с высоким износом оборудования и возможной необходимостью его замены, мы можем еще раз подтвердить, что вопрос оценки качества поверхностных вод р. Охты является крайне актуальным в сложившихся условиях.

Анализ литературных данных помог нам сделать первичные выводы о качестве вод р. Охты, по результатам которых мы можем утверждать, что для исследуемого водотока характерна пониженная жесткость (воды р. Охты мягкие и ультрапресные), сильно пониженное содержание растворенного кислорода, превышение ПДК содержания железа, марганца, меди и тяжелых металлов. Также за пределами допустимых норм оказалось значение биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>), дающее нам основание сделать предположение о загрязненности водного объекта, которое было подтверждено ежегодными отчетами комитета по природопользованию г. Санкт-Петербурга и другой литературой, где р. Охта относилась к классу 4-а, «загрязненная».

Полученные в ходе исследования результаты химического анализа и биотестирования, которые были проведены в соответствии со всеми действующими РД и ПНД, подтвердили информацию, полученную вследствие обзора литературных данных – предельно-допустимые концентрации превысил целый ряд гидрохимических компонентов. Значительно выше нормы оказались концентрации содержания железа общего, БПК<sub>5</sub>, биогенных элементов (соединения азотной группы и фосфаты), сильно снижено было содержание растворенного в воде кислорода. И если мы можем обосновать повышенные концентрации железа геохимическими особенностями территории, на которой

расположена исследуемая река, то остальные результаты говорят нам о явном загрязнении речных вод.

Неизменными, однако, остались показатели жесткости: воды р. Охты являются мягкими, концентрации ионов кальция были незначительно снижены, ионов магния – незначительно повышены в 2021 г.

На основе гидробиологического анализа вод все исследуемые пробы были отнесены к I степени токсичности (допустимая). Межгодовая динамика показала заметное снижение индекса токсичности от 2020 г. к 2021 г.

Исследование межгодовой динамики содержания гидрохимических компонентов, проведенное с помощью расчета непараметрического критерия Манна-Уитни, показало нам отсутствие однородности концентраций 2020–2021 гг. у большого числа определенных химических веществ. Так концентрации железа общего, нитритного азота и фосфатного фосфора были значительно выше именно в 2021 г. Также в 2021 г. концентрации растворенного кислорода были существенно ниже, чем в 2020 г.

Таким образом, гидрохимическими компонентами, концентрации которых в 2020–2021 гг. мы можем назвать однородными, являются аммонийный азот и БПК<sub>5</sub>. Концентрации остальных компонентов значительно различались, что не позволило рассуждать о наличии достоверной связи между ними.

#### Выводы

1. Физико-географические особенности бассейна реки Охты обуславливают мягкость ее вод и повышенное содержание в них железа общего;
2. Анализ литературных данных позволяет нам сделать вывод о том, что река Охта является одним из наиболее загрязненных водотоков города Санкт-Петербурга;
3. На исследуемом участке реки Охты ПДК превышены по ряду показателей таких, как железо общее, а также фосфаты, соединения азотной группы, БПК<sub>5</sub>. Существенно снижены концентрации растворенного кислорода относительно нормы;

4. Отмечается допустимая степень токсичности вод на исследуемом участке за 2020–2021 г.

Подводя общий итог проделанной работы, мы можем говорить о том, что поверхностные воды реки Охты действительно загрязнены различными веществами в связи с тем, что водоток подвержен некоторой антропогенной нагрузке, при этом не происходит должной очистки сточных вод различного генеза, попадающих в данную речную экосистему.

Результаты этого и подобных исследований могут быть использованы для планирования хозяйственной деятельности и определения допустимой нагрузки на водную экосистему.

## Список использованной литературы

1. Актуализации схемы водоснабжения и водоотведения МО «Муринское городское поселение» [текст]: утверждено главой администрации МО «Муринское городское поселение» Всеволожского муниципального районе Ленинградской области, Беловым А.Ю., 2020 г. // СПб. – 468 с.
2. Аналитическая записка (Государственный контракт №0008-16-17 от 19.06.2017 г.) [Электронный ресурс]: Государственный контракт №0008-16-17 от 19.06.2017 г. «Выполнение работ по мониторингу состояния и использования земель на территории Мурманской, Вологодской, Новгородской и Ленинградской областей» // URL: [https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\\_%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BA%D0%B0\\_%D0%9B%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F\\_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C.pdf](https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%B7%D0%B0%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%BA%D0%B0_%D0%9B%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%BD%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%B4%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C.pdf) (дата обращения: 22.03.2022 г.).
3. Белякова А.М., Зуева Н.В. Оценка качества воды городской реки по гидрохимическим индексам (река Охта, Санкт-Петербург) [Электронный ресурс]: Труды КарНЦ РАН. 2021. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-kachestva-vody-gorodskoy-reki-po-gidrohimicheskim-indeksam-reka-ohhta-sankt-peterburg> (дата обращения: 22.03.2022 г.).
4. Водоканал Санкт-Петербурга. Годовой отчет 2020 [Электронный ресурс]: Водоканал Санкт-Петербурга // URL: [http://www.vodokanal.spb.ru/files/documents/press/otchet/go\\_2020.pdf](http://www.vodokanal.spb.ru/files/documents/press/otchet/go_2020.pdf) (дата обращения 08.04.2022 г.).
5. Геологическое строение Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]: Энциклопедический справочник «Санкт-Петербург». АКАДЕМИК // URL:

[https://sankt\\_peterburg.academic.ru/2561/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5\\_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\\_%D0%A1%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D1%82-%D0%9F%D0%B5%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B1%D1%83%D1%80%D0%B3%D0%B0](https://sankt_peterburg.academic.ru/2561/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%A1%D0%B0%D0%BD%D0%BA%D1%82-%D0%9F%D0%B5%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B1%D1%83%D1%80%D0%B3%D0%B0) (дата обращения 22.01.2022 г.).

6. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2020 году/ Под редакцией Д.С. Беляева, И.А. Серебрицкого – Ижевск.: ООО «ПРИНТ», 2021. – 253 с. ([https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2021/10/19/01/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4\\_%D0%B7%D0%B0\\_2020.pdf](https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2021/10/19/01/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4_%D0%B7%D0%B0_2020.pdf)).

7. Долина реки Охты и ее притоков. [Электронный ресурс]: ООПТ России // URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/%D0%94%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0-%D1%80%D0%B5%D0%BA%D0%B8-%D0%9E%D1%85%D1%82%D1%8B-%D0%B8-%D0%B5%D0%B5-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%B2> (дата обращения: 15.02.2022 г.).

8. Ивлев В.В. Всеволожский район Ленинградской области: Историко-географический справочник [текст] / Ивлев В.В. – СПб: ТТП «Петрополь», 1994. – 228 с.

9. Качество поверхностных вод российской федерации. Ежегодник 2018 / Глав. ред. к.б.н., М.М. Трофимчук. – Ростов-на-Дону, 2019. – с. 561.

10. Климат Санкт-Петербурга и Ленинградской области [Электронный ресурс]: ФГБУ «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» // URL: <http://www.meteo.nw.ru/articles/index.php?id=2> (дата обращения 22.01.2022 г.).

11. Охта [Электронный ресурс]: Все реки. Информационный сайт о реках России // URL: <http://vsereki.ru/atlanticheskij-ocean/bassejn-baltijskogomorya/neva/oxta> (дата обращения: 22.01.2022 г.).

12. Охта [Электронный ресурс]: Научно-популярная энциклопедия «Вода России» // URL: [https://water-ru.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/3329/%D0%9E%D1%85%D1%82%D0%B0](https://water-ru.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/3329/%D0%9E%D1%85%D1%82%D0%B0) (дата обращения: 22.01.2022 г.).

13. Охтинское водохранилище [Электронный ресурс]: Water Resources. Справочник водных ресурсов // URL: <https://waterresources.ru/vodohranilische/ohtinskoe-vodohranilische/> (дата обращения 22.01.2022 г.).

14. Проект «Нормативы допустимого воздействия по бассейну р. Нева». В 3-х книгах. Книга 2: Пояснительная записка к сводному тому нормативов допустимого воздействия по частному бассейну р.Нева (от истока до устья) [Электронный ресурс]: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации федеральное агентство водных ресурсов; Невско-Ладожское БВУ, 2012. // URL: [https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2012/11/19/NDV\\_Kniga\\_2\\_Pojasnitelnaja-zapiska\\_.pdf](https://www.gov.spb.ru/static/writable/ckeditor/uploads/2012/11/19/NDV_Kniga_2_Pojasnitelnaja-zapiska_.pdf) (дата обращения: 08.04.2022 г.).

15. Ресурсы поверхностных вод. В 20 т. [текст] / под ред. И.М. Жила, Н.М. Алюшинской. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 333 с. – 3 т.

16. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Нева. В 6 книгах. Книга 1: Общая характеристика речного бассейна реки Нева. [Электронный ресурс]: Федеральное агентство водных ресурсов Невско-Ладожское БВУ, 2015. // URL: [http://www.nord-west-water.ru/upload/information\\_system\\_18/3/2/8/item\\_32845/information\\_items\\_property\\_7374.pdf](http://www.nord-west-water.ru/upload/information_system_18/3/2/8/item_32845/information_items_property_7374.pdf) (дата обращения 22.01.2022 г.).

17. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Нева. В 6 книгах. Книга 2: Оценка экологического состояния и ключевые проблемы речного бассейна. [Электронный ресурс]: Федеральное агентство водных ресурсов Невско-Ладужское БВУ, 2015. // URL: [http://www.nord-west-water.ru/upload/information\\_system\\_18/3/2/8/item\\_32845/information\\_items\\_property\\_7375.pdf](http://www.nord-west-water.ru/upload/information_system_18/3/2/8/item_32845/information_items_property_7375.pdf) (дата обращения 22.01.2022 г.).

18. Характеристика климата Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]: Экологический портал Санкт-Петербурга. Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности // URL: <http://www.infoeco.ru/index.php?id=1091> (дата обращения 22.01.2022 г.)

19. Численность населения [Электронный ресурс]: Муниципальное образование «Муринское городское поселение», официальный сайт // URL: [https://администрация-мурино.рф/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2190&Itemid=509](https://администрация-мурино.рф/index.php?option=com_content&view=article&id=2190&Itemid=509) (дата обращения: 08.04.2022 г.).