



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)

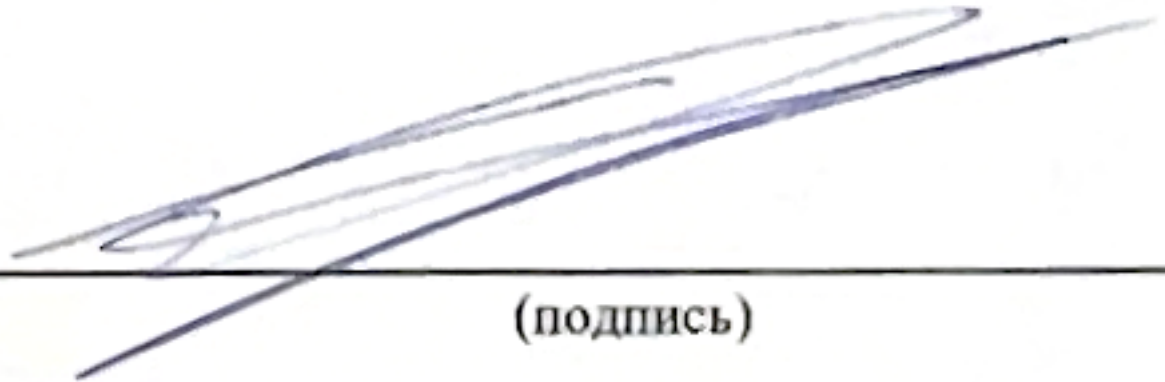
На тему «Экологическая оценка качества очистки и подготовки питьевой воды на
примере объектов “Водоканала”»

Исполнитель Акчурин Иван Александрович
(фамилия, имя, отчество)

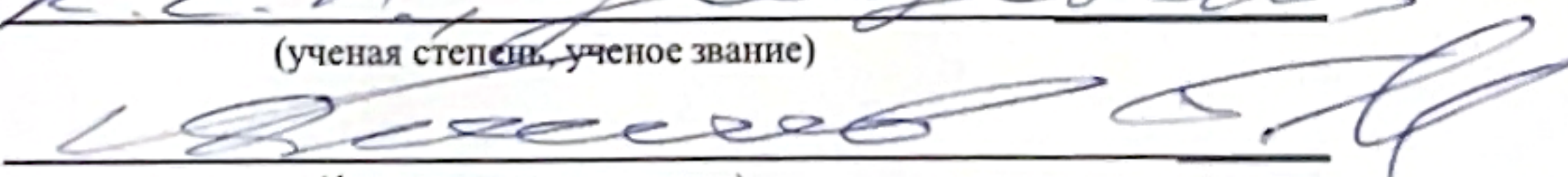
Руководитель доктор химических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

Мансуров Марат Маруфович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой 
(подпись)

К.С.Н. Профессор
(ученая степень, ученое звание)


(фамилия, имя, отчество)

«11» 06 2025 г.

Санкт-Петербург
2025

Оглавление

Введение.....	3
1. Физико-географическая характеристика объекта исследования.....	5
1.1 Геологические данные дна р. Невы	6
1.2 Источники загрязнения и антропогенная нагрузка	9
1.3 Влияние сезонных и гидрологических факторов на качество воды.....	9
2. Технологии очистки и методика водозабора на объектах «Водоканала»	11
2.1 Существующие технологии очистки воды и их экологическая безопасность	11
2.2 Описание водозаборных сооружений на реке Нева (д. Новосаратовка)	14
2.3 Требования к РЗУ	15
3. Методы экологического мониторинга качества воды	16
3.1 Физические показатели воды.....	19
3.2 Химические показатели воды	25
3.3 Микробиологические показатели воды	34
4. Анализ качества воды и оценка эффективности очистки.....	38
4.1. Результаты лабораторных исследований исходной, промежуточной и конечной воды и сравнение с нормативными требованиями	38
4.2. Выявление проблемных аспектов технологической цепочки.....	47
Заключение	51
Список использованной литературы.....	53

Введение

Питьевая вода — основа жизнедеятельности человека и устойчивого развития общества. Однако рост антропогенной нагрузки, загрязнение водных ресурсов промышленными и бытовыми отходами, а также климатические изменения ставят под угрозу доступность безопасной воды. В этом контексте эффективная очистка и подготовка питьевой воды становятся критически важными задачами. Объекты «Водоканала», как ключевые инфраструктурные элементы системы водоснабжения, играют центральную роль в обеспечении населения качественной водой. Исследование их работы позволяет не только оценить текущее состояние технологий, но и выявить пути оптимизации процессов для минимизации экологических рисков.

Актуальность темы невероятно высока, в современном мире, где климатические трансформации и антропогенная деятельность стремительно меняют экосистемы, проблема доступа к безопасной питьевой воде приобретает масштабы глобального вызова. По данным ООН, более 2 миллиардов человек лишены возможности потреблять воду [17], соответствующую базовым санитарным нормам, а рост урбанизации и промышленного производства лишь усугубляют нагрузку на водные ресурсы. В условиях, когда каждый третий житель планеты сталкивается с дефицитом чистой воды, технологии её очистки становятся не просто инженерной задачей, но вопросом выживания целых сообществ.

Особую остроту эта проблема приобретает в регионах с высокой концентрацией промышленных предприятий, устаревающей инфраструктурой водоподготовки или сезонными рисками загрязнения источников — именно такие вызовы характерны для зоны ответственности исследуемого «Водоканала». Здесь технологии очистки вынуждены балансировать между необходимостью удаления токсичных примесей, микробиологических угроз и минимизацией экологического следа самих процессов водоподготовки. При этом

ужесточение нормативов СанПиН и ГОСТ требуют от предприятий не только соблюдения текущих стандартов, но и прогнозирования будущих экологических рисков.

Исследование эффективности работы «Водоканала» в этом контексте — это не просто анализ технологической цепочки, но вклад в решение одной из ключевых задач XXI века: обеспечение права человека на чистую воду без ущерба для хрупкого равновесия окружающей среды.

Целью данной работы это провести комплексную экологическую оценку качества очистки и подготовки питьевой воды на объектах «Водоканала» для определения их соответствия современным стандартам и разработки рекомендаций по оптимизации процессов.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Проанализировать существующие технологии очистки воды, применяемые на объектах «Водоканала», и их экологическую безопасность.
2. Оценить физико-химические и микробиологические показатели воды на разных этапах очистки (исходная, промежуточная, конечная).
3. Сравнить полученные данные с действующими нормативами (СанПиН 2.1.3684-21, ГОСТ Р 51232-98).
4. Выявить ключевые проблемы в технологической цепочке (например, высокие затраты реагентов, остаточные загрязнители).
5. Разработать рекомендации по повышению эффективности очистки и снижению экологического воздействия.

1. Физико-географическая характеристика объекта исследования

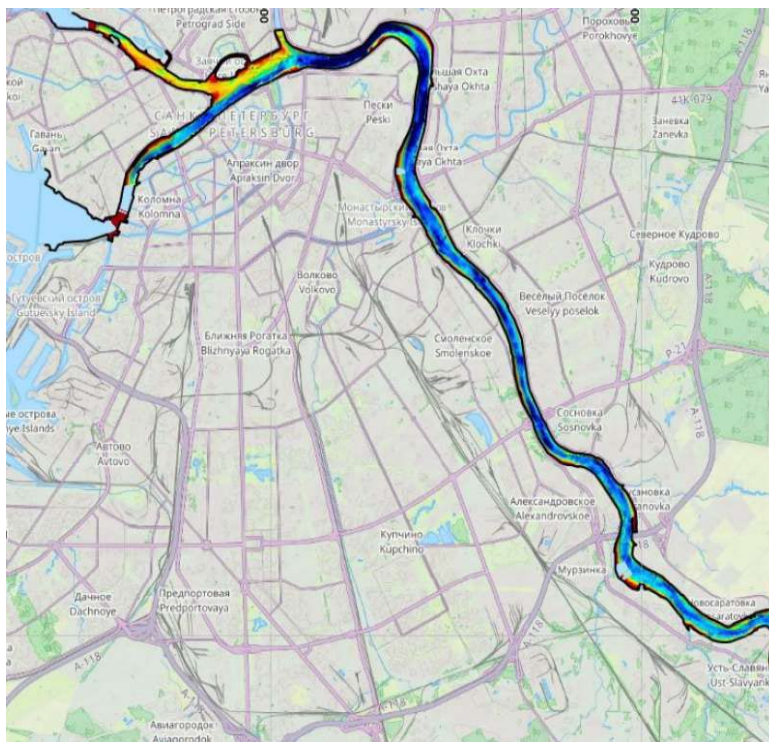


Рисунок 1.1 - Карта-схема бассейна р. Невы в черте г. Санкт-Петербург.

Нева — река в России, протекающая по территории Ленинградской области и Санкт-Петербурга, соединяющая Ладожское озеро с Невской губой Финского залива Балтийского моря.

Длина 74 км, площадь бассейна — 281 тысяча км². Нева — это единственная река, вытекающая из Ладожского озера. На берегах Невы, помимо Санкт-Петербурга, расположены ещё три города: Шлиссельбург, Кировск, Отрадное и несколько десятков других населённых пунктов. Судоходна на всём протяжении, является частью Волго-Балтийского водного пути и Беломорско-Балтийского канала.[18]

Нева — широкая и глубокая река. Средняя ширина 400—600 м. Самые широкие места (1000—1250 м) — в дельте у Невских ворот Морского торгового порта в так называемой воронке рукава Большая Нева, у окончания Ивановских порогов при впадении реки Тосны и у острова Фабричный вблизи истока. Средняя глубина 8—11 м; наибольшая глубина (24 м) — выше Литейного моста

в Смольнинской излучине у правого берега, напротив Арсенальной улицы, наименьшая (4,0—4,5 м) — в Ивановских порогах.

Водность реки колеблется от года к году незначительно. В течение года максимальные расходы приходятся на июнь, а минимальные - на начало зимы, когда замерзает Шлиссельбургская губа. В результате появления ледяного покрова и скопления шуги перед истоком резко сокращается площадь живого сечения русла и снижается его пропускная способность, а расход стока уменьшается до 60% [10].

Уровенный режим участка р. Невы от Усть-Ижоры до Большеохтинского моста в начальный период замерзания реки (ноябрь-декабрь, реже - январь) определяется во многих случаях зажорно-заторными явлениями, сопровождающимися резким подъемом уровней выше по течению от скопления шуго-ледяной массы. При зажорах льда на этом участке в осеннее - зимний период могут наблюдаться максимальные за год уровни. Отметка зажорных уровней повторяемостью 1 раз в 100 и 1 раз в 20 лет в створе Северной водопроводной станции равны, соответственно, 4,36 и 3,80 м БС.

Экстремально низкие уровни воды р. Невы на участке насосной станции I-ого подъема СВС наиболее часто наблюдаются в зимний период при возникновении зажоро-заторной перемычки выше по течению.

1.1 Геологические данные дна р. Невы

В результате анализа мощности и состава грунтов по инженерно-геологических изысканий [19] установлено, что строение дна исключительно однородно.

В табл. 1.1 представлены данные о гранулометрическом составе грунтов, слагающих русло р. Невы в районе Северной водопроводной станции — суглинков и супесей. Физико-механические свойства грунтов приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.1 Гранулометрический состав грунтов ложа р. Невы в районе насосной станции I-ого подъема СВС

Наименование грунта	Диаметр частиц в мм, содержание в %									
	>2,0	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,002	<0,002
Суглинок	3	1	1	5	40		45			15
Супесь	—	—	—	5	25	30	12	16	7	5

Таблица 1.2 Физико-механические свойства грунтов ложа р. Невы в районе насосной станции I-ого подъема СВС

Наименование грунта		Геолог. индекс	Коэффициент пористости	Удельное сцепл., кПа
Суглинок пылеватый с гравием и галькой	тугопластичный	QIIIgl	0,40	25
	полутвёрдый	QIIIgl	0,35	45
	мягкопластичный	QIIIgl	0,50	10
Супесь пылеватая, с гравием и галькой, тугопластичная		QIIIgl	0,35	9,0

Вскрытые с поверхности дна р. Невы коренные породы представлены суглинками и супесями. При этом отсутствие аллювия поверх кровли связных грунтов свидетельствует о том, что здесь происходит вялотекущий размыв русла.

По данным изученных скважин на акватории проектирования, пробуренных в 1958 и 1972 гг., не выявлено отложений техногенного или аллювиального происхождения [3].

В то же время, не вызывает сомнения, что после сооружения берегоукрепления насосной станции I-ого подъема СВС, прокладки газопровода выше по течению и других искусственных воздействий на русло р. Невы в районе насосной станции I-ого подъема СВС, коренные суглинистые грунты местами могут быть перекрыты слоем техногенных отложений. Наличие такого слоя не изменит общей направленности руслового процесса на участке

реконструируемого водозабора насосной станции I-ого подъема СВС – отсутствие выраженной аккумуляции и медленный размыв.

Следует отметить, что на участке проектирования периодически происходит транспорт влекомых наносов в грядовом или бесструктурном виде, и тогда верхний слой донных отложений представлен аллювиальными отложениями небольшой мощности (например, песками).

- Правый берег р. Невы в районе реконструируемого водозабора Северной водопроводной станции сложен коренными ледниковыми отложениями (glQIII), представленными, главным образом, суглинком тугопластичным, полутвёрдым и мягкопластичным.

- Слаборазмываемые грунты, слагающие дно р. Невы у водозабора Северной водопроводной станции, значительно сдерживают темп деформации.

- Периодически по руслу р. Невы, сложенному коренными суглинистыми грунтами, перемещаются влекомые наносы в форме дефицитных гряд или в бесструктурном виде.

Озерная система, питающая р. Неву, представляет собой огромный отстойник, в связи с чем концентрация взвешенных минеральных веществ в невиской воде очень мала и составляет в среднем 7,0 мг/л. Сброс большого количества хозяйственно-бытовых вод, обогащенных органическими веществами, и «цветение» ладожской воды приводит к тому, что в штилевые периоды на Ладоге доля органических веществ во взвеси может составить 70 % и более. Однако, эти периоды характеризуются незначительной мутностью порядка 2-5 мг/л.

Объем жидкого стока притоков р. Невы не превышает 2 % объема речных вод, но вклад невиских притоков в формирование мутности воды весьма существен: в весеннее половодье и в летне-осенние паводки на притоках р. Невы мутность невиской воды на акватории проектирования способна возрасти до 60 мг/л и более.

1.2 Источники загрязнения и антропогенная нагрузка

В 2024 году в районе деревни Новосаратовка, расположенной на правом берегу реки Невы в Санкт-Петербурге, зафиксированы экологические проблемы, связанные с загрязнением водоёма. Основным источником загрязнения является деятельность племенного завода «Приневское», занимающегося разведением племенного скота. Жители близлежащих районов, таких как Рыбацкое, сообщают о неприятных запахах, исходящих от этого предприятия, особенно в тёплое время года. Это свидетельствует о возможном сбросе органических отходов в реку, что может ухудшать качество воды и негативно сказываться на экосистеме Невы [20].

Кроме того, в том же году в акватории Невы в районе Отрадного были зафиксированы случаи загрязнения нефтепродуктами, вызванные деятельностью ликвидированного мачтопропиточного завода. Нефтепродукты, вымываемые из почвы и поступающие в реку, образуют радужные разводы на воде, что указывает на наличие загрязняющих веществ в водоёме. Хотя это загрязнение непосредственно не связано с районом Новосаратовки, оно подчёркивает общие проблемы с качеством воды в реке Нева [21].

1.3 Влияние сезонных и гидрологических факторов на качество воды

В зимний период температура воды в Неве опускается до 0 °С, что приводит к образованию льда толщиной 0,3–0,4 м в черте Санкт-Петербурга и до 0,5–0,6 м за его пределами. Это ограничивает обмен веществ между водной массой и атмосферой, замедляя биологические процессы и препятствуя самоочищению водоёма [4].

Весной, при вскрытии реки, происходит резкое повышение температуры воды, что активизирует микроорганизмы и усиливает процессы разложения

органических веществ, что, в свою очередь, может ухудшить качество воды. Сезонные колебания температуры и ледовый режим реки имеют прямое влияние на концентрацию загрязняющих веществ и биологическую активность в реке [12].

Гидрологические особенности реки также играют важную роль в изменении её качества. Среднегодовой расход воды в Неве составляет около 2500 м³/с, и наибольший сток наблюдается в летние месяцы (с июля по сентябрь), составляя 29,4 % от годового объёма, что связано с таянием снега и дождями [13]. Зимой, с декабря по март, сток составляет лишь 24,4 % от годового объёма. Эти сезонные колебания влияют на концентрацию загрязняющих веществ: в периоды повышенного стока наблюдается увеличение содержания взвешенных частиц и органических веществ, что ухудшает качество воды.

Также, в периоды интенсивных осадков и паводков увеличивается поступление загрязняющих веществ с поверхностным стоком, включая нефтепродукты, тяжёлые металлы и органические соединения. Это приводит к повышению мутности воды и снижению её прозрачности, что может негативно сказываться на экосистеме реки и качестве водоснабжения [12].

Эти сезонные и гидрологические факторы имеют большое значение для управления водными ресурсами и разработки стратегий охраны водоёмов. Учет таких факторов необходим для повышения эффективности работы водозаборных и очистных сооружений и защиты водных экосистем от ухудшения состояния, связанного с изменениями сезонного режима реки и водного баланса.

2. Технологии очистки и методика водозабора на объектах «Водоканала»

2.1 Существующие технологии очистки воды и их экологическая безопасность

Технологический процесс водоподготовки включает следующие этапы:

- Аммонирование воды (с использованием сульфата аммония).
- Обеззараживание воды (с использованием гипохлорита натрия).
- Коагуляция загрязняющих веществ (с применением сульфата алюминия).
- Флокуляция (с использованием катионного флокулянта).
- Фильтрация через песчаную загрузку на контактных осветлителях (одноступенчатая схема).
- Отстаивание и фильтрация через песчаную загрузку на скорых фильтрах (двухступенчатая схема).
- Обеззараживание ультрафиолетом.

С 2007 года Водоканал Санкт-Петербурга использует двухступенчатую технологию комплексного обеззараживания питьевой воды, включающую гипохлорит натрия (химический метод) и ультрафиолетовую обработку воды (физический метод). Эта комбинация обеспечивает эпидемиологическую безопасность водоснабжения и соответствие микробиологическим стандартам [22].

Петербург стал первым мегаполисом, где вся питьевая вода обрабатывается ультрафиолетом и полностью отказался от использования жидкого хлора. Церемония вывоза последнего баллона с хлором прошла 26 июня 2009 года на Северной водопроводной станции. Вместо хлора был использован безопасный гипохлорит натрия, который производится на Южной (с 2006 года) и Северной (с 2008 года) водопроводных станциях [22].

Водоканал также использует систему дозирования порошкообразного активированного угля (ПАУ), что позволяет удалять запахи и нефтепродукты. Очистные сооружения СВС работают по одноступенчатой схеме очистки.

Процесс производства питьевой воды включает:

- Забор воды из р. Невы и грубую механическую очистку на вращающихся сетках.
- Подъем воды насосами 1-го подъема.
- Сорбционную очистку с использованием ПАУ.
- Транспортировку воды на очистные сооружения.
- Технологическую обработку и обеззараживание воды с применением реагентов: аммонирование, обеззараживание гипохлоритом натрия, коагуляция и фильтрация.
- Сбор и хранение очищенной воды в резервуарах.
- Вторичное обеззараживание УФ-излучением перед подачей воды в распределительную сеть.

Для обработки воды используются сульфат аммония (38%), низкоконцентрированный гипохлорит натрия (0,8%) и коагулянт — сернокислый алюминий. Внедрена двухступенчатая система обеззараживания воды с гипохлоритом натрия и аммонизацией сульфатом аммония для улучшения органолептических показателей и предотвращения хлорфенольных запахов. УФ-обеззараживание очищенной воды обеспечивает эпидемиологическую безопасность. Все контактные осветлители работают в режиме коагуляции и промываются чистой водой [22].

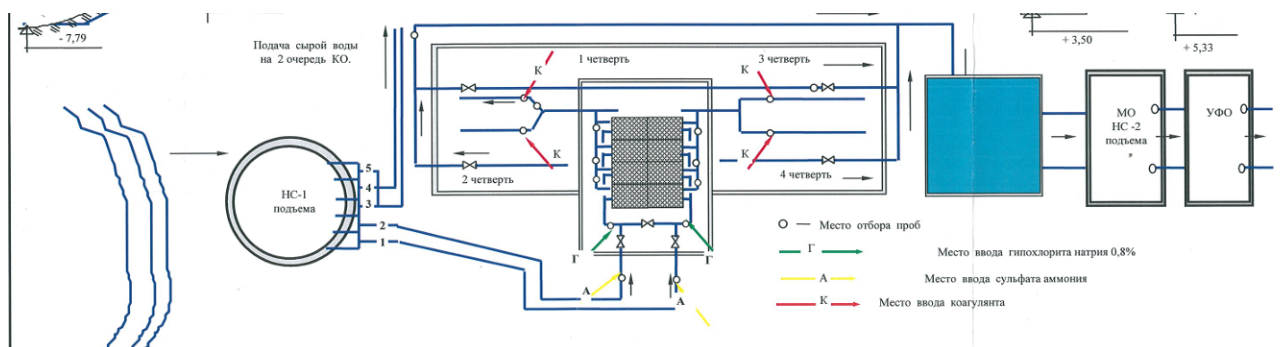


Рисунок 2.1 – схема технологического процесса очистки воды на СВС.

Современные технологии очистки питьевой воды, применяемые на объектах водоснабжения, таких как Северная водопроводная станция Санкт-Петербурга, значительно повышают качество водных ресурсов, однако они также связаны с рядом экологических рисков. Одними из наиболее острых проблем являются сброс промывных вод, содержащих остаточные загрязнители, и существенный забор воды из водоемов, что влечет за собой значительное воздействие на экосистему водных источников.

Сброс промывных вод

В процессе очистки воды на водопроводных станциях, таких как Северная водопроводная станция, используется большое количество химических реагентов, включая коагулянты, флокулянты и дезинфектанты, предназначенные для удаления органических и неорганических загрязнителей. Промывные воды, образующиеся в результате этих процессов, содержат остаточные количества этих веществ, что является значительным источником загрязнения водоемов. Сброс таких вод в реки, такие как Оккервиль, может существенно ухудшить качество водных ресурсов.

Забор воды из водоисточника

Еще одной экологической проблемой, связанной с очисткой воды, является массовый забор воды из водоемов, что оказывает значительное влияние на экосистему водоисточников. Например, Северная водопроводная станция забирает порядка 650 000 м³ воды в сутки из реки Невы [15]. Такое большое количество забора воды приводит к изменению гидрологического режима реки, что влияет на условия жизни водных организмов и нарушает экосистему водоема.

Забор столь значительных объемов воды приводит к снижению уровня воды в реке, что влечет за собой ухудшение условий для рыб и водных растений.

Вода, забираемая для очистки, зачастую имеет невысокое качество, что требует значительных затрат на её дальнейшую обработку. Кроме того, изменения в гидрологическом цикле могут вызвать засухи или затопления в различных частях реки, что негативно сказывается на прилегающих экосистемах и водных угодьях.

Экологические последствия

Забор таких больших объемов воды из водоемов приводит к снижению водообеспеченности региона и может оказывать долгосрочное воздействие на экосистему. Это также требует тщательного контроля за состоянием водоемов и разработки более эффективных методов управления водными ресурсами. Необходимо учитывать, что в условиях изменяющегося климата, когда уровень воды в реках может варьироваться, нагрузка на водоисточники возрастает, что делает забор воды ещё более уязвимым для экосистемных изменений.

2.2 Описание водозаборных сооружений на реке Нева (д. Новосаратовка)

На насосной станции I-ого подъема СВС установлены оголовки раструбного типа прямоугольного сечения [16].

Количество оголовков – 18 шт. Каждый оголовок снабжен двумя решетками с индукционным обогревом против обмерзания.

Габариты (решеток): ширина 2,5м, высота 2м.

Оголовки заглублены от меженного уровня на 5 м

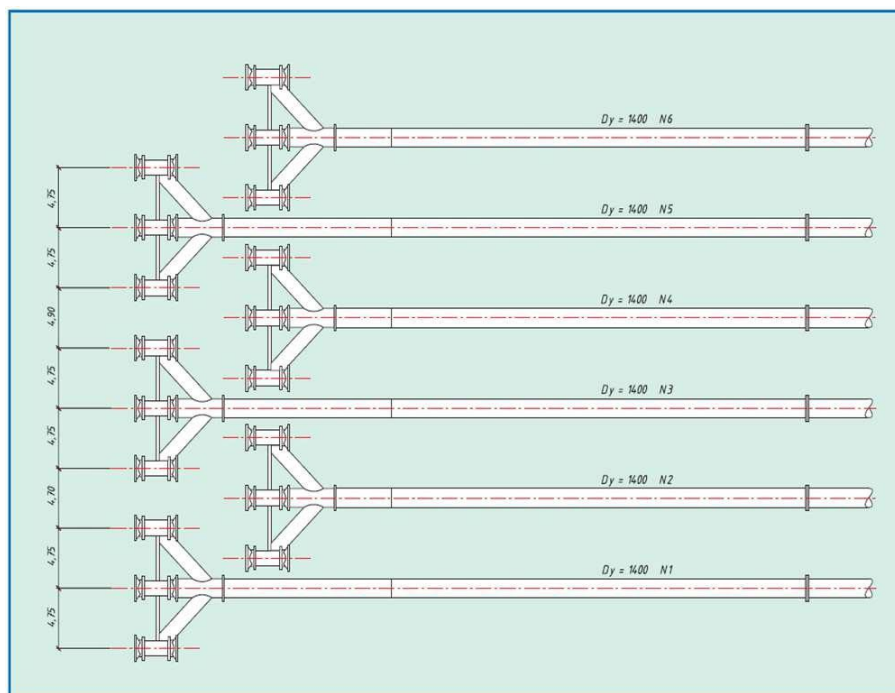


Рисунок 2.2 – Схема расположения оголовков СВС

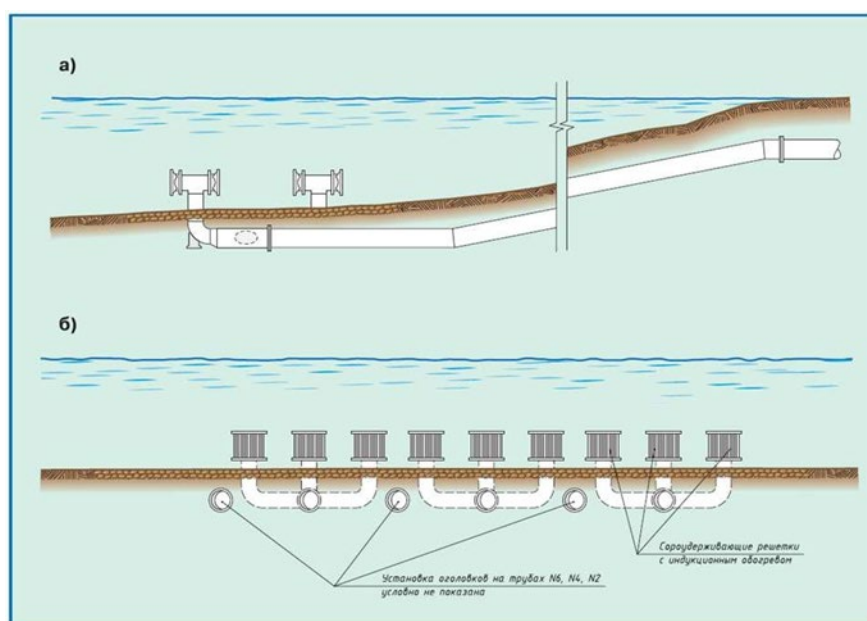


Рисунок 2.3 – Схема оголовков раструбного типа водозабора насосной станции I-ого подъема СВС

2.3 Требования к РЗУ

Основные требования к РЗУ

Требования по предоставлению согласования Северо-западного территориального управления Росрыболовства и соответствующие разъяснения определены ст.50 Федерального закона «О рыболовстве и сохранении водных

биологических ресурсов» №166 ФЗ от 20.12.2004, Постановлением Правительства РФ от 28.07.2008 №569 «Об утверждении Правил согласования размещения хозяйственных и иных объектов, а также внедрения новых технологических процессов, влияющих на состояние водных биологических ресурсов и среду их обитания» и Постановлением Правительства РФ от 06.10.2008 №743 «Об утверждении Правил установления рыбоохранных зон».

3. Методы экологического мониторинга качества воды

Экологический мониторинг водных объектов включает различные методы, позволяющие оценить состояние водоемов, их загрязнение и биоразнообразие [9]. Основные методы можно разделить на несколько групп:

1. Физико-химические методы

Химический анализ: Измерения концентрации загрязняющих веществ (пестициды, тяжелые металлы, нефтепродукты и др.), а также параметров воды (рН, электрическая проводимость, растворенный кислород). Физические параметры: Измерения температуры, мутности, прозрачности воды, уровня и скорости течения.

2. Биологические методы

Биомониторинг: Исследование биоценозов для оценки состояния экосистем, включая изучение видов рыб, водных беспозвоночных и растительности.

Оценка биоразнообразия: Определение видового состава и его изменений с течением времени, включая редкие и исчезающие виды.

3. Гидрологические методы

Мониторинг уровней воды и стока: Установка станций для измерения уровня воды и расчета стока для анализа влияния различных факторов на водные ресурсы. Гидродинамический анализ: Изучение течений и их характеристик, что помогает понять транспортировку загрязняющих веществ.

4. Дистанционные методы

Спутниковая съемка и аэросъемка: для оценки состояния водоемов, выявления загрязнений, анализа береговой линии и экосистем.

ГИС-технологии: Географические информационные системы для моделирования изменений и управления водными ресурсами.

5. Интегрированные методы

Системы экологического мониторинга: Комбинирование различных методов для комплексного анализа состояния водных объектов, включая автоматизированные системы контроля (АКС).

6. Социоэкономические методы

Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС): Анализ воздействия антропогенных факторов на экосистемы водоемов.

Для нашей работы актуальными являются физико-химический и биологический методы оценки экологического состояния воды.

Качество питьевой воды зависит от множества факторов, включая экологические показатели на местах забора воды, состояние систем забора и очистки, эффективность технологий водоподготовки, безопасность материалов труб и их эксплуатационное состояние [9].

Прогноз качества водоема следует учитывать по всем нормируемым показателям, включая деструкцию веществ, образование промежуточных продуктов, самоочищение, нейтрализующие способности водоема и другие гидрохимические и физико-химические процессы.

Риски для качества водоемов могут возникать из-за техногенных и антропогенных факторов, таких как паводки, техногенные катастрофы, природные катаклизмы, накопление токсикантов [5]. Безвредность питьевой воды определяется ее соответствием нормативам, регулирующим содержание вредных химических веществ как естественного, так и антропогенного происхождения. Эти вещества могут поступать как в процессе водообработки, так и из внешних источников загрязнения.

Органолептические свойства воды, такие как мутность, цветность, запах и привкус, зависят от присутствующих в ней химических веществ и загрязнений. Эти показатели важны для обеспечения физиологических процессов и эпидемиологической безопасности. Вода может приобретать неприятные запахи и повышенную цветность из-за растворенной органики, что влияет на здоровье.

Бактериологические показатели регулируют содержание патогенных микроорганизмов, попадающих в водоемы со сточными водами, дождевыми стоками и животными. Бактерии бывают патогенными (болезнетворными) и сапрофитными (участвующими в разложении органических веществ) [9].

Выбор контролируемых показателей водоснабжения основывается на принципах безвредности питьевой воды, требующих соблюдения санитарных норм и оценки рисков для здоровья. Основные показатели включают вещества, часто встречающиеся в природных водах, а также химические соединения, образующиеся в процессе обработки воды и поступающие в водоемы в результате хозяйственной деятельности человека.

Качество водоемов зависит от их исходного состояния, которое определяет необходимые условия для водоподготовки. Особенности водоемов и загрязнителей региона играют ключевую роль в установлении причин экообусловленных заболеваний. Для объективной оценки водоема важно учитывать санитарное состояние водосборной территории и результаты лабораторных анализов, а также наличие источников загрязнения — сельскохозяйственных, промышленных и бытовых стоков, способы удаления отходов и другие факторы.

Также необходимо учитывать влияние сточных вод, пестицидов и агрохимикатов на качество воды. При выборе приоритетных региональных показателей следует учитывать как первичные источники загрязнения, так и вторичные, включая процессы самоочищения водоемов. Важным аспектом является возможность изменения качества питьевой воды в разводящих сетях.

Хлорирование воды остаётся распространённым методом обеззараживания, однако оно приводит к образованию токсичных и опасных для здоровья соединений, включая галогенсодержащие вещества с канцерогенными и мутагенными свойствами. Поэтому перечень контролируемых веществ должен включать как обязательные показатели, так и вещества, отражающие специфику региона и индивидуальные требования для каждой системы водоснабжения [5].

Контроль качества воды в Санкт-Петербурге осуществляется через лабораторный аналитический контроль, который выполняется как независимыми сторонними организациями, так и силами химико-бактериологических лабораторий водопроводных станций. Также используется автоматизированный контроль с помощью приборов и систем непрерывного мониторинга. Аналитический контроль охватывает все этапы водоподготовки, включая источники водоснабжения, технологические этапы очистки, выходы питьевой воды и распределительные сети [5].

3.1 Физические показатели воды

Основные физические свойства воды:

1. Органолептические

1.1. Запах

Запах – показатель качества воды, определяемый органолептическим методом с помощью обоняния на основании шкалы силы запаха. На запах воды оказывают влияние состав растворенных веществ, температура, значения pH и целый ряд прочих факторов. Интенсивность запаха воды определяют экспертным путем при 20 °C и 60 °C и измеряют в баллах, согласно требованиям. Следует также указывать группу запаха по следующей классификации: По характеру запахи делят на две группы:

- естественного происхождения (живущие и отмершие в воде организмы, загнивающие растительные остатки и др.)

- искусственного происхождения (примеси промышленных и сельскохозяйственных сточных вод).

Запахи второй группы (искусственного происхождения) называют по определяющим запах веществам: хлорный, бензиновый и т.д [2].

Запахи естественного происхождения

Таблица 3.1 Запахи естественного происхождения

Обозначение запаха	Характер запаха	Примерный род запаха
А	Ароматический	огуречный, цветочный
Б	Болотный	илистый, тинистый
Г	Гнилостный	фекальный, сточный
Д	Древесный	запах мокрой щепы, древесной коры
З	Землистый	прелый, запах свежевспаханной земли, глинистый
П	Плесневый	затхлый, застойный
Р	Рыбный	запах рыбьего жира, рыбный
С	Сероводородный	запах тухлых яиц
Т	Травянистый	запах скошенной травы, сена
Н	Неопределенный	Запахи естественного происхождения, не попадающие под предыдущие определения

Интенсивность запаха по ГОСТ Р 57164-2016 оценивают в шестибальной шкале.

Таблица 3.2 Характеристика вод по интенсивности запаха

Интенсивность запаха	Характер появления запаха	Оценка интенсивности, балл
Нет	Запах не ощущаются	0
Очень слабая	Запах не ощущаются потребителем, но обнаруживаются при лабораторном исследовании	1
Слабая	Запах замечаются потребителем, если обратить на это его внимание	2
Заметная	Запах легко замечаются и вызывают неодобрительные отзывы о воде	3
Отчетливая	Запах обращают на себя внимание и заставляют воздержаться от питья	4
Очень сильная	Запах настолько сильные, что делают воду непригодной к употреблению	5

1.2. Вкус

Вкус воды определяется растворенными в ней веществами органического и неорганического происхождения и различается по характеру и интенсивности. Различают четыре основных вида вкуса: соленый, кислый, сладкий, горький. Все другие виды вкусовых ощущений называются привкусами (щелочной, металлический, вяжущий и т.п.). Интенсивность вкуса и привкуса определяют при 20 °С и оценивают по пятибалльной системе, согласно ГОСТ Р 57164-2016 [2].

Качественную характеристику оттенков вкусовых ощущений – привкуса – выражают описательно: хлорный, рыбный, горьковатый и так далее. Наиболее распространенный соленый вкус воды чаще всего обусловлен растворенным в воде хлоридом натрия, горький – сульфатом магния, кислый – избытком свободного диоксида углерода и т.д. Порог вкусового восприятия соленых растворов характеризуется такими концентрациями (в дистиллированной воде), мг/л: NaCl – 165; CaCl₂ – 470; MgCl₂ – 135; MnCl₂ – 1,8; FeCl₂ – 0,35; MgSO₄ – 250; CaSO₄ – 70; MnSO₄ – 15,7; FeSO₄ – 1,6; NaHCO₃ – 450.

Таблица 3.3 Характеристика вод по интенсивности вкуса

Интенсивность вкуса и привкуса	Характер появления вкуса и привкуса	Оценка интенсивности, балл
Нет	Вкус и привкус не ощущаются	0
Очень слабая	Вкус и привкус не ощущаются потребителем, но обнаруживаются при лабораторном исследовании	1
Слабая	Вкус и привкус замечаются потребителем, если обратить на это его внимание	2
Заметная	Вкус и привкус легко замечаются и вызывают неодобрительные отзывы о воде	3
Отчетливая	Вкус и привкус обращают на себя внимание и заставляют воздержаться от питья	4
Очень сильная	Вкус и привкус настолько сильные, что делают воду непригодной к употреблению	5

1.3. Цвет

Цветность воды — это показатель качества, в основном определяемый наличием гуминовых и фульвовых кислот, а также соединений железа (Fe^{3+}). Содержание этих веществ зависит от геологических особенностей водоносных горизонтов и от присутствия торфяников в бассейне реки. Наибольшую цветность имеют воды рек и озер, расположенных в торфяных болотах и заболоченных лесах, наименьшую — в степных зонах. Зимой содержание органических веществ в воде минимально, в то время как весной и летом, в период паводков и цветения водорослей, оно увеличивается. Подземные воды обычно имеют меньшую цветность, чем поверхностные.

Высокая цветность является тревожным индикатором загрязнения воды. Важно выявить её причину, так как методы удаления органических соединений и железа различаются. Наличие органики не только ухудшает органолептические характеристики воды, вызывая неприятные запахи, но также снижает

концентрацию растворенного кислорода, что может негативно повлиять на процессы водоочистки. Некоторые органические соединения, вступая в химические реакции (например, с хлором), могут образовывать токсичные и опасные для здоровья вещества [2].

Цветность измеряется в градусах платино-кобальтовой шкалы и колеблется от единиц до тысяч градусов – Таблица 3.4.

Таблица 3.4 Характеристика вод по цветности

Цветность	Единица измерения, градус платино-кобальтовой шкалы
Очень малая	до 25
Малая	более 25 до 50
Средняя	более 50 до 80
Высокая	более 80 до 120
Очень высокая	более 120

1.4. Мутность

Мутность воды — это показатель, определяемый наличием в воде нерастворенных и коллоидных веществ как неорганического, так и органического происхождения. Основными причинами мутности поверхностных вод являются илы, кремниевая кислота, гидроокиси железа и алюминия, органические коллоиды, микроорганизмы и планктон. В грунтовых водах мутность обычно вызвана нерастворенными минеральными веществами, а также органическими веществами, попадающими в грунт со сточными водами.

В России мутность измеряется фотометрическим методом путем сравнения со стандартными суспензиями. Результаты выражаются в мг/дм³, если используется стандартная суспензия каолина, или в ЕМ/дм³ (единицы мутности) при использовании формазинной суспензии. Единицы мутности, измеренные формазинном, называются ЕМФ (Единица Мутности по Формазину) или FTU (Formazine Turbidity Unit) в западной терминологии, где 1 FTU = 1 ЕМФ = 1 ЕМ/дм³ [2].

Мера прозрачности – высота столба воды, при которой можно наблюдать опускаемую в воду белую пластину определенных размеров (диск Секки) или различать на белой бумаге шрифт определенного размера и типа (шрифт Снеллена). Результаты выражаются в сантиметрах.

Таблица 3.5 Характеристика вод по прозрачности (мутности)

Прозрачность	Единица измерения, см
Прозрачная	Более 30
Маломутная	Более 25 до 30
Средней мутности	Более 20 до 25
Мутная	Более 10 до 20
Очень мутная	Менее 10

2. Физические

2.1. Температура

В России существует ГОСТ 2874-82 "Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством" и СанПиН 2.1.3684-21 "Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения" [1]. Согласно этим нормативам, температура холодной воды в квартире должна быть от 7 до 12 градусов Цельсия. Измеряется температура датчиками температуры – термометрами электронными.

На практике, температура воды может отклоняться от нормативов по различным причинам:

- Сезонные колебания.
- Удаленность от источника подачи воды.
- Износ коммунальных сетей.

3.2 Химические показатели воды

Существующие традиционные технологии подготовки воды, включающие процессы прехлорирования, обработки коагулянтами и флокулянтами, осветления, фильтрования на скорых песчаных фильтрах и заключительного обеззараживания воды хлором или озоном, не могут обеспечить достаточно глубокую очистку воды от антропогенных соединений. Использование традиционных технологий, позволяет удалять из воды лишь те виды химических загрязнений, которые находятся в виде взвеси, эмульсий, коллоидов, или которые способны сравнительно быстро переходить в нерастворимую форму при обработке воды реагентами, либо сорбироваться на хлопьевидном осадке, образующемся при коагуляции.

Современная тенденция совершенствования систем и сооружений водоснабжения сводится к адаптированию классических схем обработки воды без ущерба показателей качества за счет ввода новых сооружений или реагентов.

Водородный показатель (pH)

Водородный показатель (pH) характеризует концентрацию свободных ионов водорода в воде и выражает степень её кислотности или щелочности. Он определяется соотношением ионов водорода (H^+) и гидроксильных ионов (OH^-), которые образуются при диссоциации воды.

Если в воде концентрация ионов водорода ($pH > 7$) ниже, чем ионов OH^- , то вода будет щелочной, а при повышенном содержании ионов H^+ ($pH < 7$) — кислой. В идеальной чистой дистиллированной воде эти ионы уравнивают друг друга, и pH равен 7, что означает нейтральную реакцию. Однако при растворении различных химических веществ в воде этот баланс может быть нарушен, что приведет к изменению pH [1].

Для определения pH используется колориметрический или электрометрический методы. Вода с низким pH (кислой реакцией) отличается

высокой коррозионной активностью, в то время как вода с высокой реакцией (щелочная) склонна к вспениванию.

В зависимости от уровня pH воды можно условно разделить на несколько групп:

Таблица 3.6 Характеристика вод по pH

Тип воды	Величина pH
сильнокислые воды	< 3
кислые воды	3 - 5
слабокислые воды	5 - 6,5
нейтральные воды	6,5 - 7,5
слабощелочные воды	7,5 - 8,5
щелочные воды	8,5 - 9,5
сильнощелочные воды	> 9,5

Контроль уровня pH критичен на всех этапах водоочистки, поскольку отклонение pH в ту или иную сторону может не только повлиять на запах, привкус и внешний вид воды, но и снизить эффективность очистки. Оптимальный pH зависит от состава воды, материалов в системе распределения и методов водообработки, применяемых в конкретной системе.

Как правило, pH воды находится в пределах, не оказывающих значительного воздействия на потребительские качества. Например, в речных водах pH обычно составляет 6.5–8.5, в атмосферных осадках — 4.6–6.1, в болотах — 5.5–6.0, а в морских водах — 7.9–8.3. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) не устанавливает рекомендуемого уровня pH с медицинской точки зрения. Однако известно, что при низком pH вода становится более коррозионной, а при pH выше 11 — приобретает мыльный вкус и неприятный запах, а также может вызвать раздражение глаз и кожи.

Для питьевой и хозяйственно-бытовой воды оптимальным считается уровень pH в диапазоне от 6 до 9.

Кислотность

Кислотность воды определяется содержанием веществ, которые могут реагировать с гидроксид-ионами (OH^-). Она количественно выражается эквивалентным количеством гидроксида, необходимого для нейтрализации кислотности.

В большинстве природных вод кислотность зависит от содержания свободного диоксида углерода. Естественная кислотность также создается гуминовыми и другими органическими кислотами, а также катионами слабых оснований, такими как ионы аммония, железа, алюминия и органических оснований. В таких водах pH обычно не опускается ниже 4.5.

В загрязненных водоемах, где присутствуют сильные кислоты или их соли, кислотность может быть значительно выше, что приводит к снижению pH ниже 4.5. Такая часть кислотности, которая вызывает понижение pH до значений ниже 4.5, называется свободной [1].

Жесткость

Общая жесткость воды определяется наличием растворённых в ней солей кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}), а также других катионов, таких как ионы железа, алюминия, марганца (Mn^{2+}) и тяжёлых металлов (стронций Sr^{2+} , барий Ba^{2+}). Однако содержание кальция и магния в природных водах значительно превышает содержание всех других ионов, поэтому общую жесткость принято считать суммой концентраций ионов кальция и магния. Она делится на карбонатную (временную) и некарбонатную (постоянную) жесткость.

Карбонатная жесткость обусловлена наличием в воде гидрокарбонатов кальция и магния, которые осаждаются при кипячении воды в результате обратимых реакций гидролиза. Некарбонатная жесткость вызвана растворёнными хлоридами, сульфатами, силикатами, нитратами и фосфатами этих металлов, которые не оседают при нагревании воды.

В России жесткость воды выражается в мг-экв/дм³ или моль/л [1].

Таблица 3.7 Характеристика вод по значению общей жесткости

Группа вод	Еденица измерения, ммоль/л
Очень мягкая	до 1,5
Мягкая	1,5 - 4,0
Средней жесткости	4,0 - 8,0
Жесткая	8,0 - 12,0
Очень жесткая	более 12

Щелочность

Щелочность воды — это суммарная концентрация анионов слабых кислот и гидроксильных ионов, выраженная в ммоль/л, которые вступают в реакцию с соляной или серной кислотами при лабораторных исследованиях, образуя хлористые или сернокислые соли щелочных и щелочноземельных металлов.

Выделяют несколько форм щелочности воды, в зависимости от анионов, которые её обуславливают: бикарбонатную (гидрокарбонатную), карбонатную, гидратную, фосфатную, силикатную и гуматную. Щелочность природных вод с рН обычно менее 8.35 определяется присутствием бикарбонатов, карбонатов, а иногда и гуматов. Щелочность других форм возникает в процессе обработки воды.

Поскольку в природных водах щелочность, как правило, определяется бикарбонатами, общую щелочность таких вод обычно принимают равной карбонатной жесткости [5].

Железо, марганец

В природных водах железо и марганец присутствуют преимущественно в виде углеводов, сульфатов, хлоридов, гумусовых соединений и иногда фосфатов. Ионы железа и марганца оказывают негативное воздействие на многие технологические процессы, особенно в целлюлозной и текстильной промышленности, а также ухудшают органолептические свойства воды.

Кроме того, содержание железа и марганца в воде может способствовать развитию марганцевых бактерий и железобактерий, чьи колонии могут стать причиной зарастания водопроводных сетей [5].

Хлориды

Хлориды – присутствие хлоридов в воде может быть вызвано вымыванием залежей хлоридов или же они могут появиться в воде вследствие присутствия стоков. Чаще всего хлориды в поверхностных водах выступают в виде NaCl , CaCl_2 и MgCl_2 , причем, всегда в виде растворенных соединений.

Соединения азота

Соединения азота (аммиак, нитриты, нитраты) – возникают, главным образом, из белковых соединений, которые попадают в воду вместе со сточными водами. Аммиак, присутствующий в воде, может быть органического или неорганического происхождения. В случае органического происхождения наблюдается повышенная окисляемость.

Нитриты возникают, главным образом, вследствие окисления аммиака в воде, могут также проникать в нее вместе с дождевой водой вследствие редукции нитратов в почве.

Нитраты — это продукт биохимического окисления аммиака и нитритов или же они могут быть выщелочены из почвы.

Сероводород

Сероводород придает воде неприятный запах, приводит к развитию серобактерий и вызывает коррозию. Сероводород, преимущественно присутствующий в подземных водах, может быть минерального, органического или биологического происхождения, причем в виде растворенного газа или сульфидов. То, под каким видом проявляется сероводород, зависит от реакции pH:

- О при $\text{pH} < 5$ имеет вид H_2S ;
- О при $\text{pH} > 7$ выступает в виде иона HS^- ;
- О при $\text{pH} = 5:7$ может быть в виде, как H_2S , так и HS^- . воде.

Они поступают в воду вследствие вымывания осадочных горных пород, выщелачивания почвы и иногда вследствие окисления сульфидов и серы – продуктов распада белка из сточных вод. Большое содержание сульфатов в воде может быть причиной болезней пищеварительного тракта, а также такая вода может вызывать коррозию бетона и железобетонных конструкций.

Двуокись углерода

Двуокись углерода (CO_2) – в зависимости от реакции pH воды, может быть, в следующих видах:

Сероводород придает воде неприятный запах, приводит к развитию серобактерий и вызывает коррозию. Сероводород, преимущественно присутствующий в подземных водах, может быть минерального, органического или биологического происхождения, причем в виде растворенного газа или сульфидов. То, под каким видом проявляется сероводород, зависит от реакции pH :

- при $\text{pH} < 5$ имеет вид H_2S ;
- при $\text{pH} > 7$ выступает в виде иона HS^- ;
- при $\text{pH} = 5:7$ может быть в виде, как H_2S , так и HS^- .

Сульфаты

Сульфаты (SO_4^{2-}) – наряду с хлоридами являются наиболее распространенными видами загрязнения в воде. Они поступают в воду вследствие вымывания осадочных горных пород, выщелачивания почвы и иногда вследствие окисления сульфидов и серы – продуктов распада белка из сточных вод. Большое содержание сульфатов в воде может быть причиной

болезней пищеварительного тракта, а также такая вода может вызывать коррозию бетона и железобетонных конструкций.

Двуокись углерода

Двуокись углерода (CO_2) – в зависимости от реакции pH воды может быть в следующих видах:

- $\text{pH} < 4,0$ – в основном, как газ CO_2 ;
- $\text{pH} = 8,4$ – в основном в виде иона бикарбоната HCO_3^- ;
- $\text{pH} > 10,5$ – в основном в виде иона карбоната CO_3^{2-} .

Агрессивная двуокись углерода – это часть свободной двуокиси углерода (CO_2), которая необходима для удержания растворенных в воде углеводов от разложения. Она очень активна и вызывает коррозию металлов. Кроме того, приводит к растворению карбоната кальция CaCO_3 в строительных растворах или бетоне и поэтому ее необходимо удалять из воды, предназначенной для строительных целей. При оценке агрессивности воды, наряду с агрессивной концентрацией двуокиси углерода, следует также учитывать содержание солей в воде (солесодержание). Вода с одинаковым содержанием агрессивного CO_2 , тем более агрессивна, чем выше ее солесодержание.

Растворенный кислород

Поступление кислорода в водоем происходит путем растворения его при контакте с воздухом (абсорбции), а также в результате фотосинтеза водными растениями. Содержание растворенного кислорода зависит от температуры, атмосферного давления, степени турбулизации воды, минерализации воды и др. В поверхностных водах содержание растворенного кислорода может колебаться от 0 до 14 мг/л. В артезианской воде кислород практически отсутствует.

Относительное содержание кислорода в воде, выраженное в процентах его нормального содержания, и называется степенью насыщения кислородом. Этот

параметр зависит от температуры воды, атмосферного давления и уровня минерализации.

Окисляемость

Окисляемость воды — это показатель, который характеризует содержание в воде органических и минеральных веществ, окисляемых сильными окислителями. Она измеряется в миллиграммах кислорода (мгO_2), необходимого для окисления этих веществ, содержащихся в 1 дм^3 воды.

Существуют разные виды окисляемости воды, такие как перманганатная, бихроматная, иодатная и цериевая. Перманганатная окисляемость используется для природных малозагрязнённых вод, в то время как для более загрязнённых вод применяют бихроматную окисляемость (также известную как ХПК — химическое потребление кислорода). Бихроматный и иодатный методы достигают наибольшей степени окисления.

Окисляемость является важным комплексным параметром, позволяющим оценить общее загрязнение воды органическими веществами. Состав органических веществ в воде может изменяться под влиянием биохимических процессов в водоёмах, а также из-за поступления загрязняющих веществ с поверхностными и подземными водами, атмосферными осадками и сточными водами.

Окисляемость природных вод варьируется от долей миллиграммов до десятков миллиграммов кислорода на литр воды. Поверхностные воды, как правило, имеют более высокую окисляемость и более высокие концентрации органических веществ по сравнению с подземными водами. Например, горные реки и озера характеризуются окисляемостью $2\text{--}3 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$, реки равнинные — $5\text{--}12 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$, а реки с болотным питанием могут иметь десятки миллиграммов на 1 дм^3 . Подземные воды, как правило, имеют окисляемость от сотых до десятых долей миллиграмма $\text{O}_2/\text{дм}^3$, за исключением вод в районах

нефтегазовых месторождений, торфяников и заболоченных местностей, а также подземных вод на севере России.

Электропроводность

Электропроводность – это численное выражение способности водного раствора проводить электрический ток. Электрическая проводимость природной воды зависит в основном от степени минерализации (концентрации растворенных минеральных солей) и температуры. Благодаря этой зависимости, по величине электропроводности можно с определенной степенью погрешности судить о минерализации воды.

Электропроводность не нормируется, но величина 2000 мкС/см примерно соответствует общей минерализации в 1000 мг/л.

3.3 Микробиологические показатели воды

Микробиологические показатели

Показатель	Природная вода ¹	Вода бассейнов ²	Нецентр. водоснаб. ³	Центр. водоснаб. ⁴	Бутилированная вода ⁵
Общая микробная численность (ОМЧ), КОЕ / 1 мл	–	–	не более 100	не более 50	не более 20
Общие колиформные бактерии (ОКБ), КОЕ / 100 мл	не более 1000 (питьевая вода) не более 500 (рекреационное назначение)	не более 1	отсутствие в 100 мл	отсутствие в 100 мл	отсутствие в 300 мл
Термо-толерантные колиформные бактерии (ТКБ), КОЕ / 100 мл	не более 100	отсутствие в 100 мл	отсутствие в 100 мл	отсутствие в 100 мл	отсутствие в 300 мл
Колифаги, БОЕ / 100 мл	не более 10	отсутствие в 100 мл	отсутствие в 100 мл	отсутствие в 100 мл	отсутствие в 1000 мл
Споры сульфит-редукторов	–	–	–	отсутствие в 20 мл	отсутствие в 20 мл
Возбудители кишечных инфекций	отсутствие в 1000 мл	отсутствие в 1000 мл	отсутствие в 1000 мл	отсутствие в 1000 мл	отсутствие в 1000 мл
Синегнойная палочка (<i>Pseudomonas aeruginosa</i>)	–	отсутствие в 100 мл	–	–	отсутствие в 1000 мл
Золотистый стафилококк (<i>Staphylococcus aureus</i>)	–	отсутствие в 100 мл	–	–	–

Рисунок 3.2 – Требования к микробиологическим показателям качества воды в Российской Федерации в зависимости от хозяйственной деятельности человека

Ссылки к нормативным документам:

1. СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод»
2. СанПиН 2.1.2.1188-03 «Плавательные бассейны. Гигиенические требования к устройству, эксплуатации и качеству воды. Контроль качества»

3. СанПиН 2.1.4.1175-02 «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников»

4. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества»

5. СанПиН 2.1.4.1116-02 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества»

Оценка качества по микробиологическим показателям сводится к определению в объекте доли микроорганизмов, связанных с человеком и его продуктами жизнедеятельности.

Прежде всего, определим единицы измерения количества микробов. КОЕ/мл (колониеобразующие единицы) – количество жизнеспособных микробных клеток в миллилитре. Если производится оценка вирусных частиц в среде, то указывается БОЕ/мл (бляшкообразующие единицы) – количество вирусных частиц в миллилитре.

Общие микробиологические показатели качества воды

Общая микробная численность (ОМЧ) бактерий показывает наличие бактерий, которые могут быть опасны для здоровья человека. Высокая ОМЧ является индикатором загрязнения органическими соединениями, такими как фекалии. В ОМЧ входят как опасные бактерии (например, высокопатогенные штаммы *Escherichia coli*), так и безвредные (*Bacillus subtilis*) [5].

Общие колиформные бактерии (ОКБ) — это бактерии семейства *Enterobacteriaceae* (например, *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*), которые могут быть нормальной микрофлорой желудка. Превышение ОКБ может свидетельствовать о фекальном загрязнении, связанном с деятельностью человека, хотя встречаются и свободноживущие микробы [5].

Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ) являются более достоверным индикатором свежего фекального загрязнения. В основном в этой группе обнаруживается *Escherichia coli* [5].

Колифаги — вирусы, поражающие *Escherichia coli*. Они служат более чувствительным методом определения фекального загрязнения воды, особенно для давнего загрязнения. Этот показатель также используется для оценки эффективности дезинфекции [5].

Споры сульфитредукторов (например, *Clostridium botulinum*, *Clostridium perfringens*, *Clostridium tetani*) являются индикатором фекального загрязнения. Эти бактерии могут вызывать пищевые отравления и смертельные заболевания, такие как ботулизм. Споры клостридий обладают высокой устойчивостью и служат маркером эффективности водоподготовки [5].

Синегнойная палочка (*Pseudomonas aeruginosa*) может вызвать серьёзные заболевания при ослабленном иммунитете. Присутствие в воде является основанием для полной замены воды в бассейне или ванной, так как эта бактерия устойчива к нагреванию и дезинфицирующим средствам [5].

Золотистый стафилококк (*Staphylococcus aureus*) — бактерия, которая может вызвать заболевания при ослаблении иммунитета. Присутствие её в воде свидетельствует о её небезопасности для здоровья [5].

Возбудители кишечных инфекций, такие как *Escherichia coli*, *Shigella*, *Vibrio* и *Salmonella*, могут быть источниками заболеваний. Определение этих бактерий требует специальной квалификации микробиолога [5].

Энтерококки (*Enterococcus spp.*) являются индикатором фекального загрязнения, особенно в морских и солёных водах, и могут вызвать внутрибольничные инфекции [5].

Условно-патогенные дрожжи и микромицеты (например, *Candida albicans* и *Cryptococcus neoformans*) могут вызывать грибковые заболевания, такие как молочница и аллергические реакции. Плесневые грибы, такие как *Penicillium* и *Aspergillus*, могут производить канцерогенные микотоксины [5].

Сине-зелёные водоросли (цианобактерии) могут выделять цианотоксины, которые вызывают поражение печени, нервной системы и почек у млекопитающих. Эти токсины опасны для человека и животных, особенно в стоячих водоемах [5].

Микробиологические показатели воды помогают:

1. Оценить общее загрязнение воды микроорганизмами (ОМЧ).
2. Выявить фекальное загрязнение (ОКБ, ТКБ, колифаги, сульфитредукторы, энтерококки).
3. Определить наличие энтеровирусов (колифаги).
4. Идентифицировать опасные микроорганизмы (золотистый стафилококк, синегнойная палочка, условно-патогенные дрожжи, энтерококки, сульфитредукторы).
5. Выявить продуцентов микотоксинов и цианотоксинов (грибы и цианобактерии).
6. Определить наличие патогенных микроорганизмов (*Shigella*, *Vibrio*, *Salmonella*) [5].

4. Анализ качества воды и оценка эффективности очистки

В работе представлены результаты химико-лабораторного анализа, полученных в ходе прохождения производственной практики на Северной водопроводной станции ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» в июне 2024 года. Данные отбирались после процесса осветления и обесцвечивания воды на фильтровальных сооружениях Блока контактных осветлителей (БКО), на выходе в городскую распределительную сеть (Сеть), а также на водозаборе насосной станции 1 подъема (р. Нева).

4.1. Результаты лабораторных исследований исходной, промежуточной и конечной воды и сравнение с нормативными требованиями

Физико-химические показатели

Мутность и цветность

Таблица 4.1 – значения мутности, полученные при лабораторном анализе воды [15]

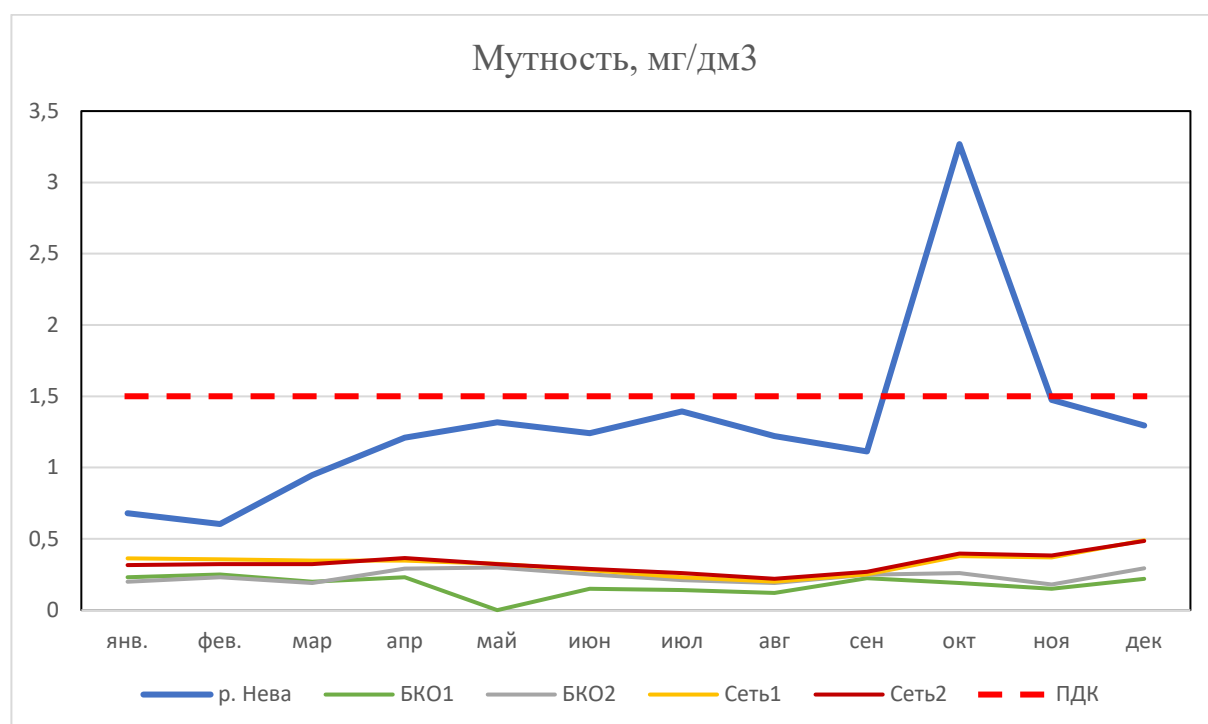


Рисунок 4.1 – значения мутности, полученные при лабораторном анализе воды, отображенные графическим образом

Таблица 4.2 – значения цветности, полученные при лабораторном анализе воды [15]

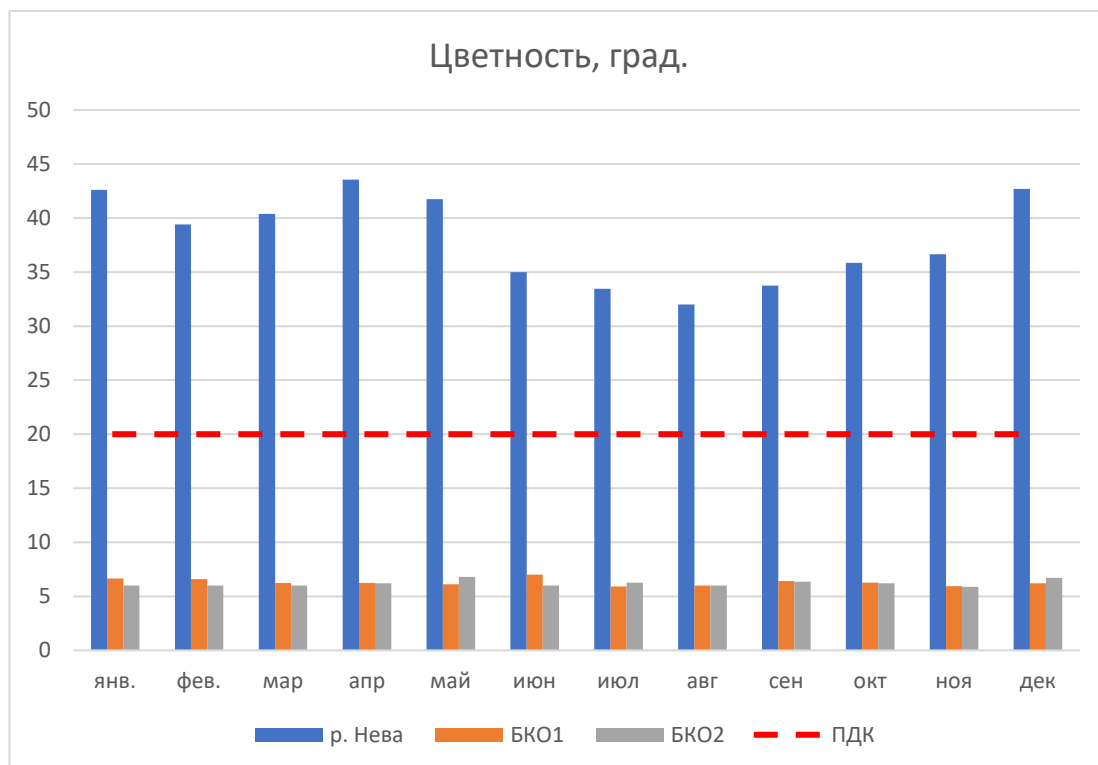


Рисунок 4.2 – значения мутности, полученные при лабораторном анализе воды, отображенные графическим образом

Мутность в реке Нева колеблется от 0,68 до 3,27 мг/дм³, с максимальными значениями осенью, что связано с паводками и увеличением взвешенных частиц (ил, песок, органика). После очистки мутность снижается до 0,12–0,49 мг/дм³, что значительно ниже предельно допустимого значения (ПДК) 1,5 мг/дм³. Цветность исходной воды достигает 32–44°, превышая норматив (20°), из-за содержания гуминовых веществ и фитопланктона. Очистка снижает цветность до 6–7°, что свидетельствует об эффективном удалении органики и взвесей. Сезонные колебания цветности требуют постоянного мониторинга для своевременной корректировки технологических режимов [1].

Щелочность и pH

Таблица 4.3 – значения щелочности полученные при лабораторном анализе воды [15]

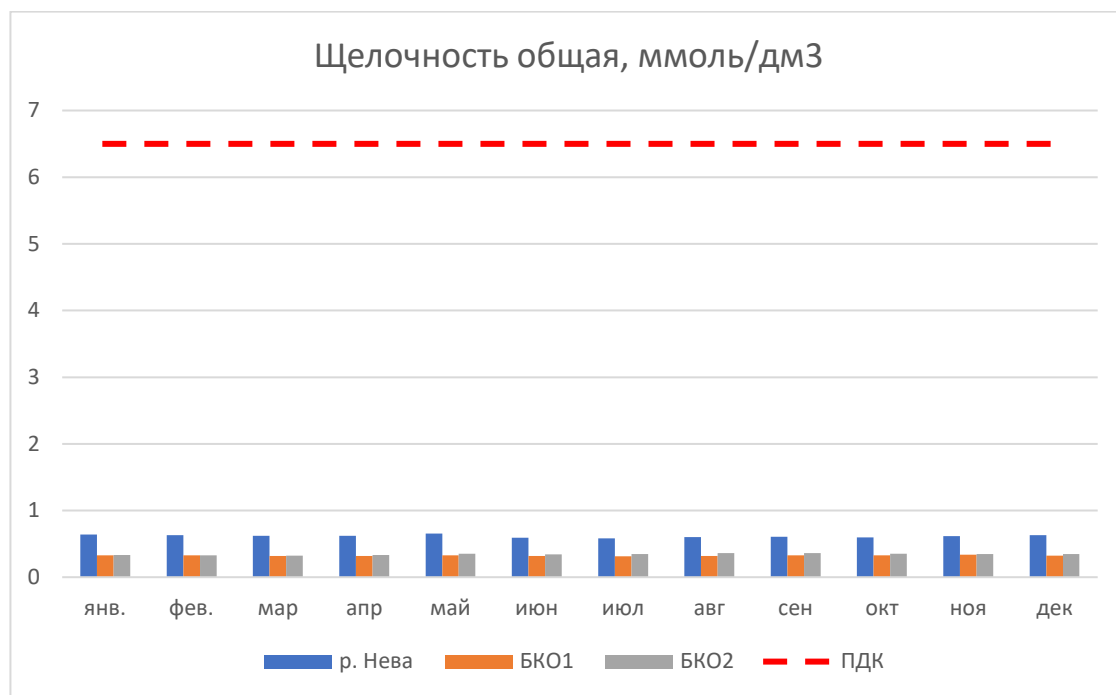


Рисунок 4.3 – значения щелочности, полученные при лабораторном анализе воды, отображенные графическим образом

Таблица 4.4 – значения pH полученные при лабораторном анализе воды [15]

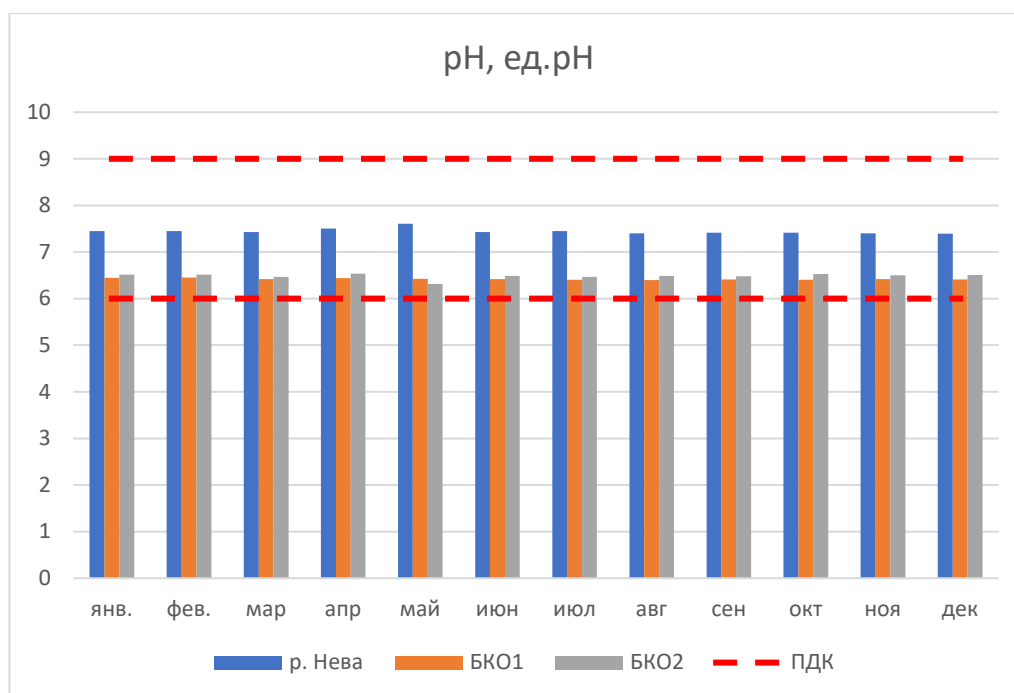


Рисунок 4.4 – значения pH, полученные при лабораторном анализе воды, отображенные графическим образом

Щелочность воды в реке составляет 0,58–0,66 ммоль/л, что значительно ниже ПДК (6,5 ммоль/л), обусловлено природным составом карбонатных пород. После очистки щелочность уменьшается до 0,31–0,36 ммоль/л, что способствует предотвращению коррозии трубопроводов и поддержанию стабильного pH. Значения pH исходной воды варьируют от 7,40 до 7,61, что соответствует слабощелочной среде и находится в пределах нормативов (6,0–9,0). После очистки pH снижается до 6,40–6,53, что оптимально для работы коагулянтов и предотвращения повреждений оборудования [1].

Перманганатная окисляемость

Таблица 4.5 – значения окисляемости полученные при лабораторном анализе воды [15]

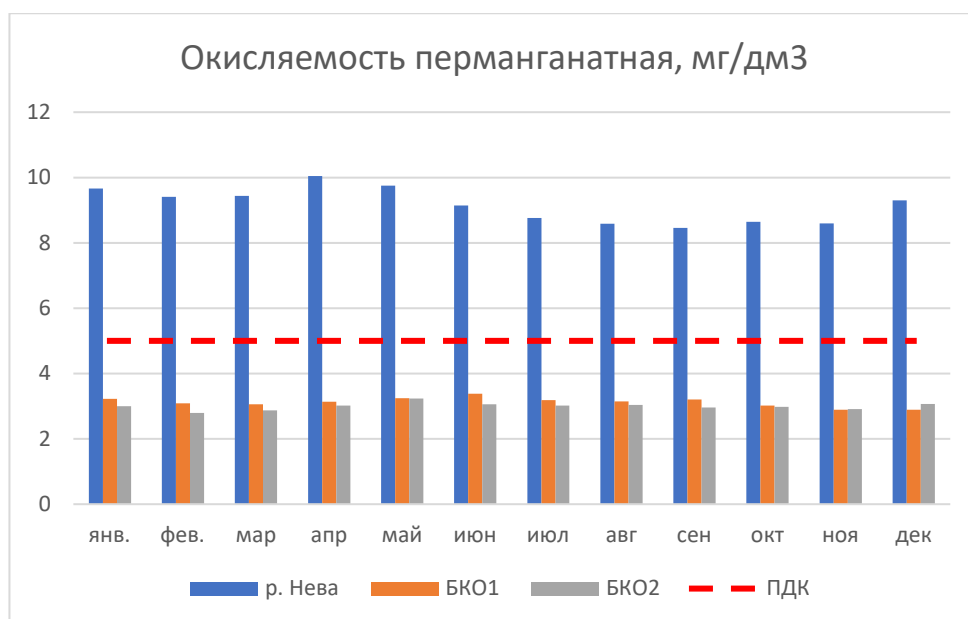


Рисунок 4.5 – значения окисляемости, полученные при лабораторном анализе воды, отображенные графическим образом

Показатель перманганатной окисляемости в исходной воде превышает норму (8,5–10,0 мгО₂/дм³ при ПДК 5 мгО₂/дм³), что связано с высоким содержанием органических веществ. После очистки этот показатель снижается до 2,8–3,4 мгО₂/дм³, что свидетельствует о высокой эффективности окислительных процессов. Зимой наблюдается повышение окисляемости из-за замедления биохимических реакций, что требует усиленного контроля в холодный период [1].

Остаточный хлор

Таблица 4.6 – значения остаточного хлора, полученные при лабораторном анализе воды [15]

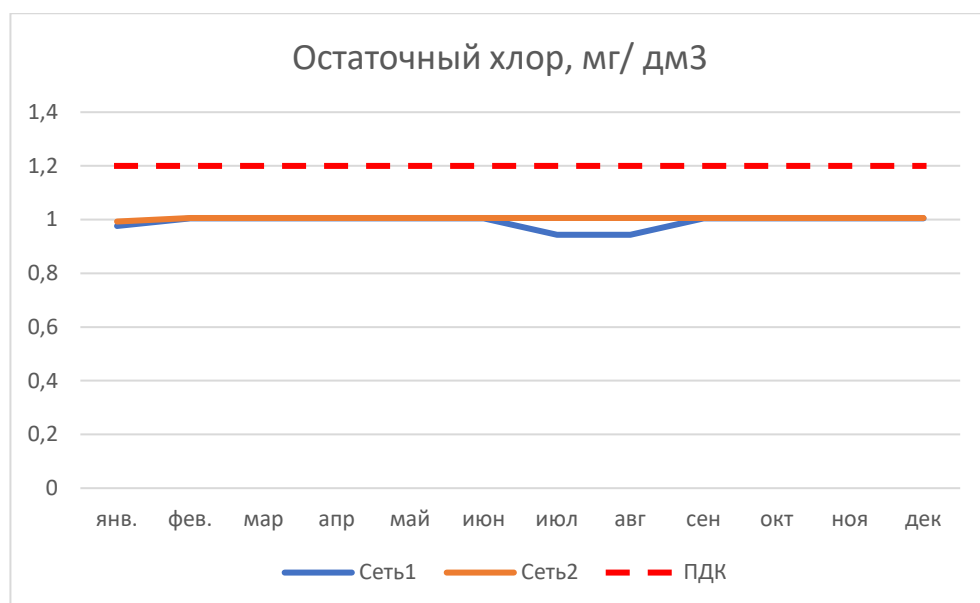


Рисунок 4.6 – значения остаточного хлора, полученные при лабораторном анализе воды, отображенные графическим образом

Концентрация свободного остаточного хлора в распределительной сети поддерживается на уровне 0,3–0,5 мг/л, что соответствует нормам СанПиН и обеспечивает надёжную дезинфекцию без ухудшения органолептических свойств воды. Связанный остаточный хлор находится в пределах 0,8–1,2 мг/л. Избыточное содержание хлора может привести к появлению неприятного запаха и вкуса, поэтому важно поддерживать оптимальный баланс [1].

Металлы и коагулянты

Таблица 4.7 – значения алюминия, полученные при лабораторном анализе воды [15]

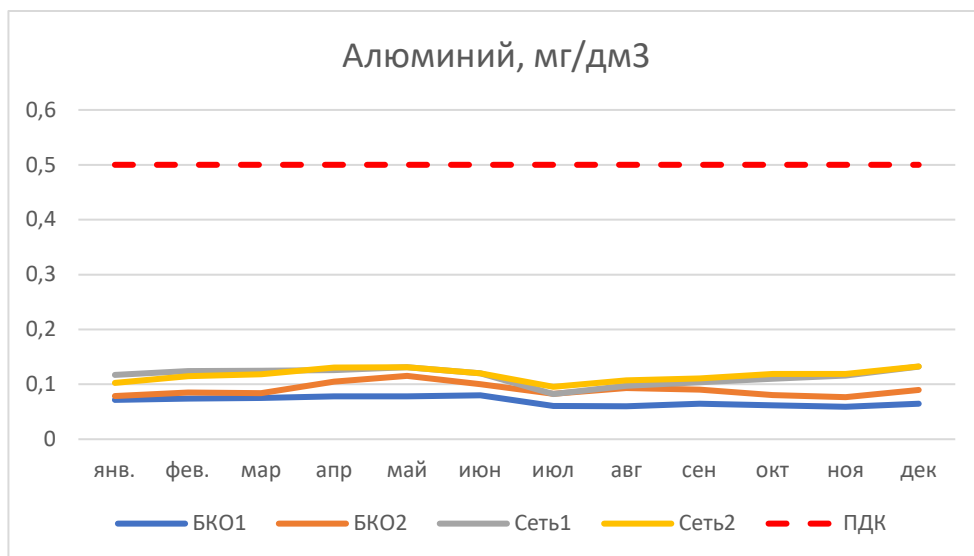


Рисунок 4.7 – значения алюминия, полученные при лабораторном анализе воды, отображенные графическим образом

Концентрация алюминия после очистки составляет 0,06–0,13 мг/дм³, что ниже ПДК (0,5 мг/дм³). Основные источники - природные почвы и коррозия труб. В целях предотвращения вторичного загрязнения рекомендуется регулярный контроль состояния трубопроводов. Аналогично, содержание железа и марганца контролируется в пределах нормативов (железо до 0,3 мг/л, марганец до 0,1 мг/л) [1].

Аммиак и ионы аммония

Таблица 4.8 – значения аммиака и ионов аммония, полученные при лабораторном анализе воды [15]

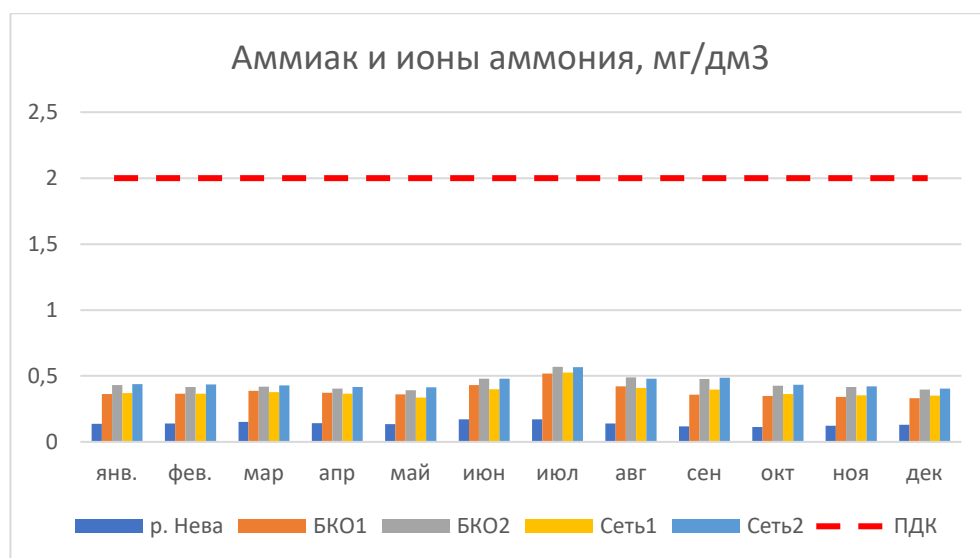


Рисунок 4.8 – значения аммиака и ионов аммония, полученные при лабораторном анализе воды, отображенные графическим образом

Уровень аммиака в реке Нева варьирует от 0,11 до 0,17 мг/дм³, что значительно ниже ПДК (2 мг/дм³). После очистки наблюдается некоторое повышение (до 0,57 мг/дм³), связанное с образованием хлораминов при взаимодействии с гипохлоритом. Летний максимум объясняется активным разложением органики и требует усиленного контроля в тёплый сезон [1].

Нефтепродукты

Таблица 4.9 – значения частиц нефтепродуктов, полученные при лабораторном анализе воды [15]

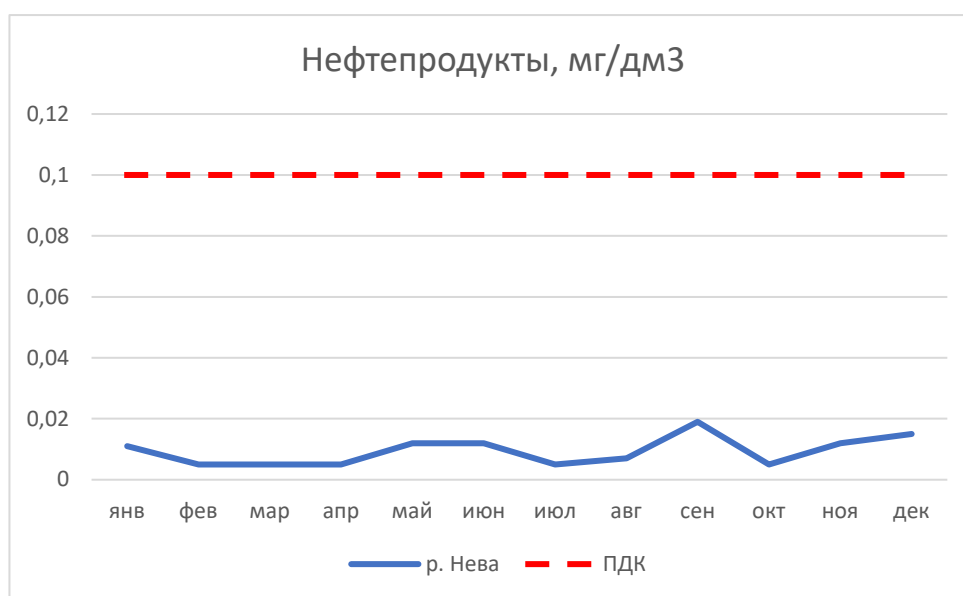


Рисунок 4.9 – значения частиц нефтепродуктов, полученные при лабораторном анализе воды, отображенные графическим образом

Содержание нефтепродуктов в воде находится в пределах 0,005–0,019 мг/дм³, что значительно ниже ПДК (0,1 мг/дм³). Основные источники загрязнения - судоходство и атмосферные осадки. Пик в сентябре может быть связан с сезонной активностью транспорта и разливами, однако общий уровень загрязнения не представляет угрозы экологии [1].

Микробиологические показатели

Общее микробное число (ОМЧ)

Таблица 4.10 – значения ОМЧ, полученные при лабораторном анализе воды [15]

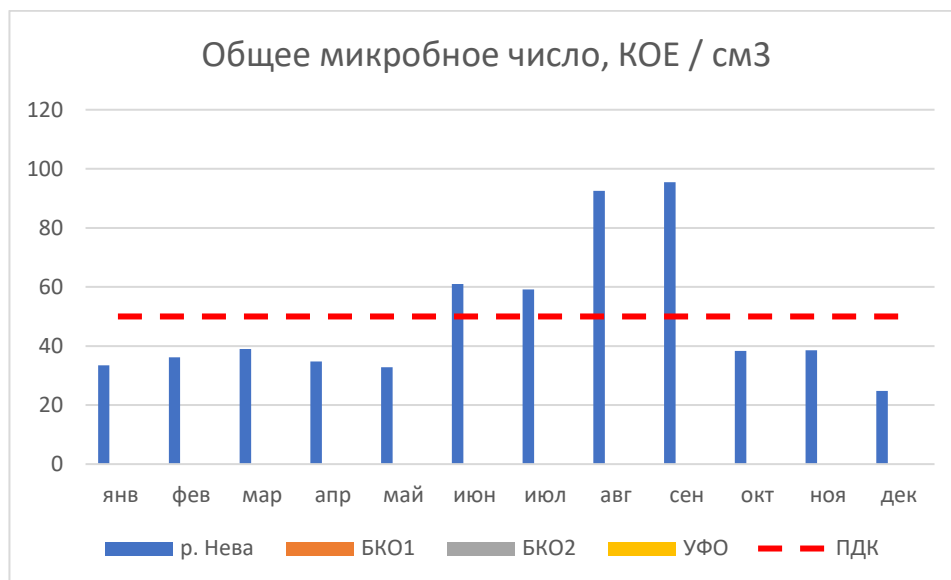


Рисунок 4.10 – значения ОМЧ, полученные при лабораторном анализе воды, отображенные графическим образом

В исходной воде наблюдаются значения от 25 до 96 КОЕ/см³, что превышает норматив (50 КОЕ/см³) в летний период, обусловлено тёплой температурой и повышенным содержанием органики. После очистки и дезинфекции (хлорирование, УФ-обработка) показатель снижается до 0 КОЕ/см³, что свидетельствует о высокой эффективности обеззараживания. Летние пики требуют усиленного дозирования дезинфектантов [1].

Колиформные бактерии

Таблица 4.11 – значения ОКБ, полученные при лабораторном анализе воды [15]

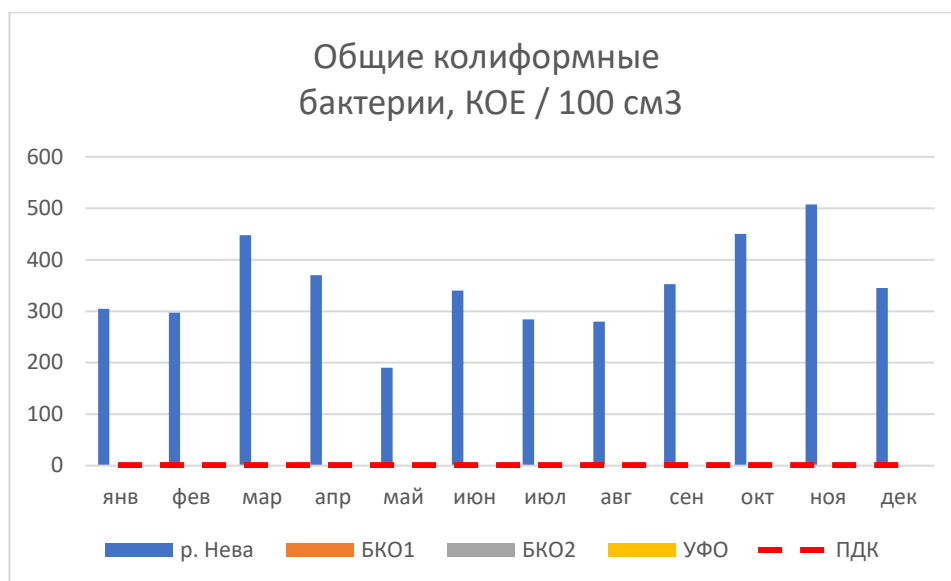


Рисунок 4.11 – значения ОКБ, полученные при лабораторном анализе воды, отображенные графическим образом

Уровень колиформных бактерий в реке достигает 190–508 КОЕ/100 см³, значительно превышая норматив (1 КОЕ/100 см³), что связано с фекальными загрязнениями. После очистки показатель снижается до 0 КОЕ/100 см³. Максимальные концентрации фиксируются в ноябре, что связано с ухудшением самоочищения реки в холодный период. Постоянный мониторинг исходной воды необходим для предотвращения санитарных рисков [1].

Прочие микробиологические показатели

Отсутствие гельминтов, спор клостридий, цист лямблий и условно патогенных микроорганизмов подтверждает санитарную безопасность очищенной воды. СанПиН 2.1.3684-21 требует нулевых значений этих показателей для питьевой воды [1].

4.2. Выявление проблемных аспектов технологической цепочки

Остаточные загрязнители в питьевой воде

Северная водопроводная станция (СВС) является одним из ключевых объектов водоснабжения Санкт-Петербурга, обеспечивая очистку воды из реки Невы. Несмотря на высокие стандарты очистки, в распределительную сеть иногда поступают остаточные загрязнители. Это связано с особенностями источника водоснабжения и технологическими ограничениями.

Согласно данным ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», содержание железа в распределительной сети города иногда превышает нормативы, особенно в удалённых районах. Это явление обусловлено внутренней коррозией стальных трубопроводов, а также особенностями химического состава воды из Невы. Для борьбы с этим применяются различные методы, включая стабилизационную обработку воды.

Превышение действующих нормативов по содержанию железа в питьевой воде представляет собой основную проблему, связанную с качеством услуг, предоставляемых ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга». Среди всех зарегистрированных в 2010 году в Санкт-Петербурге несоответствий показателей качества воды действующим нормативным значениям, превышение норматива содержания железа в водопроводной воде города составляют 98,2%. Вторичное загрязнение водопроводной воды соединениями железа происходит вследствие внутренней коррозии стальных трубопроводов. Содержание железа в воде, подаваемой в городскую распределительную сеть водопроводными станциями города, не превышает 0,1 мг/дм³. Максимальные концентрации железа регистрируются в точках зон водоснабжения, наиболее удалённых от водопроводных станций. Такими зонами, в частности, являются города Сестрорецк и Петродворец, снабжаемые водой, подаваемой Северной водопроводной станцией [24].

Электрохимическая коррозия материала труб вызвана присутствием

кислорода в воде и низкими показателями щелочности, жесткости и индекса насыщения карбонатом кальция воды реки Невы, которая является основным источником водоснабжения города. Концентрация ионов кальция и магния в невской воде не подвержена значительным колебаниям и составляет 8–12 и 2–3 мг/л соответственно. Индекс Ланжелье для невской воды является отрицательной величиной, составляя –2 при температуре 0°C, –1,7 при 14°C и –1,6 при 20°C [24].

Для устранения этой проблемы ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» внедряет технологию нейтрализации коррозионной агрессивности воды, основанную на введении в обрабатываемую воду хлорида кальция и карбоната натрия. Эта технология стабилизационной обработки воды уже внедрена на Сестрорецкой и Центральной водопроводных станциях Санкт-Петербурга [24].

Высокие затраты реагентов

Процесс очистки воды на СВС включает использование различных химических реагентов, таких как коагулянты, флокулянты и дезинфектанты. Однако применение большого количества реагентов может приводить к повышению эксплуатационных затрат и увеличению образования осадков, что требует дополнительных ресурсов для их утилизации.

Для оптимизации использования реагентов и снижения затрат, ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» внедряет современные технологии и проводит регулярные исследования эффективности применяемых методов очистки.

Сброс промывной воды с СВС в р. Оккервиль

На Северной водопроводной станции промывная вода из блока контактных

осветлителей сбрасывается напрямую в р. Оккервиль, на настоящее время без очистки. Стоит отметить, что регулярно р. Оккервиль часто попадает в газетные заголовки о превышении тех или иных показателей, связанных с деятельностью Водоканала.

Журналисты еще в 2012 году писали: “Что касается превышения концентрации алюминия в 700 раз вблизи выпуска Северной водопроводной станции «Водоканала», то, по словам Ипатовой, это вызвано, прежде всего, тем, что в реку Оккервиль выпускают промывные воды. Это вода, которой промывают фильтры, очищающие питьевую воду. Для того, чтобы их очистить, используют различные реагенты, в основном с высоким содержанием алюминия. Именно такая технология и вызвала загрязнение Оккервиля рекордным количеством алюминия. Однако на данный момент на Южной водопроводной станции уже используется замкнутый цикл очистки питьевой воды, который позволяет не сбрасывать в реку промывные воды. Через пару лет на Главной и Северной станциях будут построены новые блоки с использованием замкнутого цикла, что существенно снизит выброс вредных веществ в реки [25]”.

Из новости можно выделить не только проблему превышений ПДК, но и причину, по которой она возникает – использование одноступенной технологии, не предполагающей обработку промывной воды.

С 2011 года на Южной водопроводной станции работает новый блок К-6, где использованы самые современные технологии водоподготовки, позволяющие справиться с любыми изменениями состояния воды в Неве [22].

Основные этапы производства питьевой воды на К-6:

- предварительное озонирование воды (озон получают из воздуха на территории станции);
- осветление воды: коагуляция, флокуляция и отстаивание в полочном отстойнике;
- фильтрация через скорые гравитационные фильтры с двухслойной загрузкой (песок и активированный уголь);

- степень обеззараживания: обработка ультрафиолетом (это позволяет уничтожить вирусы).

Преимущества нового блока:

- гарантировано высокое качество питьевой воды вне зависимости от состояния воды в Неве;
- снижение экологической нагрузки на Неву (вода, которой промывают фильтры, не сбрасывается в реку, а очищается и снова используется);
- обработка (обезвреживание) осадка, образующегося в процессе очистки воды.

На Северной водопроводной станции такую систему замкнутого цикла планируют ввести к 2030 году, уже активно ведутся работы по разработке и реализации проекта [3].

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была проведена всесторонняя экологическая оценка качества очистки и подготовки питьевой воды на объектах «Водоканала» Санкт-Петербурга. Главной целью работы стало определение того, насколько применяемые технологии водоподготовки соответствуют современным стандартам качествам, а также разработка рекомендаций по улучшению процессов очистки с учётом экологической безопасности.

В первой части работы был детально проанализирован текущий процесс очистки воды, включая использование коагулянтов, флокулянтов и дезинфектантов. Оценка физико-химических и микробиологических показателей на различных этапах очистки показала, что существующие технологии эффективны. Одна из главных проблем — это сброс промывных вод с остаточными загрязнителями в водоём, что негативно сказывается на

экосистемах рек. Также забор воды из водоисточника является еще одним негативным экологическим аспектом и приводит к изменениям в гидрологическом режиме и нарушает экосистемные процессы.

Сравнение данных результатов производственного контроля качества воды с действующими нормативами (СанПиН 2.1.3684-21) показало, что в целом качество воды на всех этапах очистки соответствует требованиям, обеспечивающим стандартов на питьевую воду с водопроводных станций, однако в некоторых случаях отмечаются повышения концентрации таких загрязнителей, как железо в распределительной сети. Это связано с внутренней коррозией трубопроводов и сезонными особенностями.

Для улучшения качества очистки и минимизации воздействия на экологию были предложены рекомендации, внедрение более эффективных технологий удаления загрязняющих веществ, а также разработку методов утилизации промывных вод и прекращения их сброса в водоёмы. Дополнительно предложено более рациональное управление водными ресурсами для снижения воздействия на экосистемы водоисточников и внедрение новых методов очистки, таких как переход СВС на двухступенчатую систему и замкнутый цикл промывной воды.

Реализация этих рекомендаций позволит не только повысить качество питьевой воды, но и снизить экологическое воздействие не только на р. Оккервиль, но и на р. Неву, что, в свою очередь, укрепит устойчивость экосистем и обеспечит более безопасное водоснабжение для населения.

Список использованной литературы

1. СанПиН 2.1.3684-21. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий, водных объектов, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения / Минздрав РФ, 2021. 45 с.
2. ГОСТ Р 57164-2016. Вода питьевая. Методы определения запаха, вкуса и мутности.
3. Стратегия рационального использования водных ресурсов Санкт-Петербурга до 2030 г. / Администрация Санкт-Петербурга, 2020. 60 с.
4. Росгидромет. Водные ресурсы Ленинградской области: Отчёт / Росгидромет, 2021. – 45 с.
5. Алексеев М.И., Иванов В.Г., Курганов А.М., Герасимов Г.Н. Технический справочник по обработке воды. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: ГУП "Водоканал Санкт-Петербурга" / Degremont, 2007. 775 с.
6. Барекян А.Ш., Рипинский И.Н. Защита молоди рыб на водозаборах большой производительности // Технологические и экологические проблемы защиты окружающей среды. Калинин: Калининский гос. университет, 1979. С. 79–86.
7. Биологические основы применения рыбозащитных и рыбопропускных сооружений. М.: Наука, 1978. 224 с.
8. Большов А.М. Опыт применения рыбозащитных сооружений и конструкций на ирригационных насосных станциях. М.: Гипроводхоз, 1967. 92 с.
9. Брендт Д., Дрюс М., Фридман Р., Херб Ш. Практика водоснабжения: справочник для технического персонала. 2-е изд. СПб.: ГУП "Водоканал Санкт-Петербурга" / DVGW Deutsche Vereinigung des Gas – und Wasserfaches e.V., 2010. 496 с.
10. Иванов С.К., Петрова Н.А. Исследование ледового режима реки Нева // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2021. Т. 4, № 2. С. 45–53.

11. Каурова З.Г., Гулина А.Н. Гидрохимический состав вод малой реки на урбанизированных территориях на примере р. Волковки г. Санкт-Петербург // Научный альманах университета. 2015. № 9-3 (14).
12. Петрова Н.А. Сезонная динамика биохимических процессов в реках Северо-Запада России. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2020. 150 с.
13. Румянцев В.А., Иванов С.К. Гидрохимия реки Невы: влияние климатических факторов. М.: Наука, 2019. 180 с.
14. Зайцева И.А., Каурова З.Г. Оценка фоновое загрязнение металлами малых водоемов г. Санкт-Петербурга // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 5. География. 2016. № 2(6). С. 328–330.
15. Данные СВС: Внутренний отчет / ГУП «Водоканал», 2024.
16. Схемы комплексного использования и охраны водных объектов бассейна р. Нева / Ленинградская обл., 2015. 50 с.
17. Доклад ООН. UN World Water Development Report 2023 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2023> (дата обращения: 09.06.2025).
18. Нева (Большая Нева) // Государственный водный реестр / Минприроды России, 2021 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://verum.icu/index.php?cluster=gvr&q=01040300312102000008487> (дата обращения: 09.06.2025).
19. Инженерно-геологический анализ исторического аспекта освоения и контаминации подземного пространства Санкт-Петербурга [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-inzhenerno-geologicheskij-analiz-istoricheskogo-aspekta-osvoeniya-i-kontaminaci.pdf> (дата обращения: 09.06.2025).
20. Экология района Рыбацкое: откуда неприятные запахи // Бризекс [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://бризекс.рф/ecology/ehkologiya-rajona-rybackoe?srsId=AfmBOooSHhAHDwdiVc-1R0_pzxMNet8R4je8iNRdY6KMEw-dsHbZYnqv (дата обращения: 09.06.2025).

21. Загрязнение реки Невы в Отрадном может быть вызвано деятельностью ликвидированного мажтопропиточного завода // Экология производства [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://news.ecoindustry.ru/2023/10/zagryaznenie-reki-neva-v-otradnom-mozhet-byt-vyzvano-deyatelnostyu-likvidirovannogo-machtopropitochного-zavoda/> (дата обращения: 09.06.2025).

22. Технологии очистки // ГУП Водоканал [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.vodokanal.spb.ru/vodosnabzhenie/tehnologii_ochistki/ (дата обращения: 09.06.2025).

23. Нормы качества питьевой воды // Diasel Engineering [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://diasel.ru/article/normy-kachestva-pitevoj-vody/> (дата обращения: 09.06.2025).

24. Выбор реагентной технологии антикоррозионной обработки воды водораспределительной сети Санкт-Петербурга // ВСТ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vstnews.ru/ru/archives-all/2011/2011-7/1568-vybor-reagentnoj-tehnologii> (дата обращения: 09.06.2025).

25. У «Водоканала» до стоков еще не дошли руки // Фонтанка.ру [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fontanka.ru/2012/11/22/156> (дата обращения: 09.06.2025).

26. Справка о состоянии окружающей среды в Ленинградской области за 2024 год // Официальный сайт Раздольевского сельского поселения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://раздольевское.рф/?p=10835> (дата обращения: 09.06.2025).

27. Справка о состоянии окружающей среды в Ленинградской области за первое полугодие 2023 года // Официальный сайт муниципального образования Запорожское сельское поселение [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://запорожское-адм.рф/?p=19473> (дата обращения: 09.06.2025).