



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 эффективности работы очистных сооружений и качества
сточных вод»

Исполнитель Смирнова Ольга Александровна
(фамилия, имя, отчество)

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

Мансуров Марат Маруфович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Алексеев Денис Константинович
(фамилия, имя, отчество)

«26» 06 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. Нормативно правовые документы и методы очистки сточных вод.	
Биомониторинг.	5
1.1 Нормативно правовые документы, используемые в работе.....	5
1.2 Методы очистки сточной воды.....	6
1.2.1 Механическая очистка сточных вод	6
1.2.2 Биологическая очистка сточных вод.....	7
1.2.3 Химическая очистка сточных вод	8
1.2.5 Доочистка сточных вод	9
1.3 Основные источники загрязнения водоемов.....	9
1.4 Природа загрязнения сточных вод	12
1.4.1 Химическое загрязнение	12
1.4.1.1 Органическое загрязнение	13
1.4.2 Микробиологическое загрязнение	14
1.5 Биомониторинг	15
1.5.1 Биоиндикаторы и критерии их отбора	16
1.5.2 Биоэлектронные методы контроля качества воды	19
1.5.3 Преимущества и недостатки биомониторинга.....	21
ГЛАВА 2. Общие сведения о предприятии и биоиндикация на ЮЗОС	22
2.1 Общие сведения о предприятии	22
2.2 Биомониторинг на предприятии.....	27
2.3 Принцип работы раков	29
2.5 Мероприятия по модернизации по биоиндикации для предприятия	32
ГЛАВА 3. Очистка городских сточных вод на Юго-Западных очистных.....	33
3.1 Описание технологии удаления азота и фосфора.....	34
3.1.1 Удаление фосфора на стадии механической очистки	34
3.1.2 Удаление азота в аэротенках.....	36
3.1.2.1. Анаэробные зоны аэротенков	38
3.1.2.2. Аноксидные зоны аэротенков.....	39
3.1.2.3. Аноксидно/оксидные зоны аэротенков.....	41
3.1.2.4. Оксидные зоны аэротенков.....	42
3.1.2.5. Деоксидная зона	47
3.2. Вторичные отстойники.....	49
3.4. Разработка предложений по повышению эффективности удаления азота	53
ГЛАВА 4 Исследование эффективности очистки сточных вод и экологической безопасности работы сооружений.....	57

4.1 Анализ качества очищенной воды	57
4.2. Анализ применяемой технологии удаления азота и фосфора	58
4.3 Результаты контроля сточных вод	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	64
ПРИЛОЖЕНИЯ	69
Приложение А.	69
Приложение Б.	71
Приложение В.....	72
Приложение Г.	72

ВВЕДЕНИЕ

Вода является одним из главных факторов, определяющих размещение производственных сил. На данный момент, в условиях техногенного современного развития общества с огромными темпами роста водопотребления, особенно остро стоит вопрос загрязнения пресной воды.

Под загрязнением водных ресурсов понимают любые изменения физических, химических и биологических свойств воды в водоемах, в связи со сбрасыванием в них жидких, твердых и газообразных веществ, которые оказывают негативное воздействие, делая воду данных водоемов опасной для использования, нанося ущерб народному хозяйству, здоровью и безопасности населения [1].

Антропогенное воздействие на природу – это различные формы влияния деятельности человека на природу. Антропогенные воздействия могут носить как позитивный, так и негативный характер; последнее вызывает необходимость в применении специальных природоохранных мер.

Актуальность темы заключается в том, что основным решением проблемы рационального использования водных ресурсов является всевозможная минимизация загрязняющих веществ, отходов и бактерий, которые сбрасываются с бытовыми и производственными сточными водами в канализацию. Внедрение очистных сооружений и совершенствование

технологических процессов усовершенствования методов контроля загрязнений, содержащихся в воде, например, как улучшение методов биотестирования, так и удаление азота и фосфора являются главными аспектами предостережения и последующей защиты окружающей среды.[2]

Целью дипломной работы является - изучение существующей системы биомониторинга и системы удаления азота и фосфора на ЮЗОС и предложить мероприятия по модернизации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Ознакомиться с технологической схемой ЮЗОС.
2. Проанализировать способы биомониторинга и очистки сточных вод от азота и фосфора осуществляемые на ЮЗОС, и их эффективность.
3. Рассмотреть вариант модернизации системы биомониторинга и системы удаления азота и фосфора на предприятии.

ГЛАВА 1. Нормативно правовые документы и методы очистки сточных вод. Биомониторинг.

1.1 Нормативно правовые документы, используемые в работе

В дипломной работе были использованы такие нормативно – правовые документы как:

- 1 Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ [3].
- 2 Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N 74-ФЗ (ред. от 03.04.2023) [4].
- 3 Постановление Правительства РФ от 10 апреля 2007 г. N 219 "Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов" [5].
- 4 ГОСТ 27065-86. Качество вод. Термины и определения [6].

5 Методика определения токсичности проб природных, питьевых, хозяйственно – питьевых, хозяйственно – бытовых сточных, талых, технологических вод экспресс – методом, ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2 – 98 [7].

1.2 Методы очистки сточной воды

Сточные воды - это природные воды, использованные в быту, в промышленности, в сельском хозяйстве, а также поверхностный сток селитебных территорий, т.е. территории, изменившие в процессе использования свой состав и свойства и требующие отведения, и очистки. Загрязненные стоки должны пройти обязательную очистку перед попаданием в водный объект [8].

Сточная вода попадает в канализационные системы загрязненная как мелкими примесями, так и крупными предметами, которые могут нанести ущерб очистительному оборудованию. На очистные сооружения часто попадает бытовой мусор, твердые и опасные вещества - частицы стекла, продукты нефтепереработки, лакокрасочные материалы и сложно растворимые в воде химические соединения, тряпки [9].

К наиболее эффективным и популярным методам очистки сточных вод относятся:

1. Механический
2. Биологический
3. Химический
4. Физико-химический

1.2.1 Механическая очистка сточных вод

Механическая очистка подразумевает удаление из очищаемых стоков крупных загрязнений, минеральной взвеси для более эффективной работы последующих стадий очистки. Включает в себя решетки, песколовки, первичные отстойники, жиरो- и нефтеловушки [10].

Решётка предназначена для механической очистки сточных вод. Основная её задача — задержание крупных загрязнений органического и минерального происхождения. Она подготавливает сточную жидкость к дальнейшей очистке.

По своей конструкции решётки делятся на:

1. Со стержнями прямоугольной формы (неподвижные решётки, представляют собой ряд параллельных металлических стержней прямоугольной формы, закреплённых в раме)
2. Решётки-дробилки
3. Ступенчатые самоочищающиеся
4. Шнековые

Очистка решётки при количестве отбросов 0,1 м³/сут. и более должна быть механизированная. Ручная очистка решётки очищается с помощью граблей, механизированная — с помощью механических граблей или самоочисткой (ступенчатые, шнековые) [11].

В песколовках происходит отделение крупных минеральных частиц (песка). Далее на стадии первичного отстаивания завершается процесс выделения механических и органических загрязнений [10].

1.2.2 Биологическая очистка сточных вод

Процесс биологической очистки основан на способности микроорганизмов использовать растворенные органические вещества сточных вод для питания в процессе жизнедеятельности. Часть органических веществ превращается в воду, диоксид углерода, нитрит- и сульфат-ионы, часть идет на образование биомассы. Сооружения биологической очистки можно условно разделить на два вида: с очисткой в условиях, близких к естественным; с очисткой в искусственно созданных условиях.

К первому виду относятся поля фильтрации и орошения (земельные участки, в которых очистка происходит за счет фильтрации через слой грунта), а также биологические пруды (неглубокие водоемы, в которых происходит

очистка, основанная на самоочищении водоемов). Второй вид составляют такие сооружения, как биофильтры и аэротенки.

Биофильтр – резервуар с фильтрующим материалом, поверхность которого покрыта биологической пленкой (колония микроорганизмов, способных сорбировать и окислять органические вещества из сточных вод).

Аэротенк – резервуар, в котором очищаемые стоки смешиваются с активным илом (биоценоз микроорганизмов, также способных поглощать органику из стоков).

Биологическая очистка является основным методом обработки городских сточных вод. Существуют аэробные и анаэробные методы биологической очистки сточных вод. При аэробной очистке микроорганизмы культивируются в активном иле и биопленке [12].

1.2.3 Химическая очистка сточных вод

Химическая очистка применяется для удаления растворенных примесей, т.е. в случае, когда выделение их из сточных вод возможно только в результате химических реакций между загрязнением и реагентом. При этом загрязнения окисляются или восстанавливаются и переходят в нетоксичные и малотоксичные продукты или в нерастворимые соединения [13].

К химическим методам очистки относятся:

1. Нейтрализация кислот и щелочей;
2. Озонирование – окисление озоном растворенных и коллоидных примесей;
3. Электрохимическое окисление, при котором либо происходит разрушение вредных примесей на аноде, либо регенерация (восстановление) ценных веществ (медь, железо и др.) [14].

1.2.4 Физико-химические методы очистки

Физико-химические методы позволяют удалять примеси, дисперсность которых от $1 \cdot 10^{-2}$ см до $1 \cdot 10^{-7}$ см и менее, и играют значительную роль при

очистке производственных сточных вод. Они применяются как самостоятельно, так и в сочетании с механическими, химическими и биологическими методами. К физико-химическим методам очистки относятся коагуляция, флокуляция, сорбция, флотация, экстракция, ионный обмен, гиперфильтрация, диализ, эвапорация, кристаллизация, магнитная обработка и др., а также методы, связанные с наложением электрического поля: электрокоагуляция, электрофлотация [15].

1.2.5 Доочистка сточных вод

Разрушение остаточных загрязнений путем ультрафиолетового излучения - основной способ доочистки сточных вод. Внутри установки для доочистки находятся герметичные кварцевые кожухи с ультрафиолетовыми лампами, которые и являются основным элементом в процессе обеззараживания. Процесс обеззараживания обусловлен протеканием фотохимических реакций, результатом которых является повреждение ДНК органических загрязнений, воздействие на структуру клеток и, как следствие, уничтожение органической составляющей стоков [16].

1.3 Основные источники загрязнения водоемов

В современном обществе резко встает проблема с загрязнением водоемов в связи со сбрасыванием в них жидких, твердых и газообразных веществ, которые причиняют или могут создать неудобства, делая воду данных водоемов опасной для использования, нанося ущерб народному хозяйству, здоровью и безопасности населения.

1. Нефтехимические предприятия. В сточные воды попадают плавающие вещества, такие как продукты нефтепереработки, фенолы, а также тяжелые металлы, взвешенные частички. В результате структура воды меняется, она меньше насыщается кислородом, ее вязкость повышается.

2. Целлюлозно-бумажное производство. Сточные воды подобных предприятий содержат древесные волокна, фенолы, повышенные концентрации взвешенных веществ.

3. При попадании в воду древесных компонентов со временем начинается их разложение. Во время этого процесса выделяются токсичные газы, к примеру метан, сероводород, диоксид углерода. В результате кислород практически не поступает в толщу воды, обитающие в ней живые организмы, начинают погибать.

4. Текстильная промышленность. В стоки попадает множество органических и минеральных комплексов, которые практически не растворяются в воде. Они включают в себя природные и синтетические волокна, красители с высокими цветностью и щелочностью. Состоят такие красители из ядовитых элементов, к примеру соединений, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, а также ионов тяжелых металлов. Происходит накопление этих веществ в биоценозах, это приводит к тому, что ферментативные реакции в них изменяются. Из-за попадания пенообразующих веществ замедляется аэрация воды.

5. Стоки, поступающие из пищевой отрасли, содержат в себе большое количество органики, причем как в форме взвесей, так и в растворенном виде.

6. Стоки из убойных цехов и мясных фабрик состоят из большого количества кровяных масс, частиц жира, остатков шкур, шерсти, биогенных элементов.

7. Сточные воды, поступающие с молочного или маслосыродельного завода нестабильны по своему составу, в них могут быть растворены белки, углеводы, жиры. В результате начинается процесс гниения и закисания, щелочность среды снижается. Такая вода будет мутной, с творожистыми взвесями и сырными крошками. Кроме того, в стоках содержатся всевозможные соли, чаще всего хлориды.

8. Рыбоперерабатывающие заводы также сбрасывают стоки, содержащие в себе большое количество органических включений, которые быстро начинают окисляться. К примеру, рыбий жир состоит из ненасыщенных жирных кислот, небелковых азотистых групп и клетчатки, они являются устойчивыми к биологическому окислению.

9. Любое из пищевых производств поставляет со стоками песчинки, глину и фосфаты, которые образуются после мойки оборудования и помещений.

10. Сточные воды от спиртзаводов обладают низким рН среды, характеризуются неравномерностью объемов их поступления, частыми сбросами, из-за чего загрязненность изменяется. Кроме того, в таких стоках содержится много грубодисперсной, коллоидной и растворенной органики, которая быстро начинает гнить.

11. Сточные воды сельскохозяйственных производств содержат в себе большое количество растительных волокон, остатков плодов и овощей, фекалий, в результате начинается органическое загрязнение водоемов. Также в таких стоках есть вирусы, грибки, опасные микроорганизмы, разрушающие экосистему: при попадании таких сточных вод она перестает самоочищаться.

12. С полей во время сезонной работы стоки попадают ядохимикаты, минеральные удобрения, которые также сильно загрязняют естественные водоемы.

13. Хозяйственно-бытовые стоки, поступающие из городов, также опасны. В них содержатся искусственные моющие вещества, болезнетворные микроорганизмы, гельминты, которые пагубно воздействуют на микрофлору природных водоемов [17].

Отличительные характеристики разных видов сточных вод представлено в таблице 1 см. приложение Б.

1.4 Природа загрязнения сточных вод

В настоящее время определение уровня загрязнения и токсичности объектов окружающей среды, а также материалов, изделий, продукции и различного вида отходов не может быть установлено только на основании химических методов исследования. Поскольку разнообразие химических соединений, являющихся потенциальными загрязнителями, к настоящему времени исчисляется десятками тысяч. Под токсичностью понимается степень проявления вредного действия разнообразных химических соединений и их смесей.

Применение биотестирования имеет ряд преимуществ перед физико-химическим анализом, средствами которого часто не удастся обнаружить неустойчивые соединения или количественно определить ультрамалые концентрации токсикантов, а также учесть их совместное действие. Биотестирование дает возможность быстрого получения интегральной оценки токсичности в конкретный момент времени.

В случае с химическим и бактериологическим загрязнением воды система биосигнализации может стать эффективным инструментом для раннего оповещения и минимизации последствий отравления воды, достоверного установления факта токсического воздействия на водозабор или подготовленную к использованию вод

1.4.1 Химическое загрязнение

Химическое загрязнение представляет собой изменение естественных химических свойств воды за счет увеличения содержания в ней вредных примесей как неорганической (минеральные соли, кислоты, щелочи, глинистые частицы), так и органической природы (нефть и нефтепродукты, органические остатки, поверхностно-активные вещества, пестициды).

Основными неорганическими (минеральными) загрязнителями пресных и морских вод являются химические соединения, токсичные для обитателей водной среды. Это азот, алюминий, взвешенные вещества, железо, марганец

медь, фосфор, цинк, появляются в большинстве случаев в водном объекте вследствие человеческой деятельности. Тяжелые металлы впитываются фитопланктоном, а затем передаются по пищевой цепи более высокоорганизованным организмам.

К опасным загрязнителям водной среды можно отнести неорганические кислоты и основания, обуславливающие широкий диапазон pH промышленных стоков (1,0—11,0) и способных изменять pH водной среды до значений 5,0 или выше 8,0, тогда как рыба в пресной и морской воде может существовать только в интервале pH 5,0—8,5. К основным источникам загрязнения гидросферы минеральными веществами и биогенными элементами следует отнести предприятия пищевой промышленности и сельское хозяйство [18].

1.4.1.1 Органическое загрязнение

Сточные воды, которые содержат суспензии органического происхождения или растворенное органическое вещество, пагубно влияют на состояние водоемов. Осаждаясь, суспензии заливают дно и задерживают развитие или полностью прекращают жизнедеятельность микроорганизмов, участвующих в процессе самоочищения вод. При гниении данных осадков могут образовываться вредные соединения и отравляющие вещества, такие как сероводород, которые приводят к загрязнению всей воды в реке. Наличие суспензий затрудняет также проникновение света вглубь воды и замедляет процесс фотосинтеза.

Негативное воздействие оказывают все вещества, которые приводят к снижению содержания кислорода в воде. Поверхностно-активные вещества — жиры, масла, смазочные материалы — образуют на поверхности воды пленку, которая препятствует газообмену между водой и атмосферой, что снижает степень насыщенности воды кислородом. Значительный объем органических веществ, большинство из которых не свойственно природным водам, сбрасывается в реки вместе с промышленными и бытовыми стоками.

Особенно ощутимо загрязнение в водоемах с замедленным течением или непроточных (водохранилища, озера). Разлагаясь в водной среде, органические отходы могут стать средой для патогенных организмов. Вода, загрязненная органическими отходами, становится практически непригодной для питья и других надобностей. Бытовые отходы опасны не только тем, что являются источником некоторых болезней человека (брюшной тиф, дизентерия, холера), но и тем, что требуют для своего разложения много кислорода. Если бытовые сточные воды поступают в водоем в очень больших количествах, то содержание растворимого кислорода может снизиться ниже уровня, необходимого для жизни морских и пресноводных организмов [19].

1.4.2 Микробиологическое загрязнение

Бактериальные и биологические загрязнения представляют собой различные микроорганизмы дрожжевые и плесневые грибки, мелкие водоросли и бактерии, в том числе болезнетворные — возбудители брюшного тифа, паратифа, дизентерии и др. Этот вид загрязнений свойствен в основном бытовым водам и некоторым видам производственных сточных вод (сточным водам боев, кожевенных заводов, шерстоек, биофабрик и т. п.). По своему химическому составу они относятся к органическим загрязнениям, но выделяются в отдельную группу ввиду особого взаимодействия с загрязнениями других видов.

В соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения» безопасность питьевой воды в эпидемиологическом отношении определяется ее соответствием нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям: термотолерантные колиформные бактерии, общие колиформные бактерии должны отсутствовать в воде [20].

Эффективность снижения бактериальных загрязнений сточных вод на станциях полной биологической очистки с обеззараживанием повышается до 99,5—99,9%. Коли-индекс биологически очищенных сточных вод, сбрасываемых в водоем, не должен при этом быть выше 1000. Обеззараживанием воды на коммунальных водопроводах обеспечивает практически полное уничтожение коли-форм (коли-индекс не более 3). Сильные окислители, однако, не оказывают губительного действия на яйца гельминтов. Для ликвидации бактериального загрязнения сточных вод применяют обеззараживание (дезинфекцию).

1.5 Биомониторинг

Биомониторинг – это постоянный контроль, включающий как методы биоиндикации, так и биотестирования, за состоянием экосистем по биологическим параметрам согласно заранее разработанной и четко осуществляемой программе полевых и лабораторных исследований, при которых проводится также количественное измерение показателей.

Биомониторинг (часто синоним «биоиндикации») является составной частью экологического мониторинга и в отличие от физико-химических методов не дает точных и конкретных результатов. Основное преимущество биомониторинга – оценка качества окружающей среды и степени её загрязнения по состоянию биоты на разных уровнях организации живой материи (от биомолекул и клеток, включая органоиды, до группировок организмов) [21].

Биоиндикация - это определение биологически значимых антропогенных нагрузок на основе реакций на них живых организмов и их сообществ.

Другими словами, биомониторинг позволяет определить комфортность существования в конкретной экосистеме видов и групп организмов, наиболее чувствительных к загрязнению и трансформации естественного состояния природы, а также косвенное влияние на здоровье человека. Именно данные

биомониторинга придают значение и правомерность таким нормативам, как ПДК, ПДУ и т.п.

Кроме биотестирования (активный биомониторинг), большинство методов относится к пассивной биоиндикации и позволяют визуально определить комплексную реакцию живой природы в ответ на длительное воздействие различных антропогенных факторов и при достаточно длительном наблюдении сделать прогноз о дальнейшем направлении изменений в экосистеме [21].

1.5.1 Биоиндикаторы и критерии их отбора

При проведении биоиндикации и биомониторинга необходимы информативные биологические объекты, называемые биоиндикаторами.

Биоиндикаторы - это организмы или сообщества организмов, количество или жизненные функции которых так тесно коррелируют с определенными факторами среды, что могут применяться для их оценки. Таким образом, биоиндикаторы служат показателями естественных процессов, условий или антропогенных изменений среды обитания. Их индикаторная значимость определяется экологической толерантностью биологической системы. В пределах зоны толерантности организм способен поддерживать свой гомеостаз [22].

Любой фактор, если он выходит за пределы «зоны комфорта» для данного организма, является стрессовым. В этом случае организм отвечает реакцией различной интенсивности и длительности, проявление которой зависит от вида и является показателем его индикаторной ценности. Именно ответную реакцию определяют методы биоиндикации.

Следует учитывать, что биологическая система реагирует на воздействие среды в целом, а не только на отдельные факторы, причем амплитуда колебаний физиологической толерантности модифицируется внутренним состоянием системы - условиями питания, возрастом, генетически контролируемой устойчивостью.

Итак, индикаторы, в силу своих генетических, физиологических, анатомических и поведенческих особенностей, способны существовать в узком интервале определенного фактора, указывая своим присутствием на наличие этого фактора в среде.

Применение в качестве биоиндикаторов растений, животных и даже микроорганизмов позволяет проводить биомониторинг воздуха, воды и почвы. Биологические индикаторы обладают признаками, на основании которых производится качественная или количественная оценка тенденций изменений, определение или оценочная классификация состояния экологических систем, процессов и явлений.

Выделяют две формы отклика живых организмов, используемых в целях биоиндикации, - специфическую и неспецифическую. В первом случае происходящие изменения связаны с действием одного какого-либо фактора. При неспецифической биоиндикации одинаковые реакции вызываются различными антропогенными факторами.

По ответным реакциям на внешние воздействия можно выделить несколько типов биоиндикаторов. Прежде всего, в нарушенных условиях среды у многих видов меняется численность популяций. Такие организмы относятся к количественным биоиндикаторам. В то же время характеристику экосистемы можно дать и по наличию или отсутствию тех или иных видов. Такие виды будут качественными биоиндикаторами.

Если индикаторный вид реагирует значительным отклонением жизненных проявлений от нормы, то он является чувствительным биоиндикатором. Если же накопление экологических воздействий большей частью идет без быстро проявляющихся нарушений, то такой индикатор называется аккумулятивным, при этом аккумулятивные индикаторы накапливают антропогенное воздействие, значительно превышающее фоновый уровень в природе.

Очевидно, что далеко не каждый биологический вид может быть использован в качестве индикаторного. Рассмотрим некоторые наиболее общие критерии отбора биоиндикаторов:

1. Эвритопность: биоиндикатор не может быть редким видом, обитающим в каком-то определенном биотопе. Напротив, это должен быть достаточно распространенный организм, типичный для данных условий и легкодоступный для сбора;
2. Невысокая миграционная активность: организм должен более или менее постоянно обитать в исследуемом биотопе. Это позволяет доказать, что изменения, происходящие с индикатором, вызваны изменениями именно в данном биотопе;
3. Питание в загрязняемых биотопах: большинство поллютантов попадает в организм с пищей. Поэтому индикаторные организмы должны не только постоянно обитать в исследуемом биотопе, но питаться здесь;
4. Высокий уровень метаболизма: благодаря ему токсиканты быстро накапливаются в организме, что облегчает последующий химический анализ тканей и общую оценку токсичности веществ;
5. Быстрое чередование поколений: соблюдение этого критерия позволяет относительно быстро устанавливать генетические последствия воздействия поллютантов;
6. Принадлежность вида к естественным сообществам: синантропные виды часто отличаются по степени накопления токсикантов от диких животных или растений, обитающих на той же территории, что обычно бывает вызвано разными спектрами питания;
7. Возможность сбора необходимого числа особей для вынесения статистически значимых суждений.

Ответная реакция биоиндикатора на определенное физическое или химическое воздействие должна быть четко выражена, т. е. специфична, легко регистрироваться визуально или с помощью приборов. Для биоиндикации не

пригодны организмы, ослабленные или поврежденные болезнями, вредителями и паразитами [22].

Так же для контроля за качеством сточных вод, очищающихся от ила можно использовать гигантских африканских улиток (брюхоногие моллюски *Ahatina*), раков и золотистых рыбок.

1.5.2 Биоэлектронные методы контроля качества воды

На сегодняшний день наибольшее развитие получили биоэлектронные методы контроля качества воды, разработанные в 1990-е годы, они основаны на наблюдениях за кардиоактивностью бентосных беспозвоночных с жёстким наружным покровом, таких как раки, крабы, раковинные моллюски, а также методы непрерывного измерения величины раскрытия створок (ВРС) моллюсков [21].

При наблюдении за кардиоактивности беспозвоночных сетчатая клетка с животным может опускаться на нужную глубину в воду (рис. 1.1).

В настоящее время при пассивном биомониторинге для достоверной оценки экологического состояния водных акваторий широко используют автоматизированные биоэлектронные системы ранней диагностики и предупреждения угроз экологической безопасности. Данные системы используют диагностику функционального состояния ключевых видов биоты в исследуемой экосистеме, где ранее уже наблюдались негативные воздействия различного характера или есть вероятность аналогичных угроз.

Биоэлектронные системы – это информационно-измерительные системы, в которых животные непосредственно включены в состав первичных преобразователей, являясь неотъемлемой частью электронной системы регистрации тех или иных физиологических или поведенческих биомаркеров. Существенным преимуществом биоиндикации качества воды является их экспрессность и возможность оценки воздействия загрязняющих веществ на биоту [21].

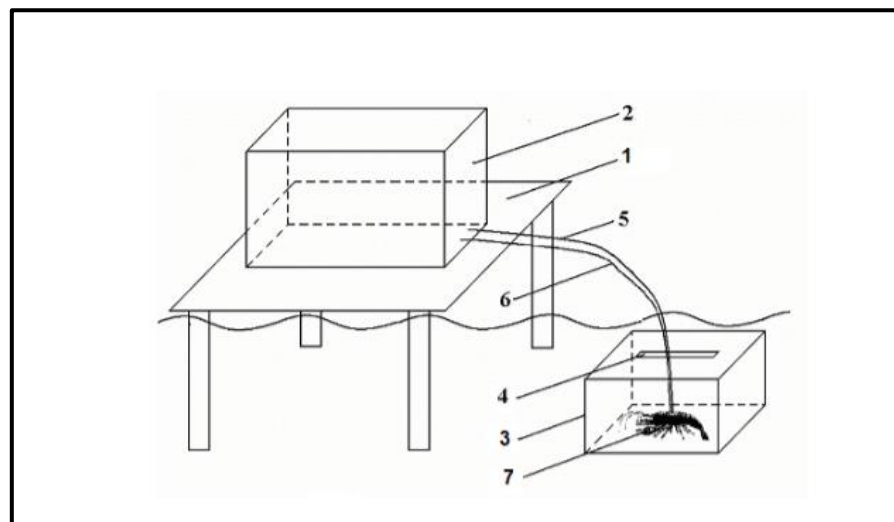


Рисунок 1.1 - Схематическое изображение одного из вариантов системы биомониторинга качества компонентов окружающей. 1 – площадка для размещения контейнера 2 с системами регистрации, анализа и передачи данных, 3 – сетчатая клетка для животного, 4 – щель для оптических волокон, 5 – передающее оптическое волокно, 6 – приемное оптическое волокно, 7 – тестируемое животное.

Биоэлектронные системы пассивного биомониторинга имеют широкие перспективы применения в следующих областях:

1. Контроль качества воды на станциях питьевого водоснабжения;
2. Контроль качества очищенных сточных вод как среды обитания гидробионтов;
3. Аквакультура
4. Экологический мониторинг поверхностных вод и донных отложений, в том числе районов глубоководных нефтяных и газовых месторождений на шельфе.

Общий принцип биологических систем раннего предупреждения (БСРП) заключается в том, что подходящие организмы непрерывно находятся в тестируемой воде. Организм – это первичный сенсор. Для того чтобы получить быстрый ответ, в качестве параметров такого ответа используются физиологические или поведенческие функции организма. Эти параметры должны реагировать на изменения качества окружающей среды, особенно на

увеличение в воде концентрации одного или нескольких вредных веществ. Используемые поведенческие реакции включают, например, суточную активность, подвижность, избегание какого-либо фактора, положительный реотаксис. Физиологические параметры включают: скорость дыхания, частоту движения жабр, сердечный ритм, биоэлектрический потенциал, фотосинтетическую активность, плодовитость, рост и биолюминесценцию [21].

1.5.3 Преимущества и недостатки биомониторинга

Биологический мониторинг позволяет более точно, чем мониторинг среды, определить потенциальную опасность для здоровья веществ, проявляющих свою токсичность после поступления в организм человека. Биологические параметры, отражающие величину внутренней дозы, дают гораздо больше для понимания процесса вредного воздействия, нежели любые измерения окружающей среды [22].

Наряду с данными преимуществами биологический мониторинг в настоящее время имеет и ряд ограничивающих факторов, важнейшие из которых представлены ниже:

1. Список химических веществ, которые могут быть исследованы с помощью биологического мониторинга, в настоящий момент очень невелик.
2. В случае острого воздействия биологический мониторинг может предоставить информацию только о быстро метаболизирующихся веществах, например, ароматических растворителях.
3. Не до конца определена значимость биологических индикаторов; например, не всегда ясно, что отражает уровень того или иного вещества в биологическом материале - продолжающееся или накопленное воздействие (к примеру, содержание кадмия и ртути в моче).

4. В целом, биологические индикаторы внутренней дозы, позволяющие оценить уровень воздействия, не дают данных о реальном содержании воздействующего вещества в критическом органе.

5. Нередко отсутствуют данные о влиянии на метаболизм исследуемого вещества другого экзогенного соединения, воздействующего на организм одновременно с первым.

6. Нет полных данных о взаимосвязи между степенью воздействия окружающей среды и уровнем биологических индикаторов, с одной стороны, и уровнем биологических индикаторов и потенциальным вредным воздействием, с другой.

7. Ограничено количество биологических индикаторов, для которых определены индексы биологического воздействия (ИБВ). При поступлении новой информации необходимо проверить, может ли вещество, идентифицированное прежде как не представляющее опасности, вызывать негативный эффект [23].

ГЛАВА 2. Общие сведения о предприятии и биоиндикация на ЮЗОС

2.1 Общие сведения о предприятии

ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» — государственное унитарное предприятие, обеспечивающее услугами водоснабжения и водоотведения город Санкт-Петербург. Собственником имущества ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» является город Санкт-Петербург в лице уполномоченных государственных органов. Деятельность предприятия по оказанию услуг водоснабжения включает в себя: забор и очистку воды; транспортировку воды. Водоснабжение Санкт-Петербурга осуществляется из поверхностных и подземных источников. Основным источником водоснабжения является река Нева. Из Невы забирается около 98% воды, которая проходит обработку на наиболее крупных водопроводных станциях: Северная водопроводная станция (СВС), Южная водопроводная станция (ЮВС), Северная станция

аэрации (ССА), Центральная станция аэрации (ЦСА), Юго-западные очистные сооружения (ЮЗОС) [10].

ЮЗОС расположены в юго-западной части города в Красносельском районе, занимают площадь 40 га. Очистные сооружения введены в эксплуатацию в 2005 г. Проектная производительность очистных сооружений – 330 тыс. м³/сут сточных вод из районов Санкт-Петербурга с населением около 700 тысяч человек. Сточные воды поступают на ЮЗОС из г. Красного Села, пос. Горелово, пос. Стрельна, пос. Сергеево, нежилых зон Кировского завода и завода ЛЭМЗ, жилых районов Урицка, Сосновой поляны, Улянки, Дачное, части Петродворцового, Кировского и Красносельского районов(рис. 2.1).

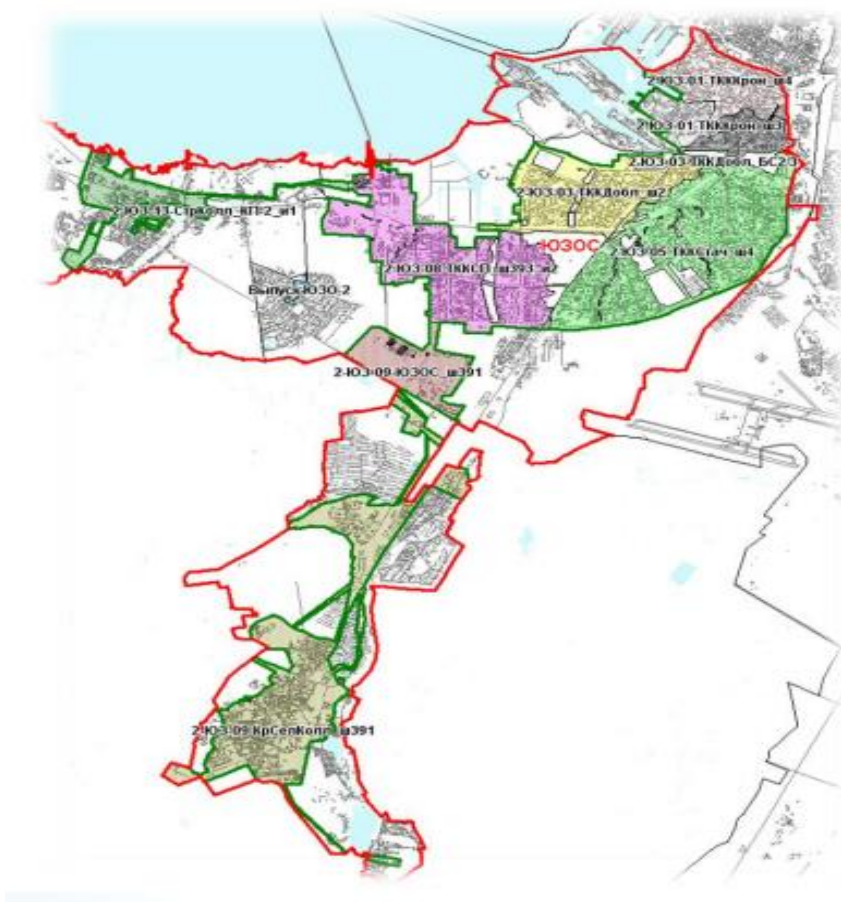
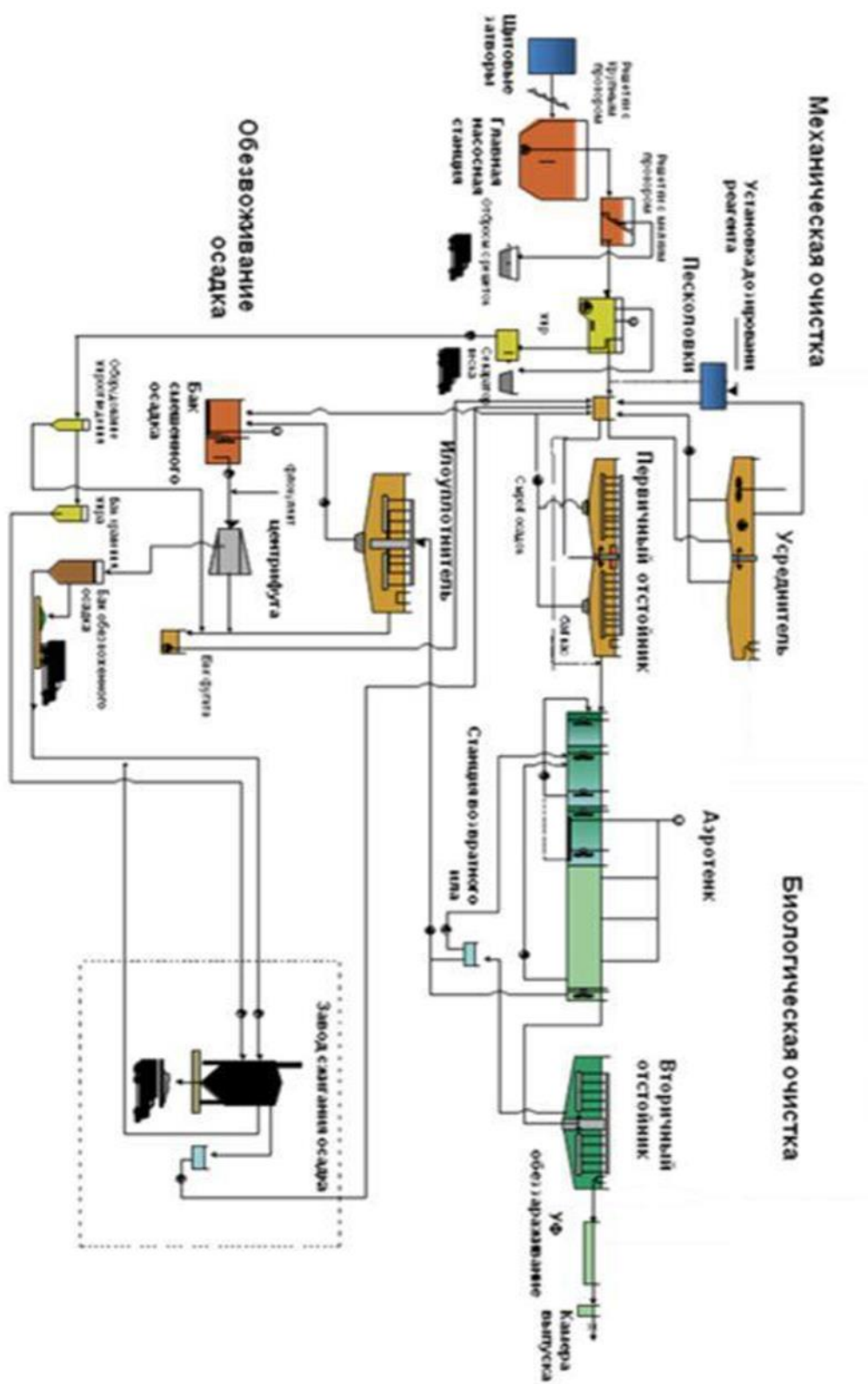


Рисунок 2.1 - Бассейн канализования ЮЗОС

Состав поступающих загрязняющих веществ представлен в таблице 2 (данные за 2016-2020 года). См приложение В.

Технологическая схема ЮЗОС представлена на рисунке 2.2. Сточные воды, поступающие на Юго-Западные очистные сооружения, проходят механическую очистку. Этот блок состоит из приемной камеры, механизированных решеток, песколовок и первичных отстойников. Здесь из стоков удаляется мусор, различные механические загрязнения и песок. Затем этап биологической очистки. В состав этого блока входят аэротенки и вторичные отстойники. За биологическую очистку отвечает активный ил – простейшие микроорганизмы, которые, в процессе своей жизнедеятельности поедают загрязняющие вещества, поступающие со сточными водами в аэротенки и тем самым обеспечивая очистку воды. Для обеспечения дыхания микроорганизмов активного ила в аэротенки нагнетают воздух. После этого очищенные сточные воды проходят обеззараживание с помощью ультрафиолета. Обезвоженный после центрифуг осадок (кек), образованный на стадии механической и биологической очисток, поступает на завод сжигания осадка или вывозится на полигон предприятия (рис. 2.2).



2.2 Биомониторинг на предприятии

В соответствии с законодательством «ГУП Водоканал», осуществляет регулярный химико-аналитический производственный экологический контроль (ПЭК) состава сбросов и выбросов загрязняющих веществ.

Несмотря на столь широкие перечни исследуемых показателей в рамках ПЭК, «ГУП Водоканалом» была поставлена задача внедрения системы биоэлектронного контроля, которые бы позволили отслеживать потенциальные риски случайных залповых выбросов и сбросов токсикантов, а также совокупное воздействие содержания всех загрязнений, при которых воздействия от отдельных факторов могут взаимно усиливаться. Такими интегральными показателями загрязненности являются реакции тест-организмов в системах биомониторинга, основной задачей которых является контроль и раннее оповещение об опасном уровне загрязнения окружающей среды [10].

В настоящее время на ЮЗООС успешно функционирует биоэлектронная система непрерывного контроля токсикологической безопасности биологически очищенных сточных вод (БОСВ), сбрасываемых Юго-Западными очистными сооружениями, в реальном времени.

Она используется, в частности, для получения актуальной информации и для автоматической круглосуточной системы демонстрации объективных данных о безопасности сбрасываемых сточных вод.

Станция производственного биологического мониторинга качества сточных вод включает в себя шесть аквариумов для индивидуального содержания речных раков с системой регистрации и анализа их кардиоритма в режиме реального времени (информация о функциональном состоянии организма раков выводится на мониторы дежурного персонала диспетчерских служб очистных сооружений и в зависимости от состояния раков сопровождается тем или иным цветовым и звуковым сигналом), а так же аквариум для содержания рыб, за состоянием которых с помощью веб-камеры

в автоматическом режиме ведется круглосуточное видеонаблюдение (информация о нормальном перемещении или гибели рыб передается на мониторы дежурного персонала диспетчерских служб очистных сооружений с соответствующим цветовым сигналом) (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 - Аквариумы на ЮЗОС

Регистрируются и передаются следующие показатели:

1. Температура воды;
2. Акустический шум и вибрация;
3. Электропроводность воды;
4. pH воды;
5. Концентрация аммонийного азота в воде;
6. Концентрация нитрат-ионов в воде;
7. Концентрация хлорид-ионов в воде;
8. Оптическая плотность воды на длине волны 254 нм;
9. мутность воды (в ед. ЕМФ).

Оценка дежурным персоналом Диспетчерской службы ОС текущего состояния, отсутствия или наличия фактов резких и значительных изменений

уровня биологической опасности, сбрасываемых в Невскую губу БОСВ проводится на основании результатов автоматической обработки и анализа в реальном времени динамики изменения измеряемых и анализируемых характеристик кардиоактивности раков и характеристик подвижности рыб, используемых в качестве тест-организмов. При этом учитывается также и реальная динамика изменения температуры воды, воздуха и интенсивности шума (биологически значимые факторы, неконтролируемое изменение которых приведет к тем же изменениям, как и значительное дополнительное «залповое» загрязнение БОСВ). Для наглядности представления формируются как индивидуальные (по отдельным тест-организмам), так и интегральные индикаторные качественные показатели изменения степени загрязненности (система «светофор»: красный - признак аварийности, желтый - наличие признаков угрозы, синий - признак ограничений в работе технических систем, и зеленый - признак отсутствия указанных выше проявлений) [24].

2.3 Принцип работы раков

К панцирю рака, сидящего в аквариуме, приклеивается волоконно-оптический датчик, который позволяет незаметно для животного в течение длительного времени регистрировать его сердцебиение. На экран компьютера диспетчера смены непрерывно выводятся уже обработанные результаты показателей сердечного ритма и стресс-индекса раков в виде системы «светофор»: красный, желтый или зеленый световые сигналы. Нормальный сердечный ритм ничем не обеспокоенного рака (соответствующий зеленому сигналу), колеблется в зависимости от температуры воды от 30 до 60 ударов в минуту, а стресс-индекс обычно близок к нулю. В случае опасности частота сердечных сокращений резко повышается не менее чем на 50%, а стресс-индекс возрастает до нескольких тысяч. При попадании в воду токсичных веществ раки реагируют в течение 1,5-2 минут (это время с учетом обработки данных). Их кардиоритм учащается – приборы дают сигнал тревоги (красный сигнал на мониторе диспетчера смены), по которому автоматически

отбираются пробы воды для последующего подробного лабораторного анализа воды химическими и биологическими методами, и оповещаются все службы водопроводной станции. К счастью, за все время работы раков в Водоканале нештатных ситуаций не возникало, а столь «высокие стрессовые показатели» специалисты Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН, разработавшие этот метод биомониторинга качества воды, фиксируют только при еженедельных профилактических тест-обследованиях раков (рис. 2.4) [10].

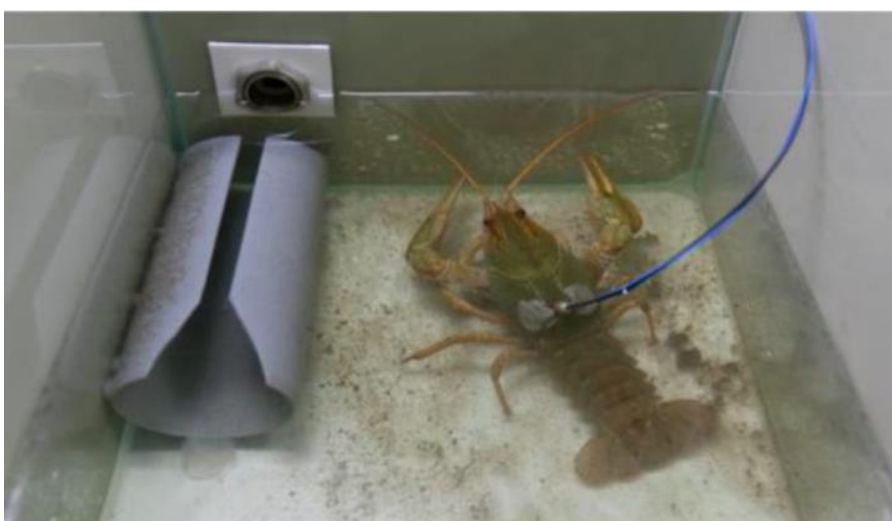


Рисунок 2.4— Раки для определения качества сточных вод

Кроме станции биомониторинга, на Главной водопроводной станции есть еще и ферма, основная задача которой – разведение своих, адаптированных к производственному шуму и людям раков. Так животные с рождения привыкают к общению с людьми, природным колебаниям качества невисской воды, шуму насосов станции. Раки реагируют и на раздражители, не связанные с загрязнением воды, – например, на шум включаемого оборудования. Чтобы отсеять ложные срабатывания системы (ложные с точки зрения токсикологической опасности воды), ученые создали специальную аналитическую станцию, которая измеряет ряд характеристик воды – щелочность, температуру, мутность, а также снабжена датчиками шума и вибрации. Если аппаратура зарегистрирует вибрацию, то сигнал опасности в

диспетчерскую не поступит, потому что датчики фиксируют момент, когда учащение сердцебиения рака совпадает с шумовым эффектом, и отсекают его как не связанного с токсикологической опасностью.

На службу в Водоканал принимают самых обычных раков. Это достаточно хорошо изученные животные с точки зрения физиологии и токсикологии. Однако для того, чтобы попасть на службу в Водоканал, раки проходят тщательное биохимическое и физиологическое обследование здоровья. Работают только самцы в возрасте 3-5 лет, три дня через шесть. Срок их службы составляет примерно год. Дело в том, что по своей физиологии раки должны зимовать, впадая в этот холодный период в состояние «спячки», а лишение их того, что придумано природой, естественно, ослабляет животное. А к дежурству допускаются только здоровые особи в хорошем функциональном состоянии.

В конце 2010 года система биомониторинга с использованием раков была усовершенствована. Если раньше на рабочую смену «выходили» по два рака, то теперь их шесть. Однако модернизация системы биомониторинга заключается не только в количественных изменениях. С момента запуска биомониторинга у ученых из Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности РАН появились новые разработки. И в 2010 году эти разработки Водоканал внедрил на водопроводных станциях. Модернизация системы биомониторинга включает новые алгоритмы обработки сигналов. Все это вместе – более совершенная система обработки данных и увеличение числа дежурящих раков – повышает надежность биомониторинга, дает новые возможности для оперативного управления системой водоподготовки.

Для получения более точной реакции на изменения качества воды наряду с раками работают рыбки. Видеокамера постоянно фиксирует их движение. Если в воде обнаружится токсическое загрязнение, то это сразу отразится на поведении рыбок – они перестанут двигаться, всплывут вверх

брюшком или опустятся на дно. А если в это время забеспокоятся и раки, то специалисты начнут предпринимать необходимые действия [10].

2.5 Мероприятия по модернизации по биоиндикации для предприятия

Из вышеприведенного раздела можно сделать вывод, что раки недостаточно хорошо демонстрируют качество воды. Можно предположить, что моллюски более универсальный вариант исследования воды на предмет загрязнений и содержания вредных веществ.

В сравнении с раками, моллюски мало активные представители животного мира, благодаря этому качеству можно с легкостью проводить регистрацию фоновой кардиоактивности животного.

Самый доступный по цене и возможности выкупу для предприятий это двустворчатый моллюск (рис. 2.5). В неблагоприятных условиях кроме увеличения кардиоритма они захлопывают створки своих раковин, что является более точным показателем



Рисунок 2.5 – Внешний вид двустворчатого моллюска

Двустворчатые моллюски обладают высокой чувствительностью к изменению состояния окружающей среды. Именно особенности поведения моллюсков – схлопывание створок на продолжительное время или изменение периодичности движений в условиях стресса. Если створки закрыты или

открываются не так часто, как нужно, то метод индикации на наличие загрязнений успешен и наблюдается это исходя из поведения животного.

Необходимость открывать створки моллюскам обусловлена, ведь спрятавшись в своих раковинах, они не смогут питаться и тем самым фильтровать воду. На реакцию моллюсков, кроме ядовитых веществ, оказывает влияние ряд факторов внешней среды. Наиболее существенные из них – температура воды, содержание растворенного кислорода, активная реакция и оставшиеся после фильтрации вещества.

Преимущества данной биосигнализации – в ее оперативности и универсальности. При традиционной системе контроля анализ воды производится четыре раза в сутки, при этом на то, чтобы произвести анализы по различным показателям, требуется около часа.

Положительные стороны использования моллюсков:

1. Сравнительно большая продолжительность жизни, равная 15 годам;
2. Неподвижный образ существования, чем это существо выгодно отличается от рака – в плане поставленной перед ним задачи;
3. Отсутствие «социальной» активности, которая могла бы тоже влиять на сердечный ритм;
4. Постоянство покрова, к которому крепится оптический датчик;
5. Возможность быстро заменить выбывшего из строя моллюска;
6. Низкая стоимость добычи речных существ.

Помимо этого, моллюски быстро реагирует на изменение воды, поэтому может оказать неоценимую услугу в плане предотвращения подачи некачественной воды потребителю.

ГЛАВА 3. Очистка городских сточных вод на Юго-Западных очистных

3.1 Описание технологии удаления азота и фосфора.

3.1.1 Удаление фосфора на стадии механической очистки

В поступающих на очистку сточных водах фосфор находится в составе органических соединений (органический фосфор), полифосфатов (P_2O_5) и ортофосфатов (PO_4^-). Фосфаты и полифосфаты гидролизуются в результате биологической очистки в ортофосфаты, а органический фосфор частично переходит в ортофосфаты, частично усваивается активным илом, а частично остается в очищенных водах. Взвешенные формы соединений фосфора частично осаждаются в первичных отстойниках, а частично сорбируются на активном иле.

Первичный отстойники рассчитаны на время пребывания сточных вод 3 часа при проектном расходе. Для активизации процесса образования летучих жирных кислот низшего разряда, необходимых для обеспечения биологического поглощения фосфора, время пребывания осадка можно увеличить. Для этого предусмотрено четыре насоса сырого осадка, по два насоса в каждой насосной станции. Один из двух насосов – резервный. Насосы перекачивают сырой осадок в резервуары смешивания осадков в здании обезвоживания или в распределительную камеру перед отстойниками. Производительность одного насоса сырого осадка составляет в среднем $300 \text{ м}^3/\text{ч}$.

В практике очистки сточных вод для химического удаления фосфора

нашло широкое распространение применение таких коагулянтов, как соли алюминия и железа, известь. При добавлении к сточным водам сернокислого алюминия в присутствии щелочей идёт следующая реакция [16].



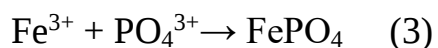
Далее, в присутствии фосфатов, имеет место реакция [16].



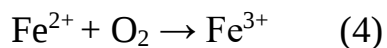
Эти две реакции конкурируют за ионы алюминия, которые даёт добавление сернокислого алюминия. Хлопья осадка гидроокиси алюминия адсорбируют фосфат алюминия и коллоидные частицы твёрдых примесей, способствуя тем самым удалению фосфора путём осветления сточной воды.

Другим источником ионов алюминия является алюминат натрия NaAlO_2 . Это вещество обычно является плохим коагулянтом в мягкой воде, но гораздо лучшим коагулянтом в жёстких водах. В качестве реагента для удаления соединений фосфора из сточных вод возможно использование водопроводного осадка, образующегося при коагулировании сернокислым алюминием высокоцветных, маломутных вод.

При использовании в качестве коагулянта солей трёхвалентного железа протекает реакция:



При применении железного купороса двухвалентное железо окисляется до трёхвалентного:



Частицы осадка FePO_4 имеют коллоидные размеры, и поэтому

необходимо добавлять избыток ионов железа, достаточный для образования гидроокиси железа. Осадок гидроокиси железа захватывает частицы фосфата железа и другие твёрдые частицы, содержащиеся в сточных водах, и действует как адсорбент для других фосфорсодержащих соединений. Хлопьевидный осадок гидроокиси железа осаждается с трудом, и часто для получения прозрачной осветлённой надиловой воды необходимо использовать органический полимер.

В качестве реагента для дефосфотации могут применяться также рудничные воды, которые содержат соли двухвалентного железа. Этот метод обеспечивает стабильное качество очистки фосфатов и может быть реализован на действующих очистных сооружениях без их остановки, так как он достаточно прост в эксплуатации.

3.1.2 Удаление азота в аэротенках

На ЮЗООС очистка сточных вод происходит в 6 двухкоридорных аэротенках. Технологический процесс представляет собой аэрацию активного ила для удаления фосфора, азота и органических веществ (БПК). Характеристика блока биологической очистки представлена в Таблице 3

Таблица 3 Характеристика блока биологической очистки

Аэротенк	Параметры	Единицы измерения	Примечание
Двух кислородный	6	штук	
Общий объём	111000	м ³	время пребывания - 6,8 ч при Q _{проект.}
Длинна аэротенка	270	м ³	

Анаэробная зона	16800	м ³	время пребывания - 1,0 ч
Аноксидная зона	26700	м ³	время пребывания - 1,6 ч
Аноксид/оксидная зона	12000	м ³	время пребывания - 0,7 ч Длина 41 м.
Оксидная зона	55500	м ³	время пребывания - 3,4 ч
Глубина аэротенков	6	м ³	
Деоксидная зона, сборный канал АЭ	4500	м ³	
Концентрация избыт. Ила	4,6	г/дм ³	
Доза ила	3,2	г/дм ³	
Возраст ила	11,1	сут.	оксидная зона
Возраст осадка	15,2	сут.	оксидная + переходная зона
Температура стоков	14	°С	

Для поддержания иловой смеси во взвешенном состоянии и для ее перемешивания, в приемном распределительном канале аэротенков (ПРКА) установлены 4 мешалки. Мешалки управляются вручную, обычно они функционируют непрерывно.

Температура измеряется посредством сигнала температурной компенсации от датчика рН. Датчик рН находится в приемном канале аэротенков и используется для измерения рН и температуры входящего на аэрацию потока.

Для удаления биогенных элементов аэротенки разделены на анаэробную (секции 1,2), аноксидную (секции 3 и 4), переходную аноксидно/оксидную (секция 5) и оксидную (секции 6, 7 и 8) зоны. Процесс биологического удаления фосфора требует чередования аэробных и анаэробных условий. В оксидной зоне аммонийный азот окисляется в нитраты, в аноксидной зоне нитраты восстанавливаются до газообразного азота. Аноксидно/оксидная зона в штатных условиях работает как аноксидная.

Мешалки, установленные в анаэробных и аноксидных зонах, обладают достаточной мощностью для обеспечения полного перемешивания. Турбулентность поддерживается на максимально низком уровне с целью поддержания анаэробных условий. Мешалки эксплуатируются в непрерывном режиме.

3.1.2.1. Анаэробные зоны аэротенков

Для поддержания в анаэробных зонах аэротенков полного отсутствия (или очень незначительного присутствия) кислорода и нитратов активный ил рециркулируется из аноксидных зон аэротенков в анаэробную зону (секция 1). Рециркуляция ила составляет 60÷100% от поступающего расхода. Внутренняя циркуляция осуществляется 6 погружными насосами с преобразователями частоты и максимальной производительностью одного насоса - 2600 м³/ч.

В анаэробной зоне происходит размножение потребляющих фосфор

бактерий и быстрое накопление биологически разлагаемых органических веществ. Энергия, получаемая от расщепления полифосфатных молекул, приводит к выделению фосфора. Следует не допускать попадание нитратов в анаэробные зоны, с поступающими или рециркулируемыми стоками, для снижения влияния азота.

Анаэробные зоны также способствуют улучшению осаждаемости иловой смеси, действуя по тому же принципу, что и сепаратор (приточная и рециркулирующая иловая смесь перемешивается в небольшом пространстве).

Характеристика анаэробных зон представлена в таблице 4:

Таблица 4 Характеристика анаэробных зон

Анаэробные зоны	Параметры	Единицы измерения
Количество секций (по 2 в каждом аэротенке)	12	штук
Общий объём	16 800	м ³
Длинна	45	м
Объём одной секции	1 400	м ³
Время пребывания при Q _{проект.}	1,0	час

3.1.2.2. Аноксидные зоны аэротенков

Биологическое удаление азота достигается в системе предварительной денитрификации, где поступающие стоки служат источником биологически разлагаемой органической массы. Денитрифицирующие бактерии преобразуют нитраты в азот, который в виде газа выделяется в атмосферу.

Технологический процесс требует присутствия нитратов, отсутствия растворенного кислорода (аноксидные условия) и наличия источника биологически разлагаемой органикой массы. При наличии свободного

кислорода, микроорганизмы предпочитают использовать его.

Требуемые для денитрификации нитраты поступают с возвращаемыми в данную зону из деоксидной зоны (сборного канала аэротенков) перемешанными со стоком взвешенными частицами. Рециркулируемый расход должен составлять 110 – 190% от поступающего расхода.

Характеристика аноксидных зон представлена в таблице 5:

Таблица 5 Характеристика аноксидных зон

Аноксидные зоны	Параметры	Единицы измерения
Количество секций (по 2 в каждом аэротенке)	12	штук
Общий объём	26 000	м ³
Длинна	61	м
Объём одной секции	2 225	м ³
Время пребывания при $Q_{\text{проект.}}$	1,6	час

Всего в блоке биологической очистки установлено шесть насосов внутренней циркуляции, по одному насосу в каждом аэротенке. Насосы используются для внутренней циркуляции активного ила, чтобы сделать концентрацию нитратов в анаэробной зоне возможно более низкой.

Рециркулирующий ил перекачивается из аноксидных зон в анаэробные (секция 1). Производительность перекачки насоса регулируется вручную с АСУТП в соответствии с концентрацией фосфатов в выходящей из анаэробных зон иловой смеси.

Максимальная производительность одного насоса рециркуляции составляет около 2600 м³/ч. Целью перекачки является получение активного ила в начале процесса и максимальное увеличение биологического удаления

фосфора.

3.1.2.3. Аноксидно/оксидные зоны аэротенков

Скорость нитрификации и денитрификации зависит от температуры поступающих стоков. Чтобы компенсировать колебания температуры, этап биологической очистки дополняется регулируемой аноксидно/оксидной зоной. Это обеспечивает эффективность протекания реакций нитрификации, от которых в первую очередь зависит нормальное функционирование удаления азота на биологическом этапе очистки.

Аноксидно/оксидные зоны применяются для уравнивания процессов нитрификации и денитрификации при средней температуре 140С.

В зимний период температура стоков бывает ниже указанной средней температуры. Это приводит к снижению скорости протекания реакций нитрификации и денитрификации, и к увеличению возраста иловой смеси, требуемой для нитрификации.

Таким образом, сохранение нитратов, обеспечивающих нитрификацию в аноксидной зоне, очень важно, и необходимо, чтобы процесс нитрификации продолжался и при пониженных температурах. В связи с этим в зимний период аноксидно/оксидные зоны аэротенков преобразовываются в оксидные зоны для поддержания необходимого для нитрификации возраста иловой смеси. При этом снижается производительность аноксидных зон и обеспечивается уменьшение интенсивности денитрификации. Аэрация останавливается, только если концентрация аммония в выходящих стоках превышает 4 мг/л при максимальном возрасте ила. В зимних условиях

системы аэрации поддерживают концентрацию растворенного кислорода на уровне 2 мг О₂/л.

В настоящее время аноксидно/оксидные зоны (секция 5) работают как аноксидные, подача воздуха в них отключена. В секции 5 (аноксидно/оксидная зона) количество подаваемого через аэраторы воздуха является либо заданной долей от расхода воздуха для секции 6 (оксидная зона), либо задается диспетчером вручную.

Характеристика аноксидно/оксидных зон представлена в Таблице 6:

Таблица 6 Характеристика аноксидно/оксидных зон

Аноксидно/оксидная зоны	Параметры	Единицы измерения
Количество секций (по 1 в каждом аэротенке)	6	штук
Общий объём	12 000	м ³
Длинна	29	м
Объём каждой секции	2 000	м ³
Время пребывания при Q _{проект.}	0,7	час

3.1.2.4. Оксидные зоны аэротенков

В оксидных зонах накапливающие фосфор микроорганизмы потребляют поступающую быстро биоразлагаемую органическую массу и летучие жирные кислоты в качестве источника углерода и энергии. Одновременно происходит потребление фосфора для возобновления в них запасов полифосфатов. Данные организмы усваивают весь фосфор, высвободивший в анаэробных зонах, и дополнительно фосфат, который присутствует в поступающем стоке. При этом обеспечивается удаление чистого фосфора в процессе изъятия избыточного ила.

Процесс нитрификации происходит в оксидных зонах. Нитрификация – это окисление аммонийного азота (NH_4^+) до нитритов (NO_2^-) и далее до нитратов (NO_3^-). Основные микроорганизмы, отвечающие за процесс нитрификации, – нитрозомонады или нитробактерии. Необходимые условия для нитрификации создаются за счет поступления в оксидные зоны стоков, имеющих низкое содержание биоразлагаемой органической массы. Требуемое остаточное удаление БПК обеспечивается окислением в аэрируемых зонах. Окисление осуществляют гетеротрофные микроорганизмы.

Характеристика оксидных зон представлена в Таблице 7:

Таблица 7 Характеристика оксидных зон

Оксидные зоны	Параметры	Единицы измерения
Количество секций (по 3 в каждом аэротенке)	18	штук
Общий объём	55 500	м^3
Длинна	135	м
Объём одной секции чуть более	3 083	м^3
Время пребывания при $Q_{\text{проект.}}$	3,4	час

Система аэрации оксидных зон обеспечивает поддержание растворенного кислорода на уровне от 2 мг $\text{O}_2/\text{дм}^3$. Воздух для аэрации подается 4 воздуходувками. Производительность воздуходувки управляется давлением в главной воздушной магистрали.

С целью снижения затрат энергии в процессе аэрации уровень давления в главной воздушной магистрали устанавливается таким образом, чтобы он был достаточен для осуществления аэрации и в то же время не излишне высок.

Давление воздуха в главной воздушной магистрали держится на постоянном уровне с помощью манометра-контроллера. Блоки управления запускают и останавливают воздуходувки, а также управляют их мощностью.

С целью достижения оптимального давления в главной воздушной магистрали заданное значение давления может быть скорректировано вручную или автоматически. В ручном режиме работы воздуходувок оператор задает необходимую установку давления.

В автоматическом режиме система выполняет наиболее оптимальную с точки зрения электропотребления работу. Один манометр измеряет давление в главной воздушной магистрали аэрации для управления воздуходувками. Манометр располагается в воздуходувной станции здания обезвоживания. Установлено четыре датчика разности давления, которые контролируют разность давления воздушного фильтра, показывая сопротивление потоку (пыль и грязь) в фильтре. Каждый датчик обслуживает собственный фильтр воздуходувки.

В аэротенках воздушный поток измеряется измерителями расхода воздуха. Требуемый воздух подается на биологическую очистку через мелкопузырчатую систему аэрации (тарельчатые аэраторы), включающую в общей сложности 24 секции аэрации.

Всего установлено 24 измерителя расхода воздуха. Четыре измерителя расхода воздуха обслуживают один аэротенк таким образом, что один измеритель располагается в одной зоне. Расходомер используется для

обратной связи с контроллером воздушного потока. Регулятор воздушного потока управляет регулирующими задвижками. Регулятор воздушного потока – часть каскадного регулятора, отвечающего за содержание кислорода в аэротенке.

Количество кислорода, подаваемого через аэраторы, контролируется в каждом аэротенке тремя стационарными оксиметрами. Если концентрация кислорода в зоне отличается от требуемого уровня, то желаемый уровень достигается при помощи регулирующих задвижек аэрации.

На каждом аэротенке находится четыре регулирующих задвижки аэрации, всего 24 задвижки. Задвижки используются для регулирования потока воздуха в секциях 5, 6, 7 и 8. Задвижки регулируются каскадными регуляторами. Один каскадный регулятор состоит из регулятора кислорода и регулятора потока воздуха. Оператор указывает количество задействованных в работе аэротенков, что необходимо при расчетах объема потока и определении возраста активного ила.

В автоматическом режиме каскадные регуляторы выполняют поддержание заданных концентраций путем регулирования положений задвижек. Ведущие регуляторы выполняют поддержание заданных концентраций растворенного кислорода путем регулирования расходов воздуха. Ведомые регуляторы, получая значения расхода от ведомых регуляторов, выполняют поддержание заданных расходов путем регулирования.

Диспетчер задает значение $[\text{мг/дм}^3]$ регулятору кислорода. Регулятор получает обратную информацию $[\text{мг/дм}^3]$ со счетчика кислорода. Регулятор кислорода передает контрольную величину $[\text{нм}^3/\text{ч}]$ на регулятор потока воздуха. Регулятор потока воздуха получает ответную информацию $[\text{нм}^3/\text{ч}]$ от измерителя воздушной массы и передает контрольное значение $[\%]$ затвору. Если концентрация кислорода изменяется меньше, чем заданные допустимые величины, изменений в регуляторе не происходит.

В каскадном регуляторе контроль кислорода медленный, и контроль потока воздуха небольшой.

В случае сбоя счетчика кислорода, диспетчер вручную задает значение $[\text{м}^3/\text{ч}]$ на регуляторе потока. В случае сбоя измерителя воздушной массы, задвижка управляется кривой производительности. Контрольная кривая определяется минимальными и максимальными точками и пятью другими точками $[\text{м}^3/\text{ч}, \%]$ (всего 7 точек). Ниже минимальной точки управляющее воздействие минимально, выше максимальной – максимально.

В случае сбоя оксиметра управление воздушным потоком может производиться вручную. В качестве помощи при оценке требуемого значения воздушного потока используются значения, полученные от расходомера воздушного потока и оксиметра, расположенного в соседней зоне (за исключением секции 5).

В случае одновременного сбоя расходомера воздушного потока и оксиметра в качестве помощи при определении подходящей позиции

регулирующей задвижки (воздушный поток) используются значения, полученные от расходомера воздушного потока и оксиметра, расположенных в соседней зоне.

3.1.2.5. Деоксидная зона

Перед подачей очищенных стоков во вторичные отстойники, важно высвободить из иловой смеси кислород. Эту функцию выполняет сборный канал очищенной иловой смеси из аэротенков, превращенный в деоксидную зону (СДКА).

Параметры, влияющие на управление процессом, представлены в Таблице 8:

Таблица 8 Параметры регулирования деоксидной зоны

№	Описание	Заданное значение	Диапазон	Единицы измерений
1	Общий коэффициент циркуляции (возвратный ил + циркуляция нитрата)	250	200 - 300	%
2	Макс. нагрузка на поверхность во вторичном отстаивании	1,4	45689	м/ч
3	Макс. нагрузка по взвешенным твёрдым веществам на вторичное отстаивание	9	45999,00	КГ ВЗВ. ТВ.В-В /м ² /ч

Характеристика деоксидной зоны представлена в таблице 9:

Таблица 9 Характеристика деоксидной зоны

Деоксидная зона	Параметры	Единицы измерения
Количество блоков	1	штук
Общий объём	4500	м ³
Длинна	144	м
Ширина	4	м ³
Время пребывания при Q _{проект.}	17,0	мин

В выпускном канале аэрации предусмотрено 12 насосов циркуляции нитратов. Два насоса обслуживают один аэротенк. Нитратные насосы работают через преобразователи частоты и используются для циркуляции активного ила обратно в процесс аэрации (секция 3). Концентрация нитратов в выходящем с сооружений потоке должна быть <8 мг/л. Если концентрация нитратов выше, то соответственно увеличивается скорость циркуляции нитратов, например, на 10 %.

В автоматическом режиме насосы управляются с использованием стандартной характеристики насосов. Оператор задает необходимую производительность для каждого насоса или пары насосов исходя из опции распределения суммарного расхода по насосам. Система, используя кривые характеристик насосов, пересчитывает заданную производительность в частоту. Расчетная частота вычисляется системой для каждого насоса исходя из его заданной производительности, уровня баков аэрации и уровня датчика.

Диспетчер устанавливает общую величину расхода нитратов для каждого резервуара. Заданное значение одного насоса определяется суммарным напором и характеристикой насоса.

Если опция распределения суммарного расхода по насосам не установлена, то задание производительности (расхода) производится для каждого насоса отдельно. Если указанная опция установлена, то заданная диспетчером производительность автоматически распределяется по доступным насосам. Перераспределение производительности насосов

происходит в следующих случаях:

- если в автоматической работе только один насос и его расчетная частота, необходимая для поддержания заданной производительности, выше расчетной частоты включения дополнительного насоса, то включается другой насос и производительность насосов выравнивается;

- если в автоматической работе два насоса и их расчетные частоты, необходимые для поддержания заданных производительностей, ниже расчетной частоты выключения дополнительного насоса, то один насос выключается, а вся заданная производительность распределяется на оставшийся насос.

В трех распределительных камерах возвратного ила предусмотрено шесть (6) измерителей расхода водослива. Каждый измеритель расхода используется для измерения потока возвратного ила в аэротенк. Принцип измерения основан на измерении уровня над водосливом. Измерения производятся погружными измерителями гидростатического уровня, установленными на водосливе в распределительных камерах. Автоматическая система контроля качества биологической очистки включает датчики, установленные в сборном канале аэротенков:

1. Датчик pH для измерения pH и температуры в сборном канале аэрации;
2. Измеритель уровня для возмещения влияния изменения уровня на перекачку нитратной циркуляции.

3.2. Вторичные отстойники

Иловая смесь из деоксидной зоны СДКА через три разделительные

камеры подается на восемь вторичных отстойников. Характеристика вторичных отстойников представлена в Таблице 10:

Таблица 10. Основные параметры вторичных отстойников

Вторичные отстойники	Параметры	Единицы измерения
количество	8	штук
Общий объём	109 920	м ³
Диаметр	54	м
Общая площадь	18 320	м ²
Глубина	6,0	м
Время пребывания при $Q_{\text{проект.}}$	6,7	часа
Поверхностная нагрузка при проект. притоке	0,9	м/ч
Поверхностная нагрузка при макс. притоке	1,8	м/ч
Содержание Р в избыточном иле	5-6	% от орг. ВВ
Содержание N в избыточном иле	8	% от орг.ВВ

С учетом существующей глубины вторичных отстойников, рассчитанное время пребывания 6,7 часа может являться слишком продолжительным и означать риск возникновения во вторичных отстойниках анаэробных условий, являющихся причиной выброса фосфора. Во избежание этого, диспетчером выбирается количество работающих отстойников в зависимости от поступающего расхода и поддержания низкого уровня слоя осадка во вторичных отстойниках.

Осажденный ил, под гидростатическим давлением, удаляется из вторичных отстойников вращающейся фермой, оборудованной илососами, в сборную камеру насосной станции возвратного ила.

В насосной станции возвратного ила установлено четыре погружных центробежных насоса возвратного ила. Один из насосов оснащен преобразователем частоты.

Насосы используются для перекачки осадка из сборной камеры в резервуар, откуда осадок под действием силы тяжести направляется в распределительные камеры возвратного ила и затем в аэротенки.

Мастер/диспетчер вводит насосы в действие и устанавливает контрольные уровни (уровни запуска и останова насосов). Если уровень возвратного ила превышает уровень запуска насоса дольше, чем определенный установленный период времени, то запускается еще один дополнительный насос. Если уровень возвратного ила ниже, чем уровень останова насоса на протяжении времени, превышающего определенный установленный период, то один из работающих насосов останавливается.

Скорость перекачки возвратного ила по отношению к среднесуточному значению входящего потока задается в пределах от 70% до 100 % при проектной нагрузке ($300000 \text{ м}^3/\text{сутки}$). Скорость может изменяться в соответствии с общим коэффициентом рециркуляции (т. е. возвратный ил + циркуляция нитрата, поделенные входящим потоком). Производительность одного насоса возвратного ила составляет примерно $5500 \text{ м}^3/\text{ч}$ [17].

Распределение возвратного ила в аэротенки контролируется расходомерами (основывается на измерении уровня). Распределение возвратного ила может быть скорректировано или заблокировано местным

закрытием/открытием ручных затворов ила. Следует отметить, что изменение позиции затвора на одной технологической линии влияет на потоки возвратного ила в других технологических линиях.

В насосной станции возвратного ила для перекачки избыточного ила в распределительную камеру илоуплотнителей установлены три насоса избыточного ила. Производительность одного насоса, перекачивающего избыточный ил $\sim 150 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Каждый из насосов оснащен преобразователем частоты и расходомером. Целью откачки избыточного ила является поддержание такого возраста ила, который подходил бы для поддержания эффективной нитрификации. Установлено два затвора избыточного ила. Затворы позволяют отобрать избыточный ил зоны из аэрации или из резервуара возвратного ила. Возраст активного ила и, соответственно, количество избыточного активного ила, определяет, какой затвор должен быть открыт, а какой закрыт.

Отбор избыточного ила производится непрерывно. Скорость перекачки определяется требуемым возрастом ила. Если возраст активного ила равен или превышает 15 дней, то избыточный ил будет отобран из зоны аэрации (деоксидной зоны). Если возраст ила менее 15 дней, то избыточный ил будет отбираться из возвратного ила.

Количество рабочих аэротенков указывается инженером ЮЗОС. В расчетах для определения возраста активного ила используется информация за последние 20 дней.

Требуемые значения возраста ила при различных температурах в технологическом процессе определяется по Таблице 11:

Таблица 11 Зависимость возврата активного ила от температуры

Температура, °С	Возраст ила	
	Заданное значение	Диапазон
<10	20	18 - 22
10	20	18 - 22
11	18	16 - 20
12	18	16 - 20
13	16	14 - 18
14	16	14 - 18
15	14	12 - 16
16	14	12 - 16
17	12	10 - 14
18	12	10 - 14
19	10	8 - 12
20	10	8 - 12
>20	10	8 - 12

3.4. Разработка предложений по повышению эффективности удаления азота

Для поддержания иловой смеси во взвешенном состоянии и для ее перемешивания в анаэробных и аноксидных зонах аэротенков установлены мешалки. Данные мешалки обладают достаточной мощностью для обеспечения полного перемешивания. Турбулентность поддерживается на максимально низком уровне с целью поддержания анаэробных условий. Мешалки эксплуатируются в непрерывном режиме.

Изначально в аэротенках с момента ввода ЮЗОС в эксплуатацию были установлены тихоходные мешалки финского производителя Japrotek OY. Технические характеристики оригинальных мешалок представлены в

Таблице 12.

Таблица 12 Технические характеристики мешалок

№ агрегата	Тип мешалки	Частота вращения редуктора, об/мин	Мощность электродвигателя. кВт	Вход в эксплуатацию
300.1-4,6 МА01-08	Japrotek OY AB G006-FA260/2 – FA150/2 22R-40 шт. (по 8 в каждом аэротенке)	22	2,2	2005
300.5 МА01-08	Invent HCM/2500-20-2.2 Kw. Project № 62621 – 8 шт. ABS ECOMIX RSP 8032	22	2,2	2013

В настоящее время ресурс работы данных мешалок исчерпан, и неоднократно производилась их замена на мешалки других фирм производителей. К сожалению, новые мешалки не обладают высокой надежностью и быстро выходят из строя (через несколько месяцев после установки). В связи с этим нами был произведен анализ рынка перемешивающих устройств для аэротенков с целью выбора надежных тихоходных мешалок с длительным ресурсом работы.

В результате поиска нами были выбраны финские мешалки Flygt, поставка которых на российский рынок в настоящее время стабильна. Данный тип оборудования представляет собой тихоходные мешалки с двухлопастной крыльчаткой и редуктором.

В отличие от погружных горизонтальных мешалок, вертикальные лопастные мешалки, состоят из двигателя сухой установки, к которому крепится вал требуемой длины с пропеллером, расположенным конце этого вала. Двигатель монтируется над уровнем воды на мостиках-платформах, вал

и пропеллер погружаются в воду. Иногда дополнительно нужны регулировочные устройства для горизонтальной установки (стационарный фланец, вмонтированный в бетон резервуара) или стабилизаторы вала (донные опоры) для избежания инерционного движения вала. Количество рабочих пропеллеров может достигать двух единиц.

Основные задачи, стоящие перед современными вертикальными мешалками, заключаются в гомогенизации, перемешивании и поддержании жидкости во взвешенном состоянии, элиминации поверхностной корки, седиментации осадка. Поэтому они нашли широкое применение на канализационных очистных сооружениях (метантенки, резервуары возвратного ила, сооружения биологической очистки).

Компанией Xylem WaterSolutions AB (Швеция) разработана основная концепция вертикального перемешивания, заключающаяся в:

1. Создании эффективного с точки зрения гидродинамики пропеллера, обеспечивающего сохранение концентрации биомассы в объёме биореактора, предотвращающего оседание и всплытие активного ила;
2. Разработке конструкции мешалки, эксплуатационно надёжной и исключающей перебои в работе из-за поломок, например, вала и/или двигателя.

Применение вертикальных лопастных мешалок как альтернативы погружным горизонтальным мешалкам в аэротенках – это современное решение, хотя вариант с погружными мешалками бывает дешевле по

закупочной цене. Но с точки зрения энергоэффективности и низкого уровня воздействия на окружающую среду вертикальные мешалки более выгодны.

Тихоходные мешалки диаметром от 0,7 до 2,5 м используются в сооружениях большого объема либо в удлиненных конструкциях аэротенков, когда глубина либо ширина коридора в 3-5 раз меньше его длины.

Максимальная глубина погружения 20 м. Рабочая скорость вращения вала тихоходных мешалок для КОС составляет 10-60 оборотов в минуту. Лопастные изготавливаются из полосовой или уголковой стали [19-22].



Рисунок 8. – Общий вид лопастных тихоходных мешалок Flygt
а) – модель SY 4850, б) – модель SY 4860

Таблица 13 Технические характеристики тихоходных горизонтальных мешалок Flygt

Технические характеристики тихоходных горизонтальных мешалок Flygt				
№ агрегата	Тип мешалки	Частота вращения редуктора, об/мин	Мощность электродвигателя, кВт	Рабочий объём
4410	"Flygt" SR 4410-8 шт.	17-45	0,9-2,3	-
4850	"Flygt" SY 4850-8 шт.	18-40	2,2-7,5	До 2000 м ³
4860	"Flygt" SY 4860-8 шт.	10-24	1,5-4	До 2000 м ³

ГЛАВА 4 Исследование эффективности очистки сточных вод и экологической безопасности работы сооружений.

4.1 Анализ качества очищенной воды

Был проведен анализ на основе расчета индекса загрязнения воды на выпуске сточных вод с Юго-западных очистных сооружений за период 2016-2020 года, в соответствии с методикой 1 (см. Приложение А)

Данные для расчета представлены в таблице 14

Таблица 14 - Расчет индекса загрязнения воды за 2016 – 2020 год

Наименование веществ	Концентрация загрязняющих веществ в сточных водах на выходе из ЮЗОС, мг/дм ³					ПДК м.р.
	2016	2017	2018	2019	2020	
Растворенный кислород	4	4	4	4	4	20
БПК ₅	1,95	1,78	2,1	2,57	2,53	3
Нитраты	4,35	4,56	4,59	3,02	4,22	45
Нитриты	0	0	0	0,22	0,21	3
Взвешенные вещества	2,92	2,72	3,85	3,3	3,34	0,5

Аммонийный азот	0,81	0,3	0,49	2,51	0,99	0,39
ИЗВ	2,31	1,99	2,46	3,13	2,53	

Расчет производился в соответствии с формулой 1 из методики 1 (см. Приложение А)

$$\text{ИЗВ 2016 год} = \frac{0,65 + 5 + 0,097 + 0 + 5,84 + 2,08}{6} = 2,31$$

На основании проведенного расчета можно сделать выводы:

1. В 2016, 2017, 2018, 2020 году вода соответствует умеренно загрязненным водам
2. В 2019 году класс качества воды соответствует четвертому – загрязненная. Таким образом, вода не соответствует необходимым параметрам, хотя существующий биомониторинг показывал соответствие. Поэтому необходимо внести изменение в систему биомониторинга.

4.2. Анализ применяемой технологии удаления азота и фосфора

Основной критерий конкретной схемы удаления азота и фосфора для реализации в

промышленных аэротенках зависит, в первую очередь, от качественного состава поступающих на биологическую очистку сточных вод и требований к качеству очищенной воды.

Технологическая особенность биологической очистки сточных вод от азота и фосфора

более чувствительны к колебаниям поступающих загрязнений, чем аэротенки, работающие только на окисление органических загрязнений.

Следовательно, правильный выбор значений качественных показателей сточных вод

из массива реальных данных, которые закладываются в расчет сооружений, является одним из определяющих факторов корректности полученных результатов.

Особое значение динамика качественного состава сточных вод, в зависимости от которой и разрабатывается схема реализации процессов удаления азота и фосфора, и рассчитывается само сооружение с учетом следующих особенностей:

1. В зависимости от состава сточных вод, экономия электроэнергии на аэрацию в аэротенках, работающих по схемам нитри-денитрификации составляет 25 - 45%.
2. Достижение жестких требований к качеству очищенной воды по биогенным элементам возможно, однако при условии корректно выбранной схемы реализации процессов удаления азота и фосфора и проведении расчетов сооружений с учетом реального качества поступающей на биологическую очистку сточной воды, кинетических параметров биохимических процессов, требуемого качества очищенной воды и минимальной температуры стоков.
3. Для обеспечения проектных качественных показателей очищенной воды по $N-NH_4^+$ и $N-NO_2^-$ требуется поддержание проектных технологических параметров реализации процесса нитрификации, таких как температура, концентрация растворенного кислорода, допустимый диапазон значений pH и поддержание проектного значения аэробного возраста активного ила.
4. Основными факторами, влияющими на процесс денитрификации, являются температура сточной воды, значение pH среды, количество органических соединений и концентрация растворенного кислорода в аноксидной зоне аэротенка.
5. Управление технологическим процессом биологической очистки сточных вод следует проводить на основе анализа результатов

технологического контроля, что позволяет своевременно обнаружить и исправить нарушения в технологии очистки и обеспечить проектное качество очищенной воды в реальных условиях эксплуатации [18].

4.3 Результаты контроля сточных вод

Результаты контроля сточных вод и оценка соблюдения допустимых концентраций ЮЗОС за 2023 год в таблице 15. (см приложение Г).

В представленной таблице мы видим, на сколько поступающий сток отличается от очищенного, также мы можем это посмотреть на графиках по элементам из таблицы 15: (см приложение Г).

График 1 Азот аммонийный

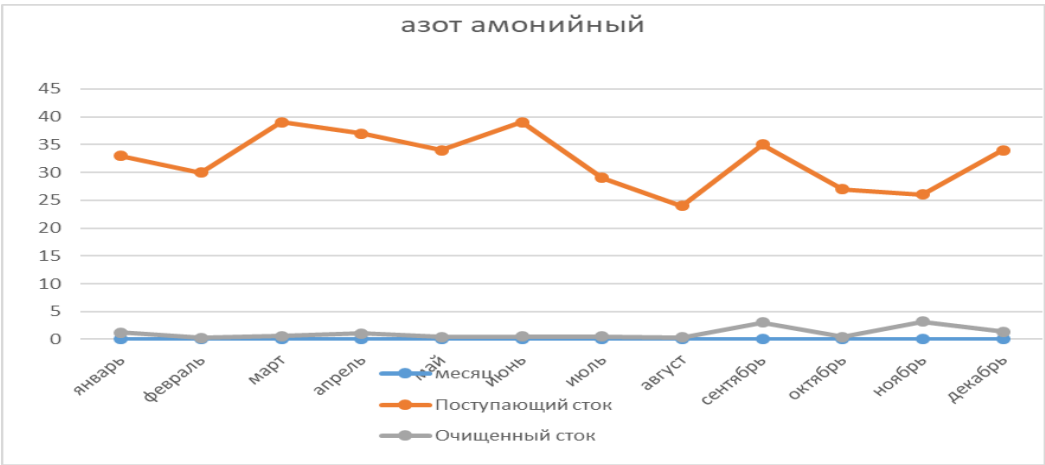


График 2 БПК5

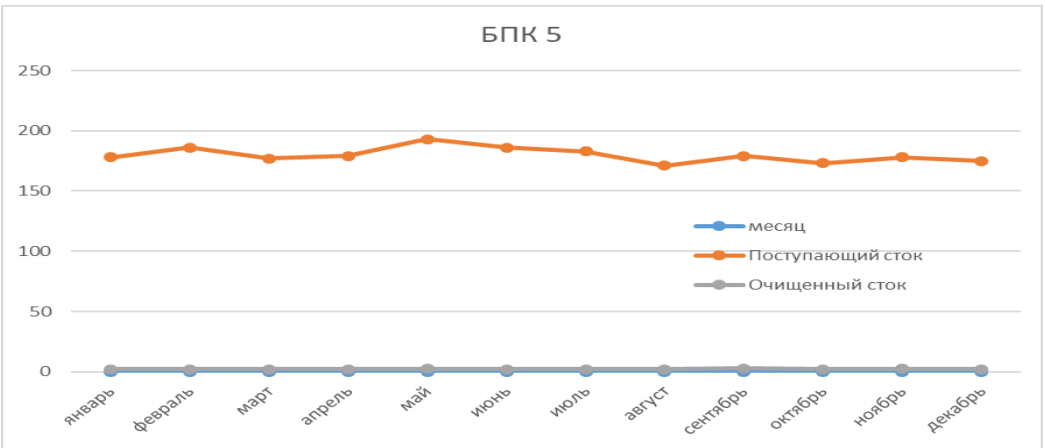


График 3 Железо

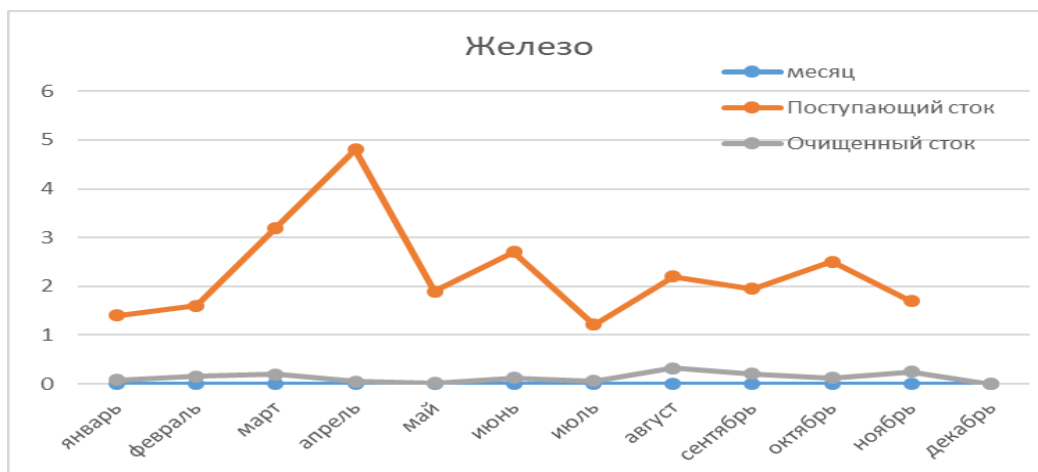


График 4 Нефтепродукты



График 5 АСПАВ

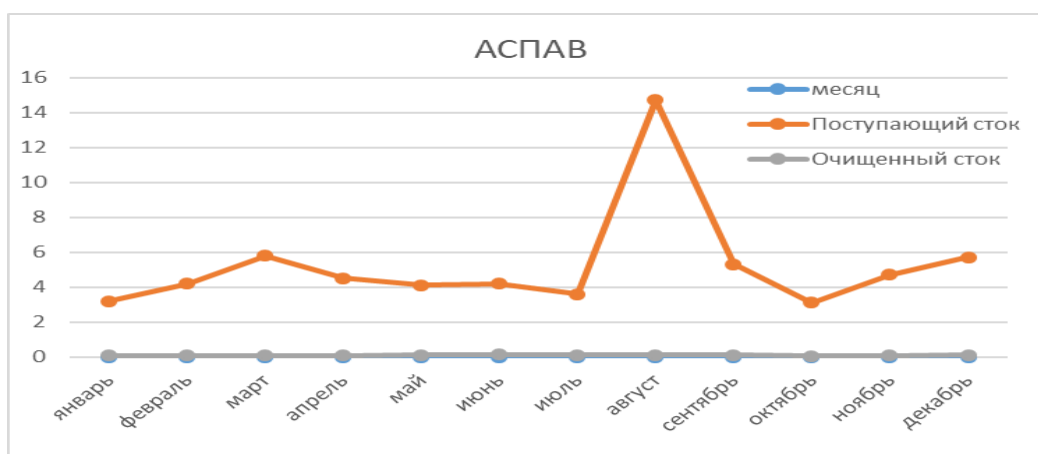


График 6 Фосфор общий

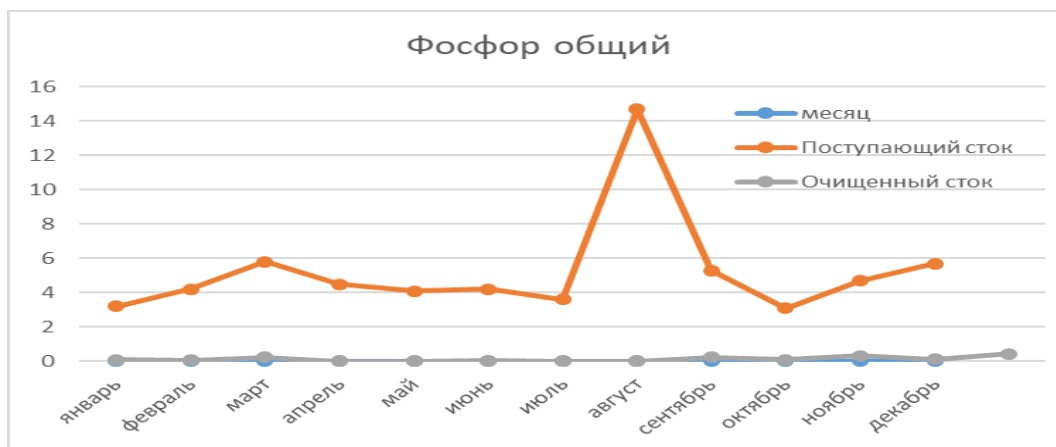
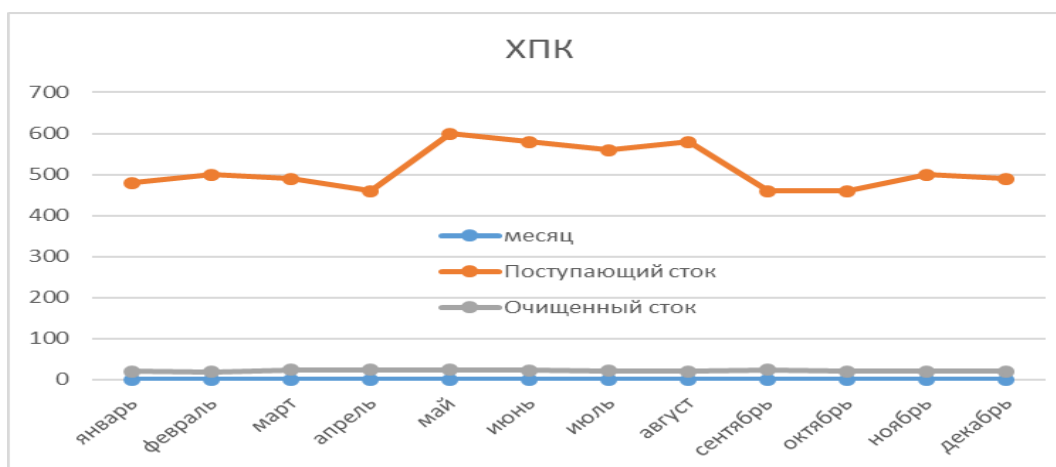


График 7 ХПК



Анализ данных, представленных в таблицах и на графиках, позволяет сделать следующие выводы:

1. Высокая степень автоматизации технологических процессов на ЮЗОС обеспечивает стабильное качество очистки сточных вод.
2. Показатели эффективности работы сооружений соответствуют проектным значениям и установленным регламентам.
3. Отсутствие существенных отклонений в динамике основных контролируемых параметров свидетельствует о надежности работы системы.
4. Достигаемые показатели очистки полностью удовлетворяют действующим экологическим нормативам и требованиям природоохранного законодательства.

Таким образом, проведенный анализ подтверждает, что ЮЗОС успешно выполняет возложенные на них задачи по очистке сточных вод и обеспечению экологической безопасности водных объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе написания дипломной работы поставленные цели и задачи были достигнуты. Проведенное исследование позволило всесторонне оценить эффективность работы Юго-Западных очистных сооружений (ЮЗОС) и качество очищенных сточных вод, а также разработать меры по их совершенствованию.

Экологическая оценка эффективности очистных сооружений: Установлено, что ЮЗОС обеспечивают высокую степень очистки сточных вод (95-98%) по основным показателям (БПК₅, ХПК, взвешенные вещества).

Выявлены сезонные колебания эффективности очистки, в частности, повышение концентрации аммонийного азота в зимний период (2019 г. - ИЗВ=3.13), что связано с температурозависимостью биологических процессов. Подтверждено соответствие работы сооружений требованиям нормативных документов (Водный кодекс РФ, СанПиН 2.1.4.1074-01, ГОСТ 27065-86).

Оценка качества сточных вод: Проведен анализ динамики загрязнений за 2016-2023 гг. Снижение концентрации нефтепродуктов на 98% (с 2.1 до 0.04 мг/дм³). Уменьшение содержания фосфора на 96% (с 4.8 до 0.2 мг/дм³). Стабильное удаление органических загрязнений (БПК₅ ≤ 2.5 мг/дм³). Выявлены критические точки контроля: необходимость усиления мониторинга азота аммонийного и нитритов при температуре воды ниже 12°C.

Предложения по повышению экологической эффективности:

1. Модернизация биомониторинга: Замена раков на двустворчатых моллюсков для повышения чувствительности системы (реакция на загрязнение - закрытие створок). Автоматизация сбора данных с датчиков сердечного ритма.

2. Оптимизация удаления биогенных элементов: Установка тихоходных мешалок Flygt в анаэробных зонах для устранения застойных явлений. Монтаж дополнительных оксиметров в аноксидно/оксидной зоне.

3. Технологические улучшения: Внедрение системы промывки датчиков кислорода для повышения точности измерений. Корректировка режима рециркуляции ила при температуре ниже 10°C.

Экологическая и экономическая значимость

Предложенные меры позволят: Повысить надежность контроля качества воды за счет более чувствительных биоиндикаторов. Снизить риск превышения ПДК по азоту и фосфору на 15-20%. Уменьшить эксплуатационные затраты за счет долговечного оборудования (срок службы мешалок Flygt - до 10 лет).

Перспективы дальнейших исследований:

1. Тестирование гибридной системы биоиндикации (моллюски и раки).
2. Изучение возможности внедрения мембранных технологий для глубокой очистки.
3. Разработка математической модели прогнозирования эффективности очистки в зависимости от температуры.

Выводы:

1. ЮЗОС демонстрируют высокую экологическую эффективность, что подтверждается многолетними данными мониторинга.
2. Ключевые направления улучшения: биомониторинг на основе моллюсков и оптимизация работы аэротенков.
3. Внедрение предложенных решений соответствует принципам устойчивого развития и обеспечит соответствие сточных вод ужесточающимся экологическим нормативам.

Работа вносит вклад в решение актуальной задачи повышения экологической безопасности водных объектов Санкт-Петербурга.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сайт floculant.ru Статья «Классификация сточных вод» [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://floculant.ru/content/files/Klassfikaciya_stochnyx_vod.pdf (Дата обращения 16.04.2023);
2. Сайт RCYCLE.NET Статья «Загрязнение сточными водами: экологические проблемы и пути их решения» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rcycle.net/stochnye-vody/zagryaznenie-ekologicheskie-problemy-i-puti-ih-resheniya> (Дата обращения 16.04.2023);
3. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ (последняя редакция);
4. "Водный кодекс Российской Федерации" (ВК РФ) от 03.06.2006 N 74-ФЗ (последняя редакция);
5. Постановление Правительства РФ от 10.04.2007 N 219 "Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов" (с изменениями и дополнениями);
6. ГОСТ 27065-86. Качество вод. Термины и определения
7. Методика определения токсичности проб природных, питьевых, хозяйственно – питьевых, хозяйственно – бытовых сточных, талых, технологических вод экспресс – методом, ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.2 – 98
8. Экологические проблемы современности [Электронный доступ]- Режим доступа: <https://xn--80axfhg8f.xn--p1ai/othody/bytovye-stochnye-vody-eto.html> (Дата обращения 16.04.2023)
9. Сайт bezotxodov.ru Статья «Классификация и методы очистки сточных вод» [Электронный доступ]- Режим доступа: <https://bezotxodov.ru/stochnye-vody/stochnye-vody> (Дата обращения 16.04.2023)
10. ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» Статья «Технологии очистки» [Электронный доступ] - Режим доступа: https://www.vodokanal.spb.ru/kanalizovanie/tehnologii_ochistki/ (Дата обращения 16.04.2023)

11. Духопельникова, Н.Р. Поверхностные сточные воды, система отведения и их очистка в крупных городах / Н.Р. Духопельникова // Alfabuild - 1 (3). 2018. С. 7-14.
12. Сайт Flotenk Статья «Методы очистки бытовых и промышленных сточных вод» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://flotenk.ru/press-centr/posts/metody-ochistki-bytovykh-i-promyshlennykh-stochnykh-vod/> (Дата обращения 28.04.2023);
13. Официальный сайт ГУП Водоканала [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vodokanal.spb.ru/> (Дата обращения 28.04.2023);
14. Архив С.О.К. Статья «Виды решеток» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/vidy-reshetok-dlya-ochistki-stochnykh-vod> (Дата обращения 28.04.2023);
15. Гудков А.Г. Биологическая очистка городских сточных вод: Учебное пособие.– Вологда: ВоГТУ, 2002. – 127 с.
16. Т.И. Халтурина Очистка сточных вод промышленных предприятий: учебно-методическое пособие/ Т.И. Халтурина – Красноярск: СФУ, 2014 – 164 с.;
17. Экотехавангард Статья Очистные сооружения сточных вод [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.biostock.ru/ochistka-stokov.pdf> (Дата обращения 28.04.2023);
18. МДК 3-02.2001. Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации" (утв. Приказом Госстроя РФ от 30.12.1999 N 168)
19. Биологическая очистка сточных вод предприятий нефтехимического комплекса и энергетики : учебное пособие / Л. А. Николаева, Р. Я. Исхакова. – Казань: КГЭУ, 2021. – 90 с.
20. Новое место Статья «Основные методы очистки сточных вод» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://novoemesto.ru/press/articles/metody-ochistki-stochnykh-vod/> (Дата обращения 28.04.2023);

21. Биомониторинг состояния окружающей среды: учебное пособие / Под. ред. проф. И.С. Белюченко, проф. Е.В. Федоненко, проф. А.В. Смагина. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – 153 с.
22. Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды: учебно-методическое пособие / А.Г. Бубнов [и др.]; под общ. ред. В.И. Гриневича; ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. - Иваново, 2007. - 112 с.
23. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода.
24. Журнал ВСТ. Статья «Биоэлектронная система контроля токсикологической безопасности биологически очищенных сточных вод» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.vstnews.ru/ru/archives-all/2013/2013-1/3640-bioelektronnaja> (Дата обращения 22.05.2023)
25. Арапова, А. В. Биологическое удаление азота и фосфора из городских сточных вод : дис. канд. техн. наук : 03.00.16. – М., 2004. – 154 с.
26. Погружные мешалки Flygt (горизонтальные и вертикальные). Технические характеристики [Электронный ресурс] – Режим доступа: retroplanpro.spb.ru (Дата обращения 22.05.2022)
27. Технологический регламент ЮЗОС.
28. Мишуков Б. Г., Соловьева Е. А. Удаление азота и фосфора на очистных сооружениях городской канализации. Приложение к журналу «Вода и экология. Проблемы и решения». – СПб., 2004 – 72
29. Б.Г. Мишуков, Е.А. Соловьева. Расчет и подбор аэрационного и перемешивающего оборудования для биологической очистки сточных вод. Учебное пособие

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А.

Методика для расчета индекса загрязненности воды

Расчет ИЗВ для поверхностных вод проводится только по строго ограниченному количеству ингредиентов. Результаты анализов по каждому из показателей осредняются (определяется среднеарифметическое значение (САЗ)). Число анализов для определения САЗ должно быть не менее 4. Расчет ИЗВ проводится по формуле (1) для поверхностных вод суши и по формуле (2) для морских вод

$$\text{ИЗВ} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \right) / 6 \quad (1)$$

где n – строго лимитируемое количество показателей (ингредиентов), берущихся для расчета, имеющих наибольшее значение, независимо от того, превышают они ПДК или нет, включая показатель растворенного кислорода БПК₅. Для поверхностных вод суши $n = 6$;

C_i – концентрация i -го загрязняющего вещества в воде;

ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества.

$$\text{ИЗВ} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \right) / 4 \quad (2)$$

где n – строго лимитируемое количество показателей (ингредиентов), берущихся для расчета, имеющих наибольшее значение, независимо от того, превышают они ПДК или нет, включая показатель растворенного кислорода БПК₅. Для морских вод $n = 4$, расчет ИЗВ проводят не по отдельным станциям, а по районам контроля;

C_i – концентрация i -го загрязняющего вещества в воде;

ПДК_i – предельно допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества. Для представления качества вод в виде единой оценки показатели выбираются независимо от лимитирующего признака вредности при

равенстве концентраций предпочтение отдается веществам, имеющим токсикологический признак вредности. Учитывая, что показатель биохимического потребления кислорода БПК₅ является интегральным показателем наличия легкоокисляемых органических веществ (ПДК для БПК полного – 3 мгО₂/л), а также, что с увеличением содержания окисляемых органических веществ (уменьшается содержание растворенного кислорода) качество вод снижается более резко, ПДК для этих показателей определяется на основании табл. А.1 и табл. А.2.

Таблица А.1 - ПДК для показателя БПК₅

Потребление О ₂ , БПК ₅	Величина мг О ₂ /л, принимаемая за норматив
До 3 мг О ₂ /л включительно	3
От 3 до 15 мг О ₂ /л	2
Свыше 15 мг О ₂ /л	1

Таблица А.3 - ПДК для растворенного кислорода

Доля растворенного О ₂ , мг/л	Величина мг О ₂ /л, принимаемая за норматив
Свыше 6	6
6...5	12
5...4	20
4...3	30
3...2	40
2...1	50
1...0	60

Степень превышения концентрации растворенного кислорода над ПДК рассчитывается как норматив/содержание. Для определения класса качества воды используются данные, приведенные в табл А. 3

Таблица А.3 - Оценка класса качества воды

Класс качества воды	Текстовое описание	Величина ИЗВ
Поверхностные воды		
1	Очень чистая	До 0,3
2	Чистая	Более 0,3 до 1
3	Умеренно загрязненная	Более 1 до 2,5
4	Загрязненная	Более 2,5 до 4
5	Грязная	Более 4 до 6
6	Очень грязная	Более 6 до 10
7	Чрезвычайно грязная	Более 10
Морские воды		
1	Очень чистая	До 0,25
2	Чистая	Более 0,25 до 0,75
3	Умеренно загрязненная	Более 0,75 до 1,25
4	Загрязненная	Более 1,25 до 1,75
5	Грязная	Более 1,75 до 3
6	Очень грязная	Более 3 до 5
7	Чрезвычайно грязная	Более 5

Приложение Б.

Таблица 2 - Отличительные характеристики разных видов сточных вод

Вид сточных вод	Равномерность поступления сточных вод	Степень загрязнения	Вид загрязнений	Используемые методы очистки
Производственные	Неравномерное (зависит от процессов предприятия)	Условно-чистые Нормативно очищенные Загрязненные	Органические и минеральные примеси	Механические Физико-химические Химические Биологические
Хозяйственно-бытовые сточные воды	Относительно равномерное	Сильно загрязненные	Органические вещества растительного и животного происхождения Отходы жизнедеятельности и моющие средства	Механические Биологические
Атмосферные (ливневые)	Неравномерное (зависит от атмосферных осадков)	Условно чистые Загрязненные	Минеральные загрязнения Нефтепродукты	Механические Химические методы

Приложение В.

Таблица 2 – Состав сточных вод, поступающих на ЮЗОС

Наименование веществ	Концентрация загрязняющих веществ в сточных водах на входе ЮЗОС, мг/дм ³					
	2016	2017	2018	2019	2020	Среднее за 2016-2020 гг.
Азот аммонийный	26,36	28,28	32,12	31,52	29,27	29,51
Азот нитратов	0,23	0,22	0,19	0,2	0,21	0,21
Азот общий	49,33	45,83	40,77	45,91	42,59	44,89
Алюминий	1,45	1,25	1,43	0,96	0,69	1,16
БПК ₅	200	181	198	264	240	217
БПК _{полн}	287	267	240	303	296	279
Взвешенные вещества	285	247	261	205	210	242
Железо	3,06	2,98	3,77	5,09	1,49	3,28
Марганец	0,31	0,29	0,30	0,34	0,30	0,31
Медь	0,042	0,036	0,070	0,065	0,023	0,047

Нефтепродукты(нефть)	2,52	2,17	1,28	0,45	0,19	1,32
АСПАВ	2,05	2,14	2,47	2,09	2,63	2,28
Фенол	0,0038	0,0053	0,0080	0,0042	0,0083	0,0059
Фосфор общий	7,31	7,08	5,46	5,44	5,11	6,08
Фосфор фосфатов	3,81	3,87	3,48	4,33	4,12	3,92
ХПК	488	453	512	610	546	522
Цинк	0,24	0,19	0,27	0,39	0,19	0,26

Приложение Г.

Результаты контроля сточных вод и оценка соблюдения допустимых концентраций ЮЗОС за 2023 год

Месяц, год	Точка и дата отбора	Концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, мг/дм ³						
		Азот аммонийный	БПК ₅	Железо	Нефтепродукты (нефть)	АСПАВ	Фосфор общий	ХПК
январь	Поступающий сток	33,0	178	1,40	2,50	2,10	3,20	480

	Очищенный сток	1,20	2,10	0,076	0,068	0,090	0,088	20,0
	Эффективность очистки, %	96	99	95	97	96	97	96
февраль	Поступающий сток 02.02.23	30,0	186	1,60	0,80	2,00	4,20	500
	Очищенный сток 02.02.23	0,29	2,00	0,15	0,13	0,079	0,058	18,0
	Эффективность очистки, %	99	99	91	84	96	99	96
март	Поступающий сток 02.03.23	39,0	177	3,20	0,89	2,10	5,80	490
	Очищенный сток 02.03.23	0,61	2,20	0,19	0,038	0,081	0,25	23,0
	Эффективность очистки, %	98	99	94	96	96	96	95
апрель	Поступающий сток 20.04.23	37,0	179	4,80	0,77	2,00	4,50	460
	Очищенный сток 20.04.23	1,10	2,20	0,051	0,015	0,085	<0,02	23,0
	Эффективность очистки, %	97	99	99	98	96	100	95
май	Поступающий сток 04.05.23	34,0	193	1,90	3,90	2,60	4,10	600
	Очищенный сток 04.05.23	0,41	2,40	0,013	0,015	0,11	<0,02	23,0
	Эффективность очистки, %	99	99	99	99,6	96	100	96
июнь	Поступающий сток 08.06.23	39,0	186	2,70	2,80	3,00	4,20	580
	Очищенный сток 08.06.23	0,49	2,20	0,124	0,017	0,14	0,041	22,0
	Эффективность очистки, %	99	99	95	99	95	99	96
июль	Поступающий сток 20.07.23	29,0	183	1,21	2,30	2,50	3,60	560
	Очищенный сток 20.07.23	0,47	2,20	0,061	0,012	0,10	<0,02	21,0

	Эффективность очистки, %	98	99	95	99	96	100	96
август	Поступающий сток 03.08.23	24,0	171	5,80	0,87	1,40	14,7	580
	Очищенный сток 03.08.23	0,34	2,10	0,32	0,034	0,10	<0,02	20,0
	Эффективность очистки, %	99	99	94	96	93	100	97
сентябрь	Поступающий сток 14.09.23	35,0	179	2,20	0,83	3,20	5,30	460
	Очищенный сток 14.09.23	3,00	2,80	0,21	0,022	0,095	0,24	23,0
	Эффективность очистки, %	91	98	90	97	97	95	95
октябрь	Поступающий сток 19.10.23	27,0	173	1,95	0,98	2,50	3,10	460
	Очищенный сток 19.10.23	0,40	2,20	0,126	0,071	0,064	0,093	20,0
	Эффективность очистки, %	99	99	94	93	97	97	96
ноябрь	Поступающий сток 02.11.23	26,0	178	2,50	0,86	1,60	4,70	500
	Очищенный сток 02.11.23	3,20	2,40	0,25	0,064	0,074	0,31	20,0
	Эффективность очистки, %	88	99	90	93	95	93	96
декабрь	Поступающий сток 14.12.23	34,0	175	1,70	0,92	3,80	5,70	490
	Очищенный сток 14.12.23	1,40	2,00	<0,01	0,052	0,12	0,43	20,0
	Эффективность очистки, %	96	99	100	94	97	92	96